Abt. Biolog. Holzforschung

MITTEILUNGEN
DER FORSTLICHEN BUNDES-VERSUCHSANSTALT
MARIABRUNN



ÖKOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN IN DER SUBALPINEN STUFE TEIL I

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

MITTEILUNGEN
DER FORSTLICHEN BUNDES-VERSUCHSANSTALT
MARIABRUNN

Ökologische Untersuchungen in der subalpinen Stufe zum Zwecke der Hochlagenaufforstung

Teil I

Eine Gemeinschaftsarbeit der Forschungsstelle für Lawinenvorbeugung Innsbruck

1961
59

KOMMISSIONSVERLAG: ÖSTERREICHISCHER AGRARVERLAG, WIEN

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Gegen Wildverbiss

Forstin®



verbürgt sicheren Erfolg
sparsam im Gebrauch
lang anhaltende Dauerwirkung

Auskunft und Beratung kostenlos durch

F. Joh. Kwizda Chem. Fabrik

Pflanzenschutzstelle

Wien I, Dr.-Karl-Lueger-Ring 6, Tel. 63 46 01 bis 04

Meßgeräte *der Firma*

Wilh. Lambrecht, Göttingen

Feuchte-, Temperatur-, Wind-, Niederschlags- und Verdunstungsmeßgeräte Barometer und Thermometer aller Art.

liefert: Generalvertretung für Österreich:

HEINRICH KAPPELLER'S NACHF.

Gesellschaft m. b. H. Kommanditgesellschaft

Wien V, Franzensgasse 13

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

MITTEILUNGEN
DER FORSTLICHEN BUNDES-VERSUCHSANSTALT
MARIABRUNN
(früher „Mitteilungen aus dem forstlichen Versuchswesen Österreichs")
59. Heft 1961

INHALT

Ökologische Untersuchungen in der subalpinen Stufe zum Zwecke der Hochlagenaufforstung

TEIL I

Eine Gemeinschaftsarbeit der Forschungsstelle für Lawinenvorbeugung Innsbruck

Herausgegeben
von der
Forstlichen Bundesversuchsanstalt Mariabrunn in Schönbrunn
Kommissionsverlag: Österreichischer Agrarverlag, Wien

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Mitarbeiter:

H. Aulitzky, S. Bernard, Anna Czell, H.Friedel,
G. Fromme, A. Fuchs, Friederike Göbl,
R. Hampel, W. Hassenteufel, K. Holzer, S. Hopf,
Else Jahn, M. Moser, Irmtraut Neuwinger-Raschendorfer,
H. Oswald, E. Prutzer, A. Riedel, H. Schiechtl,
S. Stauder, R. Stern, W Tranquillini, H. Turner,
H. Wopfner, Inge Wopfner

Bei der Durchführung der Untersuchungen, bei der Auswertung des Materials und seiner Drucklegung haben außerdem wertvolle Mithilfe geleistet:

Hiltraut Fuchs, A. Gritsch, R. Heiß,
Helga Hofer, F Mayerhofer, B. Raffeiner,
E. Rudigier, Liselotte Schartner und
Angehörige der Abteilung Forstinventur an der
Forstlichen Bundesversuchsanstalt Mariabrunn
in Schönbrunn.

Darüber hinaus ist für wiederholte Unterstützung durch die Forsttechnische Abteilung für Wildbach- und Lawinenverbauung (Sektion Innsbruck sowie die Gebietsbauleitungen Innsbruck, Imst und Unterinntal) zu danken. Die Untersuchungen wurden auch durch die Gemeinde Sölden, das Bundessportheim Obergurgl und durch die Bevölkerung von Ober- und Untergurgl gefördert.

Die Redaktionsarbeiten besorgten:

H. Schiechtl, R. Stern, W.Tranquillini, H. Turner

Für den Inhalt verantwortlich:
Hofrat Dipl. Ing. Dr. Robert Hampel,
Innsbruck, Egerdachstraße 26

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.

Copyright 1961 by
Forstliche Bundes-Versuchsanstalt Mariabrunn
Wien-Schönbrunn.

Printed in Austria.

Herstellung und Druck in Eigenregie der Forstlichen Bundes-Versuchsanstalt Mariabrunn in Schönbrunn, Wien XIII., Oberer Tirolergarten.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Vorwort

Die Lawinenabgänge der Jahre 1951 und 1954 haben nicht nur große Verluste an Menschenleben und Materialschäden, sondern auch noch tiefe Einbrüche in die Wälder mit sich gebracht. Es mußte daher befürchtet werden, daß in Hinkunft auch bei geringerer Schneelage schwere Lawinenschäden entstehen und daß infolge des geschwundenen Rückhaltevermögens des Waldes sommerliche Hochwässer rascher abfließen und ebenfalls größere Schäden verursachen als bisher. Dieser Entwicklung entgegenzutreten ist Aufgabe der Forsttechnischen Abteilung für Wildbach- und Lawinenverbauung.

Beim Studium dieser Fragen wurde bald klar, daß die Lawinenkatastrophen nicht nur wegen der hohen Schneelage einen solchen Umfang annahmen, sondern auch wegen des stetigen Rückganges der oberen Waldgrenze, daß daher die zu bearbeitenden Gebiete einen wesentlich größeren Umfang erreichten als ursprünglich angenommen und daß die technischen Maßnahmen der Wildbach- und Lawinenverbauung nicht nur aus sachlichen, sondern auch aus finanziellen Erwägungen in den Hintergrund treten mußten. Die Aufgabe erreichte dadurch einen Umfang, der den Rahmen des Amtes bedeutend überschritt und eine gesonderte Behandlung erforderte.

Die vordringlichste Maßnahme bestand darin, den Umfang der erforderlichen Verbauungs- und Aufforstungsarbeiten zu erfassen, die Kosten abzuschätzen und die zu erwartenden volkswirtschaftlichen Auswirkungen festzustellen.

Da schon vor den beiden Katastrophen verschiedene Anzeichen dafür gesprochen hatten, daß eine Zunahme der Lawinenschäden zu erwarten sei, hat das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft schon im Jahre 1947 bei der Wildbachverbauungssektion Innsbruck eine Lawinendienststelle eingerichtet, deren Lawinenkataster schon 1951 zur Verfügung stand. Nach der Katastrophe 1954 wurde auch von der Wildbachverbauungssektion Bregenz ein ähnlicher Kataster verfaßt, sodaß nunmehr von den am stärksten betroffenen Bundesländern genaue Angaben über Zahl, Häufigkeit, Ausdehnung, Schäden etc. der Lawinen vorliegen.

Aus ihnen geht hervor, daß 2.500 Lawinen im bewohnten Gebiet mehr oder weniger regelmäßig abgehen und daß davon 2/3 unterhalb der möglichen, aber nicht vorhandenen Waldgrenze anbrechen. Diese könnten also durch Aufforstungen am Abgehen verhindert werden, wenn während des Aufwachsens für einen Lawinenschutz gesorgt wird.

Wesentlich größere Schwierigkeiten als die Aufnahme der Lawinen stellten sich der Erfassung der aufzuforstenden Flächen, der Kosten und wirtschaftlichen Folgen entgegen. Hier wurde versucht, zunächst ein ungefähres Bild zu erhalten und dieses allmählich zu

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
verbessern. Diese Vorgangsweise erwies sich deshalb als notwendig, weil von den Ergebnissen dieser Untersuchung die weitere Planung abhing und weil diese nicht unnötig hinausgezögert werden durfte, um die Schutzvorkehrungen möglichst rasch wirksam werden zu lassen.

Es wurde daher zunächst eine Vegetationskarte von Tirol aufgenommen und gleichzeitig mit genauen Untersuchungen der südlichen Seitentäler des Inn vom Arlberg nach Osten begonnen. Bis jetzt sind die Erhebungen im Paznaun-, Kauner-, Pitz-, Ötz-, Sellrain-, Stubai- und Wipptal in 23 Gemeinden und auf einer Gesamtfläche von 220.052 ha durchgeführt worden. Sie ergaben, daß seit 1774 der Wald auf ungefähr die Hälfte zurückgegangen ist, am stärksten zwischen 1774 und 1880, daß die obere Waldgrenze bis 400 Höhenmeter heruntergedrückt wurde, daß die Rodeflächen nur etwa ein halbes Jahrhundert der Landwirtschaft nutzbar gemacht werden konnten, später aber mit Zwergsträuchern oder Borstgräsern verunkrauteten, daß daher der Viehstand von 1880 bis 1950 auf fast die Hälfte und der Ertrag aus Land- und Forstwirtschaft in den letzten hundert Jahren auf etwa zwei Drittel zurückging; die Fläche der Wildbäche und Lawinenstriche stieg dagegen auf das Vierfache. Die insgesamt aufzuforstende Fläche in Tirol wurde mit Hilfe der Vegetationskarte auf etwa 50.000 ha, für ganz Österreich mit Hilfe statistischer Unterlagen auf 200.000 ha geschätzt.

Um nun die Auswirkung der notwendigen Sanierungsarbeiten (Aufforstungen, Verbauungen, Aufschließungswege, Trennung von Wald und Weide, Alpmelioration) auf die Wirtschaft abschätzen zu können, wurden in 4 verschiedenartigen Gebieten Projekte mit einem Gesamterfordernis von über 80 Mill. Schilling ausgearbeitet und den Kosten das voraussichtliche wirtschaftliche Ergebnis gegenübergestellt. Es lautete: Vergrößerung der Waldfläche auf das Doppelte, Steigerung des Holzertrages auf das Dreifache, des landwirtschaftlichen Ertrages um die Hälfte, Verringerung der Fläche der Wildbäche und Lawinenstriche auf ein Drittel. Die Ertragssteigerung ist so groß, daß sie allein schon ausreichen würde, um die Aufwendung der veranschlagten Beträge zu rechtfertigen, ohne daß also die gesteigerte Sicherheit und die verbesserten Abflußverhältnisse der Wildbäche berücksichtigt werden mußten. Dies selbst dann, wenn jene erheblichen Unsicherheitskoeffizienten berücksichtigt werden, deren Einführung notwendig war, um überhaupt zu zahlenmäßigen Ergebnissen zu gelangen.

Die bedeutendste Unsicherheit bestand bei der Errechnung der Aufforstungskosten je Hektar, die mit 10.000 S eingesetzt wurden, ohne daß Erfahrungsziffern hiefür vorgelegen wären. Es war von Haus aus klar, daß umfassende Studien notwendig sein würden, um erfolgreiche Aufforstungen in den Hochlagen ausführen zu können. Daneben erforderte auch die Beantwortung der Frage nach einem billigen, aber nur vorübergehend wirksamen Lawinenschutz für die Kulturen eine eingehende Behandlung.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Nach einem mehrjährigen Provisorium wurde mit Jänner 1955 eine aus 16 Personen bestehende Forschungsgruppe im Stande der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Mariabrunn der Wildbachverbauungssektion Innsbruck angegliedert, welche sowohl die Fragen der Aufforstung als auch des Lawinenschutzes zu behandeln hatte.

Im vorliegenden Band sind nun die Ergebnisse der bisher geleisteten Arbeiten zusammengefaßt, soweit sie die Aufforstungen in Hochlagen betreffen. Die Untersuchungen über den Waldrückgang und seinen Einfluß auf die Wirtschaft werden schon wegen ihres Umfanges gesondert veröffentlicht.

R. Hampel

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	
Zielsetzung	3
I. BERICHT ÜBER DIE BISHERIGEN UNTERSUCHUNGEN	
A. Ökologische Vegetationskunde, von H. Friedel	13
B. Die Vegetationskartierung im Rahmen der Wiederbewaldungsprobleme in der subalpinen Stufe, von H. M. Schiechtl	21
C. Beschreibung des Gurglertales (hinterstes Ötztal in Nordtirol)	33
D. Beschreibung des Stationsgebietes in Obergurgl-Poschach, von G. Fromme	53
E. Standortsuntersuchungen in der subalpinen Stufe	
1. Die Strahlungsverhältnisse und ihr Einfluß auf die Photosynthese der Pflanzen, von H. Turner und W. Tranquillini	69
2. Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit, von H. Aulitzky	105
3. Untersuchungen über die Pflanzentemperaturen in der subalpinen Stufe mit besonderer Berücksichtigung der Nadeltemperaturen der Zirbe, von W. Tranquillini und H. Turner.	127
4. Die Bodentemperaturen in der Kampfzone oberhalb der Waldgrenze und im subalpinen Zirben-Lärchenwald, von H. Aulitzky	153
5. Über die Windverhältnisse einer zentralalpinen Hangstation in der subalpinen Stufe, von H. Aulitzky	209
6. Die Verdunstungsverhältnisse einiger subalpiner Standorte, von E. Prutzer	231
7. Bodenfeuchte, von I. Neuwinger-Raschendorfer	257
8. Die Niederschlags- und Schneeverhältnisse, von H. Turner	265
9. Schneedeckenandauer und Vegetationsverteilung im Gelände, von H. Friedel	317
10. Böden in den Tiroler Zentralalpen, von I. Neuwinger-Raschendorfer und A. Czell	371
11. Die Fermentwirkungen von Wald- und Aufforstungsböden und ihre Bedeutung für die forstliche Praxis, von M. Moser und F Göbl	411
12. Bodentieruntersuchungen an der Wald- und Baumgrenze bei Obergurgl, von E. Jahn	425

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Zielsetzung

Lebendige Pflanzendecken wirken als Schutzmantel der Landoberfläche. Der vollkommenste unter ihnen ist geschlossener Wald. Wird er zerstört oder beschädigt, so sind je nach dem Ausmaß des Waldrückganges nachteilige Auswirkungen auf Bodenklima und Untergrund, Schneelage, Schmelz- und Niederschlagwässer feststellbar bis zu schweren Störungen des gesamten Naturgleichgewichtes. Sie machen sich an Ort und Stelle, aber auch weit darüber hinaus bemerkbar und wirken ihrerseits auf Vegetation und Tierleben, auf menschliche Siedlung und Wirtschaft zurück. Sowohl Orts- als auch Fernwirkungen werden umso größer, je steiler das Gelände gegen den Talboden aufgerichtet und je höher über dem Meeresspiegel es emporgehoben ist, bis dorthin hinauf, wo an der klimatischen Waldgrenze von Natur aus die Existenzmöglichkeiten des Waldwuchses aufhören.

Im gleichen Maße, wie die Schädlichkeit von Entwaldungen nach oben zunimmt, wird die Schadensbekämpfung und die Schadenvorbeugung immer wichtiger. Im selben Ausmaße wird sie aber auch schwieriger. Die ideale Behebung von Entwaldungsschäden ist Wiederaufbringung des Waldes. Dabei entstehender Verlust an Wirtschaftsraum kann wettgemacht werden durch Wirtschaftsintensivierung. Nahe der klimatischen Waldgrenze, wo diese Aufgabe am dringlichsten und schwierigsten ist, heißt dies: Restauration des Grenzwaldgürtels und Melioration der Almwirtschaft. Wir haben es vorwiegend mit ersterer zu tun.

Wenn irgendwo in geländetechnischen, landschaftspflegerischen, forstwirtschaftlichen Bereichen eine Vielzahl noch offenstehender Probleme der Praxis nach wissenschaftlicher Durchdringung ruft, so ist dies gewiß gerade hier der Fall. Sicherlich vermag unmittelbare Beobachtung und Erfahrung allein schon vieles. Richtig angesetzte und systematisch durchgeführte wissenschaftliche Forschung muß in diesem Aufgabenkreise nützliche Erfahrung aber wesentlich ergänzen, verbessern und beschleunigen. In den hiefür zu erforschenden Geländebereichen sollen allgemein und grundsätzlich

1) deren natürliche Verhältnisse,
2) die hier entstandenen Störungen des Naturgleichgewichts und
3) die Methoden zu ihrer Behebung

Gegenstand unserer Untersuchungen sein; gewiß ein ungeheuer umfassendes Forschungsgebiet. Man bedenke nur, daß hier weit in die Ferne führende Fragen hereinspielen: Nach welchen historischen Umständen ist z. B. die Entwaldung bis heute abgelaufen? Wie weit haben die nachweisbaren Klimaschwankungen von Jahrhundert-Ausmaßen dabei mitgespielt? Wie hat einst die Natur selber nach der Eiszeit die Wiederbewaldung der Alpenhänge zustande gebracht?

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Doch wollen wir unser engeres Arbeitsgebiet umschreiben, das leider noch immer umfassend genug ist. Räumlich haben wir es mit der subalpinen Stufe zu tun, die für unsere Zwecke am besten biologisch umgrenzt wird: nach oben, soweit Bäume oder wenigstens Baumkrüppel und Krummholz klimatisch noch möglich sind, nach unten, soweit der schon natürlicherweise etwas aufgelockerte Wald mit subalpinen Arten (Zirbe, Alpenrose u.a.) durchsetzt ist. Diese Grenzzone beiderseits der aktuellen Waldgrenze ist weit weniger erforscht als die darunter liegende montane, ja selbst als die darüber liegende alpine Stufe. Sie gilt es auf unsere Zielsetzung hin beherrschen zu lernen.

Wenn sich unsere Höhenlagen nur dadurch gegenüber den Umweltsverhältnissen tieferer land- und forstwirtschaftlicher Bereiche unterscheiden würden, daß sich etwa der normale Grünteppich, sowie das allgemeine Höhenklima und der dazugehörige Boden quantitativ langsam und stetig zu jenen der alpinen Stufe hin abwandeln, so wäre es kaum gerechtfertigt, etwa eine subalpine Forschungsstation kostspieliger Art aufzurichten. Es würde dann vielmehr für praktische Zwecke genügen, Angaben und Maßzahlen aus montanen Verhältnissen entsprechend der Höhenzunahme zu extrapolieren oder zwischen ihnen und alpinen Umständen zu interpolieren.

Allein, diese Vorgangsweise wäre unzulänglich. Sie könnte allenfalls bis zu einem gewissen Grade in Betracht kommen, solange man sich höher steigend durch den subalpinen Wald und seine Lükken bewegt.

Die Tatsachen werden aber sprunghaft anders, sobald man die tatsächliche, oft tief herabgedrückte Waldgrenze nach oben durchschreitet. Mit diesem Augenblick verändern sich alle entscheidenden Umweltseigenheiten in völlig neuartiger Weise, sodaß auch grundsätzlich andere Probleme aufgeworfen sind und Analogieschlüsse nach montanen Verhältnissen gröblich in die Irre führen müssen.

Dieses Neuartige, das sie mit montanen Verhältnissen kaum noch vergleichbar macht, liegt u.a. daran, daß plötzlich die kleinklimatische Differenzierung nicht nur mitwirkt, sondern entscheidend vor den großklimatischen Verhältnissen in den Vordergrund tritt, ja daß erstere selber bereits klimazonenartige Ausmaße erreicht. Ebendadurch sind auch Vegetation, Boden und Wirtschaft grundsätzlich umgeprägt. Wenn wir dergestalt wenig Schlüsse von den einfacheren, weil zeitlich gemäßigteren und räumlich ausgeglicheneren Verhältnissen tieferer Lagen auf die der subalpinen Stufe ziehen können, so ist es immerhin sehr wohl möglich, daß sich umgekehrt wertvolle Schlüsse für Wiederbegrünung, Wiederbewaldung, Bodenfestigung und Schneemassenausgleich von hier aus zu weniger hochgelegenem Bergland hin ziehen lassen.

Die Grundaufgabe unserer Forschung, die geeignetsten Mittel und Wege zu finden, wie man entwaldete Hochgebirgshänge wieder instandsetzen könne, handelt von lebendigen Wesen, nämlich den auf-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

zubringenden Holzarten samt ihren Symbionten und Antibionten im weiteren Sinne. Wir haben es also im wesentlichen mit einem biologischen Problem zu tun und zwar vorwiegend mit jener wichtigen Teildisziplin der Biologie, die sich mit dem Haushalt der Pflanze in Wechselwirkung zu ihrer besonderen Umwelt befaßt, also mit einer ökologischen Fragestellung. Nun ist das Kennzeichnende der subalpinen Stufe aber gerade, daß sich ihr Klima oberhalb der Waldgrenze soweit aufsplittert, daß man in Bodennähe nicht mehr von einer einheitlichen Klimazone sprechen kann. Je nach Relieflage haben wir Unterschiede der klimatischen Verhältnisse von klimazonalem Ausmaße. Darum können Verhältnisse an Standorten des subalpinen Waldlandes höchstens noch als Bezugs- und Vergleichslagen für entsprechende des subalpinen Freilandes, d.h. künftigen Aufforstungsgeländes, gelten.

Wer mit den Umständen in den möglichen Höchstlagen von Gehölzen nicht vertraut ist, könnte Obiges leicht noch mißverstehen. Er könnte meinen, daß hier bestimmte, in sich nach Richtung und Neigung einheitliche Reliefflächen auch einheitliche Umweltsverhältnisse trügen. Dem ist aber nicht so. Über solche, einzelne orographisch einheitliche Reliefflächen scharen sich und ziehen sich vielmehr eine Anzahl Kleinklimazonen größter Unterschiedlichkeit und dies außerdem je nach der Situierung im Gesamtrelief und in der Großklimaregion in ganz verschiedener Weise. Während sich nun aber in der Vegetation am Boden des Waldlandes vor allem höhenzonale, klimaregionale und wirtschaftliche Einflüsse anzeigen, spiegeln sich im subalpinen Freiland auch die besprochenen, verzwickten kleinklimatischen Umweltsverhältnisse gemäß ihrer lebensentscheidenden Bedeutung im Gelände sichtbar wider , ebenfalls vor allem in der Ausbildung der Vegetation und des Bodens. Darüber hinaus können wir ja auch über weite Strecken verfolgen, wie sehr verschieden sich darin der natürliche Jungwuchs verhält nach Holzartenmischung und Vitalität. Wo er fehlt, ist dasselbe an entsprechend verteilten Versuchspflanzungen verfolgbar.

Diese sichtbaren Umweltsauswirkungen in der natürlichen oder künstlichen Gründecke und in natürlichem oder künstlichem Holzaufwuchs müssen wir lernen in vollem ursächlichen, d.h. in ökologischem Zusammenhang zu sehen, sonst können wir für geländetechnische Zwecke nichts erreichen. Man könnte ohne solche Erkenntnisfortschritte keine brauchbaren Folgerungen aus Einzelergebnissen an den Praktiker weitergeben. Dazu ist aber eine dezidierte Feststellung zu treffen. Wir vermögen nach dem heutigen Stand ökologischer Vegetationskunde und nach unseren eigenen Beobachtungen zwar schon zu sagen, daß es für unsere Zwecke im Gelände an vielsagenden Indizien vor allem in der Vegetation durchaus nicht fehlen wird. Es wäre jedoch unrichtig zu glauben, unser heutiges Wissen, gerade betreffs der subalpinen Stufe reiche aus, die vorhandenen Geländeindizien schon genügend klar und sicher zu erfassen, auszulegen und zu verwerten. Dies ist der zweite Punkt,

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

nach welchem unser Grund- und Hauptanliegen ökologische Forschung sein muß. Es handelt sich ja nicht nur um lebendige Pflanzen, die wir hochbringen wollen, sondern auch um solche, aus denen wir unsere Schlüsse ziehen müssen. Ökologie muß uns ebenso zur praktischen Geländediagnose wie zur praktischen Geländetherapie die Mittel und Wege weisen.

Erst von der Feststellung, daß Ökologie unsere Haupt- und Grundwissenschaft sei, kann sich ein sachgemäßes und durchführbares Gesamtkonzept für die uns obliegende Forschungsarbeit ergeben, sodaß sie auf kürzestem Wege zu praktisch wichtigen Ergebnissen führt. Es handelt sich also um das Wechselspiel zwischen aufzubringenden Holzarten und ihrer subalpinen Umwelt. Ökologie ist Ganzheitsforschung schlechthin. Sie reicht damit mindestens theoretisch in alle Disziplinen hinein. Ein Arbeitsthema wie "Aufkommen von Gehölz im Bereiche seiner Existenzgrenze" greift daher mit der Untersuchung lebendiger Reaktionen in alle Fächer der Biologie, mit der Faktorengruppe Relief in Geographie und Geologie, mit den Wirkbereichen Boden und Schnee in die entsprechenden, wiederum umfassenden Forschungsdisziplinen, mit dem Faktorenbündel Klima in Meteorologie und Klimatologie, ja mit den Wirtschaftseinflüssen in Ökonomie, Geschichts- und Rechtswissenschaft. Damit ist zweierlei gesagt: erstens, daß eine solche Forschungsaufgabe bei der heutigen Spezialisierung nur von einem Forschungsteam bearbeitet werden kann, und zweitens, daß die Schwierigkeit gerade in der Frage besteht, welche Zusammenhänge jeweils gerade vernachlässigt werden dürfen. Es ist zu fordern, immer gerade dem Wesentlichsten nachzugehen.

Entsprechend schon der klassischen Einteilung ökologischer Einflüsse in klimatische, edaphische und biotische, würden wir Erscheinungen unseres Forschungsbereiches allzu leicht fehlbeurteilen, wenn wir nicht stets zugleich Relief und Klima, Boden und Vegetation einschließlich Wurzelpilzen und Schädlingspilzen und zusätzlich nützliche oder schädliche Tiere, sowie nützliche und schädliche Einwirkungen des wirtschaftenden Menschen im Auge behalten würden. In Hinsicht auf Pflanzen müssen physiologische und soziologische Gesichtspunkte gleichberechtigt sein und in Hinsicht auf das Klima sowohl jenes in bodennaher Luft als auch im oberflächennahen Untergrund sowie in der zeitweilig zwischenliegenden Schneedecke und in den sie trennenden Grenzflächen berücksichtigt werden.

Worin liegt nun das zusammenhaltende, ökologische Moment? Zunächst in der Tatsache, daß wir Standort und Vegetation als eine Ganzheit zu betrachten haben und zwischen ihnen stets eine Wechselwirkung besteht. Immer haben wir es mit bestimmten Primärwirkungen des Standortes auf die Pflanze und mit Sekundärwirkungen dieser auf den Standort zu tun. Beide sind in der Freilandforschung niemals voll voneinander trennbar. Doch ist es glücklicherweise so, daß auf einem und demselben Standort nur

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

eine beschränkte Zahl von Pflanzengesellschaften überhaupt möglich ist. Man kann also im Freiland nicht den reinen primären Standort an sich untersuchen, sondern man muß Standortstypen mit allen auf ihnen möglichen Vegetationstypen aufsuchen und untersuchen. Wir müssen somit den Standort mit der an ihm schon vorhandenen Vegetation auch der dort neu aufzubringenden und zu fördernden Holzart gegenüberstellen. In diesem Sinne müssen die beiden Gesichtspunkte subalpiner Standortskunde und subalpiner Holzartenkunde stets zugleich im Auge behalten werden.

Worin besteht nun das entscheidende gemeinsame Moment für unsere ökologische Forschungsaufgabe, subalpine Wiederaufforstungen wissenschaftlich zu fundieren? Es liegt für alle unsere Einzeldisziplinen darin, Raumverteilungsgesetze im Gelände, Methoden zur zweckmäßigen räumlichen Untergliederung der Gebirgshänge zu finden. Räumliche Variation entlang der Hangfläche muß hier vor Variationen in der Zeitdimension an Bedeutung gewinnen. Um diese flächenintensive Arbeitsrichtung in unserer Forschung zu betonen, sprechen wir für unseren Fall nicht einfach von Ökologie, sondern von Gelände-Ökographie. Sowohl unsere Sachbestandsaufnahmen, wie auch unsere Schlüsse daraus (nämlich die erforderlichen Maßnahmen in der Landschaft), sowohl die Standortsuntersuchungen wie die Holzartenerforschung müssen in den konzeptionellen Gesamtgesichtspunkt dieser Geländeökographie eingeordnet werden. Das gilt natürlich auch von den zwei Sonderunternehmungen unseres Forschungsteams, die sozusagen im Zentrum des Ganzen liegen: die Freilandstation und das Klimahaus.

Beobachtungen und Messungen im Freiland sind die methodischen Grundlagen aller ökologischen Forschung. Jedoch auch sie kann durch experimentelle Untersuchungen, die sich im Laboratorium abspielen, wesentliche Ergänzung finden. So wurde das Klimahaus, das für unsere Zielrichtung am Patscherkofel bei Innsbruck in Ausbau begriffen ist, als ökologisches Laboratorium konstruiert. Es unterliegt also ebenfalls den Forschungsprinzipien dieser Wissenschaft. Denn es soll die Reaktionen der subalpinen Holzarten auf klimatische Einflüsse insoferne klären helfen, als deren Analyse im Freiland teilweise ungleich schwieriger zu bewerkstelligen ist. Da es, wie schon am Beispiel der Wechselwirkung Standort/Bewuchs gezeigt, im Freiland unmöglich ist, die Wirkung eines Faktors unter sonst gleichen anderen Umständen zu studieren, sondern höchstens nur unter statistisch gemittelten, ist es wichtig, daß im Labor wenigstens annähernd nach dem analytischen Prinzip "ceteris paribus" vorgegangen werden kann. Nach diesem Gesichtspunkt konstruiert, soll es an den fraglichen Holzarten die physiologischen Symptome besseren und schlechteren Gedeihens unter künstlich hergestellten Klimaverhältnissen untersuchen.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Dazu ist vor allem notwendig, daß die Freilandsforschung die wesentlichen Klimatypen bodennaher Luftschichten anliefert. Diese sind beizubringen in ihrer vollen höhenzonalen und regionalen Abwandlung, besonders aber in ihrer gesamten kennzeichnenden und natürlichen Faktorenkombination. Das bedeutet nichts anderes, als daß die räumliche Korrelation zwischen diesen ihren Einzelfaktoren gegeben sein muß, so wie diese sich im Freiland vorfindet. Anderenfalls würde ja die Arbeit des Laboratoriums in uferlose Kombinatorik solcher Einzelfaktoren ausarten, also größtenteils mit meist gar nicht wirklich existierenden Kombinationen arbeiten. Einer der wichtigsten Gesichtspunkte, welcher die Arbeit des Labors noch weiter einengen kann, muß Größe und Häufigkeit der Hangflächen sein, welchen die verschiedenen natürlichen Klimate zugehören, sodaß man gewisse andere Faktorenkombinationen als wenig repräsentierte und einfach interpolierbare Übergänge betrachten und entsprechend zurückstellen kann. Nur in solcher Vorgangsweise vermag das Klimahaus zu helfen, die geeignetsten unter den Holzarten und ihren Spielarten gerade den richtig gekennzeichneten und vollwertig ausgegliederten Klimamodellen zuzuordnen. Fehlschlüsse, die aus einem Faktor gezogen werden könnten, weil er mit einem anderen, räumlich gar nicht zugehörigen kombiniert wurde, müssen unbedingt vermieden werden. Damit sind wir also wieder bei unserem ökographischen Grundkonzept: Aufgabe des Klimahauses hat Holzarten-Ökographie zu sein, welche genau auf die Geländeökographie der Freilandforschung zugeschnitten und in sie eingepaßt werden muß.

Dies zum Gesamtkonnex umweltsbestimmten Pflanzenhaushaltes. Mit der ökologischen Rahmensetzung für unsere Arbeit verbindet sich aber noch eine zweite: Unsere Forschung ist ihren besonderen lebendigen Objekten nach zugleich Forstwissenschaft. Mit dieser Feststellung ist zunächst nur gesagt, daß wir unsere Arbeit nicht um ihrer selbst willen, sondern immer einzig im Hinblick auf ihren Zweck hin betreiben, künftige Aufforstungen in unseren Bereichen zu erleichtern oder z. T. gar erst zu ermöglichen. Wir betätigen nicht Grundlagenforschung, sondern Zweckforschung, insoferne wir uns noch fehlende wissenschaftliche Grundlagen zu beschaffen nur bemühen, soweit sie der stets im Hintergrund stehenden großen praktischen Aufgabe dienen. Anderseits dürfen wir uns dabei auch nicht auf derart engsichtige Vorarbeiten beschränken, daß wir damit bloß Anfangserfolge ermöglichen, die dann jedoch nicht weiterführen können.

Der Begriff Forstwissenschaft muß in unserem Falle freilich in etwas erweitertem Sinne verstanden werden, als es für tiefere Lagen ausreicht. Im Grenzbereich des Baumwuchses sind rein technische Geländevorkehrungen mit forstlichen so enge verbunden zu sehen, daß man beide in den einzelnen Projekten i. allg. nicht ganz gesondert ins Auge fassen kann. Nur teilweise werden Aufforstun-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

gen allein zum Ziele führen. In anderen Fällen werden sogar ausschließlich technische Sicherungsmaßnahmen nötig sein. Häufig aber müssen sich beide gegenseitig bedingen. So ist es wohl berechtigt, sie in einer umfassenden subalpinen Methodik forstlich-technischer Geländeverbauung zusammenzuschauen. Damit ändert sich aber nichts an unserer ökologischen Forschungslinie. Denn beide Vorgangsarten müssen hier nach denselben Geländegesichtspunkten im Relief orientiert, nach Vegetationsverhältnissen differenziert und damit auf die ökologischen Gesamtverhältnisse abgestimmt sein.

Lebendige Reaktionen sind so verwickelte Prozesse, daß die Erforschung ihrer ökographischen Verteilungen schon gar ausreicht, die einfacheren nichtbiologischen Verhältnisse zu durchschauen. Wo zum Beispiel die Vegetation keine sichtbaren Unterschiede macht, braucht im allgemeinen auch der Praktiker keine unterschiedlichen Maßnahmen treffen. Man kann hier also sehr wohl von einem ökographischen Konzept aus nichtbiologische Geländetechniken beherrschen lernen, kaum aber umgekehrt von einem bloß physiographischen die biologischen. Geradeso, wie man wohl von den verwikkelten subalpinen Verhältnissen aus neue Rückschlüsse auf montane ziehen kann, nicht aber umgekehrt.

Wenn man die unvergleichlich radikale Standortaufgliederung im subalpinen Grenzbereich des Waldes und die danach aufs strengste zu unterscheidenden Startmaßnahmen für die Jungpflanzen in Rücksicht zieht, wenn man weiters das nötige Zusammenspiel mit der Geländetechnik im Auge behält, wenn man außerdem bedenkt, daß hier die forstwirtschaftliche Ertragskunde gänzlich anderen Gesichtspunkten zu weichen hat, nämlich dem Landschaftsschutz statt der Holzwirtschaft, so kann man wohl sagen: Wir haben einer besonderen, gänzlich neuartigen, zweckgerichteten, waldbaulichen Forschungssparte zu dienen, die erst im Entstehen begriffen ist: der Subalpin-Forstwissenschaft.

Das Wesentliche für ihren praktischen Ertrag aber ist, daß das ihr dienende Forschungskonzept richtig und ausreichend ist. In dieser Veröffentlichung ist vorläufig erst der Weg zu einem solchen dargestellt.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

I. Bericht über die bisherigen Untersuchungen

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

A. Ökologische Vegetationskunde

von H. Friedel

Den im Gelände bestandbildenden oder nur darin vorkommenden oder auch nicht vorkommenden Holzarten ist alles andere, was dort wächst, als Vegetation gegenüberzustellen. So verstanden stellt sie vor allem einen wesentlichen Anteil des Standortes unserer Holzarten dar.

In diesem Sinne kann Vegetationskunde notwendigerweise nichts anderes sein als eine (wenn auch noch so wichtige) Hilfswissenschaft unseres ökologischen Gesamtunternehmens. Da der Rahmen Ökologie definitionsgemäß unsere wissenschaftliche Aufgabe voll umgreift, wird die Vegetation auf diese Weise für uns in zweierlei Hinsicht bedeutsam:

1) als Anzeiger von Standorteigenheiten (Primärwirkungen) für unsere Holzarten,
2) als Ausüber von Sekundärwirkungen auf den Standort unserer Holzarten; beides also im Hinblick auf das Aufkommen und Gedeihen der für uns wesentlichen Baumarten.

Vegetationskunde ist nun aber ein umfangreiches Wissens- und Forschungsbereich. Für uns ist besonders wichtig jene Forschungsdisziplin, welche sich mit der räumlichen Untergliederung der Pflanzendecke der Erde in typushaft wiederkehrende Vegetationseinheiten befaßt, die "Sozio"- oder "Zönologie". Leider besteht gerade in dieser Hinsicht noch keinerlei Einheitlichkeit in der Begriffsbildung, was ohne Zweifel ein Zeichen einer gewissen Unfertigkeit dieser Wissenschaft ist. Während etwa die westliche Schule bei der Typusausgliederung von der vollen Artengarnitur ausgeht, gliedert die nordische Schule zunächst nach Dominanzen und Konstanzen von Arten. Wir werden uns angesichts unserer vordringlichen Sonderaufgabe möglichst wenig von solchen Auffassungsverschiedenheiten stören lassen und grundsätzlich das aufgreifen, was unseren ökologischen Zwecken, d.h. der Kennzeichnung der Geländeverhältnisse für die forstliche und technische Praxis dient, denn die außerordentliche ökologische Verschiedenheit der Hangteilflächen ist, wie schon betont, gerade die Hauptschwierigkeit in subalpinem Gelände.

Wir werden also unsere Hänge nach ihrem Bewuchs in Vegetationsflächen untergliedern oder, wenn sie vegetationsmäßig in sich einheitlich sind, sie als solche genügend kennzeichnen, wozu dem Praktiker möglichst leicht sichtbare, vielsagende und verläßliche Anzeichen für derartige Umweltsverhältnisse zu geben sind, aus deren Vielzahl er hinreichende Schlüsse für die forstliche und geländetechnische Praxis ziehen kann. Sollten aber die vegetativen Indizien nicht ausreichen, so werden wir uns nicht scheuen, auch

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

andere heranzuziehen, wie etwa Bodenfließwellen, Blockbestreuungen, Bodenprofile u. a.

Damit aber vorhandene Indizien brauchbar werden, muß man sie zuerst finden und kennenlernen. Denn unsere gegenwärtigen Kenntnisse der subalpinen Stufe reichen für solch hohe Anforderungen noch bei weitem nicht aus. Dies ist der Sinn unserer standortkundlichen Forschung. Wenn zugleich die holzartenkundliche entsprechende Fortschritte gemacht haben wird, kann es nicht mehr schwerfallen, beide so zueinander zu ordnen, daß forstliche und technische Maßnahmen im Gelände mit bestmöglichem Effekt durchgeführt werden können.

Um das erforderliche Wissen für unsere Standortkunde zu erlangen, müssen wir zwei gleichwertige Wege nebeneinander einschlagen:

1) Bereiche gewisser Umweltseigenheiten messend erkunden und dann zugehörige Vegetationsmerkmale suchen,
2) Bereiche gewisser Vegetationseigenheiten vornehmen und die für sie zutreffenden Umweltsverhältnisse erkunden.

Das einemal soll die Erkenntnis von der Umweltursache zur Vegetationsauswirkung, das anderemal umgekehrt von dieser zu jener vorstoßen. Beides läuft letzten Endes auf dasselbe hinaus, nämlich sichtbare Anzeichen und ihren Aussagewert richtig zusammenzustimmen. Das erfordert pflanzensoziologische Untersuchungen und flächenintensive klimatische Messungen. Beides möglichst so, daß sie in kartographischer Wiedergabe erscheinen, damit der Grad der Übereinstimmung in ihrer räumlichen Geländeverteilung deutlich werden kann. Eben dies haben wir als Ökographie bezeichnet und zur Achse unseres Forschungskonzeptes gemacht.

Hier ist die Frage, ob die vegetationskundliche Geländeaufnahme überhaupt für die Ökographie genügend Anhaltspunkte bieten kann. Denn solche Anhaltspunkte müssen ja in ein und demselben Gelände für alle Umweltfaktoren gefunden werden, welche für jede einzelne der subalpinen Holzarten lebens- und konkurrenzentscheidend werden können. Um diese Frage zu prüfen, müssen wir einige Grundbegriffe der Pflanzensoziologie näher in Betracht ziehen.

Die Vegetation hat sowohl ihre zufälligen Streuungen wie ihre gesetzmäßigen Ordnungen. Die Ordnungen unter Berücksichtigung ihrer Streuung geistig nachzuordnen ist Aufgabe der Vegetationskunde. An der Besiedlung eines Geländes ist nun aber eine Vielzahl von Arten beteiligt, die sich theoretisch in einer Unzahl von Kombinationen zusammenfinden können, von denen jedoch nur eine beschränkte Zahl möglich und eine noch kleinere tatsächlich vorzufinden ist. Unter diesen wiederum sind die gesetzmäßigen, typushaften von bloßen, randlichen Mischkombinationen zu trennen. Wenn wir nun den gesamten Pflanzenbestand eines Stückchens Erdoberfläche meinen, so haben wir eine Pflanzengesellschaft (eine Phytozönose). Wir können solche enger und weiter fassen, in verschiedenem Grade nach Ähnlichkeiten und Verschiedenheiten zu niederen und höheren Einheiten zusammenfassen und untergliedern. Wir können sie aber auch noch in anderer Weise als gerade entlang der Erdoberfläche in kleinere Einheiten aufteilen, so die Zusammensetzung der Vegetationsschichten (der Baum-, Strauch-, Feld- und Bodenschichte), die Kletterpflanzen und aufsitzenden Flechtenkombinationen an Bäumen, die Halb- und Ganzschmarotzer, ja überhaupt die verschiedenen Lebensformen als solche eigens zönologisch typushaft erfassen. So kommen wir zu Pflanzenvereinen (Synusien) verschiedenen Umfanges, welche sich in ihren Vorkommen verschieden scharf zu Pflanzengesellschaften korrelieren.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Wenn wir uns die Freiheit nehmen, uns für die subalpin-ökographische Aufgabe aller gegebenen Möglichkeiten nach ihrer jeweiligen Brauchbarkeit zu bedienen, ohne uns dabei auf die Vorgangsweise einer der vegetationskundlichen Schulen von vorneherein festzulegen, so ergibt sich die Möglichkeit, daß die Pflanzenbesiedlung in den allermeisten Fällen genügend Anhaltspunkte liefern wird, um diesen Zwecken zu genügen. Wenn z. B. in der subalpinen Stufe ein in die Augen springender, von Ampelopsis ambigua beherrschter Flechtenverein (Ampelopsetum) an Baumstämmen gerade so weit emporreicht wie die mittlere winterliche Schneehöhe, so werden wir dieses ökologische Indizium benutzen, gleichgültig ob man nun diese Synusie in die Waldassoziation einschließen oder sie als "abhängige Assoziation" abtrennen möchte.

Pflanzengesellschaften und -vereine ordnen sich zwar nach klimatisch-edaphischen Naturabstufungen im Gelände an und bilden danach kennzeichnende Zonationen. Die damit auszuarbeitenden ökologischen Verhaltensregeln für den Praktiker werden aber leider durch zwei Umstände in ihrer Einfachheit beeinträchtigt. Erstens überschneiden sich diese Zonationen weitgehend mit verschieden weit fortgeschrittener Vegetations- und Bodenentwicklung von Ödflächen bis zu ausgereiften und geschlossenen Pflanzengesellschaften, d.h. mit Sukzessionen. Zweitens gehen in diesem Rahmen auch Veränderungen der Grün- und Bodendecke durch die Bewirtschaftung vor sich, die vom Standpunkt des Naturgleichgewichtes immer, oft genug aber auch von dem des menschlichen Nutznießers aus, als Degradationen zu bezeichnen sind. Diese Gesichtspunkte müssen bei der ökologischen Auswertung von Vegetationsunterschieden im Auge behalten werden.

Wir haben festgestellt, daß für uns (abgesehen von den Holzarten) die Vegetation nur dazu dient, den Standort nach seinen primären Eigenschaften (plus seinen von dieser Vegetation selber herleitbaren sekundären), soweit alle diese für die Holzarten wichtig werden, zu kennzeichnen. Die so gegebenen Geländezeichen sollen möglichst sichtbar, sprechend und verläßlich sein. Von diesen Standortzeigern springen aber selbstverständlich jene Arten am meisten in die Augen, die nach Flächendeckung oder Individuenzahl am meisten hervorragen. Falls diese Dominanten auch scharfe und sichere Schlüsse über den Standort zulassen, müssen wir sie also besonders bevorzugen. Dies auch aus weiteren Gründen. In den subalpinen Vegetationstypen reiferer Böden sind die Dominanten meist so sehr vorherrschend, daß nahezu ausschließlich sie Sekundärwirkungen ausüben, daß sie mit anderen Worten die Eigenheiten des Sekundärstandortes fast allein bestimmen. Wir werden also die Pflanzendecke womöglich nach ihnen gliedern. Wir sollen weiters an den Praktiker keine größeren Ansprüche an floristischer Formenkenntnis stellen als unbedingt nötig ist. Nun gibt es aber eine Unzahl von Arten, welche typische Elemente der Vegetationseinheiten sind, darunter aber nur eine unvergleichlich viel kleinere Zahl, welche unter bestimmten Bedingungen als Dominanten auftreten. Soweit wir also mit Dominanzen auskommen, um den Standort genügend zu charakterisieren, müssen wir uns auch aus diesem Grunde auf sie beschränken. Weiters läßt sich die Grenzlinie, an der die größte Anzahl oder Deckung einer Pflanze

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
durch die einer anderen ersetzt wird, logischerweise stets eindeutig festlegen und über das Gelände hin in ihrem Verlaufe verfolgen. Also kann man sie auch kartographisch in ausreichendem Kartenmaßstab genügend genau aufzeichnen, worauf unsere vegetationskundliche Arbeit ja immer hinauslaufen muß. Von dem Vorhandensein oder Nichtvorhandensein anderer Arten oder gar von Kombinationen solcher läßt sich dies aber keineswegs behaupten. Darüberhinaus kann man für geschlossene subalpine Vegetation, soweit sie durch menschliche Einflüsse nicht zu sehr gestört ist, auch noch feststellen, daß die Dominanzgrenzen keineswegs etwa erst innerhalb einer breiten Zone stetigen Überganges von abnehmender Masse der einen Dominante und zunehmender Masse der anderen gesucht werden müßte. Die Dominanz springt vielmehr fast immer an einem sehr schmalen Übergangsstreifen plötzlich und unstetig um, so daß sie meist schon von weitem ins Auge fällt.

Die Ursache dafür, daß wir es gerade in geschlossener Vegetation und gerade von der Waldgrenze aufwärts vorwiegend mit solchen Scharfgrenzen zwischen den Dominanzbereichen (gegenüber sonstigen Schwachgrenzen) zu tun haben, ist leicht einzusehen. In geschlossener Vegetation konkurrieren sich die Pflanzen eng aneinander gerückt im Kampf um Raum, Licht und Nahrung. Die Dominanzgrenze liegt dann relativ genau an dem Schwellenwert-Punkte, wo im stetigen Gefälle der Umweltfaktoren die größere Konkurrenzkraft einer Dominante in die der anderen umschlägt. Daß gerade von der Waldgrenze aufwärts solche Verhältnisse gegeben sind, liegt daran, daß von hier ab aufwärts das Gefälle der Lebensfaktoren auf engstem Raum Unterschiede von klimazonenartigem Ausmaße erreicht. Damit ist zugleich auch schon gesagt, daß der ökologische Aussagewert dieser Grenzlinien über den Verlauf bestimmter Linien gleichen Schwellenwertes von Faktoren oder Faktorenkomplexen meist ein bedeutender sein muß. Zugleich ist übrigens mit diesen Dominanzbereichen und ihren leicht sichtbaren Grenzlinien auch das Vorhandensein einer bestimmten, die Dominanten begleitenden Artengarnitur - wenn auch in weit größerer Streuung für unsere Zwecke genügend sicher mitausgesagt.

Nun besteht aber die Vegetation (auch die Feldvegetation oberhalb der Wald- und Buschgrenze) gewöhnlich aus mehreren, gut voneinander abgehobenen Synusien, meist wenigstens einer der Feld- und einer der Bodenschichte, welch letztere im allgemeinen aus Flechten und Moosen besteht. Auch diese haben ihre eigenen Dominanten und Begleiter, wiederum mit leicht und weithin sichtbaren und scharf gezogenen Dominanzgrenzen zwischen ihnen.

Sie haben ebenso großen ökologischen Aussagewert wie die der Feldschichte oder anderer synusischer Vegetationsausgliederungen. Das bringt es mit sich, daß für den Praktiker auch die Kenntnis einer beschränkten Zahl von Moosen und Flechten notwendig wird.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Der Aussagegehalt dieser Zeigerpflanzen über den Standort ist nun aber sicherlich ein anderer als jener der Feldschicht. Das geht schon aus dem oft sehr verschiedenen Substrat und Medium dieser Synusien hervor. Es ergibt sich auch daraus, daß die Pflanzenkörper der Bodenschicht mit ober- und unterirdischen Teilen vertikal und horizontal eine ganz andere Reichweite haben als etwa die der Feld- und Strauchschichte. Außerdem ist ihrer körperlichen Struktur nach der Haushalt von Flechten, Moosen, von krautigen oder holzigen Sproßpflanzen ein so verschiedener, daß sie sich gewiß auch nach anderen Entscheidungsfaktoren im Gelände einordnen. Die verschiedenen Synusien und Schichten werden also ihre bald mehr, bald weniger unabhängigen Zonationen haben.

Wenn die verschiedenen Pflanzenvereine (Synusien), besonders die verschiedenen Vegetationsschichten, in ihrer Geländeverteilung miteinander räumlich kongruent wären, wäre es besonders leicht, die Vegetation entlang der Erdoberfläche in Vollgesellschaften (Phytozönosen) zu gliedern. In diesem Falle müßten jedoch zwei Schlüsse gezogen werden, deren einer sicher zuträfe: entweder wären dann die ökologischen Ansprüche der Teilvereine an die Umwelt alle voll übereinstimmend oder aber es wären die lebenswichtigen Faktoren alle räumlich so enge im Gelände korreliert, daß sie praktisch zusammenfallen. Wäre dagegen zwischen den Teilvereinen keinerlei Verteilungskonnex, so könnte umgekehrt zwischen den Ansprüchen oder aber zwischen den Faktoren keinerlei Flächenzusammenhang sein.

In Wirklichkeit liegen die Tatsachen auch in der subalpinen Stufe zwischen diesen fingierten Extremen. Also ist in jedem Falle durch die ökologische Forschung zu prüfen, wie weit die Standorteigenheiten räumlich auseinanderweichen und wie sehr die einzelnen Pflanzenvereine das anzeigen. Wir werden dadurch erstens zu wichtigsten Erkenntnissen über räumliche Korrelationsgesetze zwischen den Umweltsfaktoren, zweitens zu wichtigsten Ergebnissen über den ökologischen Zeigerwert der Pflanzenvereine und drittens damit zugleich zu einer für den Praktiker völlig hinreichenden Übersicht und Durchsicht hinsichtlich der Bedingungen des Aufkommens und Gedeihens der subalpinen Holzarten an den aufzuforstenden Hängen gelangen.

Freilich haben wir mit Vorstehendem in unserer Besprechung noch Tatsachenzusammenhänge vorausgesetzt, die zwar im Hauptteil der möglichen Aufforstungsbereiche, nicht aber für die ganze Weite der subalpinen Stufe volle Geltung besitzen: nämlich erstens eine einigermaßen geschlossene Gründecke oder doch einigermaßen gereifte Böden, so daß Zonationen mittels Vereinsdominanten dem Auge leicht sichtbar und damit auch leicht kartierbar werden, und zweitens Vegetationsverhältnisse, in denen der Mensch die Zonationsordnung nicht allzusehr durcheinander gebracht hat und in denen überhaupt Zonationen den Umweltabwandlungen einigermaßen nachkommen konnten. Letzteres bezieht sich auf Almgelände an Verebnungen, die ohnehin meist der Landwirtschaft vorbehalten bleiben müssen, aber auch auf Mähder an aufzuforstenden Steilhängen. Allein, auch in solchen Bereichen, wo die vorne besprochenen Voraussetzungen nicht gegeben sind, liegen die Dinge nur schwieriger, aber keineswegs etwa so, daß sie nicht zu bewältigen wären.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Der Zeigerwert von Dominanten der Vegetationssynusien kann manchmal zu Ähnliches, manchmal zu vielerlei besagen. Wenn die Umweltansprüche und Konkurrenzkräfte mehrerer Arten einander allzu nahe kommen, dann wird es nur vom Zufall abhängen (also innerhalb ihrer Streuungsbreite liegen), ob diese oder jene Art zur Vorherrschaft gelangt. Dies kommt bei der in der subalpinen Stufe sonst geringeren Zahl dominanzfähiger Arten hauptsächlich auf Neuland und sonstigen unreifen Böden vor. In solchen Fällen wird man eben zu Gruppendominanzen greifen. Wenn andererseits der Zeigerwert einer Dominante zu vielerlei umfaßt, dann wird man zu Subdominanten übergehen, notfalls zu weiteren Konstanten bis zur vollen Artengarnitur, womit freilich die räumliche Abgrenzbarkeit ökologischer Geländebereiche immer unschärfer wird.

Je offener eine Vegetation, desto weniger werden wir Scharfgrenzen vorfinden. Für manche Umwelteinflüsse ergeben sich überdies oft keine Anzeichen in der Artenzusammensetzung, sondern solche in der Dispersität, Vitalität und Wuchsform der Arten, also vegetationsphysiognomische Eigenschaften. Auch derartige Geländeanzeichen haben keine Scharfgrenzen. An diesen ist ja ein präziser Schwellwert meßbar, bei Schwachgrenzen kann man aber nur zwischen den Grenzen ungefähr ein Optimalbereich schätzen und darin einen Optimalwert des entsprechenden Entscheidungsfaktors oder -faktorenkomplexes zu finden und zu messen versuchen. Dieser wird aber seiner unscharfen Grundlagen wegen einen viel verschwommeneren Aussagewert besitzen. Wo trotz allem die Vegetationsmerkmale unwahrscheinlicherweise nicht hinreichen sollten, um genügend allseitige Kennzeichnungen zu ermöglichen, kann man immer noch auf nichtvegetative Eigenheiten zurückgreifen und allenfalls einige eng zu umgrenzende Testmessungen angeben.

Wenn wir auf solchem ökographischen Wege zu einer vollwertigen subalpinen Standortskunde vordringen, so sind in den Standortseigenheiten stets Sekundärwirkungen mit inbegriffen, die von der dortigen vorhandenen Vegetation selber auf ihren eigenen Standort ausgeübt werden. Es wäre ein allzu diffiziles, ziemlich überflüssiges und zeitvergeudendes Unterfangen, die Primär- und Sekundärwirkungen reinlich voneinander trennen zu wollen. Denn es widerspräche geradezu den Prinzipien der Freilandforschung, den Versuch zu machen, Standorte künstlich nach gewissen Gesichtspunkten säuberlich gleichmachen zu wollen. An einer bestimmten Standortsart, nämlich einer mit gewisser Lage im Relief, gewisser Bodenreife und Bergart, kommen nämlich ohnedies von Natur aus nur eine oder doch nur wenige Pflanzengesellschaften vor, die wir eben alle zu erforschen haben, für unsere Zwecke ergänzt durch besondere Studien über künstliche Pflanzloch-Wirkungen auf diesen Standorten.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Fast ebenso fragwürdig ist der Versuch, die subalpine Stufe scharf als Ganzes begrifflich zu definieren. Doch wollen wir die Sache wenigstens gedanklich ungefähr umreißen. Diese Höhenzone ist sicherlich nur botanisch richtig zu erfassen. Man wird zunächst von Kultureinflüssen absehen müssen. "Subalpin" umfaßt dem Wortsinn nach das, was nicht mehr typisch montan und noch nicht typisch alpin ist. Dann hat dieser Hochgebirgsgürtel ursprünglich und von Natur aus unterseits wohl dort begonnen, wo sich erste Anzeichen dessen bemerkbar gemacht haben, daß man sich dem Grenzbereich des Baumwuchses nähert. Die Untergrenze befand sich damals, zunächst rein physiognomisch gesprochen dort, wo das aufhörte, was man für solche menschenunbeeinflußte Zeiten im gewöhnlichen Sinn als vollausgeprägten Wald hätte bezeichnen müssen. Sie lag also wohl etwa dort, wo aus klimatischen Gründen (nicht etwa aus waldtypischen wie Generationsfolge etc.) das geschlossene Kronendach nicht mehr ganz durchgehend war. Die Obergrenze lag dort, wo aus klimatischen Ursachen höheres Gehölz aufhörte, sei es nun echter Baumwuchs oder Einzelvorkommen von Baumarten (also einschließlich Krüppelwuchs), sei es Krummholz (also Latschen und Grünerlen).

Nach Obigem wäre also die eigentliche subalpine Stufe der physiognomisch-klimatische Grenzgürtel des Waldes, in dem sich einst ein stetiger Übergang vom Vollwald bis zum Aufhören der Phanerophyten vollzog, wo also zwischen einer klimatischen Verlichtungsgrenze und einer klimatischen Gehölzgrenze irgendwo das aufhörte, was man gerade noch als richtigen Wald bezeichnen dürfte. Eine solche ursprüngliche Waldgrenze wäre also nicht abgehoben sichtbar, sondern höchstens statistisch ausmeßbar gegeben gewesen. Sie wäre etwa dorthin zu verlegen gewesen, wo Kronenschluß nur noch inselhaft vorkam. Im Vergleich mit dem Höhenbereich des ursprünglichen Vollwaldes vom Meeresniveau aufwärts war diese Grenzzone sicherlich sehr schmal, gewiß weit schmäler und auch höher gelegen als das, was man heute als subalpine Verhältnisse bezeichnen möchte. Die klimatische Verlichtungs-, Wald- und Baumgrenze lag sicherlich je nach regionalen Klimaverhältnissen verschieden hoch. Diese Grenzlinien folgten außerdem gewiß ebenso der orographischen Massenerhebung und besonders die obere Grenze der subalpinen Stufe auch den kleinklimatischen Verschiedenheiten im Relief. Ist es schon schwierig genug, die oberen beiden zu rekonstruieren, so schon gar die ursprüngliche Untergrenze der subalpinen Stufe. Für sie wird man sich praktisch an die heutigen Zustände halten müssen.

Phytozönotisch gesehen ist die rein vom Klima her begründete subalpine Stufe als ein Vegetationsgürtel zu bezeichnen, in dem die Entwicklung der Pflanzendecke theoretisch zu gewissen (ursprünglich und auch heute teilweise schon erreichten) Klimax-Zuständen tendiert, welche sich von unten nach oben stetig abändern und auch regional variieren. Sie ist als Vegetationsgürtel aber auch zu kennzeichnen durch das Vorkommen spezifischer Artenkombinationen, also wohl außer durch Wald- und Krummholzvegetation auch durch das Vorkommen spezifischer Varianten, etwa der Fels-, Schutt- und Naßfluren.

Für uns ist jedoch eine genauere Bestimmung dieser drei Grenzlinien keine besonders dringliche Aufgabe. Wir werden ja froh sein müssen, wenn sich einmal die nötigen Aufforstungen den klimatischen Obergrenzen auch nur genügend annähern können und wir müssen außerdem unsere Forschungsarbeit aus Gründen der Praxis ja doch so weit nach unten erstrecken, als die Entwaldung von oben heruntergreift. Eine wesentlichere Aufgabe ist es, für den Wald subalpiner Zustände eine Waldtypenkunde zu entwickeln, welche auch den hier ganz anderen ertragsmäßigen Gesichtspunkten angepaßt ist. Unsere Hauptprobleme sind jedoch die des Entwaldungsbereiches oberhalb der heute meist ziemlich scharf geschnittenen, herabgedrückten Waldgrenze.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

B. Die Vegetationskartierung im Rahmen der Wiederbewaldungsprobleme der subalpinen Stufe

von H. M. Schiechtl

Inhalt

		Seite
I.	Ziele und Zweck der Vegetationskartierung im Rahmen der Wiederbewaldung der subalpinen Stufe	23
II.	Die Vegetationskartographie in Tirol . .	24
	A. Vegetationskarten in Tirol bis 1950	24
	B. Vegetationskartierung der Forschungsstelle für Lawinenvorbeugung	25
	1. Vegetationskarte von Tirol 1 25.000 und 1 : 100.000 . .	26
	2. Spezialkartierungen. . . .	28
III.	Auswertung von Vegetationskarten	30
Literaturverzeichnis		30

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

I. Ziele und Zweck der Vegetationskartierung im Rahmen der Wiederbewaldung der subalpinen Stufe

Treffen wir für unsere Zielsetzung zuerst zwei grundsätzliche Überlegungen:

1) wenn bestimmte Pflanzengesellschaften an bestimmte Umweltsbedingungen gebunden sind, so sagt das Vorhandensein einer solchen Gesellschaft auf einer anderen Fläche aus, daß dort ebenfalls diese bestimmten Umweltsbedingungen vorhanden sind (gleiche Vorgeschichte vorausgesetzt). Die Vegetation ist also zur Standortskennzeichnung brauchbar, worauf längst von zahlreichen Autoren hingewiesen wurde.
2) Wenn sich in den verschiedenen Pflanzengesellschaften des Unterwuchses ein verschiedenes Verhalten der dort aufkommenden Holzarten nachweisen läßt (Vordringen oder Rückzug, Quantität und Qualität Zuwachsleistung derselben), so läßt sich annehmen, daß dieses Verhalten auf einer anderen Fläche ebenso eintreten würde, soferne diese durch dieselbe Vegetation gekennzeichnet ist. Daraus folgert die Brauchbarkeit der Vegetationskartierung sowohl für die graphische Darstellung der Standortsverhältnisse (wobei andere Wissenszweige die Art und Größe der Entscheidungsfaktoren zu erforschen haben), als auch für die praktische Ausführung der Aufforstungsmaßnahmen als Projektsunterlage.

Darüber hinaus muß uns die Vegetationskartierung eine Quelle für eine Fülle dringend erforderlicher Informationen sein, welche wir auf keinem anderen Wege gleich rasch und gleich billig erhalten können. Dies betrifft Tatsachen allgemeiner, aber auch sehr spezieller Art, deren beide einander immer wieder zu ergänzen oder zu versichern mögen. Vorläufig nicht zu verwerten ist der dokumentarische Wert der Vegetationskarten, der nach einem Vergleich durch Neuaufnahme zu einem späteren Zeitpunkt Tatsachenmaterial über die Änderung der Vegetationsdecke und deren Ursachen ergeben wird. Einige Fragen, die Dynamik der Vegetationsentwicklung betreffend, lassen sich auch schon sofort und ohne spätere Vergleichsaufnahme klären, wenn sich das Alter der betreffenden Pflanzenarten messen läßt. Dies ist z.B. bei der Frage nach dem Ausmaß von Vordringen oder Rückzug der Gehölze der Fall.

Ebenso erwarten wir, sowohl großräumig (Zentralalpen Nordtirols) als auch detailliert (innerhalb eines Hanges der subalpinen Region), Auskunft zu erhalten über eine Anzahl offener Fragen, deren wichtigste folgend skizziert seien:

1) Verlauf der subalpinen Stufe in den Zentralalpen Tirols, aktuelle und mögliche Wald- und Baumgrenze. Daraus folgern

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Karten über die mögliche Waldgrenze und die Höhenstufen.

2) Genaue Verbreitung von Zirbe, Lärche, Spirke, Fichte und Engadiner Kiefer in der subalpinen Stufe Tirols, woraus Arealkarten dieser Holzarten entstehen werden. Mit der Zeichnung dieser Arealkarten ist es allerdings nicht getan; viel wichtiger ist ihre Auswertung, die Analyse ihrer inneren Struktur, also eine Ursachenforschung.
3) Lage und Ausmaß des Wald- und Flurverlustes und -verfalles. Die Darstellungsform werden Wald- und Flurverlustkarten und Degradationskarten sein.
4) Günstige Lage für Sonderunternehmungen wie etwa die Anlage von Versuchsfeldern der verschiedenen anderen Wissenszweige. Dafür entsprechen gerade Vegetationskarten in ganz besonderem Maße und weitaus besser als Klimakarten, weil die Vegetation eben die Summe aller Standortseinflüsse widerspiegelt. Genaue Wuchsgebiete können differenziert werden.
5) Mengenanteil der verschiedenen Pflanzengesellschaften in den einzelnen Wuchsgebieten. Daraus ergibt sich besonders die Wichtigkeit der einzelnen Pflanzengesellschaften für die Wiederbewaldung in der subalpinen Stufe und damit eine Reihenfolge für ihre weitere Erforschung. Eine ganz wesentliche Unterlage bilden solche Mengenanteile der Pflanzengesellschaften für geplante Abflußuntersuchungen in Wildbacheinzugsgebieten.

II. Die Vegetationskartographie in Tirol

A. Vegetationskarten in Tirol bis 1950

Vor Beginn der eigenen Kartierungsarbeiten war das bis dahin vorhandene Material an Vegetationskarten zu sichten.

Vor 1930 gab es in Tirol keine einzige Vegetationskarte; lediglich UNGER 1836 untersuchte in seinem bahnbrechenden Werk über die Kitzbühler Alpen an Hand einer Karte 1 90.000, von Profilen und einigen Klimadaten die Abhängigkeit der Verbreitung vieler Pflanzenarten von der Gesteinsbeschaffenheit. Ein halbes Jahrhundert später erschien KERNERs Pflanzenleben der Donauländer (1884 1887) mit einer farbigen Florenkarte 1 2,5 Mill. und wiederum fast ein halbes Jahrhundert später FIGALAs Karte der Zirbenverbreitung in Nordtirol 1 250.000 (1927) und die ersten Arbeiten TSCHERMAKs (1929) über die Verbreitung der wichtigsten Holzarten in Österreich, die als Punktkarten 1 1,5 Mill. auf topographischen Unterlagen ohne Schichtlinien gedruckt wurden.

Dagegen hatte SENDTNER bereits 1854 eine Vegetationskarte der Filze bei Rosenheim publiziert, welche nach SCHMITHÜSEN (1957) mit der Darstellung der "Verbreitung des Sphagnetums mit Pinus pumilio die älteste Kartierung einer Pflanzengesellschaft auf deutschem Boden sein dürfte". In der westlichen Nachbarschaft Tirols lagen bereits Vegetationskarten von einem Viertel der Schweizer Alpen auf Grund der Arbeiten BRAUN-BLANQUETs und seiner Mitarbeiter vor, als endlich auch in Tirol, zunächst im Süden des Landes, der Anfang mit einer Waldkarte 1 60.000 des Langentales in Gröden durch BOJKO 1930 gemacht wurde. Ihr folgten als erste farbige Vegetationskarte 1 25.000 die des Isartales im Karwendelgebirge von

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

VARESCHI 1931

Während die in den folgenden Jahren von GAMS und SCHMID im Maßstabe 1 25.000 aufgenommenen Blätter von ganz Vorarlberg leider nur sehr verkleinert und schematisiert (1 300.000) abgedruckt wurden (1931), erschien 1933 (1935, 1936) von GAMS eine vorbildliche Vegetationskarte des Großglocknergebietes 1 25.000, die sich mit ihren 44 Unterscheidungen im Farbdruck würdig an die Seite der bis dahin schon zahlreich vorhandenen geologischen Karten stellen konnte und ein Vorbild für weitere derart genaue Vegetationskarten hätte sein können. Leider aber sollte es bis zum Ende des zweiten Weltkrieges dauern, bis ähnliche Vorhaben verwirklicht werden konnten. In der Zwischenzeit entstanden zwar mehrere schematisierte Florenkarten (SCHARFETTER und SLANAR 1932 "Ostalpen" 1 5 Mill. farbig und schwarz; SCHARFETTER 1935 "Dolomiten" schwarz 1 555.000 und Arealkarten von Fichte, Lärche, Buche und Zirbe von TSCHERMAK L. 1935a, b, SCHARFETTER 1935, 1937, 1938 und GAMS H. 1937), die schon wegen ihres Maßstabes von beschränktem Wert für das kleinflächige, aber hoch differenzierte Gebirgsland Tirol sein mußten.

Die 1954 von H. HUFNAGL aufgenommene Waldtypenkarte im Bereiche der Forstverwaltung Hopfgarten/Brixental und die Vegetationskarten des Tannheimertales von F. FALGER 1949, beide mehrfarbig 1 25.000 und 1 50.000, blieben infolge der zeitbedingten Erschwernisse ungedruckt. Dagegen konnte die bisher genaueste kartographische Darstellung im Hochgebirge und zwar die farbige Karte der Pasterzenumgebung von H. FRIEDEL 1956, die allerdings schon zur Gänze auf Kärntner Gebiet liegt, im Maßstab 1 : 5.000 und mit 62 Unterscheidungen gedruckt werden.

1950/51 nahm I. THIMM eine Karte des Meliorationsgebietes im Tannheimertal als Unterlage für ein Entwässerungsprojekt 1 2.880 mit 25 farbigen Unterscheidungen auf; leider konnte sie nur in einer französischen Übersetzung und im Schwarzdruck, auf 1 9.700 verkleinert und auf 13 Unterscheidungen reduziert abgedruckt werden. Die zweite größere Vegetationskarte von I. THIMM 1950/53 ist eine solche des Rofangebietes 1 : 10.000, die wenn auch gegenüber dem Original vereinfacht doch wenigstens farbig und mit 27 Unterscheidungen gedruckt worden ist. Seit Ende des 2. Weltkrieges wurden von mehreren Teilgebieten des Landes durch H. WAGNER und H. LAUBER Vegetationskarten aufgenommen (meist im Katastermaßstab 1 2.880), welche Bonitierungs- und Meliorierungszwecken zu dienen hatten.

Alle später erschienenen Vegetationskarten aus Tirol mußten sich aus finanziellen Gründen auf Schwarzdrucke ungenauer Kartenunterlagen beschränken (GAMS H. 1951, 1957 b, 1959) oder einen Maßstab benützen, der eine für Tirol interessante Auswertung nicht zuließ (WAGNER H. 1956).

Das zur Verfügung stehende wissenschaftliche Material auf dem Gebiete der kartierenden Geobotanik ist also bis heute in Tirol gering und nicht vergleichbar mit dem der Nachbarländer, etwa der Schweiz, Deutschland oder Skandinavien, ja sogar dem nordasiatischer und nordamerikanischer Länder. Dies verwundert umso mehr, als gerade das Tiroler Kernstück der Alpen ein besonders geeignetes Studienobjekt ist und als solches auf anderen Wissensgebieten auch stets benützt wurde.

B. Vegetationskartierung der Forschungsstelle für Lawinenvorbeugung

Die vorliegenden Zwecke erforderten natürlich in erster Linie eine großräumige Kartierung, welche Notwendigkeit ja auch in anderen Ländern längst erkannt wurde

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

(Schweiz: SCHMID E. 1943/50, 1:200.000, Sowjetunion: LAVRENKO E.M. und Mitarbeiter 1954 1 1 Mill. und 1 4 Mill. Frankreich: GAUSSEN 1926, 1945 u.a. Sie muß für die Generalplanung der vielen, detaillierten geobotanischen, in unserem Falle ökographischen Arbeiten dienen. Diese abgeleiteten, Einzelproblemen nachgehenden Kartierungen bedienen sich je nach Zweck eines viel kleineren Maßstabes (von 1 10.000 bis 1 5000) und müssen immer wieder auf die Großraumkarten zurückgreifen.

1. Vegetationskarte von Tirol 1 25.000 und 1 100.000

Wir haben mit einer großräumigen Vegetationskartierung von Nord- und Osttirol so frühzeitig begonnen, daß bereits 1953 die Größe der Waldverlustflächen (ca. 50.000 ha) angeschätzt werden und die Auswahl der einzurichtenden Freilandstationen danach getroffen werden konnten.

Leider stand kein einheitliches Kartenmaterial der wünschenswerten Genauigkeit zur Verfügung. Noch das beste liegt im Maßstab 1 25.000 vor in Form der neuen Österreichischen Landesaufnahme, die jedoch noch nicht abgeschlossen ist.

Gerade im Hochgebirge konnten aber die dort sehr mangelhaften Blätter der alten Landesaufnahme (Meßtischblätter) durch die für Kartierungen im Gebirge hervorragend geeigneten Alpenvereinskarten ersetzt werden.

Die beste Kartierungsmethode für solche Großräume ist diejenige, welche die meisten Möglichkeiten für eine Auswertung der Karten bietet. Kartierungsmethoden, wie etwa die für ihre Zwekke sehr wertvollen Waldkartierungen (HUFNAGL 1945, TÜXEN 1956, ECKMÜLLNER und SCHWARZ 1954, SEIBERT 1955, SCHIECHTL 1954 u.a.), Grünlandkartierungen (KRAUSE 1958, TÜXEN-PREISING 1951), Wasserstufenkartierungen (MEISEL K. 1954, BITTMANN 1958 u.a.) oder floristische Methoden sind hier zu einseitig und können meist nur einem bestimmten Zweck dienen. (KÜCHLER 1956, GAMS 1957a).

Unsere Vegetationskartierung Tirols beschränkt sich also nicht allein auf die Feststellung von Höhenstufen oder die Kartierung des Waldes (Österr. Waldstandsaufnahme), sondern ist eine Kartierung der aktuellen Vegetation vom Talboden bis in die Nivalstufe, selbstverständlich unter Berücksichtigung von Verteilung und Zusammensetzung der Gehölze. Es wurden damit alle ins Auge springenden Vegetationsunterschiede aufgenommen, gleichgültig ob die Verteilungsgesetze natürlich oder (durch den Menschen) gestört sind. Aus den Verhältnissen in tieferen oder höheren Lagen können sehr häufig erst exakte Schlüsse auf die subalpine Ökologie gezogen werden. Karten der Höhen- oder Waldstufen oder der potentiellen natürlichen Vegetation (TÜXEN R. 1956) könnten aus unserer Aufnahme unschwer nach einigen ergänzenden Erkundungen gezeichnet werden.

Nachdem in den ersten Arbeitsjahren mit zwölf Hochschulstudenten der Universität Innsbruck Feldaufnahmen durchgeführt worden waren, beschränkte sich diese Geländearbeit ab 1955 auf die Person des Verfassers, wodurch eine größere Einheitlichkeit ge-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

währleistet ist. Bis 1.1.1960 liegen von einer 10.500 km^2 großen Fläche Tirols fertige Feldaufnahmen 1 25.000 vor (ganz Nord- und Osttirol = ca. 12.650 km^2 lt. Kartenplanimetrierung). Etwa die Hälfte dieser Fläche wurde inzwischen bereits (unter Leitung von Dr.H. FRIEDEL) reingezeichnet und mit farbige Tusche handkoloriert (siehe Abb. 1).

Im Gegensatz zu den zahlreichen bereits gedruckt vorliegenden geologischen Karten, deren Wert viel früher erkannt worden ist, war es bisher aus finanziellen Gründen nicht möglich, an die Veröffentlichung dieser wertvollen Unikate zu denken. Aus diesem Grunde seien hier die wichtigsten Unterscheidungen der 12-farbig gezeichneten Feldaufnahmen angeführt:

Flächendarstellungen, in Farben:

1.) Niedermoore (Cariceta, Phragmiteta) blau;
2.) Hochmoore, violett;
3.) Auen (Alneta, Saliceta), grau;
4.) Wiesen und Weideflächen,
5.) Äcker, Gärten, Parks,
6.) Alpine Grasheiden,
7.) Lärchenwiesen, alle in verschiedenen Gelbtönen;
8.) Eichen Linden Reliktwald, zinnoberrot;
9.) Kiefernwald (Pinetum silvestris), hellbraun;
10.) Spirkenbestand (Pinetum uncinatae), mittelbraun;
11.) Buchenwald (Fagetum),
12.) Buchen Tannen Mischwald (mind. 20 % Tannen), beide lichtgrün;
13.) reiner Fichtenbestand,
14.) Fichten Lärchen Mischwald,
15.) Fichten Tannen Mischwald, mittelgrün;
16.) Zirben Lärchenwald, Zirbe dominant,
17.) Zirben Lärchenwald, Lärche dominant; beide dunkelgrün mit verschiedenem Aufdruck;
18.) Legföhren Krummholz, dunkelbraun;
19.) Grünerlen Krummholz, olivgrün;
20.) untere und
21.) obere alpine Zwergstrauchheide, dunkelrot.

Für die Wahl der Farbe ist die dominante Holzart entscheidend. In den Feldaufnahmen werden die wesentlichen Grenzen zwischen anders zusammengesetzten Beständen ausgeschieden und neben den farbgebenden Dominanten auch die beigemischten Baumarten nach Menge gereiht. Hiefür stehen außer den Farben noch 30 der in internationalem Gebrauch befindlichen Signaturen zur Verfügung. Die Reinbestände sind als solche gekennzeichnet. Die Baumgrenze wird im Gelände dort durchgehend gezeichnet, wo tatsächlich Einzelbäume vorhanden sind, ansonsten punktiert.

Nach vorhergegangenen probeweisen Umzeichnungen durch Dr. H. FRIEDEL wurde mit der Generalisierung der vorliegenden Feldaufnahmen (1 : 25.000) auf den Maßstab 1 100.000 begonnen.

Dieser Maßstab hat neben der erleichterten Auswertbarkeit den Vorteil, daß einheitliche Karten fast des ganzen Bundesgebietes vorliegen, welche von der Kartographischen Anstalt FREYTAG - BERNDT und ARTARIA mit einem Schichtlinienabstand von 100 Metern hergestellt wurden. Zunächst wird an dem Blatt 15 "Zillertal" gearbeitet, das zu ca. 40 % (960 km^2) reingezeichnet vorliegt (siehe Abb. 1).

Diese Vegetationskarte 1 100.000 besitzt natürlich nicht al-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
lein für die vorliegenden Forschungsziele, sondern auch für viele andere Zweige der Landwirtschaft, (ja als taktische Kartenunterlage auch für die Landesverteidigung), einen großen Wert, zumal für den Druck eine nur maßstabbedingte, aber nicht inhaltliche Vereinfachung vorgesehen ist. Das heißt, daß im wesentlichen dieselben Pflanzenbestands-Unterscheidungen wie bei den Karten 1 25.000 verwendet werden.

Der Zusammendruck der vorliegenden Feldaufnahme von ganz Nord- und Osttirol auf etwa 3 4 große Blätter 1 100.000 wäre für viele Zweige der Wissenschaft und Wirtschaft von größtem Wert und nicht nur von unserer zweckgebundenen wissenschaftlichen Arbeitsgruppe weiter zu verfolgen.

2. Spezial Kartierungen

Dienen die bisher genannten Kartierungsverfahren und -maßstäbe vorwiegend der Erforschung der Holzartenverbreitung, so bleibt als zweiter großer Fragenkomplex derjenige des Standortes dieser Holzarten außerhalb des heutigen Waldgebietes offen. Regional beschränkt sich dieser Fragenkomplex für uns auf die subalpine Stufe.

Die Spezialkartierung wird vor allem dort einzusetzen sein, wo es notwendig ist, die Lage und Größe der von verschiedenen Pflanzengesellschaften bedeckten Flächen zu erheben. Daß sich durch die graphische Darstellung von selbst Gesetzmäßigkeiten der Gesellschaftsverteilung erkennen lassen, ist naheliegend und jedem Kartierer bekannt.

Es ist nicht notwendig, große zusammenhängende Gebiete, sondern nur einzelne, aber besonders kennzeichnende Teilflächen aufzunehmen, dafür ist die Güte der topographischen Unterlage von großer Bedeutung. Deshalb kommen dafür nur kleine Maßstäbe (1 500 bis 1 5.000), vor allem die schon vorhandenen Luftbildauswertungen in Betracht, die von der photogrammetrischen Abteilung der Tiroler Landesregierung für die einzelnen Gebietsbauleitungen der Wildbach- und Lawinenverbauung größtenteils im Katastermaßstab (1 2.880) hergestellt wurden.

Bisher liegen außer probeweisen Spezialkartierungen, welche der Frage der geeignetsten Kartierungsmethodik dienten, die bereits mehrmals publizierte, (allerdings durch Übertragung in Schwarzdruck und Verkleinerung stark vereinfachte) Vegetationskarte 1 1.000 des Stationsgebietes in Obergurgl/Poschach von H. FRIEDEL (AULITZKY H. 1958, GAMS H. 1956, GAMS H. 1957a) und eine noch nicht veröffentlichte Vegetationskarte des Osthanges ober Poschach bei Obergurgl von SCHIECHTL - FRIEDEL aus dem Jahre 1957 vor. Beide dienten vor allem einer Übersicht über die Verteilungsgesetze von Vegetation, Schnee und Boden, womit sie die erste Grundlage zu der in der vorliegenden Veröffentlichung abgedruckten Arbeit von FRIEDEL über die "Schneedeckenandauer und Vegetationsverteilung im Gelände" wurden. Weitere Spezialkartierungen sind in Vorbereitung.

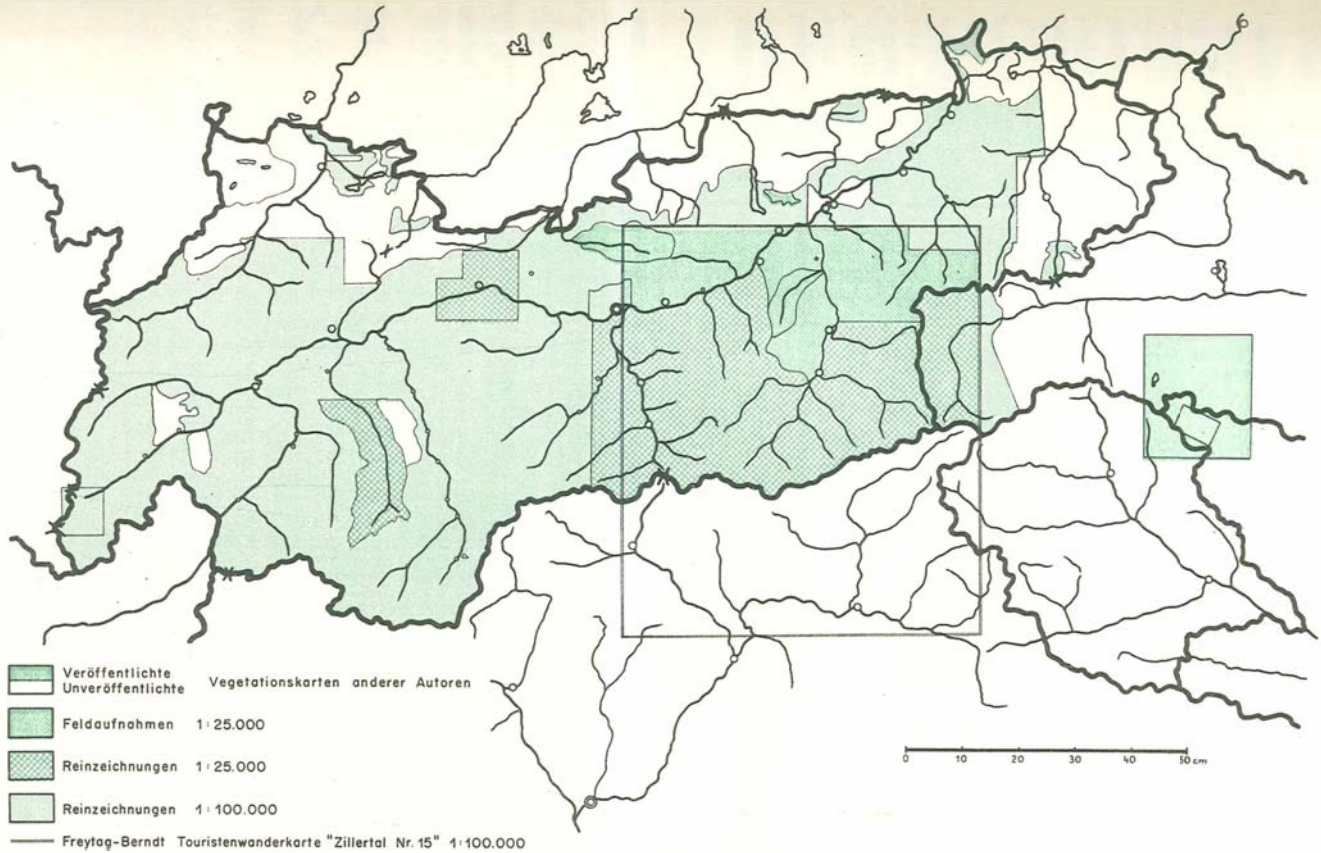


Abb. 1: Stand der Vegetationskartierung in Nord- und Osttirol (1. Jänner 1960)

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

III. Auswertung von Vegetationskarten

Wie schon vorne erwähnt, gibt es zwar zahlreiche Vegetationskarten über engere und weitere Teilgebiete der Alpen in größerem und kleinerem Maßstabe, aber eine messende Auswertung der in ihnen steckenden Vielfalt von Einzeltatsachen und damit systematische Erfassung der Gesetzmäßigkeiten ihrer Verteilung fehlt fast noch völlig. Hiezu sind noch nicht einmal die zweckentsprechenden Methoden entwickelt. Man wird hier grundsätzlich hypsometrische, planimetrische und longimetrische Messungen, sowie statistische und graphische Auswerteverfahren zu unterscheiden haben. Da mit der topographischen Kartengrundlage jeweils das Relief, in der Vegetationsaufnahme selbst auch weitgehend die Bewirtschaftungsart mitgegeben ist, dazu aber über Bergart und Regionalklima ebenfalls entsprechende kartenmäßige Wiedergaben vorliegen, ergeben sich bereits wesentliche ökographische Auswertungsrichtungen. Immer ist ja die Beziehung von Vegetation zu Relief, Klima, Unterlage und Wirtschaft zu untersuchen, immer dabei für unsere Zwecke die Holzart dem Standorte (hier einschließlich Vegetation im engeren Sinne) gegenüberzustellen. Sowohl weitere Ausarbeitung wie auch richtige Auswertung müssen deshalb zugleich der Standortskunde wie der Holzartkunde dienen.

Literatur

AULITZKY H. 1958: Waldbaulich-ökologische Fragen an der Waldgrenze. Centralblatt f. d. ges. Forstwesen, Wien. H. 1. 75.

BITTMANN E. 1958: Biologischer Wasserbau und Vegetationskartierung. Hilfe durch Grün H. 6.

BOJKO H. 1931: Der Wald im Langental (Val lungo). Englers Bot. Jahrbuch LXIV.

ECKMÜLLNER O. und SCHWARZ G. 1954: Die Waldstufen in der Steiermark. Angewandte Pflanzensoziologie, Aichinger Festschrift, Band II.

FALGER F. 1949: Flora und Vegetation des Tannheimertales. Unveröff.

FIGALA H. 1927: Studien über die Nordtiroler Zirbe. Diss. Hochschule für Bodenkultur. Karte der Zirbenverbreitung 1 250.000.

FREYTAG-BERNDT und ARTARIA: Touristenwanderkarte. Wien.

FRIEDEL H. 1956: Die alpine Vegetation des obersten Mölltales (Hohe Tauern). Erläuterung zur Vegetationskarte der Umgebung der Pasterze (Großglockner). Wagner/Innsbruck. 1 5.000.

GAMS H. 1931: Die Pflanzendecke Vorarlbergs. Heimatkunde von Vorarlberg. 3. Wien.

GAMS H. 1933: Vegetationskarte der Glocknergruppe. Herausgeg. vom DuÖAV.

GAMS H. 1935: Das Pflanzenleben des Großglocknergebietes. Kurze Erläuterung

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

der Vegetationskarte. Zeitschr. d. DÖAV.

GAMS H. 1936: Die Vegetation des Großglocknergebietes, Beitr. z. pflanzengeograph. Karte Österreichs. Abh. Zool. Bot. Ges. Wien. Bd. XVI H. 2.

GAMS H. 1937: Aus der Geschichte der Reliktföhrenwälder. Zeitschr. d. DuÖAV.

GAMS H. 1950: Neue Vegetationskarten aus den Ostalpen. 7. Intern. Bot. L. Sect. Phytogeogr. Stockholm.

GAMS H. 1951: Baumgrenzen im Karwendel bei Schwaz. Schlernschriften, H. 85, Schwazer Buch.

GAMS H. 1956: Exkursionsführer für die XI. Internationale pflanzengeographische Exkursion durch die Ostalpen. Angew. Pflanzensoziologie. Wien.

GAMS H. 1957a: Fortschritte der Vegetationskartierung in den Ostalpen. Jahrb. d. Vereins z. Schutze d. Alpenpflanzen und -tiere.

GAMS H. 1957b: Das Pflanzenleben des Wattentales. Schlernschriften, Wattener Buch.

GAMS H. 1957c: Systematische und genetische Pflanzengeographie. Fortschritte der Botanik. 19. Bd., Ber. über das Jahr 1956.

GAMS H. 1959: Der bayrisch-tirolische Alpensaum in pflanzengeographischer Beleuchtung. De natura tiroliensi. Prenn-Festschrift. Innsbruck.

GAUSSEN H. 1926: Carte des Essences Forestrieres de la Moitié orientale des Pyrénées. 1 100.000. Toulouse.

GAUSSEN H. 1945: Atlas de France. Tapis Végétale. 1 1 Mill.

HUFNAGL H. 1945: Vegetationskundliche und waldbaudiagnostische Bearbeitung des Forstamtsbezirkes Hopfgarten in Tirol. Unveröffent.

KERNER v. MARILAUN 1887: Das Pflanzenleben der Donauländer. Wagner/Innsbruck.

KRAUSE W. 1958: Methoden und Ergebnisse der Vegetationskartierung. Die Analyse der Pflanzendecke für wissenschaftliche und praktische Zwekke. Umschau H. 19.

KÜCHLER A. W. 1956: Vegetationskarte der Mt. Desert Insel in Maine. 1 25.000. Geogr. Rev. 46.

LAVRENKO E. M. und Mitarbeiter 1954: Geobotanische Karte der UdSSR.

MEISEL K. 1954: Wasserstufenkarte des Emstales zwischen Dalum und Kl. Hesepe 1 : 5.000. Angew. Pflanzensoziologie. H. 8. Stolzenau.

PREISING E. 1956: Erläuterungen zur Karte der natürlichen Vegetation der Umgebung von Göttingen. Arbeiten d. Bundesanstalt f. Vegetationskart. Stolzenau H. 13.

SCHARFETTER R. und SLANAR H. 1932: Die Vegetationsformationen in den Ostalpen.

SCHARFETTER R. 1935: Die Pflanzendecke der Dolomiten. Mitt. Natw. Ver. f. Steiermark. 71.

SCHARFETTER R. 1937: Die Vegetationsformationen in den Ostalpen.

SCHARFETTER R. 1938: Das Pflanzenleben der Ostalpen.

SCHIECHTL H. 1954: Die Folgen der Entwaldung am Beispiel des Finsingtales in Nordtirol. Zentralblatt f. d. ges. Forstwesen. Wien. H. 1/2. 73.

SCHMID E. 1943/50: Vegetationskarte der Schweiz. 4 Blätter 1 200.000.

SCHMITHÜSEN I. 1957: Anfänge und Ziele der Vegetationsgeographie. Mitt. d. floristisch-soziologischen Arbeitsgemeinschaft Stolzenau/Weser. H. 6/7.

SEIBERT P. 1955: Die Wald- und Forstgesellschaften im Graf Görtzischen Forstbezirk Schlitz. Mit farbiger Vegetationskarte 1 15.000. Angew. Pflanzensoziologie. Stolzenau H. 9.

SENDTNER O. 1954: Die Vegetationsverhältnisse Südbayern nach den Grundsätzen der Pflanzengeographie und mit Bezugnahme auf Landeskultur geschildert.

THIMM I. 1950/51: Interprétation de la carte végétale du projet d'amélioration de la Vallée du "Tannheim" (Tyrol). Anais da Faculdade de Ciencias do Porto S. 241-165.

THIMM I. 1953: Die Vegetation des Sonnwendgebirges (Rofan) in Tirol (subalpine und alpine Stufe). Ber. d. naturwiss.-medizin. Vereines in Innsbruck 50. Wagner/Innsbruck.

TSCHERMAK L. 1929: Die Verbreitung der Rotbuche in Österreich. Mitt. d. forstl. Versuchswesens Österr. 41. Wien.

TSCHERMAK L. 1935a: Die natürliche Verbreitung der Lärche in den Ostalpen. Mitt. d. forstl. Versuchswesens. 43.

TSCHERMAK L. 1935b: Die wichtigsten natürlichen Waldformen der Ostalpen und des heutigen Österreich. Forstl. Wochenschr. Silva. 23.

TÜXEN R. PREISING E. 1951: Erfahrungsgrundlagen für die pflanzensoziologische Kartierung des westdeutschen Grünlandes. Angew. Pflanzensoziologie, Stolzenau H. 4.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

TÜXEN R. 1956: Die heutige potentielle natürliche Vegetation als Gegenstand der Vegetationskartierung. Arbeiten aus der Bundesanstalt für Vegetationskartierung. Stolzenau. H. 13.

UNGER F. 1836: Über den Einfluß des Bodens auf die Verteilung der Gewächse. Wien.

VARESCHI V. 1931: Die Gehölztypen des obersten Isartales. Diss. Univ. Innsbruck.

VARESCHI V. 1934: Waldtyp und Waldassoziation in den Bergwäldern des obersten Isartales. Centralblatt f. d. ges. Forstwesen 60. H. 7/8.

WAGNER H. 1956: Die pflanzengeographische Gliederung Österreichs. Mitt. d. geogr. Ges. Wien. Band 98. H. 1.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

C. Beschreibung des Gurglertales (hinterstes Ötztal in Nordtirol)

von H. Aulitzky, G. Fromme, H. M. Schiechtl, R. Stern

Inhalt

		Seite
I.	Allgemeine Orientierung	35
II.	Geologische und geomorphologische Verhältnisse	35
III.	Klima	37
	A. Kontinentalität	37
	B. Charakteristik der einzelnen Klimafaktoren.	38
	1. Sonnenscheindauer und Bewölkung	38
	2. Globalstrahlung	39
	3. Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit	39
	4. Niederschlag und Schneebedeckung.	41
	5. Wind	41
IV.	Böden	42
V.	Vegetation	44
	A. Vegetationsverteilung und ihre Flächenanteile	44
	B. Die vorkommenden Holzarten	47
	C. Die forstlichen Verhältnisse einst und jetzt	50
Verwendete Literatur		51

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Die meisten Lawinenkatastrophen der letzten Jahre haben sich in Tirol in den zentralalpinen Tälern abgespielt. Dort liegen auch die extremsten Entwaldungsflächen und damit der höchste Anteil an solchen Hängen, deren Wiederaufforstung für die Landeswirtschaft von Wichtigkeit und Dringlichkeit ist, daneben aber auch die höchstgelegenen Siedlungen. Auch die Mehrzahl der ersten großen Vorbeugungsprojekte der Forsttechnischen Abteilung für Wildbach- und Lawinenverbauung (Paznauntal, Pitztal, Zillertal und oberes Murtal) liegt in den Zentralalpen.

I. Allgemeine Orientierung

Das Ötztal ist das längste Quertal der Ostalpen; es liegt im Westen von Nordtirol. Vom Inntal nach Süden steigen Kamm- und Talsysteme auf eine Länge von über 60 Kilometern allmählich, zuletzt stark vergletschert, zu einer durchschnittlichen Höhe von etwa 3500 Metern an, von wo sie jäh in einer größtenteils eisfreien Steilflanke nach Süden abbrechen. Der Hauptkamm bildet die Grenze zwischen Nord- und Südtirol und damit die Grenze zwischen Österreich und Italien. Die höchsten Gipfel Wildspitze (3774 m) und Weißkugel (3739 m) werden zwar von Großglockner, Ortler und Bernina an absoluter Höhe übertroffen; dafür erreichen die Ostalpen hier ihre größte Massenerhebung und zugleich ihre größte Breite.

Der Höhenunterschied von der Mündung des Ötztales (700 m) bis Zwieselstein (1462 m) wird in 5 Stufen überwunden, so daß weite, besiedelte Talbecken mit engen, bewaldeten Schluchten abwechseln. Der schluchtartige Charakter erhält eine besondere Note durch die gewaltigen Trümmermassen postglazialer Felsstürze, durch welche sich in den Steilstufen Ache und Straße hindurchzwängen.

In Zwieselstein gabelt sich das Tal in das südwestlich verlaufende Ventertal und in das etwa 15° von der NS-Richtung abweichende, höher gelegene Gurglertal. Auch in diese beiden Seitentäler gelangt man durch Talengen; sie sind ebenfalls durch mehrere Steilstufen gegliedert.

II. Geologische und geomorphologische Verhältnisse

Die Ötztaler Alpen bestehen in der Hauptsache aus kristallinschiefrigen Silikatgesteinen, die tektonisch der Ötztaler Masse angehören. Reste einer ehemaligen Decke mesozoischer Sedimente spielen nur am Rande, also außerhalb des Untersuchungsgebietes, eine untergeordnete Rolle. Am Gurgler Kamm, also an der östlichen Begrenzung des Gebietes, treten als einzige bedeutende Kalkvorkommen Marmore des Schneebergzuges auf, wodurch die Mo-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

ränen der östlichen Seitengletscher des Gurglertales zum Teil kalkhältig sind.

Im Innerötztal, somit auch im Gurglertal, handelt es sich vorwiegend um Biotitplagioklasgneise, also Para(Sediment)gneise, die hier entweder in Form von Schiefergneisen oder Gneisglimmerschiefern auftreten. Das gesamte engere Stationsgebiet fällt in eine solche Zone weicherer Gesteine, nur der den Stationshang nach oben begrenzende Königskogel-Wurmkogelgrat wird aus dem härteren Biotitgranitgneis, einem Orthogneis, aufgebaut.

Als untergeordnete Gesteine ziehen außerdem quer zur Hangrichtung oberhalb der "Inneren Haide" über die Punkte 2825 und 2850 m der A.V.Karte Ötztaler Alpen, Blatt Gurgl, ein ca. 100 m breiter Streifen von Glimmerschiefer, der sich durch Granat- und Staurolithführung auszeichnet, und höher, gegen den Hauptkamm zu, ein ähnlich breites Band mit Feldspatknotenbildung (Albitholoblastengneis) und schließlich kurz unterhalb des Grates eine Granat-Amphibolit-Zone durch.

Das Hauptgestein des Stationsgebietes, der schiefrige Biotitplagioklasgneis, besteht genetisch aus tonigen und sandigen Ablagerungen, welche durch Dynamometamorphose in "kristalline Schiefer umgewandelt wurden.

Quarz und Glimmer sind in größerer, Feldspat in wechselnder Menge enthalten. Beim Glimmer herrscht Eisenmagnesiaglimmer (Biotit) vor, weniger tritt Kaliglimmer (Muscovit) auf. Der Feldspat gehört zur Gruppe der sauren Kalknatronfeldspäte.

Die Biotitplagioklasschiefergneise und Gneisglimmerschiefer des Gurglertales verwittern relativ leicht und entwickeln hierbei typische rostrote bis braune Farbtöne. Je größer der Glimmergehalt, umso schneller unterliegen sie dem Zerfall unter Einfluß der Witterung. Dadurch treten im Gegensatz zu den schroffen Orthogneisbergen, z.B. des äußeren Ötztales oder des Königskogel-Wurmkogel-Grates mehr sanftere Formen in den Vordergrund, welche der Ausbildung von Almböden und überhaupt der Besiedlung durch Pflanzen terrain- und bodenmäßig entgegenkommen.

Bemerkenswert ist eine im Ostalpenraum verbreitet auftretende geomorphologische Erscheinung, nämlich die des Stufenbaues der Talflanken: vom Talboden bei Poschach (1831 m) steigt der rechte Hang nach SE gleichsinnig etwa 30 33 Grad steil an. Bei ca. 2070 m wird dieser Anstieg durch eine erste, bandförmig quer zur Hangneigung verlaufende Verflachung von knapp 50 m Breite unterbrochen. Hernach steigt der Hang weiter steil (35°) empor, bis eine zweite größere Verflachung ansetzt. Diese beginnt bei rund 2200 m.

Auf der steileren linken Talflanke fehlt eine untere Verebnung, die obere ist deutlicher ausgeprägt und vom Tale aus als scharfe Kante ("Soom" Saum) erkennbar.

Läßt sich die schmalere untere Verflachung weder orogenetisch noch lithologisch klar deuten, so kann man die obere mit Sicherheit dem miozänen Landoberflächensystem zuweisen, das viele Ostalpenlandschaften so sehr kennzeichnet. Die obere Verebnung steigt über eine Strecke von etwa 300 Metern mit weniger als 20 Grad

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

an, außerdem ist das Gelände stark kupiert und zum Teil sogar rückläufig. Dann steigt die Bergflanke wieder steil und endgültig zu den Gratfelsen an.

Ein solcher Aufbau ist aus verschiedenen Hebungsakten des Gebirges im Tertiär zu verstehen. Eine damalige Mittelgebirgsoberfläche, die von Gebirgsketten, der heutigen Gipfelflur umrahmt war, wurde von einer Gebirgshebung erfaßt wodurch das Mittelgebirge in ein höheres Niveau rückte. Nach Ende der Orogenese unterlagen die höher gestellten alten Landoberflächen umso stärker der erosiven Zerschneidung, wodurch einerseits die steilen Abfälle unterhalb der Landoberflächenkanten und andererseits die balkonartigen Hangterrassenrelikte entstanden, welche als geschlossenes System durch fast alle Ostalpentäler zu verfolgen sind.

Die Bedeutung für den Lawinenschutz und eine Aufforstungsplanung solcher Hänge liegt in dem zufälligen Zusammentreffen der geomorphologischen Stufe ab 2200 m und der klimatischen Waldgrenze in dieser Höhenlage.

Die Asymmetrie der beiden Talseiten beschränkt sich nicht allein auf die Neigungsverhältnisse. Während der linke Talhang fast umgegliedert ist, wird der rechte durch hochgelegene Seitentäler, welche im rechten Winkel zum Gurglertal münden, und darunter durch tiefe Gletscherbach-Schluchten zerfurcht. Der nach NNW schauende rechte Hang weist daher in seinem Rinnen-Rippen-Relief alle möglichen Expositionen auf, ein Umstand, der ebenfalls wesentlich für die Auswahl dieses Hanges zur Errichtung einer ökologischen Freilandstation war.

III. Klima

A. Kontinentalität

Der Begriff der "hygrischen Kontinentalität" nach GAMS (1931) drückt das Verhältnis von Seehöhe zu Niederschlag aus. Da diese hygrische Kontinentalität ihr auffallendes Gegenstück in der Verbreitung wesentlicher Holzarten besitzt, stellt sie eine wichtige Grundlage für jede forstlich-regionale Gliederung im Gebirge dar (Abb.2). Buche und Tanne kommen als typische Holzarten ozeanisch beeinflußter Gebiete nur dort vor, wo der Kontinentalitätswinkel kleiner als 45° ist, Zirbe und Lärche dagegen dort, wo der Kontinentalitätswinkel über 45° beträgt.

Das inneralpine, kontinentale Wuchsgebiet (TSCHERMAK, RUBNER-REINHOLD) umfaßt im gebirgigen Westen Österreichs einen Raum, der im Norden von den Alpenlängstälern des Inn, der Salzach und der Enns begrenzt wird, im Osten das Gebiet der oberen Mur umfaßt und in seinem südlichen Verlauf etwa der Drau und dem Pustertale folgt (Abb. 2).

In den Ötztaler Alpen wird der höchste Kontinentalitätsgrad der Ostalpen überhaupt erreicht: Die Rofenhöfe im innersten Venter-tal haben einen Kontinentalitätswinkel von 70°, Vent 69° und unsere Basisstation Obergurgl/Poschach-Waldgrenze 65,5°. Im äußeren Ötztal verringert sich die Kontinentalität rasch und nimmt über Sölden (62°) und Längenfeld (58°) nach Ötz und Imst auf 48° bzw.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

45° ab. Innsbruck liegt schon jenseits der Grenzen des inneralpinen Kontinentalitätsbereiches und hat nur mehr 35°.



Abb. 2: Lage des kontinentalen, inneralpinen Wuchsgebietes I (nach TSCHERMAK 1940) bzw. der Waldgebiete 4 b und 4 c (nach RUBNER - REINHOLD 1953) im Bereich der Ostalpen.

B. Charakteristik der einzelnen Klimafaktoren

1. Sonnenscheindauer und Bewölkung

Bei der Beurteilung der Sonnenscheindauer eines Gebietes müssen die witterungsbedingten Klimaeinflüsse von den reliefbedingten Einflüssen der Horizonteinengung unterschieden werden. Das witterungsbedingte Lokalklima eines Ortes ergibt sich aus der "relativen Sonnenscheindauer", bei der die effektive Sonnenscheindauer als Prozentsatz der örtlich möglichen ausgedrückt wird.

Nach diesem Maß hat das innere Ötztal (Vent) mit 57 % der lokal möglichen Sonnenscheindauer die größte witterungsmäßige Sonnenscheinwahrscheinlichkeit in ganz Österreich. Das Versuchsgelände in Obergurgl darf sich mit Vent vergleichen. Umhausen im äußeren Ötztal hat nur mehr 55 % und Innsbruck gar nur mehr 47 % der örtlich möglichen Sonnenscheindauer. Im Jahresgang verliert das Ötztal seine Spitzenposition innerhalb Österreichs nur während der Sommermonate, weil sich nun die konvektiv bedingte Bewölkung in der Gipfelregion der Hochalpenkämme bemerkbar macht.

Diese witterungsmäßige Begünstigung des Innerötztales würde ohne weiteres einen Vergleich mit Davos gestatten, wenn dieser Vorteil nicht durch die Enge und Richtung der Täler und die damit verbundene Horizonteinengung wesentlich beeinträchtigt würde. Durch die Abschattung der Berge wird in Vent die Sonnenscheindauer auf die Hälfte jenes Wertes herabgesetzt, der bei ebenem Gelände gemessen würde und nur deswegen bekommt beispielswei-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

se der Sonnenkurort Davos im Jahr ein Drittel mehr Sonnenschein.

Entsprechend der hohen relativen Sonnenscheindauer ist die Bewölkung im inneren Ötztal verhältnismäßig gering: Nur etwa 52 % des Himmels sind im Jahresdurchschnitt bewölkt, in Innsbruck sind es schon 62 %.

2. Globalstrahlung

Auf die Globalstrahlung wirkt sich die Horizontabschirmung der engen Täler des inneren Ötztales nicht so stark aus, weil aus den zenitnahen Partien des Himmelsgewölbes mehr eingestrahlt wird als aus horizontnahen Bereichen. Die Mittagsintensitäten liegen infolge der geringen Lufttrübung im Gebirge um 11 - 12 % über jenen der Niederung. Die Globalstrahlung am Berghang bleibt jedoch im Jahresdurchschnitt bei wolkenlosem Himmel trotzdem hinter jener einer freien Station in der Niederung zurück, weil der Horizont teilweise abgeschirmt ist. Bei bedecktem Himmel erhält aber das Gebiet mehr Strahlung als eine freiliegende Station der Niederung. Daher beruht bei stark überhöhtem Horizont die Überlegenheit des hochalpinen Strahlungsklimas nur auf dem entscheidenden Einfluß der diffusen Wolkenstrahlung und nicht der direkten Sonnenstrahlung. Voll kann sich die Strahlungszunahme mit der Seehöhe aber nur in freien Gebirgslagen auswirken. Immerhin gelang es unter dem Einfluß der Reflexstrahlung von den Wolken mehrfach Strahlungswerte zu messen, die beträchtlich über der Solarkonstante lagen.

3. Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit

Hinsichtlich der Lufttemperaturen sei die subalpine Lage des Untersuchungsgebietes im inneren Ötztal durch einen Vergleich mit Innsbruck veranschaulicht (25-jährige Reihe von 1931 1955, Extreme bis 1958). Die Messungen an der Basisstation Obergurgl/Poschach-Waldgrenze (aus dem Zeitraum Juni 1954 - Ende 1958) wurden an Hand der langjährigen Reihe der Station Vent reduziert (1935 1938, 1940 1944, 1946 1949 und 1951 1958) und damit Werte für einen 21-jährigen Vergleichszeitraum zwischen den beiden Stationen im Innerötztal ermittelt.

Im Vergleich mit Innsbruck ist vor allem hervorzuheben, daß an den subalpinen Stationen während des ganzen Jahres mit Frösten zu rechnen ist (Obere Leisten der Abb. 3). Die mittleren Minima liegen an den Innerötztaler Stationen 7 Monate hindurch unter dem Gefrierpunkt (- in Innsbruck dagegen nur 4 Monate -) und auch die Mittel der Lufttemperatur übersteigen nur während der Monate Mai (bzw. April) bis Oktober die 0^{o}-Grenze (Abb. 3). Andererseits sind Sommertage mit Temperaturen über 25^{o}C in der subalpinen Stufe des inneren Ötztales nur vereinzelt im Juni und Juli zu erwarten, in Innsbruck jedoch von April bis September (absolute Maxima in Abb. 3). An den hochalpinen Stationen ist natürlich auch die Jahresschwankung kleiner als in Innsbruck, trotz der Kon-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

tinentalität des Gebietes.

Die beiden Stationen im Innerötztal zeigen nur geringe Unterschiede, die mit der Tallage von Vent (1891 m) und der Hanglage der Basisstation (2072 m) zusammenhängen. Im Spätwinter und Frühjahr werden an der etwas tiefer liegenden Talstation Vent schon etwas höhere Mittel- und Maximalwerte erreicht als am Hang, wo die Ausaperung erst später einsetzt (Abb. 3); die Minima liegen dagegen infolge der Kälteseebildung am Talboden tiefer. In den Herbstmonaten ändert sich dieses Bild.

Die langjährigen Jahresmittel unterschieden sich auch nur geringfügig (Abb. 3 rechte obere Ecke), indem für Vent 1.53°C und für die Basisstation Obergurgl 1.50°C ermittelt wurden.

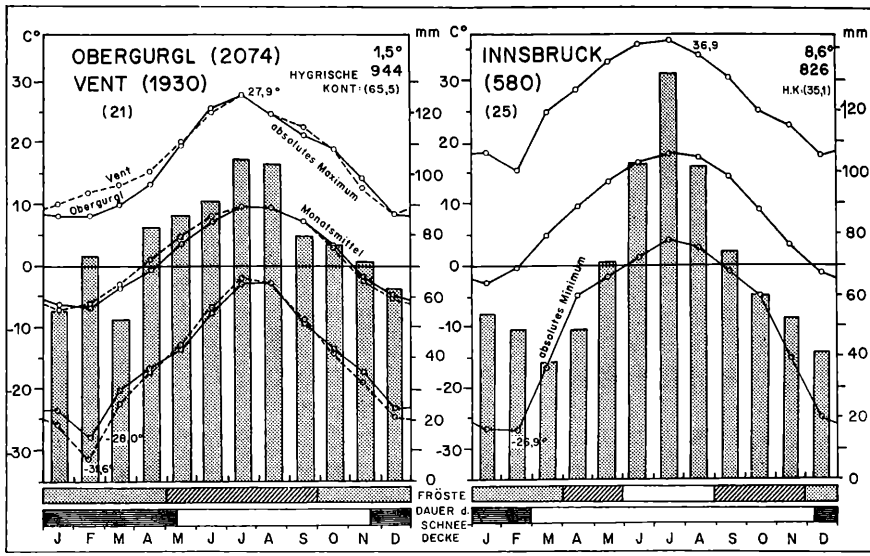


Abb. 3: Vergleich von Klimawerten zwischen dem subalpinen Gebiet des inneren Ötztales und Innsbruck
Ausgezogene Linie: Absolute Extreme und Monatsmittel der Lufttemperatur in °C in Obergurgl/Poschach-Waldgrenze, reduziert auf den 21-jährigen Venter Meßzeitraum (1935-38, 1940-44, 1946-49 und 1951-58), und in Innsbruck (Mittel 1931-55, Extreme 1931-58)
Strichlierte Linie: Absolute Extreme und Monatsmittel der 21-jährigen Reihe der Talstation Vent
Rechte obere Ecken: Langjährige Jahresmittel der Lufttemperatur in Obergurgl/Poschach-Waldgrenze (21 Jahre) und in Innsbruck (25 Jahre) sowie langjährige mittlere Jahressummen des Niederschlages in mm in Obergurgl (1911-50) und Innsbruck (1931-1955) und Angabe des Grades der hygrischen Kontinentalität
Säulendarstellung: Mittlere monatliche Niederschläge in mm
Obere Leiste: Mittlere Monatsminima der Lufttemperatur in 2 m unter 0 °C (punktierter Bereich) und absolute Minima (schraffierter Bereich)
Untere Leiste: Mittlere Dauer der Schneebedeckung in Obergurgl/Poschach-Waldgrenze (1930/31-1949/50) und Innsbruck (1931-55)

Die relative Luftfeuchtigkeit entspricht im Bereich der Täler des inneren Ötztales mehr dem Höhentyp als dem Taltyp alpiner Stationen. Tagsüber und während des Sommers wird in der Regel feuchtere Luft durch das periodische Windsystem herangeführt, nachtsüber und im Winter dagegen trockene Luft.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

4. Niederschlag und Schneebedeckung

Wie schon erwähnt, ist das klimatische Hauptkennzeichen des Raumes im Innerötztal seine Niederschlagsarmut, die im Süden wie im Norden durch vorgelagerte Bergkulissen hervorgerufen wird. Im Vergleich mit dem viel tiefer gelegenen Innsbruck fällt neben der relativ geringen Niederschlagsmenge die bedeutend ausgeglichenere Jahresamplitude auf, die an den beiden Stationen zu unterschiedlichen Änderungen der Kontinentalitätsgrade während der Vegetationsperiode führt. Die stärkeren Sommerniederschläge (Abb. 3) sowie der Schmelzwasseranfall im Ausaperungsstadium bei hohem Sonnenstand mildern graduell die Kontinentalität während der Vegetationsperiode, der verhältnismäßig extreme Charakter bleibt jedoch erhalten, auch wenn neuerdings in der Hochregion mit etwas höheren Niederschlägen gerechnet wird. Günstigerweise fallen die Sommerniederschläge so fein verteilt, daß keine gefährlichen Trockenperioden auftreten; bei 152 Niederschlagstagen im Jahr wurden jedoch nur 2 - 3 Gewitter gezählt und auch die Nebelhäufigkeit (14 Tage/Jahr) und der Tauabsatz sind gering.

Infolge der geringen Niederschläge ist auch die Andauer der Schneedecke in den Hochtälern der Ötztaler auffallend verkürzt und die Schneehöhe verhältnismäßig niedrig. Die Schneebedeckungsdauer in Obergurgl entspricht etwa in den Nordalpen einer Station in bloß 1300 m Seehöhe und ist um 3 Monate kürzer als eine gleich hoch gelegene Station in den Nordalpen, bzw. um 1 Monat kürzer als der Durchschnitt einer gleich hoch gelegenen Station in den Ostalpen. Im Vergleich mit dem viel tiefer liegenden und stark föhnbeeinflußten Innsbruck (Abb. 3 untere Leiste) ergeben sich natürlich noch größere Unterschiede. Die Kürzung der Schneebedekkungsdauer ist gleichzusetzen einer Verlängerung der Vegetationsperiode im inneren Ötztal und ergibt eine Parallele zu dem höheren Verlauf der Vegetationsgrenzen in diesem Gebiet.

5. Wind

Im Gebirge folgen die Luftbewegungen im wesentlichen dem Verlauf der Täler (vom Gebiet der Hochalpenkämme abgesehen). Die bessere Abschirmung des Ötztales durch den Alpenhauptkamm im Süden im Vergleich zu den vorgelagerten Ketten im Norden bietet hier den Winden mehr Möglichkeiten ins Tal einzudringen, als von Süden her. Im Bereich der Basisstation Obergurgl/Poschach-Waldgrenze verhalten sich demnach die aus Nordosten kommenden Winde zu den Südwestwinden wie etwa 22 1. Daher wirken sich auch die intensitätsstarken Nordstaulagen weit mehr auf Schneeverfrachtung und Vegetation aus, als beispielsweise der Föhn. Im Ver-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

gleich zu den viel windausgesetzteren Alpenrandlagen bleiben die Windgeschwindigkeiten allerdings deutlich zurück und erfahren im Bereich bewaldeter Hänge eine weitere Bremsung. Die mittlere jährliche Windgeschwindigkeit beträgt in Umhausen 2 m/sec, in Vent gar nur 1.8 m/sec. An der Basisstation Obergurgl/Poschach-Waldgrenze wurden jedoch in 10 m Höhe (im Mittel von 19 Meßmonaten vom Juli 1954 Oktober 1955 und vom September November 1956) 3.3 m/sec. festgestellt.

Infolge des tagesperiodischen Windsystems im Gebirge haben Windgeschwindigkeit und Windrichtung einen deutlich ausgebildeten Tagesgang in der schneefreien Zeit, der sich infolge der Länge des Tales und im Anschluß an die Zirkulation des Inntales gut ausbilden kann. Zirkulationen der Nebentäler beeinflussen das Haupttal nur geringfügig, wenn nicht durch Pässe (z.B. wie im Bereich des Timmeltales) den Gradientwinden das Überschreiten des Hauptkammes erleichtert wird.

IV. Böden

Die Bodenformen im Stationsgebiet lassen sich in drei Höhengruppen gliedern: Vom Talboden bis zur Waldgrenze ist der Boden als typischer Eisenpodsol ausgebildet; Ausnahmen sind jene Teile des Waldes, wo Murströme das alte Profil überdeckt haben und Verlichtungsstellen (durch Schlägerung entstanden), wo man je nach Exposition Tendenzen zur Bildung von podsoliger Braunerde oder Eisenhumus-Podsol beobachten kann, sowie die Weideflächen und Kulturgründe, wo sich vornehmlich Rasenböden gebildet haben. Die zweite Höhengruppe umfaßt, von der Waldgrenze bis zur oberen Grenze des Rhododendrongürtels reichend, die Großform der Podsoligen Braunerde und Braune Ranker auf den Sonnenhängen und die Großform des Eisenhumus-Podsols und Podsolranker auf den Schattenhängen. Nach oben anschließend findet sich in den Zwergstrauch- und Flechtenheiden ohne Rhododendron die dritte Gruppe von Bodenformen; sonnseitig die Kleinform der Podsoligen Braunerde und Braune Ranker, und schattseitig die Kleinform des Eisenhumus-Podsols und Podsolranker.

In bestimmten Lagen, zumeist talwärts der großen Blaiken, wurden unter den Humushorizonten Sand- und Schuttschichten festgestellt, die augenscheinlich von Murbrüchen stammen; sie zeigen eine Mächtigkeit von 3 bis 70 cm, stellenweise sogar bis zu 3 Metern. Unter diesen Murschichten sieht man zumeist eine wenige Zentimeter mächtige Holzkohlenlage. Aus einzelnen, guterhaltenen Stückchen läßt sich feststellen, daß es sich um verkohltes Coniferenholz handelt. (Präparation: F. GÖBL, Institut für Bodenbiologie Imst, H. HILSCHER, Botanisches Institut der Universität Innsbruck).

Diese Kohlelage wurde aber auch dort gefunden, wo keine Übermurung festzu-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

stellen ist, unmittelbar unter den Humushorizonten nahezu aller genannten Böden des Stationsgebietes, vom Talboden bis zur oberen Verebnung, in einer Höhe von 2300 m und darüber; überdies auf der Angerer Alm, in Profilanschnitten der neuen Timmelsjochstraße, am Gegenhang und im Gaisbergtal. Aus diesen ausgebreiteten Kohlevorkommen kann man auf Waldbrände großen Ausmaßes schließen. Diese Brandböden sind auch im übrigen Alpengebiet sehr verbreitet. Eine Kohlenmischprobe aus dem Stationsgebiet wurde Herrn Dr. K. O. MÜNICH, C^{14}-Labor der Universität Heidelberg, zur Altersbestimmung gesandt, der die überraschende Feststellung machte, daß die Kohle 2640 $\pm$ 90 Jahre alt ist.

Die Humushorizonte über den Kohlelagen sind relativ jung, sie haben eine Mächtigkeit von höchstens 25 cm und die ältesten Zirben, die auf den Brandböden wurzeln, sind 400 bis 500 Jahre alt.

Aus der Tatsache, daß die Kohlefunde durchwegs unmittelbar oberhalb des Bleichhorizontes oder sogar oberhalb des B-Horzontes zu finden sind, geht hervor, daß der Brand ein intensives Bodenfeuer war; unter der Kohle sind keine Reste von A-Horizonten erhalten. Man kann annehmen, daß nach dem Brand, der vermutlich im Zuge der illyro-romanischen Höhenbesiedlung ausgelöst wurde, auf den ungeschützten Hängen Muren abgebrochen sind, welche die verbrannten Böden teilweise begraben haben. Es besteht die Möglichkeit, daß infolge dieser Bodenerosionen und vermutlich infolge ungünstigen Klimas die pflanzliche Wiederbesiedlung nur sehr langsam und stockend vor sich gegangen ist und erst in der wärmeren Zeit des 15. und 16. Jahrhunderts der Zirbenwald wieder Fuß fassen konnte, der heute bis 2000 und 2100 m eine geschlossene Waldkrone bildet und seit 100 Jahren wieder Keile von Jungzirbenhorsten über die Waldgrenze hinaus vorschiebt.

Eine zweite Möglichkeit besteht darin, daß sich die Brandfläche bereits früher wieder bewaldete, und zwar vermutlich in geschlossener Form bis zur heutigen Waldgrenze und in schütterer Form bis zur oberen Grenze des Rhododendrongürtels. Mit der mittelalterlichen Höhenbesiedlung durch den Menschen sind dann wahrscheinlich die schütteren Waldbestände bis auf einige Reste vernichtet worden.

Die Kohlelage reicht bis in die oberste Höhenstufe der genannten Formengruppen. Man kann deshalb annehmen, daß einst der Wald bis in diese Höhe gereicht hat, was mit den durch Pollenanalysen erhärteten Theorien der frühgeschichtlichen Forschung übereinstimmt; nach diesen Theorien soll in der Bronzezeit der ostalpine Zirbenwald bis in Höhen von 2400 m gereicht haben, und man kann annehmen, daß dies auch im Stationsgebiet der Fall war. Nach dem Brand, dem Bodenerosionen und Muren folgten, welche die verkohlten Reste der einstigen Humusdecke bis auf eine geringmächtige Kohleschichte abtrugen - (es handelt sich um Kohlebänder von nur wenigen Millimetern bis Zentimetern) bewaldeten sich die Hänge geschlossen nur mehr bis zu einer Höhe von 2000 und 2100 Metern. Diese Bewaldung führte zu einer Neubildung der Humusdecke, die der eines Eisenpodsols entspricht. Die Mineralhorizonte des einstigen Eisenpodsols, die vom C- bis zum AE-Horizont herauf noch heute erhalten sind, übernahmen, da sie nur durch die schwache Kohleschichte von der neuen Humusdecke getrennt waren, ihre alten Funktionen. Es entstand also im Laufe der Zeit ein völlig intakt scheinendes Eisenpodsol-Profil, dessen Dynamik durch die Kohleschichte nicht gestört wird.

Aus den übermurten Stellen ging die Humus-Neubildung nur langsam vor sich, und man kann heute nur Protoranker nachweisen, die durch die Murschichte vom Sockel des einstigen Profils $\pm$ isoliert sind.

Zweite Höhengruppe: Die Entstehung der Großformen der Podsoligen Braunerde und des Eisenhumus-Podsols im Rhododendron-Zwergstrauchgürtel oberhalb der heutigen Waldgrenze ist erklärlich, wenn man annimmt, daß der nach dem Brand neuentstandene Wald nur mehr schütter war und daher gegenüber dem Reliefeinfluß an Bedeutung verlor. Die auf den Schattenhängen aufwachsende dichtwüchsige Zwergstrauchheide begünstigte die Versauerung und damit die Entstehung von Eisenhumus-Podsol mit seiner typischen Humusform und Humuseinwaschung in den B-Horizont. Die den Klimaextremen stärker ausgesetzten Südhänge verlichteten. Durch die folgende intensivere Erwärmung des Bodens wurde ein lebhafterer Humusabbau eingeleitet, der zur Bildung der für die Podsolige Braunerde typischen Humusform führ-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

te. Durch die fortschreitende Entwaldung wurde diese Entwicklung noch gefördert.

In der Mächtigkeit der B-Horizonte ist zwischen der Podsoligen Braunerde, die oberhalb des geschlossenen Waldes vorkommt, praktisch kein Unterschied, und man könnte dies sowie die Kohlefunde als Beweis für die Existenz eines Waldes in diesen Lagen annehmen.

Im Bereich der dritten Höhenstufe der Bodenformen nimmt die Mächtigkeit der Horizonte ab; nicht so sehr die der B-Horizonte (sie beträgt immer noch durchschnittlich 5o cm), sondern die Mächtigkeit der A-Horizonte. So bei der Kleinform des Eisenhumus-Podsols und besonders aufffallend bei der Kleinform der Podsoligen Braunerde. Erklärlich ist die geringe Humusbildung durch die Tatsache, daß nach dem Brand im Gebiet der rhododendronfreien Zwergstrauchheide kein Wald mehr aufgekommen ist und das herrschende Klima eine stärkere Humusbildung nicht begünstigte. Die Restböden sind wohl sicher durch Wind- und Wassererosion nach dem Brand auf exponierten Stellen entstanden, die Ranker als Neubildungen auf den Abtragsgebieten oder den übermurten alten Böden. Die Rasenformen haben sich vermutlich durch Beweidung und Mahdnutzung der ehemaligen Wald- bzw. Zwergstrauchböden gebildet. Sie dürften z. T. schon während der ersten Höhenbesiedlungen in frühgeschichtlicher Zeit entstanden sein.

Eine analoge Differenzierung der Bodentypen oberhalb der Waldgrenze wurde auch in Gebieten gefunden, wo Brandkatastrophen nicht nachweisbar sind. Man kann für diese Gebiete jedoch ebenso ein Absinken der optimalen bronzezeitlichen Waldgrenze durch Klimaänderungen und mehrmalige Vorstöße menschlicher Besiedlung annehmen. Die Aufgliederung der Formenkreise des Eisenhumus-Podsols und der Podsoligen Braunerde ist als Folge der Freistellung und des zunehmenden Reliefeinflusses zu beobachten.

V. Vegetation

Im hochalpinen Gurglertal, dessen ganze Umrahmung heute noch Gletscher trägt, ist der Anteil der Pflanzendecke an der gesamten Fläche gering: er beträgt nur etwa 32 Prozent, so daß also zwei Drittel der Gesamtfläche (68 %) auf Ödland einschließlich Gletscher entfallen. Trotzdem treffen wir infolge der starken Höhengliederung und der klimatischen Verhältnisse nicht nur Pflanzengesellschaften der nivalen, sondern auch noch der alpinen und subalpinen, nahe Zwieselstein sogar der montanen Stufe an.

A. Die Vegetationsverteilung und ihre Flächenanteile

Beide geben rasch Aufschluß über den Charakter des Tales. Die Ordnungsprinzipien der Pflanzengesellschaften des Gurglertales sind einerseits die Höhenstufung, andererseits das Relief (Standortsunterschiede klimatischer und edaphischer Art) und zwar in einer Feindifferenzierung, die das Auftreten längerer horizontaler natürlicher Begrenzungslinien ausschließt. Die heutige Pflanzendecke entspricht indessen nicht den natürlichen Verteilungsgesetzen allein. Vielmehr hat die seit fast drei Jahrtausenden geübte Nutzung zu großen Veränderungen hinsichtlich ihrer Zusammensetzung, ihrer Verteilung, ihres Flächenausmaßes und sogar

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

ihrer Höhenstufung geführt. Dieser Einfluß ist natürlich in der Nähe der Siedlungen am größten und nimmt mit der Seehöhe ab, ist aber auch nach Standortsverhältnissen unterschiedlich. Auch die Vegetations-Asymmetrie der beiden Talflanken beruht mehr auf der Nutzung als etwa der unterschiedlichen Exposition.

Schon beim bloßen Betrachten der Vegetationskarte (Abb. 4)[1]) fällt auf, daß im Gurglertal die landwirtschaftlich genutzten Vegetationsbestände überwiegen und zwar nicht allein wegen der großen Ausdehnung der alpinen Grasheiden, die ja vorwiegend der Pferde- und Schafweide vorbehalten sind, sondern auch vor allem infolge der weiträumigen Weideflächen und Bergmähder. Diese halten sich in erster Linie an die sonnseitigen Berghänge und zwar nicht nur im Gurglertale selbst, sondern sogar in den gletschernahen Seitentälern, besonders dem Timmelstal und dem Rotmoostal.

Weide und Mahd haben also weitgehend die ursprüngliche Vegetation des Tales verändert; man beschränkte sich nicht etwa auf Waldrodung, sondern bis zum heutigen Tage werden sogar die Zwergstrauchheiden (die ja zum Teil Nachfolgestadien auf ehemaligen Waldböden sind) mit dem Feuer verfolgt, was man auf den Sonnseiten des Gurgler- und Venter Tales jeden Herbst beobachten kann. Die Auflösung der geschlossenen Zwergstrauchheiden in kleine, durch Bodenwellen geschützte Flecken (wenigstens in der Nähe der Siedlungen) ist die Folge. Auch die große Häufung von Hanganbrüchen geht zu einem guten Teil auf die Entwaldung durch Rodung und auf den Weidegang zurück.

Neben der Verteilung der Vegetation ist auch ihr Flächenanteil von Bedeutung. Haben wir vorerst festgestellt, daß nur 32 Prozent des Gurglertales eine geschlossene Pflanzendecke tragen, so erhalten wir innerhalb der vegetationsbedeckten Fläche (= 100 %) folgende Flächenanteile:

subalpiner Hochwald, Zirbe dominant, Lärche beigemischt 2 %.

subalpiner Hochwald, Lärche dominant, Zirbe beigemischt in tieferen Lagen (unter 1700 m) auch Fichte 5 %.

Krummholz (vorwiegend Grünerlen, nur vereinzelt Legföhren), Flaumbirke, Zitterpappel und verschiedene Weiden beigemischt; Salix helvetica Bestände im Timmelstal 3 %.

Zwergstrauchheiden (Rhododendretum ferruginei, Vaccinietum Myrtilli und uliginosi, Arctostaphyletum uva ursi, Loiseleurietum) inclusive Flechtenheiden (Alectorietum) ..... 15 %.

Düngewiesen 4 %.

Bergmähder und Großviehweiden (Rinder) 34 %.

Alpine Grasheiden (Cuvuletum incl. Elynetum, Festucum Halleri und variae, Nardetum) ..... 37 %.

[1]) Siehe Anhang dieses Buches

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Daraus erkennen wir wiederum den großen Anteil an landwirtschaftlich genutzten Flächen, da die fast ausschließlich am Talboden liegenden Düngewiesen mit den Bergmähdern und Großviehweiden (welche letzten beiden wegen der Kleinflächigkeit kartographisch nicht voneinander getrennt werden können) allein schon 38 Prozent ausmachen. Dazu wäre noch der größte Teil der alpinen Grasheiden zu den ausschließlich landwirtschaftlich genutzten Flächen zu zählen, da ja dort überall (bis auf flächenmäßig unbedeudente Restflecken in unzugänglicher Lage) Pferde- und Schafweide geübt wird. Damit kommen wir aber schon auf 75 Prozent der gesamten Pflanzendecke! Nun ist es aber keineswegs so, daß etwa die restlichen 25 % vom Vieh verschont bleiben, sondern sowohl die Wälder als auch die Zwergstrauchheiden und Krummholzbestände sind mit Weideservituten belastet, nur sind letztere dadurch so weit degeneriert, daß ihr Nutzwert unbedeutend geworden ist.

Die Ursache für diesen Flächenhunger der Landwirtschaft liegt in der Tatsache, daß die Viehzucht Jahrhunderte lang die einzige Existenzgrundlage der Gurglertaler Bauern war. Dazu kamen die umfangreichen Weiderechte in der Hand der Südtiroler Bauern. Wurden doch jährlich bis zu 10.000 Tiere über die vergletscherten Jöcher zur Sömmerung in das Gurgler- und Venter Tal getrieben. Doch hat sich in den letzten Jahrzehnten ein innerer Strukturwandel vollzogen. Gurgl wurde zu einem alpinen Fremdenverkehrszentrum, so daß im Jahre 1957 die Zahl der Bauernhöfe im ganzen Tal auf 18 abgesunken war, von denen nur mehr vier rein bäuerliche Betriebe waren. Damit hat auch die Zeit der extensiven Weidewirtschaft vorläufig ein Ende gefunden und wird immer mehr einer Intensivwirtschaft Platz machen.

Wenn auch für unsere Zwecke die Vegetation an der Waldgrenze am wichtigsten war, so dürfen wir doch die Pflanzengesellschaften der nivalen und alpinen Stufe nicht unbeachtet lassen. Sie sind wie schon erwähnt viel weniger durch die Nutzung beeinflußt und besitzen deshalb einen hohen Aussagewert.

Die Obergrenze phanerogamer Einzelpflanzen wird auf der Hochwilde mit 3475 m (Cerastium uniflorum, Luzula spicata), die Obergrenze der Dikotylenpolster-Vegetation am hinteren Spiegelkogel bei 3400 m Seehöhe erreicht. Die höchststeigenden Curvuletum-Fragmente sowie die höchststeigenden Zwergsträucher (Vaccinium uliginosum, Salix herbacea) finden wir noch bei 3300 m ebenfalls am hinteren Spiegelkogel, also weit über der bei 3100 m Seehöhe liegenden klimatischen Schneegrenze.

Die Obergrenze geschlossener Curvuleten liegt bei 3070 m am Stockkogel, diejenige der geschlossenen Elyneten bei 2800 m (im Gaisbergtal).

Besteht also innerhalb des Pionierrasen-Gürtels ein Höhenunterschied von 400 Metern, so besteht zwischen den höchsten Einzelvorkommen von Zwergsträuchern bei 3300 m und der Obergrenze einzelner geschlossener Zwergstrauchheidenflecken bei 2700 m mit 600 Metern ein noch viel größerer Höhenunterschied. Der Zwergstrauchheidengürtel an sich steigt dagegen nur unwesentlich

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

über die Baumgrenze bei ca. 2500 m. Er ist natürlich immer wieder von Grasheidenflecken durchbrochen. In Lawinenbahnen greifen die Curvuleta nach unten vor, während andererseits Grasheiden der Waldstufe (Calamagrostideta) weit nach oben reichen. Die häufigsten Unterbrechungen werden jedoch durch die Nardeten und Festuceten als Folge des Weideganges verursacht.

Floristisch gehört das Gurglertal zu den interessantesten Gebieten Tirols, da es mit einer besonderen Vielfalt von Pflanzenformen ausgestattet ist. Die Ursache liegt in der geographischen Lage, sowie im Vorkommen von Kalken am Gurgler Kamm (Marmore des Schneebergzuges), so daß zahlreiche kalkliebende Pflanzen in den rechten Seitentälern und deren Moränen zu finden sind (z.B. Aster alpinus, Leontopodium alpinum, Lilium Martagon, Linaria alpina, Saxifraga aizoides, Salix retusa und serpyllifolia). Insbesondere in den Grasheiden stoßen wir auf eine ganze Reihe von Pflanzen südlicher und östlicher Herkunft, die wohl größtenteils aus dem Vintschgau mit den Viehtrieben eingewandert sind (Koeleria hirsuta, Festuca varia, Senecio abrotanifolius ssp. tiroliensis, Plantago serpentina, Allium fallax).

Besitzen zwar die Wälder mit 7 %, die Krummholzbestände mit 3 % und der Zwergstrauchheidengürtel mit 15 % flächenmäßig nur einen geringen Anteil an der gesamten Pflanzendecke des Tales, so sind sie als Studienobjekt gerade wegen des Vorhandenseins einer Jahrtausende währenden Beeinflussung durch Weide und Mahd neben unbeeinflußten Restbeständen in so extremer Hochgebirgslage von ganz besonderem Wert. Ihnen sind daher bei der Betrachtung der Vegetation unsere Hauptinteressen gewidmet.

B. Die vorkommenden Holzarten

Den Hauptanteil an der Zusammensetzung der Bestände und am Baumbewuchs überhaupt hat die Zirbe (Pinus cembra) inne. Als Charakterbaum der Kontinentalitätszone 7 vermag sie große Winterkälte zu ertragen und ist sehr frost- und windhart. Die Zirbe bildet bis auf einzelne Ausnahmen im Gurglertal die heutige Waldgrenze und durch sie wird auch die natürliche Wiederbewaldung auf ausgereiften Böden vollzogen.

Während an und unterhalb der heutigen Waldgrenze die Lärche auf jungen Böden erfolgreich mit der Zirbe in Konkurrenz tritt, wird die bestehende Baumgrenze nahezu allein von der Zirbe gebildet. Am orographisch rechten, dem nach WNW schauenden Schattseitenhang, bildet die Zirbe, teils untermischt mit Lärche, auf weite Strecken aber auch allein, in einem Schluß von 0.5 bis stellenweise 0.8 im Rhodoreto-Vaccinietum und dessen Subassoziationen die Schlußgesellschaft. Die Waldgrenze liegt im Durch-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

schnitt bei ca. 2000 m. Ältere Bäume stehen einzeln oder in Gruppen bis 2200 m und Zirbenjungwüchse erreichen eine Seehöhe von 2315 m. Mit dem Rhodoreto-Vaccinietum-cembretosum, dem Alpenrosen-Zirbenwald, ist die Klimax der subalpinen Waldbestandsbildung und des infraalpinen Baumwuchses erreicht.

Bei einem ungefähren Mischungsverhältnis von 40 60 Zirbe Lärche hat die Lärche (Larix decidua) regen Anteil an der Bestockung, besonders an Standorten mit humusarmen Rohböden, wie Blaiken, Murgängen und Bachalluvionen. Bei zunehmendem Schluß der Pflanzendecke und einsetzender Rohhumusproduktion werden die Aussichten auf eine Naturverjüngung der Lärche immer geringer.

Damit ist die Tendenz vorhanden, daß im Laufe der dynamischen Entwicklung das Cembreto-Laricetum vom reinen Cembretum im Rhodoreto-Vaccinietum-Verband abgelöst wird.

Die letzten, kleinen Waldinseln, die noch am Sonnseitenhang stehen, sind durchwegs reine Lärchenschöpfe, die erst gegen die Talgabelung bei Zwieselstein zu, in höheren Lagen mit Zirbe, in den tieferen Lagen mit Fichte untermischt sind.

Die Fichte hat bei der Bestandesbildung überhaupt kein ernstes Wort mitzureden. Lediglich im äußeren Gurglertal tritt sie spärlich im lichten Lärchenbestand auf, gegen das Talinnere ist die Fichte nur als Einzelexemplar aufzufinden, zeigt dabei ausnahmslos schlechte Wuchsform und Zuwachsleistung und ist nach den Ertragstafeln für Fichtenbestände im Hochgebirge (GUTTENBERG) in die Standortskategorie "sehr schlecht" einzuordnen. Die im Talinneren, besonders im engeren Stationsgebiet vorgefundenen Fichten sind stark abholzig, äußerst astig und kommen über einen jährlichen Holzzuwachs in den ersten 50 Jahren von 8.5 bis 11.0 cm nicht hinaus.

Die Grünerle (Alnus viridis) wächst an der orographisch linken, zum geringen Teil auch an der rechten Talseite in den tälchenartigen Runsen und Furchen, sowie auf den wasserzügigen Unterhängen und mit zahlreichen Weiden vermischt (Salix pubescens, nigricans alpicola, hastata, grandifolia, helvetica und glauca) an beiden Ufer des Gurglerbaches.

Die Legföhre (Pinus mugo) kommt in kleinflächigen Gruppen bis hinauf in die Kampfzone gegen 2200 m auf kaliarmen Böden vor. Steht sie dort an ausgesetzten Standorten, so wird ihr durch den anhaltenden Windeinfluß die Pultform aufgezwungen.

Im äußeren Teil des Gurglertales treten noch vereinzelt die im übrigen Ötztal weit verbreiteten Säfenheiden (Juniperus sabina) auf, welche den kontinentalen Charakter des Tales an sonnig-felsigen Triften kennzeichnen. Auf die Säfenheiden, die ihre Obergrenze etwa bei 1950 m erreichen, konzentriert sich im allgemeinen das Vorkommen der Engadiner Kiefern.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

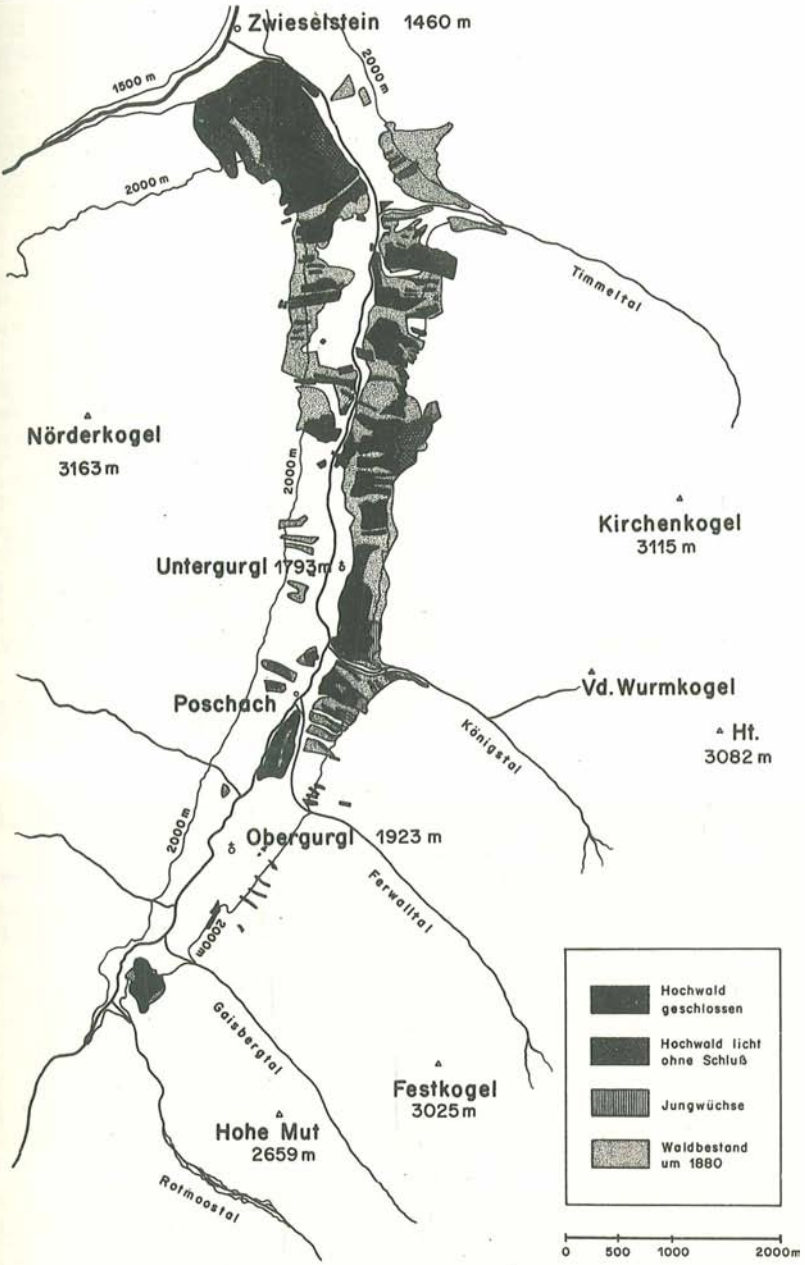


Abb. 5: Waldzustand 1960 des Gurglertales (hinterstes Ötztal in Nordtirol)

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

An bisher nur in einzelnen Exemplaren vorgefundenen Holzgewächsen wären zu erwähnen: Das Vorkommen einer Spirke (Pinus montana var. arborea) in 2010 m im Timmeltal, sowie drei Engadiner Kiefern (Pinus engadinensis) an der Waldgrenze des schattseitigen Talhanges.

Einzelne, strauchförmig wachsende Laubholzgewächse sind eingestreut: Sorbus aucuparia, Berberis vulgaris, Ribes alpina, Rosa pendulina und Betula pubescens, Lonicera caerulea, Cotoneaster tomentosa, Sorbus chamaemespilus. Als Erstbesiedler und Pionierpflanzen seien noch die Zwergweiden genannt, welche im Gurglertal unter anderem durch Salix myrsinites, retusa, retusa ssp. serpyllifolia, reticulata und herbacea vertreten werden.

C. Die forstlichen Verhältnisse einst und jetzt

Im ausklingenden Wärmezeitraum der Postglazialzeit erreichten die Waldgrenzen auch im Gurglertal ihre größten Höhen, die für die Fichte bei 2400 m, für die Zirbe bei 2700 m anzusetzen sein dürften. Seit der Wärmezeit hat sich der Artenbestand wenig verändert. Klimastürze und die schon erwähnten ausgedehnten Brände um 700 v. Chr. (vermutlich im Zuge der Besiedlung durch den Menschen) drückten zwar in der Folge die Waldgrenze, sie stieg aber im Mittelalter wieder über die heutige Wald- und Baumgrenze an und lag damals in den inneren Alpengebieten bei ca. 2400 m. Im 16. Jahrhundert setzten abermals Klimaverschlechterungen ein, die zu den Gletschervorstößen des 17. und 18. Jahrhunderts und zu einem erneuten Rückgang der Wald- und Baumgrenzen führten. Nach der Karte von Peter ANICH, die ungefähr 80 Jahre vor dem letzten großen Gletschervorstoß im Jahre 1850 fertiggestellt wurde, reichen die eingezeichneten Baumsignaturen weit in die Seitentäler hinein. Die zum Gletschervorstoß führende Klimaschwankung hatte sich vermutlich bis dahin noch nicht auf die Baum- und Waldgrenze auswirken können; wohl aber in der Folgezeit. Deshalb muß angenommen werden, daß die großen Waldrückgänge des vergangenen Jahrhunderts nicht allein auf Brand und Weide beruhen, sondern zu einem guten Teil auch auf den zeitlich immer nachhinkenden Wirkungen der genannten letzten Klimaverschlechterung.

Für das Gurglertal gilt, wie für das benachbarte Ventertal, daß die orographisch linke Flanke heute weniger gut bewaldet ist als die rechte (Abb. 5).

Die anschließend angeführten Zahlen vergleichen die Waldflächen zwischen der Sonnseite und der Schattseite einerseits und dem Stande von 1880 gegenüber heute andererseits (Der Stand von 1880 wurde auf Grund der Meßtischblätter 1 25.000 ermittelt):

Sonnenseite 1880	182 ha	Schattseite 1880	284 ha
Sonnenseite 1956	108 ha	Schattseite 1956	103 ha
% von 1880:	59 %		36 %.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Durch die schlechte Bestockung wird die Anzahl der Lawinen und ihre Schadenswirkung vergrößert. Dies gilt vor allem von der linken Talflanke, die bis zur "Hohen Brücke" beim Weiler Pill ein einziger Lawinenhang ist. Hier spielte sich als letzte große Lawinenkatastrophe diejenige des Jahres 1951 ab, bei welcher durch die "Langlehn" der Großteil des Weilers Angern samt der Kirche zerstört wurde. Sieben Menschenleben waren damals zu beklagen. Dagegen hat die rechte Talseite auf der gut bestockten Strecke von Zwieselstein bis über das Königstal hinaus keinen ernstlich gefährdenden Lawinenstrich aufzuweisen.

Parallel mit dem Waldrückgang ging in vielen Teilen Tirols auch die Alpwirtschaft zurück. Ein gutes Beispiel hiefür bildet die Angereralpe oberhalb Untergurgl (an der neuerbauten Timmelsjochstraße gelegen). Um 1873 konnten auf die Angeralm und die dazugehörige Windeggeralpe noch 70 Milchkühe, insgesamt aber 231 GVE (Großvieheinheiten), heute dagegen nur mehr 67 GVE aufgetrieben werden, wobei die Alpe Windegg überhaupt aufgelassen werden mußte. Zu berücksichtigen ist dabei, daß von jeher nur 208 GVE auftriebsberechtigt gewesen wären. Der durch Jahrzehnte geübte Überbestoß hat sich natürlich zum Nachteil der Alpe und besonders des Waldes ausgewirkt. Nicht anders steht es bei der schon 1873 mit 215 und heute mit 117 GVE (gegenüber 105 Weiderechten) überbestoßenen Timmelalpe.

Vor ungefähr 30 Jahren haben die Bauern von Gurgl, anscheinend durch die Erfahrungen ihrer Vorfahren belehrt, die Ziegenweide innerhalb der Gurglerbachschlucht verboten. Damit wurde der dort stockende letzte Zirbenwald vor dem Untergang durch Überalterung gerettet, denn seit Einstellung der Ziegenweide kam es zu einer kräftigen natürlichen Verjüngung.

Heute besitzt das Gurglertal vom wirtschaftlich-forstlichen Standpunkt aus gesehen keinerlei Bedeutung, was daraus zu sehen ist, daß die Waldungen innerhalb des Timmeltales im Operat der Bezirksforstinspektion Silz keine Aufnahme gefunden haben.

Verwendete Literatur

AUER C. 1947: Untersuchungen über die natürliche Verjüngung der Lärche im Arven-Lärchenwald des Oberengadins. Schweiz. Zeitschr. d. Anstalt f. d. forstl. Versuchswesen. Bd. XXV H. 1. Zürich.

AULITZKY H. 1955: Über die lokalen Windverhältnisse einer zentralalpinen Hochgebirgs-Hangstation. Archiv f. Met. Geophys. Serie B, 6, 353 373.

BFI SILZ/TIROL 1869: Operat und Holznutzungsangabe der Gemeinde Sölden.

BRAUN-BLANQUET, PALLMANN, BACH 1954: Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen d. Schweiz. Nationalparkes Band IV

DIMBLEBY G. W 1952: Soil Regeneration an the North-East-Yorkshire Moors, Journal of Ecology, Vol. 40 No. 2.

DIMBLEBY G. W. and GILL J. M.:1955: The occurence of Podzols under decoduous woodland in the new forest. Forestry Vol. 28. No. 2

DUCHAUFOUR PH. 1953: Humus actif et Humus inerte. Ann. de l'Ecole Nat. des Eaux et Forets et de la Station de Recherches et Eyperiences. Tom 23. Fasc. 2.

DUCHAUFOUR PH. 1957a: Un cas de carence azoté de l'épica décelée par le diagnostic foliare. Revue forestière francaise. No. 2.

DUCHAUFOUR PH. 1957b: Note sur l' amélioration des humus bruts en vue de reboisement á l'aide de résineux. Ebenda No. 5.

EKHART E. 1939: Die klimatischen Verhältnisse des Venter Tales. Das Ventertal. Festgabe Zweig Mark Brandenburg, Dtsch. Alpenverein, 40-jährigen Bestehen, München.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

ECKMÜLLNER O. und SCHWARZ G. 1954: Die Waldstufen in der Steiermark. Festschrift für Erwin Aichinger Bd. II, Springer Wien, Angewandte Pflanzensoziologie.

FINSTERWALDNER K. 1949: Zur Namen- und Siedlungsgeschichte des inneren Ötztales (Jahrbuch d. Österr. Alpenvereines).

FRIEDEL H. 1956: Die alpine Vegetation des Mölltales Wissenschaftl. Alpenvereinshefte, Heft 16, Innsbruck.

GAMS H. 1931/32: Die klimatische Begrenzung von Pflanzenarealen und die Verteilung der hygrischen Kontinentalität in den Alpen, Zeitschrift d. Ges. f. Erdkunde, Berlin.

GRAF N. 1873: Statistik der Almen von Deutsch-Tirol.

GREMMEN J. 1953: Some noteworthy discomycetous fungi on coniferous hosts. Sydowia VII. 141 145.

HAMMER W. 1929: Geologische Spezialkarte und Erläuterungen, Blatt Ötztal 5146, Wien Quartärgeologische Untersuchungen im inneren Ötztal. Mit Beitrag von R. v. Sarnthein (Pollendiagramm vom Gurgler Rotmoos). Jahrbuch d. Geol. Bundesanst. 85, Wien.

HOINKES H. 1951/52: Neue Niederschlagszahlen aus den zentralen Ötztaler Alpen. 49. 50. Jahresber. d. Sonnblickvereins für 1951/52, Springer, Wien.

KLEBELSBERG R. v. 1935: Geologie von Tirol, Borntraeger, Berlin.

OSWALD H. 1956: Beobachtungen über die Samenverbreitung bei der Zirbe. Allgem. Forstztg. Jg. 67, Folge 15/16.

PETRAK F. 1956: Über Phacidium infestans Krst., einen gefährlichen Parasiten der Zirbelkiefer und einige andere in seiner Gesellschaft wachsende Pilze. Sydowia, Anales Mycologici Ser. II, Vol. IX, Heft 1 6.

PISEK A. und SCHIESSL R. 1952: Zur Kenntnis der Frosthärte alpiner Pflanzen. Die Naturwissenschaften, Jg. 39, Heft 73 78.

RATHSCHÜLER E. 1948: Über die Änderung des Tagesganges der Feuchtigkeit mit der Höhe im Gebirge. Arch. f. Met. Geophys. Biokl. Springer Wien.

REISIGL H. und PITSCHMANN H. Obere Grenzen von Flora und Vegetation in der Nivalstufe der zentralen Ötztaler Alpen (Tirol). Vegetation acta geobotanica, VIII, 93 129.

REITER E. 1958: Klima von Innsbruck. 2. Sonderveröffentlichung des Statistischen Amtes der Landeshauptstadt Innsbruck.

RIKLI M. 1909: Die Arve in der Schweiz. Denkschr. d. schw. nat. Ges. Bd. XLIV

RUBNER K. und REINHOLD F 1953: Das natürliche Waldbild Europas, Parey, Berlin.

SCHMIDEGG O. 1939: Das Felsgerüst der Venter Berge. Das Venter Tal, Festschrift des Zweiges Mark Brandenburg des Deutschen Alpenvereins.

STEINHAUSER F. 1958: Klimatographie von Österreich. Sonnenschein. Springer Wien.

SREINHAUSER F. Karte der Windverteilung in Österreich, herausgegeben von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien 1:500.000.

STEINHAUSER F. Niederschlagskarte von Österreich für das Normaljahr 1901 1950, 1 500.000.

STEINHAUSER F. Karte der Andauer der Schneedecke in Österreich 1900 - 1950, 1 500.000.

STOLZ O. 1939: Geschichtskunde von Vent und Rofen. Das Venter Tal, Festschrift des Zweiges Mark Brandenburg des Deutschen Alpenvereins.

TIMMERMANN O. HAMBLOCH H. 1958: Die Talschaft Gurgl, Westfälische geograph. Studien, H. 13.

TSCHERMAK L. 1942: Beitrag zur Kenntnis d. Zirbenstandorte. Mitt. d. H. Göring-Akad. d. Deutschen Forstwissenschaft, Jg. 2/Bd. I.

TURNER H. 1958: Über das Licht- und Strahlungsklima einer Hanglage der Ötztaler Alpen bei Obergurgl und seine Auswirkung auf das Mikroklima und die Vegetation. Arch. f. Geoph. Met. Biokl., B. 8, 273.

WELTEN M. 1952: Über die spätglaziale Vegetationsgeschichte des Simmentales. Veröff. Geobot. Inst. Rübel 26.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

D. Beschreibung des Stationsgebietes in Obergurgl-Poschach

von G. Fromme

Inhalt

		Seite
I.	Untersuchungsgebiet Lichtung	55
II.	Untersuchungsgebiet Kampfzone	61
III.	Untersuchungsgebiet Osthang	63

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Über dem etwa 300 m breiten Wiesengelände des Talbodens in 1825 1850 m Seehöhe erhebt sich die steile, bis rund 2070 m bewaldete WNW-Flanke des Gurglertales. Bis in eine Seehöhe von ca. 2300 m stellt sie in ihrer Gesamtheit unsere Hauptversuchsfläche dar (Abb. 6).

Man kann den Versuchshang in eine untere Hälfte, die Wald trägt, und in eine obere Hälfte, die waldfrei ist und größtenteils Zwergstrauchvegetation trägt, teilen. Die untere Hälfte steigt in einem Zuge vom Talboden (1850 m) bis zu einer kleinen, 20 30 m breiten Verebnung in 2070 m Höhe empor (Untere Verebnung, siehe Abb. 7). Die obere Hanghälfte bildet noch einmal eine geschlossene Steilfläche, welche oben mit einer Stufe bei 2200 m endigt und in das weite, zum größten Teil bereits ausserhalb unseres Stationsgebietes liegende Hochflächensystem der "Oberen Verebnung" überleitet (Obere Verebnung, siehe Abb. 7).

Die Bestockung in der Waldzone kann in den tieferen Lagen als dicht bezeichnet werden, nach obenhin unterliegt sie einer starken Auflichtung. Im oberen Waldgrenzbereich sind dichte Jungwuchshorste zu finden.

Im allgemeinen läßt die Bewaldung wie die Verteilung der übrigen Vegetation deutlich eine streifige Anordnung erkennen, wobei Lage und Breite der Streifen vom Relief bestimmt werden.

I. Untersuchungsgebiet Lichtung

Im unteren Drittel dieses bewaldeten Hanges wurde im Jahre 1953 im Bereich einer ausgedehnten Blöße zwischen den Isohypsen 1915 und 1965 m eine Versuchsfläche von nahezu 1,0 ha, das sogenannte Untersuchungsgebiet "Lichtung" abgezäunt, darauf ein klimabiologisches Stationsnetz eingerichtet und damit die Messungen unserer Forschungsstelle eingeleitet (Abb. 6 und 8).

In der Mitte des Untersuchungsgebietes erstreckt sich eine Blöße in einer Breite von 40 und einer Länge von 80 m (Abb. 9). Sie erhielt im Stationsgebrauch den Namen "Lichtung", welcher allgemein auch auf das übrige Untersuchungsgebiet ausgedehnt wurde. Die Lichtung engeren Sinnes, auf welcher mehrere Freilandstationen zur Messung aller klimatischen Faktoren, besonders im Hinblick auf die Randwirkung der umgebenden Bestände installiert wurden, weist ausgeprägte Ränder gegen Nord und gegen Süd auf

Den sonnenoffenen Lichtungs-Nordrand bildet der Lärchenwald mit seinen beinahe in Kronenschluß stehenden Altbäumen. Dort finden wir ausgeprägte Standorte der Überhitzung, umsomehr als der Rand des Lärchenwaldes terrainmäßig ansteigt, wodurch das Gelände stellenweise einer fast senkrecht einfallenden Einstrahlung aus Süd ausgesetzt ist. Der auf einer ca. 15 m breiten Bodenwelle stockende Lärchenwald setzt sich nordwärts über eine schmale, schütter bestandene Rinne hinweg fort, wo er auf einem 25 m breiten Rücken am äußersten Nordrand des Stationsgebietes in einen dichten Zirben-Lärchenbestand übergeht, den Zirben-Lärchenwald. Lärchenwald und Zirben-Lärchenwald zusammen, in welchen beiden komplette Stationen eingerichtet waren, stellen eine ca. 50 m breite Kulisse dar, welche für die Lichtung auch windmäßig wirksam ist. Bei den vorherrschenden Nordwinden rückt der nördliche Lichtungsrand (= Lärchenwald-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

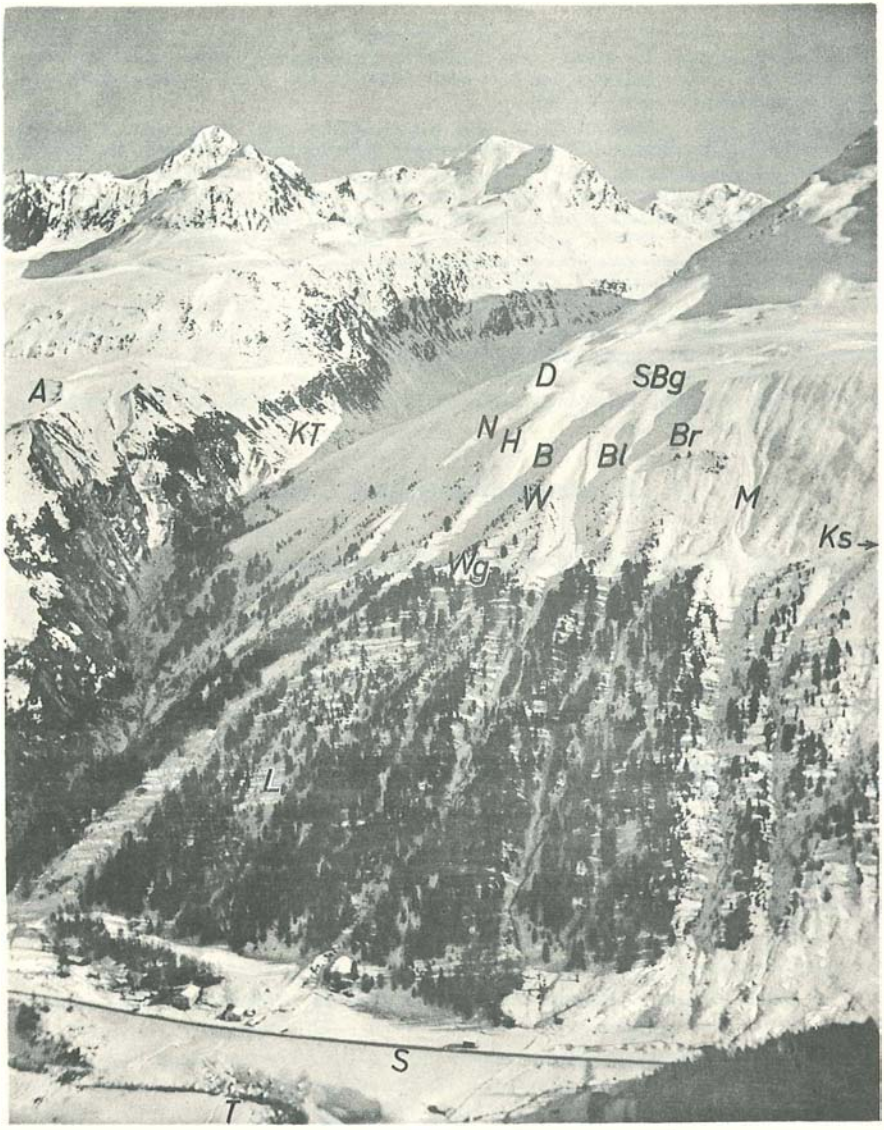


Abb. 6: Übersicht des gesamten Stationsgeländes am Westhang bei Obergurgl-Poschach

Zeichenerklärung:

Stationen:	T	Talboden (Poschach)		L	Lichtung
	Wg	Waldgrenze = untere Verebnung			
	SBg	Baumgrenze = obere Verebnung			
Geländenamen:	N	Nordrippe	Bl	Blaikenrinne	
	W	Wegrippe	Br	Blaikenrippe	
	B	Beerrinne	Ks	Kaltluftsee (rechts außerhalb des Bildrandes)	
	M	Marchrinne			
	D	Daunmoräne	KT	Königstal	
	A	Angereralm	S	Straße Zwieselstein-Obergurgl	
	H	Hauptrinne			

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

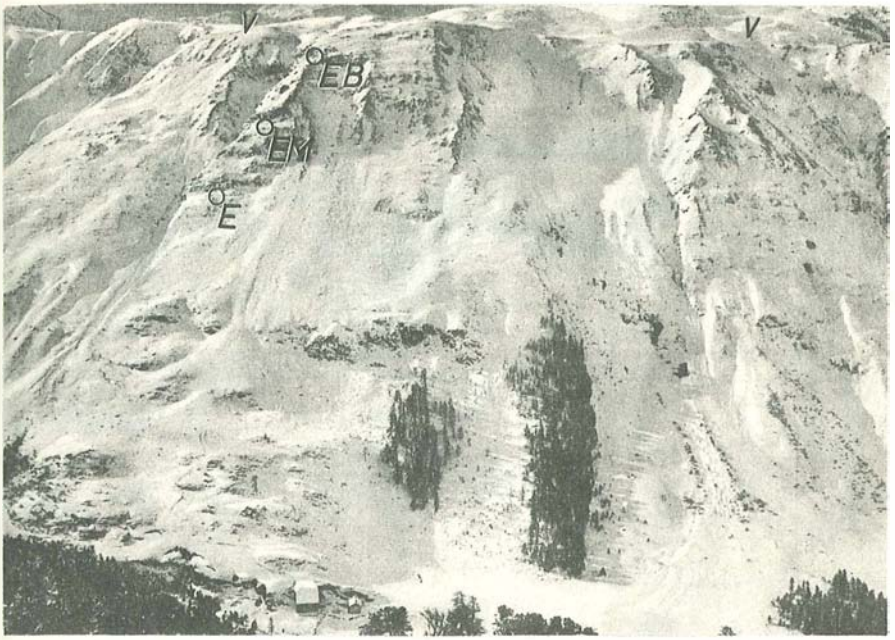


Abb. 6a: Übersicht des Stationsgeländes am Osthang bei Obergurgl-Poschach
Zeichenerklärung: V Verebnung in 2.400 m Seehöhe
O Meteorologische Stationen (E=Stat. Osthang, EB = Stat. Osthang - Baumgrenze, EM = Stat. Osthang-Mitte)

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

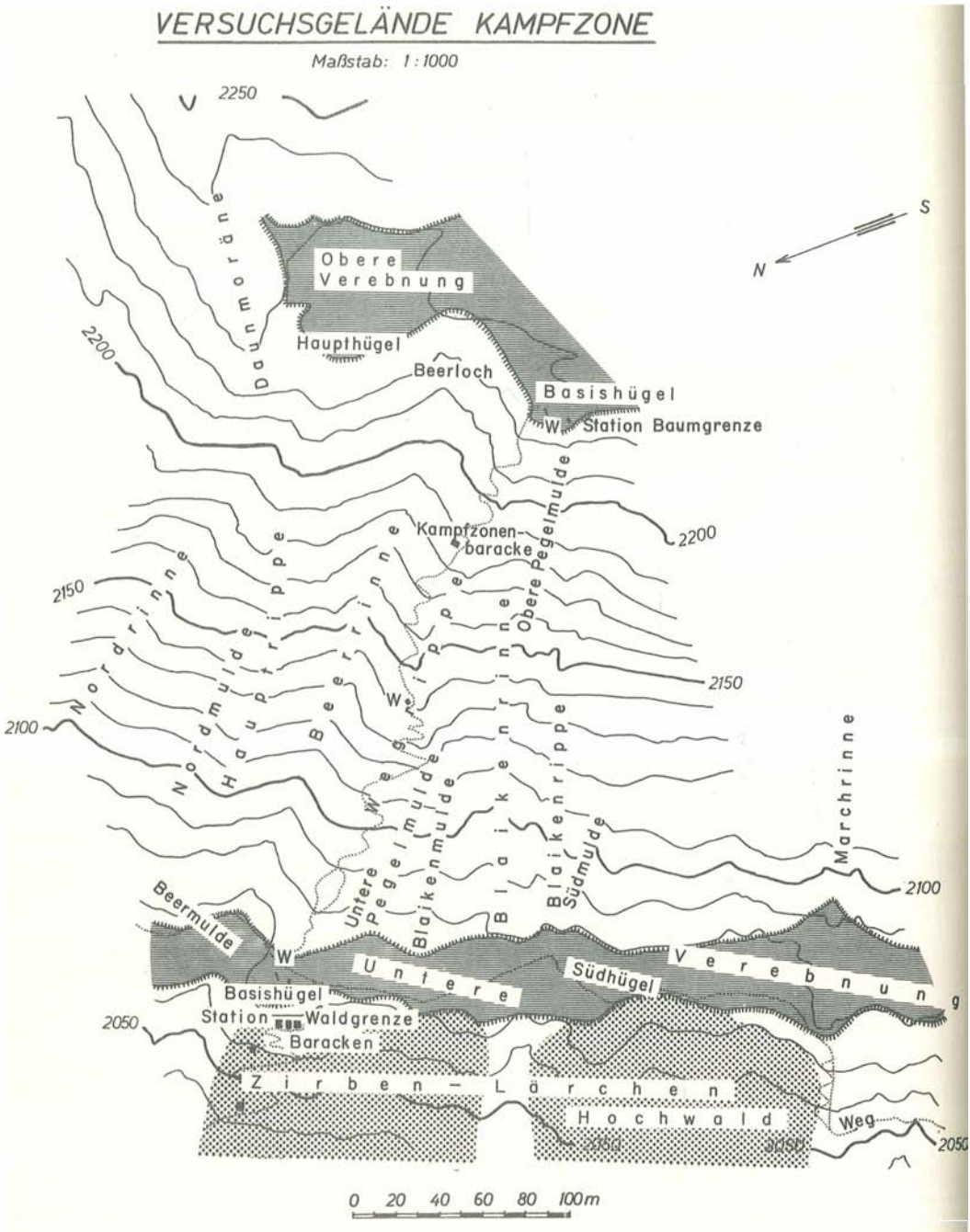


Abb. 7: Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes "Waldgrenze" und "Kampfzone".
Zeichenerklärung: W Wetterhütten und Windgerüste

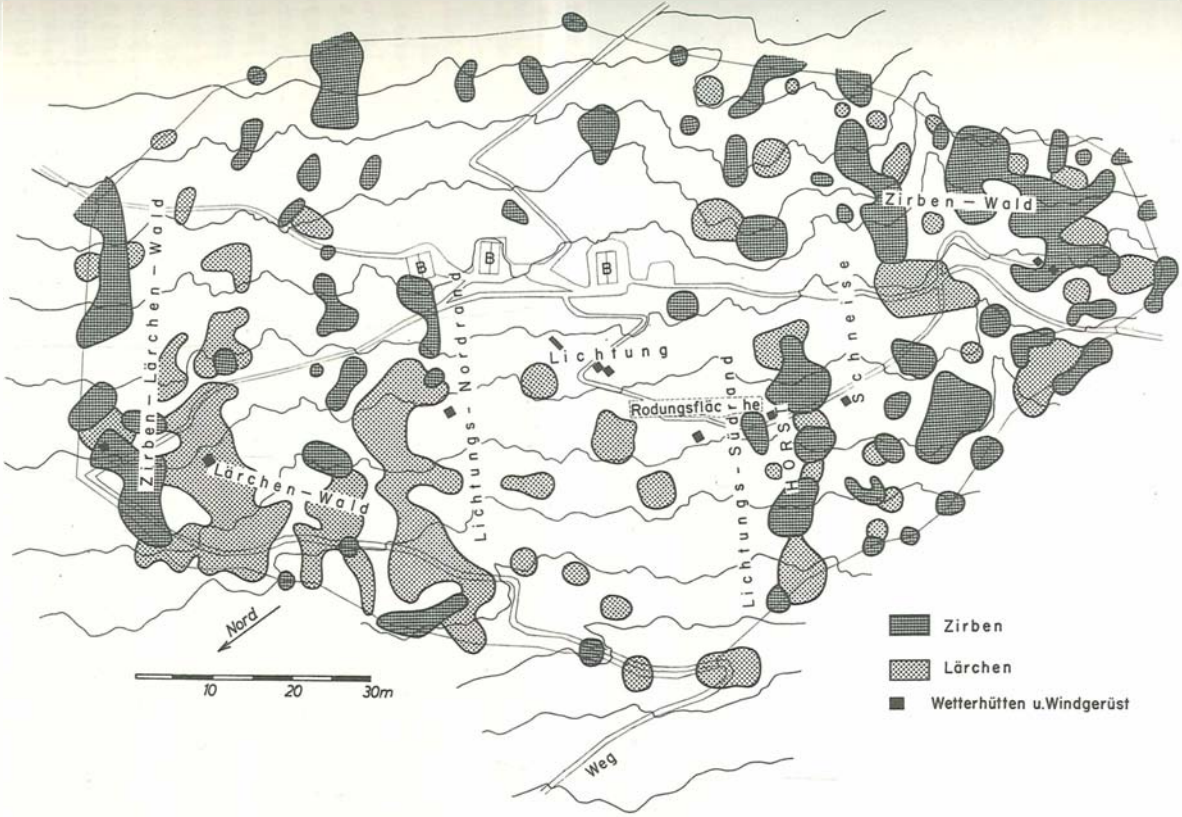


Abb. 8: Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes "Lichtung"
Zeichenerklärung:
B Meß- und Wohnbaracken, W Wetterhütten und Windgerüst
(gleichzeitig Zentren anderer, z. T. elektrischer Messungen)

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Südrand) ins Lee, wodurch diese Randzone eine weitere lokalklimatische Prägung erhält. Der Nordrand des Waldstreifens hingegen ist stärker bewindet, umsomehr er nordwärts gegen den über 50 m breiten Lawinenstrich der Beerrinne offen liegt.



Abb. 9:
Blick vom Nordrand der Lichtung über diese hinweg auf den Südrand derselben

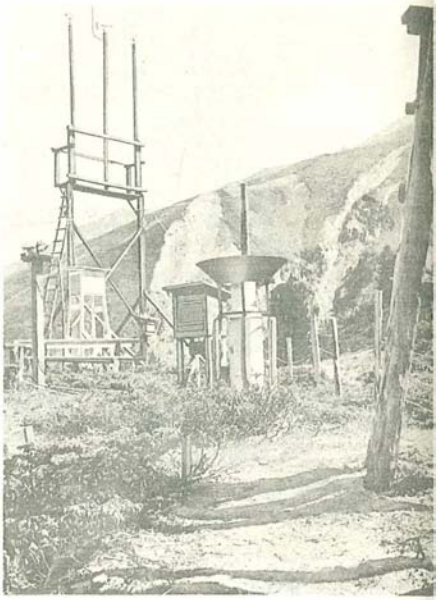


Abb. 10:
Versuchsfeld "Waldgrenze"-Basishügel mit Windgerüst, Wetterhütte, Niederschlagsmesser und Strahlungsmeßgeräten

Im Süden wird die Lichtung vom sogenannten Horst begrenzt, einer schmalen, fast nur einreihigen Zeile von Zirben und Lärchen, auf einer kleinen Hangrippe stockend (Abb. 8). Um den Einfluß des hier schattenspendenden Waldrandes auch auf vegetationslosem Boden feststellen zu können, wurde im rechten Winkel vom Nordrand des Horstes ausgehend in der Höhe der Isohypsen 1910 - 1915 m eine 2 m breite Rodungsfläche angelegt, die 17 m weit in die Lichtung hineinragt.

Jenseits, also südlich des Horstes, beginnt nach der 10 m breiten Schneise, welche auch, wie alle bisher angeführten Stationen, mit Meßgeräten beschickt war, der dichte Zirbenwald mit stark abschattender Wirkung auf das nordwärts angrenzende Terrain (Schneise). Der Zirbenwald, eigentlich ein Zirben-Lärchen-Mischwald mit vorwiegendem Zirbenanteil, stellt einen teilweise sehr dichten Bestand dar, in dem kleinklimatisch recht abgeschirmte Standorte zu erwarten waren.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

II. Untersuchungsgebiet Kampfzone

Weit ausgedehntere und die besonderen Probleme der Hochlagenaufforstung unmittelbar betreffende Messungen wurden an der Waldgrenze und im Bereich der darüber liegenden Kampfzone vorgenommen. Das 12.6 ha große Untersuchungsgebiet "Kampfzone" (Abb. 6,7,11 und 12) beginnt bei 2070 m an der Unteren Verebnung, einer 20 - 30 m breiten, bandförmig am Hang verlaufenden Stufe. Knapp unterhalb dieser Verebnung schließt der sehr lückige Zirben- und Lärchenhochwald mit seinen obersten Ausläufern (Waldgrenze) ab. Die Waldgrenze wird zum größten Teil aus sehr alten, bis 300 Jahre zählenden Zirben und Lärchen gebildet; über der Waldgrenze stockt auf den Geländerippen Zirbenjungwuchs (Abb. 11,12). Während noch im Waldschutz die meisten Meß- und Wohnhütten der Station Waldgrenze liegen, erhebt sich unmittelbar darüber (Meteorologie-, Ökologie- und Physiologiebaracke) und aus dem Niveau der Unteren Verebnung herausragend der sogenannte Basishügel Waldgrenze (siehe Karte Abb. 7), der als Basisstation an der Waldgrenze diente, wo innerhalb einer Umzäunung die meisten Meßgeräte und auch das große Windgerüst (Abb. 10) aufgebaut waren. An den verschiedenen Expositionen dieses Basishügels an der Waldgrenze, der als repräsentativste Station für unsere Versuche angesehen wurde, fanden in den Jahren 1954 1955 als Kernstück der ersten Untersuchungen Assimilationsmessungen an Jungzirben und Junglärchen mit dem Ultrarotabsorptionsschreiber (URAS) statt. Der Hügel bot sehr schöne Hangflächen in Nord-, Nordost-, in West- und Südwestlage sowie an seinem Scheitel in der Horizontalen, weshalb dort auch vielfach kleine Rodungsflächen angelegt und untersucht wurden.

Im Norden sinkt der Hügel steil in die sogenannte Beermulde ab, die im Kreuzungspunkt des Bandes der Unteren Verebnung mit der nahezu im rechten Winkel dazu verlaufenden Beerrinne liegt. Die Beermulde bot günstige Gelegenheit zur Anlage einer Grabenstation.

Südlich des Basishügels wird die Untere Verebnung von der großen, in drei Lappen einziehenden Blaikenrinne gequert, ein sehr aktiver, den Wald durchschlagender Lawinen- und Murstrich, der bis zum Talgrund hinabreicht. Auch die vorerwähnte Beerrinne führt Lawinen (Abb. 12).

Schreitet man auf der Unteren Verebnung nach Süden fort, so gelangt man zum Südhügel, der zeitweilig auch mit elektrischen Meßgebern und anderen Instrumenten in den verschiedenen kennzeichnenden Lagen der Hügelflanken beschickt war. Nach diesem

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
Südhügel breitet sich die Verebnung nochmals weit aus, um 100 m weiter südlich wieder eine markante Unterbrechung in dem System der Marchrinne, in der die sogenannte Quetschblaike liegt, zu erfahren. Jenseits dieses Grabensystems liegt als kleinklimatische Besonderheit eine Vertiefung in der dort auskeilenden Verebnung, der sogenannte Kaltluftsee mit einer auffälligen Zonierung der Vegetation und zonierten phaenologischen Erscheinungen (z.B. der Blüte und Reife des Rhododendron ferrugineum).

Verlassen wir nun das in vielen Jahren genau untersuchte Gebiet der Station Waldgrenze und der Unteren Verebnung und steigen über die Wegrippe zwischen der Beer- und Blaikenrinne in die Kampfzone hinauf, so gelangen wir bei 2142 m Höhe zur Station Kampfzone, mit einer Wetterhütte, Niederschlagsmessern, Bodenthermometern usw. in einem kleinen, umhegten Geländestück ausgestattet. Etwas höher, bei 2185 m, wurde im Jahre 1954 eine Hütte (Kampfzonenbaracke) mit der notwendigen Installation für elektrisch registrierende Messungen erstellt.

Die Abb. 6, 11 und 7 zeigen deutlich die Gliederung des gesamten waldentblößten Hanges auf: Es ist ein abwechselndes System von Rinnen und Rippen, das sich selbstverständlich auch unten in der Waldzone fortsetzt, dort jedoch von dem Waldmantel bedeckt wird und daher auch nicht so lokalklimatisch zur Geltung gelangen kann wie auf dem waldfreien Teil des Hanges. Von Norden nach Süden mit der Nordrinne beginnend, über Hauptrippe Beerrinne Wegrippe - Blaikenrinne - Blaikenrippe, sodann über ein kurzes, weniger gegliedertes Hangstück hinweg bis zur Marchrinne bietet der Kampfzonenhang eine Reihe von Rinnen, Gräben und Hangvorsprüngen, welch letztere bereits wieder Ansätze zur Ausfurchung in mehreren kleinen "Mulden" aufweisen. Hier prägen mehr als die Hälfte des Jahres mächtige Schneewächten auf Lee und andererseits bis auf das Muttergestein erodierende Abwehungen Boden und Vegetation, was sich in einer gesetzmäßigen reliefangepaßten und daher streifenförmigen Anordnung von schneeschutzbedürftigen und wind- bzw. frostharten Vegetationsgesellschaften ausdrückt.

Über die in 2225 m Höhe gelegene Station am Basishügel Baumgrenze (die höchstgelegene Station unseres ganzen Untersuchungsgebietes) mit einem großen Windgerüst und zeitweilig betriebenen Wetterhütten, Niederschlagsmessungs- und Bodentemperaturstationen erreicht man die Obere Verebnung. Durchschnitten wird dieses Hochflächensystem mit seinen Verebnungen nur von den großen, schluchtartigen Seitentälern des Gurgler Tales; in unserem weiteren Bereich vom Timmelstal, Königs-, Verwall-, Gaisberg- und Rotmoostal.

Im Bereich der oberen Verebnung spielten für unsere Arbeiten hauptsächlich das Gebiet der quer zur Haupttal- und Hauptwindrichtung liegenden Daunmoräne und der Einzug der Beerrinne (Beerloch) eine Rolle (Abb. 12 und 13). Dort wurden zahlreiche

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
Typen von Schneeverwehungsbauten sowie der Auf- und Abbau der Schneedecke, die Schneeverteilung und die Schneeschichtung gründlich studiert.

Damit schließt die Reihe unseres Hangprofiles ab, deren Glieder von der Station Talboden über die Lichtung - Waldgrenze - Kampfzone bis zur Baumgrenze alle Standorte der subalpinen Zone durchlaufen.

III. Untersuchungsgebiet Osthang

Zur Ergänzung dieses Hangprofiles wurde auch ein kleines Stationsnetz am fast kahlen, unzugänglichen und lawinenbestrichenen Gegenhang, am sogenannten Osthang (genauer ESE-Hang) errichtet. In verschiedenen Höhenlagen aufgestellte Wetterhütten, Totalisatoren, Windwegsummierer, Schneepegel u. dgl. lieferten die Vergleichswerte zu den Ergebnissen von unserem Hauptuntersuchungsprofil am WNW-Hang (Abb. 6a).

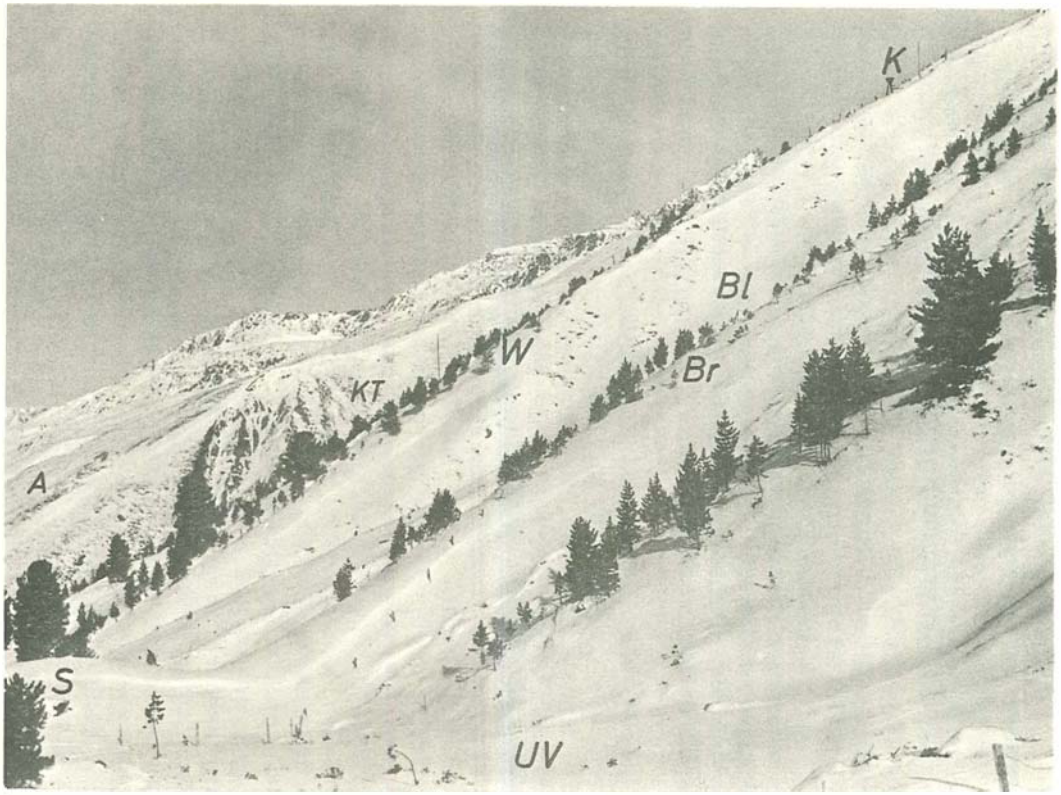


Abb. 11: Blick gegen Norden auf das Gebiet "Kampfzone"
System der Rinnen und Rippen: W Wegrippe, Bl Blaikenrinne, Br Blaikenrippe, S Südhügel, UV untere Verebnung zwischen Südhügel und Marchrinne (siehe Abb. 6), K Totalisator in der Kampfzone, A Angereralm, KT Königstal

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

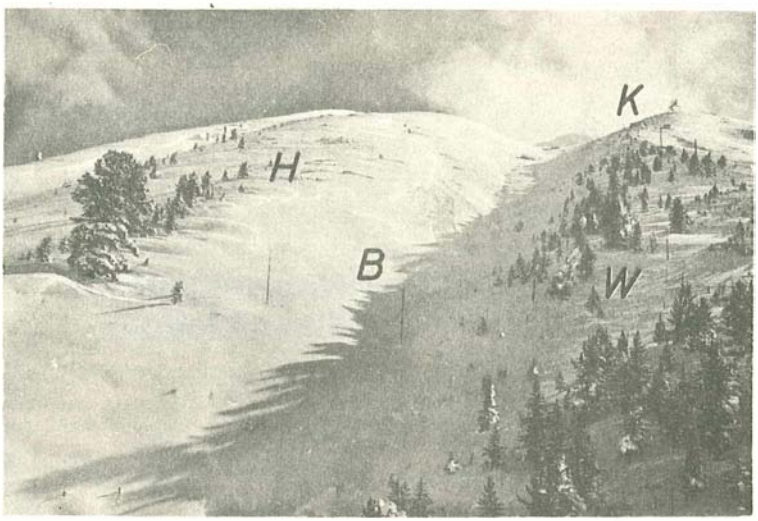


Abb. 12: Blick vom Windgerüst der Station "Waldgrenze" in das Gebiet der Kampfzone
Zeichenerklärung: H Hauptrippe, B Beerrinne mit Wächten und kleinem Lawinenanriß auf der Leeseite, W Wegrippe mit Zirbenjungwuchs, K Kampfzonenbaracke und Windgerüst der Station "Baumgrenze"

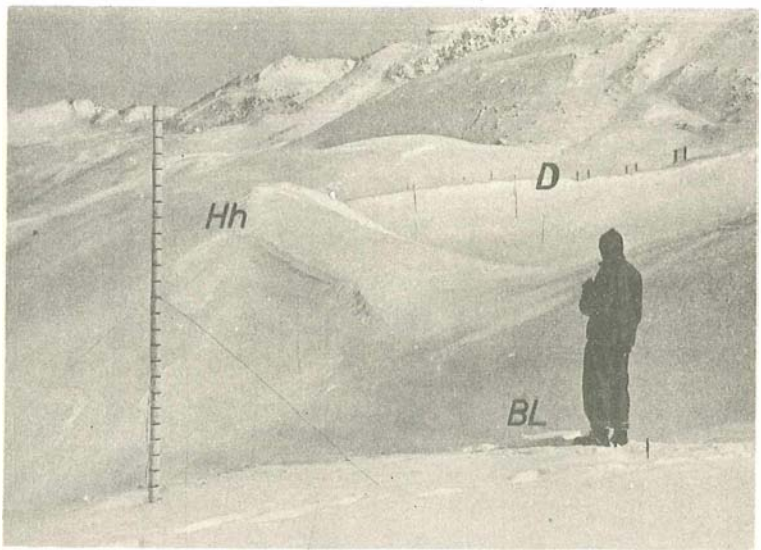


Abb. 13: Blick vom "Basishügel Baumgrenze" auf BL Beerloch (Einzug der Beerrinne), Hh Haupthügel (oberes Ende der Hauptrippe), D Daunmoräne mit Verwehungsbauten

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

E. Standortuntersuchungen in der subalpinen Stufe

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

1. Die Strahlungsverhältnisse und ihr Einfluß auf die Photosynthese der Pflanzen

von H. Turner und W. Tranquillini

Inhalt

	Seite
Die Bedeutung der Strahlung für die Pflanzen und für ihre Umwelt	71
I. Der Jahresgang der Sonnen- und Himmelsstrahlung	73
A. Lage, Horizontabschirmung, Sonnenscheindauer	74
B. Die Strahlung	77
1. Methodische Vorbemerkungen	77
2. Die Sonnen- und Himmelsstrahlung bei wolkenlosem Himmel	80
3. Die Globalstrahlung bei bedecktem Himmel	84
4. Globalstrahlung bei wechselnder Bewölkung	86
II. Die Beziehungen zwischen der Strahlung und der Photosynthese der Pflanzen, vorwiegend der Zirbe	90
III. Über die Strahlungsverhältnisse innerhalb des Bergwaldes	97
Zusammenfassung	102
Literatur	103

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Die Bedeutung der Strahlung für die Pflanzen und für ihre Umwelt

Die von der Sonne kommende Strahlung wird auf ihrem Weg durch die Atmosphäre z.T. absorbiert, z.T. zerstreut und z.T. durchgelassen. Sie trifft daher als gerichtete Sonnenstrahlung und als diffuse Himmelsstrahlung auf die Erdoberfläche auf.

Sie zeigt überall dort Wirkungen, wo sie von Lebewesen, aber auch von leblosen Medien, absorbiert wird. Sie kann auf diese Weise in Wärme umgesetzt werden, aber auch Energie liefern für die Verdunstung von Pflanzen und Boden sowie für die Photosynthese der Pflanzen (trophischer Strahlungseffekt). In diesem Falle besteht ein quantitativer Zusammenhang zwischen eingestrahlter Energiemenge und Intensität der Reaktion. Die Strahlung kann aber auch in Lebewesen spezifische Wirkungen auslösen, wo ein solcher Zusammenhang nicht unmittelbar festzustellen ist (reizphysiologische Wirkungen der Strahlung).

Durch Strahlungsabsorption erwärmt sich die Luft, der Boden und die Pflanzen. Diese zeigen daher eine je nach Temperatur verschiedenwellige Eigenstrahlung (langwellige Temperaturstrahlung), welche, wenn sie die Einstrahlung überwiegt, wieder zu einer Abkühlung der Medien führt. Das Wechselspiel zwischen Ein- und Ausstrahlung ist am Zustandekommen des Tagesgangs der Luft-, Pflanzen- und Bodentemperatur maßgeblich beteiligt.

Die Erwärmung des Bodens und seiner Vegetation ist wiederum die Ursache für Bewegungen der angrenzenden Luftschichten kleinster (thermischer Austausch), aber auch großräumiger Art (Wind). Die durch Erwärmung und Abkühlung auf- und abwärtssteigenden Luftmassen führen zu Wolkenbildung (Niederschlag) bzw. zu Wolkenauflösung, d.h. relativer Trocknung der Luft. Durch die Erwärmung wasserführender Medien, also auch der Pflanzen, wird deren Wasserabgabe beeinflußt. Sie wirkt auch auf alle temperaturabhängigen biologischen Prozesse ein.

Die von den Pflanzen, genauer genommen vom Chlorophyll, absorbierte Strahlung - es handelt sich um einen bestimmten Bereich des Spektrums - ermöglicht den Photosynthesevorgang. Da sich dieser Wellenlängenbereich annähernd mit dem deckt, den das menschliche Auge als Licht empfindet, wird die Photosynthese auch häufig in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke betrachtet. Dieser Einfluß der Strahlung ist der biologisch wichtigste, weil er nahezu die gesamte Stoffproduktion der Pflanzen damit alles organische Leben ermöglicht. Darüber hinaus wirken bestimmte Spektralbereiche der Strahlung auf die Entwicklung der Pflanzen, auf Keimung, Wachstum, Differenzierung der

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
Gestalt (morphogenetische Wirkungen) und Entwicklungsrhythmus (Photoperiodismus).

Sonnen- und Himmelsstrahlung, in ihrer Summenwirkung als Globalstrahlung bezeichnet, haben sehr verschiedene geobotanische Bedeutung. Die aus dem ganzen Himmelsgewölbe auftreffende Himmelsstrahlung ermöglicht pflanzliches Leben auch an jenen Stellen, wo die direkte Sonnenstrahlung nie oder sehr selten hingelangt. Die gerichtete Sonnenstrahlung dagegen hat Einfluß auf die Anordnung der Vegetation im freien Gelände, dort, wo sie auf ein stärker gegliedertes Relief auftrifft.

Die von der Sonne herkommende Strahlung ist also für beinahe alle klimatischen und biologischen Prozesse so fundamental, daß ihre Messung zum kausalen Verständnis dieser Prozesse unbedingt erforderlich ist.

Umso erstaunlicher ist es, daß ihre zeitliche und räumliche Intensitätsverteilung im freien Gelände auf der Erdoberfläche für die Pflanzen nirgends lebensbedrohend ist (WALTER 1951). Sie erreicht im Jahresablauf selbst in der alpinen Stufe auf offenem Standort nirgends so hohe Werte, daß durch ihre direkte Wirkung allein letale Schädigungen an Pflanzen dieser Stufe auftreten. Sie ist nirgends durch atmosphärische Absorption so schwach, daß nicht alle dieser Stufe angehörenden Pflanzen überall leben könnten. Es gibt allerdings strahlungsempfindliche Entwicklungsstadien, in denen es z.B. zu Chlorophyllzerstörungen kommen kann, die hart an der Grenze des Schadens stehen. Andererseits ist die Resistenz gegen die starke Hochgebirgsstrahlung bei in Tieflagen herangezogenen und dann künstlich in Hochlagen versetzten forstlichen Jungpflanzen oft nicht ausreichend, so daß es zu Wuchsstörungen (Triebschäden und Anomalien, vergl. Abschn. I F 1) kommen kann, die bei autochthonen Vergleichspflanzen nie festzustellen sind.

Welche Rolle die Hochgebirgsstrahlung, die verhältnismäßig reich an kurzen Wellen ist, bei der Ausbildung der alpinen Dauermodifikationen und bei der Artbildung alpiner Pflanzen spielt, ist noch nicht genauer bekannt.

Anders liegen die Verhältnisse an Standorten, wo die Einstrahlung durch Horizontabschirmung, vor allem aber durch das Blätterdach der Vegetation u.U. sehr stark herabgesetzt wird.

Hier kann jene Grenze erreicht werden, bei der die Pflanzen oder Teile davon nicht mehr ausreichend assimilieren können, daher kümmern bzw. gänzlich verhungern (Lichtgenußminimum).

Die Lichtansprüche, die einzelne Pflanzenarten auf Grund ihrer Konstitution stellen und die sich von Art zu Art voneinander unterscheiden und auch durch das Vorleben beeinflußt sein können, sind für die Stoffproduktion, ja für die Besiedlung solcher strahlungsabgeschirmter Standorte entscheidend.

Wir haben daher zunächst (TURNER 1961) die spezifischen Eigenschaften der Strahlung der subalpinen Stufe auf möglichst hori-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

zontfreiem Standort (Basisstation Waldgrenze) untersucht und ihren täglichen wie jahreszeitlichen Gang registriert. Unterhalb der Waldgrenze bot sich die Gelegenheit, die Wirkung eines stärker abgeschirmten Horizontes auf die Einstrahlung und die Strahlungsabsorption verschiedener Waldkronen kennen zu lernen (TURNER 1958). Einige Beziehungen zwischen Einstrahlung und Temperatur von Pflanzen und Boden sowie der Verdunstung sind in anderen Abschnitten (I E 3, 4 u. 6) dieser Veröffentlichung behandelt worden. Für unsere Aufgabe werden diese Unterlagen besonders nützlich, weil wir sie auf Grund von biologischen Versuchen über den Einfluß der Strahlung auf die Kohlensäureassimilation der Zirbe (TRANQUILLINI 1955, 1960 und Abschn. I F 2) auswerten können.

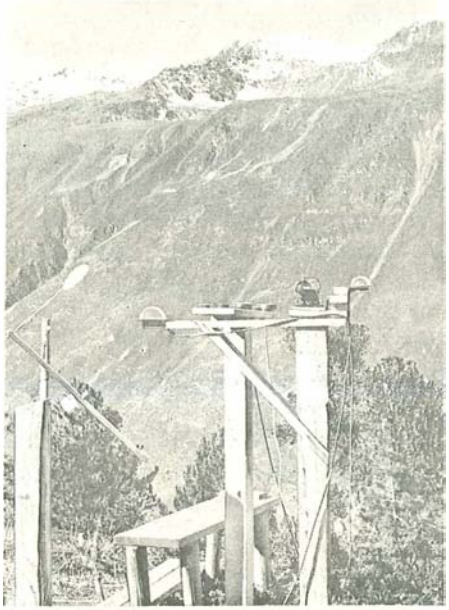


Abb. 14: Ansicht der Basisstation für Strahlungsmessungen im Stationsgebiet Waldgrenze. Blick nach SW auf den Gegenhang des Gurglertales. Links ein Sternpyranometer zur Registrierung der Himmelsstrahlung, rechts eines zur Registrierung der Globalstrahlung. In der Mitte einige Photoelemente zur Messung der Beleuchtungsstärke und ein Sonnenscheinautograph

I. Der Jahresgang der Sonnen- und Himmelsstrahlung

Für die Strahlungsverhältnisse irgendeines Ortes auf der Erdoberfläche ist dreierlei von besonderer Bedeutung:

1) die mögliche Sonnenscheindauer (festgelegt durch geographische Breite und Horizontabschirmung),
2) die Strahlungsdurchlässigkeit der Atmosphäre über dem Beobachtungsort (Höhe über Meer, lokale Lufttrübungs- und

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Bewölkungseigentümlichkeiten),

3) die Reflexionseigenschaften der Umgebung der Meßstelle (insbesondere Fehlen oder Vorhandensein einer Schneedecke).

A. Lage, Horizontabschirmung, Sonnenscheindauer

Die Basisstation für Strahlungsmessungen wurde im Mai 1954 auf der 2070 m hoch gelegenen Verebnung knapp über der Waldgrenze nahe Obergurgl errichtet (Abb. 14) und mit Ausnahme einer Unterbrechung von November 1955 bis April 1957 seither dauernd in Betrieb gehalten. Die geographische Breite des Untersuchungsortes (46°53' N, 11°03' E) legt die astronomisch mögliche Sonnenscheindauer fest (Tab. 1, Zeile a). Diese bedeutet, wie lange bei freiem Horizont und wolkenlosem Himmel die Sonne scheinen könnte. In Wirklichkeit erhöhen die Berge der Ötztaler und Stubaier Alpen, vor allem auch der 30° WNW exponierte Hang des Gurglertales, auf dem die Station liegt, den Horizont beträchtlich, im Mittel aller Richtungen um 15° (Abb. 15a). Pro Sektor der 8 Hauptrichtungen beträgt die mittlere Horizontüberhöhung:

Richtung	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Mittel
Horizontüberhöhung°	8	12	22	27	15	8	14	13	15

Dadurch wird die astronomisch mögliche Sonnenscheindauer im Jahresdurchschnitt um 36 % verkürzt (Tab. 1, Zeile b). Im Juni sind statt täglich 16 Stunden nur 12 Stunden Sonnenschein möglich, zu den Zeiten der Tag- und Nachtgleiche statt 12 Stunden nur 8 Stunden, im Dezember statt 8,5 Stunden nur mehr knapp 4 Stunden (Tab. 2).

Tabelle 1: Monatssummen der Sonnenscheindauer an der Basisstation Waldgrenze (a-c). Angaben in Stunden und in Prozent. Zum Vergleich die langjährige Reihe der Sonnenscheindauer in Vent (d).

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
a) astronomisch möglich	280	290	371	409	468	475	478	439	375	336	281	267	4469
b) örtlich möglich	133	159	235	281	346	355	358	312	244	195	142	116	2873
% d. astr. mögl.	48	55	63	68	74	75	75	71	65	58	50	44	64
c) tatsächlich beobachtet (VI 1954 X 1955)	85	48	143	190	200	142	153	145	139	127	88	54	1514
% d. astr. mögl.	30	17	39	46	43	30	32	33	37	38	31	20	34
% d. örtl. mögl.	64	30	61	68	58	40	43	47	57	65	62	47	53
d) Vent (1904 m) 1928 50	59	89	137	140	146	171	183	161	142	118	65	51	1461
% d. astr. mögl.	21	31	37	34	31	36	38	37	38	35	23	19	33
% d. örtl. mögl.	55	56	61	54	50	58	61	58	60	58	54	53	57

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

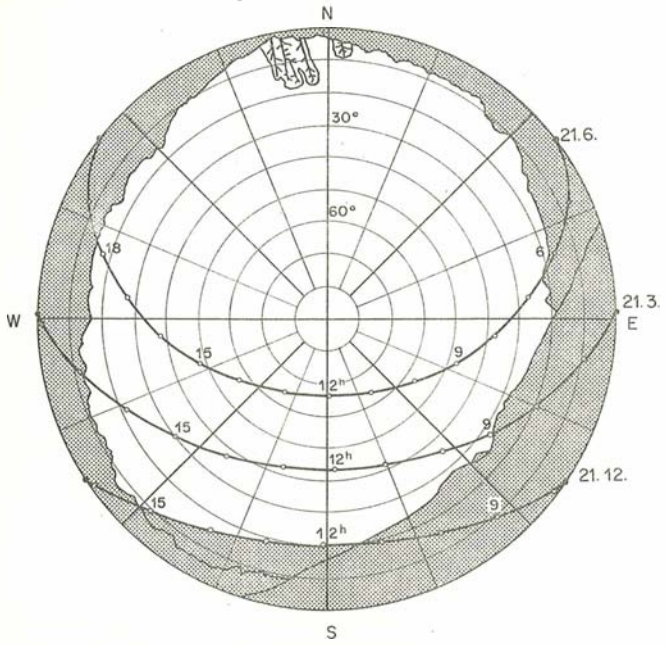


Abb. 15 a

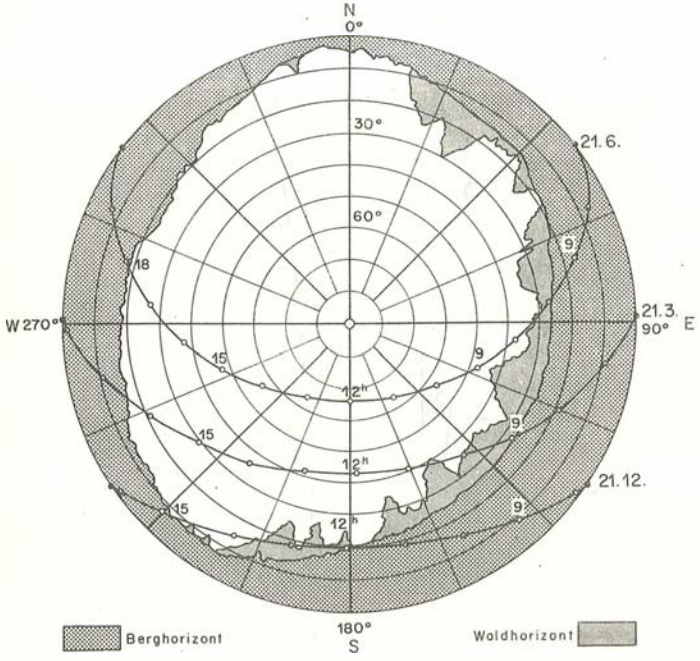


Abb. 15 b: Der natürliche Berg- und Waldhorizont an den Strahlungs-Basisstationen mit eingezeichneten Sonnenbahnen der Sommer- und Wintersonnenwende und der Frühjahrs-Tag- und Nachtgleiche
a) Waldgrenze b) Lichtung im Zirben-Lärchenwald

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Tab. 2: Mittelwerte des Auf- und Unterganges der Sonne nach wahrer Sonnenzeit (WSZ) sowie der täglichen maximal möglichen Sonnenscheindauer an der Basisstation Waldgrenze. x)

	Aufgang	Untergang	mög. So. sch. dauer			Aufgang	Untergang	mögl. So. sch. dauer	
Jänner	11^h08	15^h25	$4^{Std.}$	$17^{min.}$	Juli	6^h35	18^h08	$11^{Std.}$	$33^{min.}$
Feber	10 14	15 54	5	40	August	7 24	17 28	10	04
März	9 02	16 36	7	34	September	8 38	16 45	8	07
April	7 56	17 17	9	21	Oktober	9 46	16 03	6	17
Mai	6 43	17 52	11	09	November	10 52	15 35	4	43
Juni	6 30	18 20	11	50	Dezember	11 26	15 11	3	45

Über die genauen Zeiten des Auf- und Unterganges der Sonne in wahrer Sonnenzeit und über die örtlich mögliche tägliche Besonnungsdauer unterrichtet Tab. 2. Wie auch Abb. 15 zeigt, rückt die Zeit des lokalen Sonnenaufganges im Winter nahe an Mittag heran.

Die in Abb. 15 übersichtlich dargestellte Horizontabschirmung ist wesentlich größer als der Gesamtdurchschnitt aller österreichischen Gebirgsstationen; als solchen hat ROLLER (1957) eine örtlich mögliche jährliche Sonnenscheindauer von 79 % der astronomisch möglichen festgestellt, während dieser Prozentsatz an unserer Station nur 64 % beträgt (Tab. 1, Zeile b).

Noch stärker war die Horizontabschirmung an der Strahlungsstation "Lichtung", an der wir im Jahre 1953 Messungen durchgeführt haben (TURNER 1958). Dort ergab sich eine mittlere Abschirmung des Berghorizontes gegenüber dem astronomischen von 18^o. Durch den Waldbestand an den Lichtungsrändern wurde die Abschirmung im Mittel aller Richtungen um weitere 4^o erhöht (Abb. 15b). Daher zeigen die möglichen Besonnungszeiten gegenüber der Waldgrenzenstation einen noch stärkeren Ausfall der Vormittags-, aber auch der Abendstunden.

Tabelle 3: Monatssummen der örtlich möglichen Sonnenscheindauer auf der Lichtung in Stunden und in Prozent der astronomisch möglichen.

Monat	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
Stunden	85	131	187	233	281	306	296	253	203	160	101	59	2297
%	31	45	51	57	60	64	62	58	54	47	36	22	51

Im Jahr ist die mögliche Sonnenscheindauer gegenüber einem Ort in der Ebene auf 64 % (Waldgrenze) bzw. auf 51 % (Lichtung) herabgesetzt (Tab. 1 und 3). Am 21. Juni beträgt der Ausfall 25 % bzw. 35 %, im Winter 56 % bzw. 78 %.

x) Diese Werte wurden nach der Brennspurmethode ermittelt, die es gestattet, direkt aus den Registrierungen der Sonnenscheindauer wolkenloser Tage die Zeiten des örtlichen Auf- und Unterganges der Sonne zu entnehmen.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Die langjährigen Messungen (Tab. 1, Zeile d, nach STEINHAUSER 1958) zeigen, daß das obere Ötztal dank seiner Abschirmung gegen die niederschlagsbringenden Winde und dank seiner Erhebung über die winterlichen Nebel- und Hochnebeldecken zu allen Jahreszeiten eines der sonnenscheinreichsten Gebiete Österreichs darstellt. Mit einem Jahresmittel der relativen Sonnenscheindauer von 57 % steht Vent an der Spitze aller österreichischen Stationen, gegenüber nur 47 % in Innsbruck und gar nur 38 % auf dem Sonnblick.

Die Verteilung der Besonnung im Jahresgang zeigt im innersten Ötztal (Vent) ein deutliches Hauptminimum im Mai (50 %). In diesem Monat ist die Atmosphäre thermisch am labilsten geschichtet und die verstärkte Konvektion führt zu maximaler Wolkenbildung. Zwei Maxima treten auf: eines im März (61 %) und ein zweites langandauerndes Maximum im Sommer bis zum Frühherbst (Juli 61 %, September 60 %). Winter und Frühsommer sind also im oberen Ötztal die schönsten Jahreszeiten. Die herbstliche Schönwetterzeit ist hier etwas abgeschwächt, weil die mediterrane Regenzeit ab Mitte September manchmal über den Alpenhauptkamm nach Norden greift.

B. Die Strahlung

1. Methodische Vorbemerkungen

Zur Registrierung der Globalstrahlung wurde ein Sternpyranograph verwendet, bestehend aus einem großen Modell des Sternpyranometers (DIRMHIRN 1958) in Verbindung mit einem Zweifarben-Punktschreiber der Fa. Hartmann & Braun, der bei 9 Ohm Innenwiderstand eine Ansprechempfindlichkeit von 1 mV bei Vollausschlag des Drehspulmeßwerkes aufwies. Die Punktfolge war 30 Sekunden bei einem Papiervorschub von 20 mm/h. Es erwies sich ein mit dem Pyranometer in Serie geschalteter Widerstand von 17 Ohm als günstig, um eine völlig aperiodische Einstellung des Meßwerkes innerhalb von 10 Sekunden und eine Empfindlichkeit des Systems von 45 Skalenteilen pro $cal/cm^2 min$ zu erreichen.

Zur Registrierung der Himmelsstrahlung allein war an der zweiten Valenz des Schreibers mit annähernd derselben Empfindlichkeit ein zweites Sternpyranometer angeschlossen. Mittels eines Uhrwerkes, dessen Achse parallel zur Erdachse eingestellt war und das an einem Arm eine kleine Blechscheibe der Sonne nachführte, wurde die direkte Sonnenstrahlung selbsttätig abgeschirmt (Abb. 14).

Die Eichung beider Registrierungen erfolgte im Durchschnitt 2 3mal monatlich mit einem gleichartigen dritten Sternpyranometer in Verbindung mit einem Galvanometer der Fa. Norma. Dieses Eichsystem wurde an der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien mehrmals durch Anschluß an das dortige Eichpyranometer in Übereinstimmung mit der Davoser Meßreihe auf die kalorische Maßeinheit der Smithsonian Skala 1913 geeicht. (Alle in dieser Veröffentlichung mitgeteilten Strahlungswerte sind nach dieser Skala bestimmt, die um 2 % höher als die neue "Internationale Pyrheliometerskala 1956" liegt).

Geber und Schreiber wurden durch die Beobachter der Station Waldgrenze täglich

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

auf einwandfreie Funktion geprüft. Es besteht eine lückenlose Registrierung der Globalstrahlung von fast 1 1/2 Jahren (1. Juni 1954 20. Oktober 1955), eine solche der Himmelsstrahlung vom 31. Juli bis 20. Oktober 1955. Die Himmelsstrahlung bei wolkenlosem Himmel in den fehlenden Jahreszeiten wurde fallweise mit dem Eichsystem gemessen; im Winter konnten dazu auch jene fast halbtägigen Abschnitte der Globalstrahlungsregistrierung benützt werden, während deren die Sonne durch den Berghorizont abgeschirmt war; die doppelte Halbtagessumme wurde dabei als Tagessumme bewertet.

Die Strahlungsmessungen, die bisher aus größeren Höhen der Alpen bekannt wur-

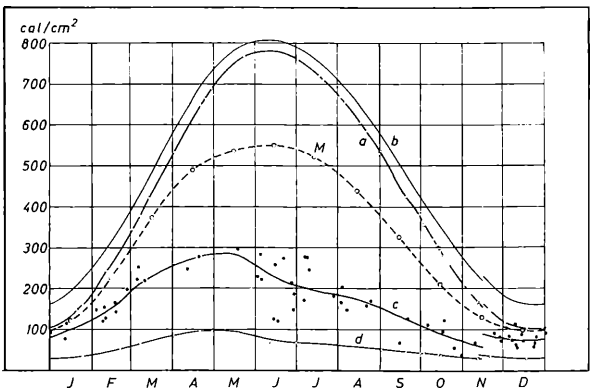


Abb. 16: Die Tagessummen der Sonnen- und Himmelsstrahlung an der Basisstation Obergurgl-Waldgrenze
a, b) Globalstrahlung bei wolkenlosem Himmel (a bei tatsächlicher Horizontabschirmung, b ergänzt auf freien Horizont)
c) Globalstrahlung bei bedecktem Himmel
d) Himmelsstrahlung bei wolkenlosem Himmel
M) Mittelwerte der Globalstrahlung bei den durchschnittlichen Bewölkungsverhältnissen (berechnet auf Grund eigener Messungen und der langjährigen Reihe der relativen Sonnenscheindauer)

den, stellen die Verhältnisse bei im wesentlichen ungestörter Einstrahlungsmöglicl keit, bei freiem Horizont, dar. Unsere Messungen und Registrierungen an der Waldgrenze und auf der Lichtung bei Obergurgl können erstmals einen genaueren Einblick in die Wirkung eines stark überhöhten Horizontes in der Höhenschicht über 1000 m geben. Die Wirkung des überhöhten Horizontes ist ja nicht nur einfach die Abhaltung eines Teiles der Sonnen- und Himmelsstrahlung, sondern die von den Hängen auf den Meßplatz reflektierten Strahlungsbeträge können je nach Rückstrahlungsvermögen der Hangoberfläche kleiner oder größer als jene sein, die von dem abgeschirmten Teil des Himmels bei Horizontfreiheit einkommen würden. Die Himmelsstrahlung, deren Bedeutung mit zunehmender Horizonteinengung sowieso größer wird, und die meßtechnisch von der Hangreflexstrahlung nicht zu trennen ist, muß daher besonders ins Auge gefaßt werden.

Als weitere Vorbemerkung müssen die bei Horizontüberhöhung besonders wichtigen Schneeverhältnisse während der Beobachtungszeit erwähnt werden. Eine Schneedecke wirkt an sich schon, auch bei Horizontfreiheit, wegen Vergrößerung der multiplen Reflexion zwischen Erdoberfläche und den Teilchen der Atmosphäre, insbesondere Wolkenbildungen, steigernd auf die Einstrahlung. Diese indirekte Reflexion der Schneedecke auf die horizontale, nach oben exponierte Fläche wird durch

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

die direkte Abstrahlung von horizontüberhöhenden schneebedeckten Hängen noch bedeutend vergrößert. Je nach Einfallsrichtung der Sonnenstrahlung auf die Hangfläche wird diese Abstrahlung verschieden groß sein; man muß unter Umständen auch mit spiegelnden Reflexionen rechnen. Wie der Augenschein lehrt, kommen sogar nicht unbedeutende horizontale Reflexionen von einem Talhang zu anderen vor, was eindrucksvoll sichtbar wird, wenn der eine Talhang von der Sonne bestrahlt ist, der andere aber noch oder schon im Schatten liegt; jene Teile des Schattenhanges (Wächtenflanken etc.), deren Flächennormale zum bestrahlten Gegenhang weisen, heben sich dann durch viel hellere Beleuchtung von der übrigen Hangfläche ab. Da der

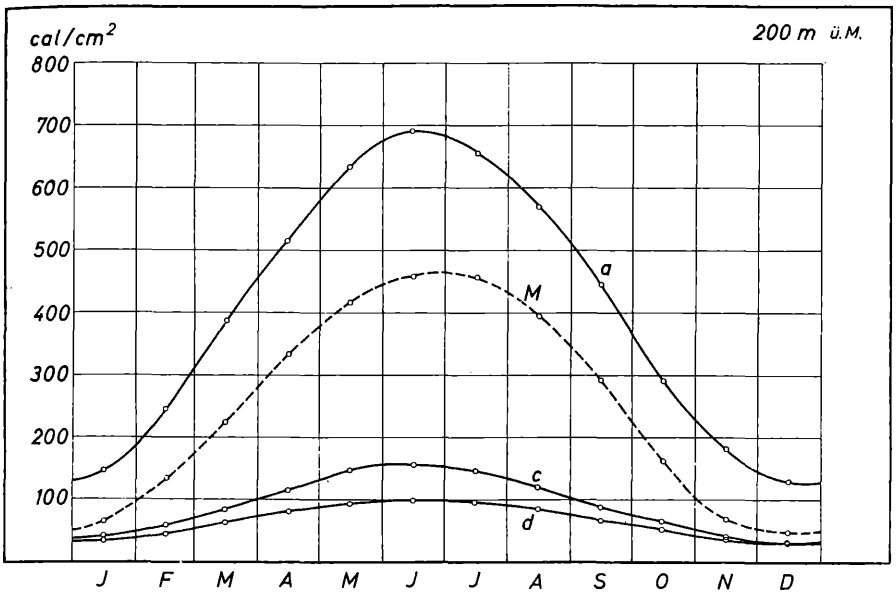


Abb. 17: Die Tagessummen der Sonnen- und Himmelsstrahlung in der Niederung (200 m) bei freiem Horizont
a) Globalstrahlung bei wolkenlosem Himmel
c) Globalstrahlung bei bedecktem Himmel
d) Himmelsstrahlung bei wolkenlosem Himmel
M) Mittelwerte der Globalstrahlung bei den durchschnittlichen Bewölkungsverhältnissen in Wien Hohe Warte (Periode 1938-56)

blaue Hochgebirgshimmel sehr wenig strahlt, müssen bei Wolkenlosigkeit diese Verhältnisse bezüglich der Himmelsstrahlung besonders stark ins Gewicht fallen.

Die erste einigermaßen haltbare Schneedecke des Winters 1954/55 wurde mit 5 7 cm Höhe in der Nacht vom 15. auf 16. November 1954 aufgebaut, jedoch schmolz sie an den stärker südlich exponierten Hängen nach einigen Tagen wieder ab. Aus Photographien ist zu entnehmen, daß etwa ab 20. November bis 6. Dezember 1954 das Gelände bis in einem Umkreis von einigen Kilometern etwa zur Hälfte schneebedeckt war. Das allgemeine Einschneien erfolgte erst am 7. Dezember 1954.

Die Ausaperung an der Meßstelle erfolgte am 12. Mai 1955. Mitte Juni war das umliegende Untersuchungsgebiet (Kampfzone) zu 2/3 aper, die letzten Schneereste am nahen Hang schmolzen Anfang Juli.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

2. Die Sonnen- und Himmelsstrahlung bei wolkenlosem Himmel

In Abb. 16 sind die registrierten Tagessummen der Globalstrahlung bei wolkenlosem Himmel aufgetragen und durch die Kurve a verbunden. Wie man sieht, ist die durch verschiedene atmosphärische Trübung bedingte Streuung der Punkte um die Mittelkurve nur klein. Für dieselben wolkenlosen Tage wurde die Horizontabschirmung der direkten Sonnenstrahlung ausgeschaltet, indem die Tageskurven von den effektiven bis zu den astronomischen Auf- und Untergangszeiten der Sonne sinngemäß verlängert wurden. Die so erhaltenen Tagessummen ergeben im Jahresgang die Kurve b (Abb. 16). Die aus beiden Kurven abgelesenen Monatsmittelwerte finden sich in Tab. 4, Zeile a und b.

Tabelle 4: Mittlere Tagessummen sowie Jahressummen der Globalstrahlung bei wolkenlosem Himmel
a) an der Basisstation Waldgrenze bei tatsächlicher Horizontabschirmung,
b) an der Basisstation Waldgrenze bei Ergänzung auf freien Horizont,
c) zum Vergleich für die Höhe 2070 m (nach SAUBERER und DIRMHIRN 1958). Angaben in cal/cm^2 und in % von c).

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
a)	142	255	428	612	742	776	722	605	443	291	162	108	161.110
%	78	86	96	101	104	102	98	94	88	83	74	68	94
b)	201	320	486	660	778	803	753	646	502	352	227	167	179.590
%	110	108	109	109	109	106	102	100	100	100	103	106	105
c)	183	296	445	608	713	761	736	643	504	352	220	158	171.275

Die Differenz zwischen beiden Jahresgängen stellt den Verlust an direkter Sonnenstrahlung (auf die horizontale Fläche) durch den überhöhten Horizont dar. Im Juni beträgt dieser Verlust 27 cal/cm^{2}Tag, d.s. 4 %, im Dezember 59 cal/cm^{2}Tag, d.s. 43 %, im Jahr bei angenommenerweise immer wolkenlosem Himmel 18.480 cal/cm^2, d.s. 11.6 % der Sonnenstrahlungssumme (= Globalstrahlung minus Himmelsstrahlung).

Stärkere Strahlungseinbußen wurden auf der Lichtung festgestellt (TURNER 1958). Hier betrug der Verlust zur Zeit des höchsten Sonnenstandes bereits 10 %, zur Zeit des tiefsten im Dezem-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

ber mehr als 60 %, im Jahresdurchschnitt 28 %.

Vergleicht man die mittleren Tagessummen der Globalstrahlung bei wolkenlosem Himmel auf der Lichtung mit denen für 200 m berechneten (Tab. 5), so ergibt sich,

> daß die Zunahme der Strahlungssummen, welche durch die größere Seehöhe unseres Standortes bedingt ist, durch den Verlust an Strahlung infolge Horizontabschirmung in der Summe der Monate Juni - November gerade aufgehoben wird.

Nur in den Monaten Mai, Juni und Juli ist die mittlere tägliche Strahlungsmenge bei wolkenlosem Himmel an der Station größer als an einer freistehenden Stelle im Tiefland (200 m), in den übrigen Monaten ist sie kleiner.

Tabelle 5: Mittlere Tagessummen der Globalstrahlung bei wolkenlosem Himmel. Angaben in cal/cm^2:

Monat	VI	VII	VIII	IX	X	XI	VI-XI
Lichtung:							
a) bei freiem Horizont	829	803	687	503	338	232	564
b) bei tatsächlicher Horizontabschirmung	746	706	560	406	250	126	467
% von a	90	88	82	81	74	54	83
für 1940 m	798	764	673	531	371	234	561
für 200 m	687	653	570	449	292	184	472

Natürlich stellen die Zahlen von Tab. 4b nicht die bei freiem Horizont und wolkenlosem Himmel wirklich zu erwartenden Globalstrahlungssummen dar, weil die Wirkung des überhöhten Horizontes auf die Himmelsstrahlung noch nicht eliminiert ist. Die Darstellung ungestörter Strahlungsverhältnisse wurde damit nicht angestrebt, aber diese Zahlen sind geeignet, gerade die Wirkung des überhöhten Horizontes auf die Globalstrahlung herauszustellen. Für einen ersten Überblick genügt der Vergleich mit den für unsere Höhenlage bestimmten Werten für ungestörte Einstrahlung nach SAUBERER-DIRMHIRN (1958), angeführt in Tab. 4, Zeile c. Diese Werte sind um 5 % erniedrigt, wie dies von den genannten Autoren (S. 53) empfohlen wird. Sie stimmen in den Monaten ohne Schneedecke mit den an unserer Station ermittelten Werten (Tab. 4, Zeile b) überraschend gut überein. Das hieße,

> die vom überhöhten Horizont reflektierte Strahlung erreicht bei fehlender Schneedecke annähernd denselben Betrag wie die Strahlung von den abgeschirmten Partien des blauen Himmels.

In den Monaten mit Schneedecke dagegen sind die entsprechenden Tagessummen an unserer Station um 8 9 % höher als die für ungestörte Einstrahlung ermittelten Richtwerte.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Diese Zunahme der Globalstrahlung bei 0/10 Bewölkung durch Schneereflexstrahlung vom überhöhten Horizont ist unerwartet groß und von derselben Größenordnung wie die allgemeine Zunahme der Globalstrahlung, wenn man von der Niederung bis in 2000 m Höhe steigt.

Ein weiterer Hinweis auf das Ausmaß dieses Strahlungszuschlages müßte sich ergeben, wenn man die Himmelsstrahlung allein betrachtet. In Abb. 16 sind die zur Verfügung stehenden 16 Tagessummen der Himmelsstrahlung bei wolkenlosem Himmel aufgetragen und durch die Kurve d verbunden.

Der Vergleich mit den für unsere Höhe interpolierten Werten (Tabelle 6, Zeile b) aus SAUBERER-DIRMHIRN (1958) ergibt für die schneedeckenfreien Monate Juli - Oktober eine sehr gute Übereinstimmung (maximal 2 cal/cm^2 Differenz), relativ sehr große Unterschiede aber in den Monaten mit Schneedecke, in denen 30 - 60 % größere diffuse Strahlungen aus der Himmelshalbkugel einfielen, als sie bei freiem Horizont zu erwarten wären. Im Jahresgang ist deutlich eine sprunghafte Erhöhung der Werte nach dem Aufbau der ersten Schneedecke zu bemerken, eine rapide Abnahme mit der ab Mitte Mai kräftig fortschreitenden Ausaperung.

Tabelle 6: Mittlere Tagessummen sowie Jahressummen der Himmelsstrahlung bei wolkenlosem Himmel
a) an der Basisstation Waldgrenze,
b) zum Vergleich für die Höhe 2070 m (SAUBERER und DIRMHIRN 1958). Angaben in cal/cm^2 und in % von b)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
a)	34	51	73	93	95	75	66	58	47	37	33	29	21.020
%	137	154	162	160	146	107	100	98	98	95	118	132	124
b)	25	33	45	58	65	70	66	59	48	39	28	22	17.000

Tabelle 7 bringt eine Zusammenstellung der Mittagsintensitäten im Jahresgang der Sonnen-, Himmels- und Globalstrahlung bei wolkenlosem Himmel. Dazu wurden alle bei 0/10 Bewölkung registrierten Mittagsintensitäten der Globalstrahlung aufgetragen, eine Mittelkurve durch die wenig streuenden Punkte gezeichnet (siehe Abb. 18 b) und der Wert zum 1. und 15. jedes Monats abgelesen. Entsprechend wurde mit den Himmelsstrahlungswerten verfahren und die Sonnenstrahlungsintensitäten konnten leicht durch Differenzbildung ermittelt und mit dem Sinus der entsprechenden Sonnenhöhe auf jene Intensitäten umgerechnet werden, die zum wahren Mittag auf die senkrecht zur Strahlenrichtung stehende Fläche einfallen (Tab. 7). Letztere Werte decken sich mit dem Jahresgang der direkten Sonnenstrahlung, der in Abb. 18 e zur Kontrolle aus Einzelwerten wolkenloser Tage gebildet wurde. Die Unterschiede dieses Jahrganges zu dem von STEINHAUSER (1939) für die Höhe 2000 m mitgeteilten halten sich im Rahmen der üblichen witterungsbedingten Veränderlichkeit der Sonnenstrahlung, lediglich im Dezember sind die an unserer Station bestimmten Werte auffallend (bis um 0.09 cal/cm^{2}min, d.s. mehr als 6 %) niedriger. So

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

wie bei STEINHAUSER erscheinen auch hier in Obergurgl zwei Maxima, eines im April, das andere im September Oktober, jedoch sind beide Maxima hier durch ein ausgeprägteres Juli-Minimum geschieden als dort.

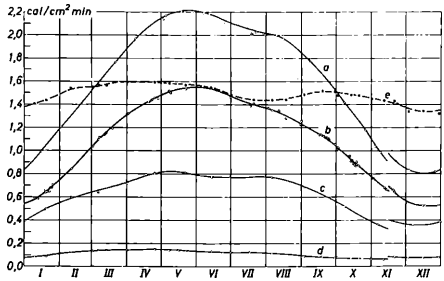


Abb. 18: Jahresgang der Intensitäten der Sonnen- und Himmelsstrahlung an der Basisstation Obergurgl-Waldgrenze
a) absolute Maxima der Globalstrahlung (bei wechselnder Bewölkung)
b) Mittagsintensitäten der Globalstrahlung bei wolkenlosem Himmel
c) Maximalintensitäten der Himmelsstrahlung (bei wechselnder Bewölkung)
d) Mittagsintensitäten der Himmelsstrahlung bei wolkenlosem Himmel
e) Mittagsintensitäten der direkten Sonnenstrahlung (normal zur Strahlenrichtung)

Tabelle 7: Jahresgang der Mittagsintensitäten der Sonnen-, Himmels- und Globalstrahlung bei wolkenlosem Himmel an der Basisstation Waldgrenze. Angaben in mcal/cm²min.

	Sonnenstrahlung normal zur Strahlenrichtung	Sonnenstrahlung auf die horizontale Fläche	Himmelsstrahlung	Globalstrahlung
1. Jänner	1382	473	76	549
15. Jänner	1420	533	80	613
1. Feber	1488	650	92	742
15. Feber	1547	780	117	897
1. März	1565	909	130	1039
15. März	1587	1040	140	1180
1. April	1590	1170	145	1315
15. April	1580	1261	151	1410
1. Mai	1575	1338	150	1488
15. Mai	1566	1382	148	1530
1. Juni	1554	1410	135	1545
15. Juni	1529	1400	129	1529
1. Juli	1473	1345	125	1470
15. Juli	1447	1310	121	1431
1. August	1436	1256	119	1375
15. August	1440	1209	107	1316
1. September	1458	1140	93	1233
15. September	1480	1064	87	1151
1. Oktober	1485	958	80	1038
15. Oktober	1472	838	72	910
1. November	1457	709	63	772
15. November	1430	596	72 +)	668 +)
1. Dezember	1363	493	76	569
15. Dezember	1344	457	73	530

+) Mittel zwischen den um 20 mcal/cm²min verschiedenen Werten bei Schneedecke und bei aperem Gelände.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Der prozentuelle Anteil der Himmelsstrahlung an der Globalstrahlung bei wolkenlosem Himmel ändert sich im Laufe des Jahres; er ist zur Zeit des höchsten Sonnenstandes am geringsten, im Winter am größten. In 200 m Seehöhe ist die Himmelsstrahlung bedeutend stärker an der Gesamtstrahlung beteiligt als in 2000 m Höhe bei freiem Horizont. Dies beruht auf der größeren Mächtigkeit und Trübung der durchstrahlten Luftschicht, welche die diffuse Strahlung erhöht (Tab. 8, Zeile a und b).

Bei der tatsächlichen Horizontabschirmung auf der Station Waldgrenze ergeben sich im Winter, solange eine geschlossene Schneedecke liegt, infolge der Reflexion aus der Umgebung der Meßstelle, die wie gezeigt wurde, die Himmelsstrahlung erhöht, ähnlich große Anteile der letzteren an der Gesamtstrahlung wie in 200 m Seehöhe. Im Sommer hingegen stimmen die Werte annähernd mit den für diese Höhenlage berechneten überein (Tab. 8, Zeile c).

Dies besagt, daß während der Vegetationsperiode beschattete Geländestellen in der Höhe an wolkenlosen Tagen besonders strahlungsarm sind. Ist der Horizont etwa durch Bäume sehr stark abgeschirmt, wie etwa am nördlichen Rand der Lichtung, wo aber zeitweise doch die volle Sonnenstrahlung zur Geltung kommt, so differieren die Strahlungsintensitäten, die unvermittelt auf die Bodenvegetation wirken, bis um das 30-fache voneinander.

Tabelle 8: Prozentueller Anteil der mittl. Tagessummen der Himmelsstrahlung an der Globalstrahlung bei wolkenlosem Himmel
a) für die Höhe 2070 m
b) für die Höhe 200 m
c) an der Basisstation Waldgrenze bei tatsächlicher Horizontabschirmung.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
a)	13	11	10	9	9	9	9	9	9	11	12	13
b)	22	18	16	16	15	14	15	15	15	18	20	22
c)	24	20	17	15	13	10	9	10	11	13	20	27

3. Die Globalstrahlung bei bedecktem Himmel

Je nach Mächtigkeit und Dichte der Schlechtwetterwolken liegen die während eines bedeckten Tages durchgelassenen Strahlungssummen zwischen wenigen Prozent und etwa der Hälfte der Strahlungssummen klarer Tage.

In den 17 Monaten des Registrierzeitraumes wurden 58 bedeckte Tage gezählt. Als bedeckt gilt ein Tag auch dann noch, wenn zwar Sonnenschein herrschte, dieser aber zu schwach war, um eine Brennspur auf dem Registrierstreifen zu hinterlassen.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Abb. 16 c zeigt einen stark asymmetrischen Jahresgang, wie er in ähnlicher Weise auch in Davos, auf dem Zirbitzkogel und auf dem Hohen Sonnblick auftritt (SAUBERER und DIRMHIRN 1958, DIRMHIRN 1954), eine Wirkung der Ausaperung und der im Juni-Juli größten Wolkendichte. Die aus der Mittelkurve abgelesenen Monatswerte finden sich in Tabelle 9a. Der Vergleich mit den Zahlen für die Höhe 2000 m (b) aus SAUBERER und DIRMHIRN 1958 zeigt, daß unsere Ergebnisse in den Monaten ohne Schneedecke durchschnittlich um 20 % niedriger liegen als die Vergleichswerte.

In den Monaten mit Schneedecke kehrt sich das Bild um: rund 30 % höhere Tagessummen wurden verzeichnet, als man nach SAUBERER und DIRMHIRN (1958) erwarten sollte. Es ist leicht einzusehen, daß der vor allem durch direkte Abstrahlung von den schneebedeckten Hängen verursachte Mehrbetrag hier prozentuell nicht so viel ausmachen kann wie bei der Strahlung des Blauhimmels an Klartagen, da (wie Abb. 16 übersichtlich zeigt) letzterer nur etwa 1/3 so stark strahlt als eine Wolkendecke mittlerer Mächtigkeit.

Tabelle 9: Mittlere Tagessummen der Globalstrahlung bei bedecktem Himmel
a) an der Basisstation Waldgrenze,
b) zum Vergleich für die Höhe 2000 m (nach SAUBERER und DIRMHIRN 1958). Angaben in cal/cm^2.
c) α-Werte (Verhältnis der Globalstrahlung bei bedecktem Himmel zur Globalstrahlung bei wolkenlosem Himmel) an der Basisstation Waldgrenze bei freiem Horizont .
d) α-Werte an der Basisstation Waldgrenze bei tatsächlicher Horizontabschirmung.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
a)	103	155	230	272	278	226	194	172	132	90	76	75
b)	77	120	180	240	300	293	255	203	155	112	68	54
c) %	51	49	47	41	36	28	26	27	26	26	34	45
d) %	72	61	54	44	37	29	27	28	30	31	47	69

Gegenüber 200 m Seehöhe sind die Strahlungssummen bei bedecktem Himmel trotz der Horizontabschirmung an der Waldgrenze bedeutend höher (vergl. Abb. 16 und 17);

im Jahresdurchschnitt erhält die Station Waldgrenze bei bedecktem Himmel ungefähr doppelt soviel Strahlung als eine freiliegende Stelle in der Niederung (200 m).

Dies beruht zu einem Großteil auf der geringeren Mächtigkeit und Dichte der Wolkendecke in der Höhe. Dagegen ist bei wolkenlosem Himmel die Globalstrahlung im Jahresdurchschnitt nur um 8 % erhöht.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Die noch stärker abgeschirmte Lichtungsstation erhält im Jahresdurchschnitt bei wolkenlosem Himmel um ca. 3 % weniger, bei bedecktem Himmel dagegen um ca. 35 % mehr Strahlung als eine freiliegende Stelle in der Niederung (TURNER 1958).

Die Überlegenheit des hochalpinen Strahlungsklimas beruht bei größerer Horizontüberhöhung also nicht so sehr in der direkten Sonnenstrahlung als in der diffusen "Wolkenstrahlung".

Diese Feststellung ist für die Hochgebirgsbiologie von Belang. Die großen Strahlungsmengen, die von einer weißen Wolkendecke auf die Erde gelangen besonders stark strahlt dichter Cirrus und mäßig dichter Altostratus sichern ausreichende Stoffproduktion auf dem Wege der CO_2-Assimilation und insbesondere die generative Vermehrung auch für die Pflanzenwelt der Schattenhänge und vieler Unterwuchsformationen. Beispielsweise werden auch Zirbenbüschel und ganze Waldbestände von solcher Strahlung viel besser ausgeleuchtet als von gerichteter Strahlung gleicher Intensität.

4. Globalstrahlung bei wechselnder Bewölkung

In Tabelle 1(c) sind die mittleren Bewölkungsmengen der Monate in der Beobachtungszeit durch die relative Sonnenscheindauer (tatsächlich beobachtete in % der örtlich möglichen) ausgedrückt. Tabelle 10 bringt dazu die entsprechenden mittleren monatlichen Tagessummen der Globalstrahlung sowie als Ergänzung die maximale und minimale Tagessumme für jedes Monat.

Tabelle 10: Mittlere, maximale und minimale Tagessummen der Globalstrahlung an der Basisstation Waldgrenze (cal/cm^2).

		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Mittel	1954						438	433	391	317	231	141	96
	1955	130	196	372	542	564	498	428	382	314			
Maxima	1954						717	716	667	535	357	210	131
	1955	173	294	536	677	780	769	759	655	507			
Minima	1954						120	70	149	67	38	69	40
	1955	76	106	219	248	162	215	218	166	91			

Um die dem langjährigen Mittel der Bewölkungsverhältnisse entsprechenden Globalstrahlungssummen ableiten zu können, wurde die relative Sonnenscheindauer der Periode 1928 - 50 von der nahe gelegenen Station Vent (STEINHAUSER 1958) herangezogen und die von uns tatsächlich registrierten Werte darauf reduziert. Es er-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

gab sich der in Abb. 16 als Kurve M dargestellte ziemlich regelmäßige Jahresgang.

Damit sind die wichtigsten Komponenten der Globalstrahlung im Jahresgang der Tagessummen dargestellt. Abb. 17, zu deren Zeichnung alle Daten aus SAUBERER und DIRMHIRN (1958) entnommen wurden, ermöglicht bei Gegenüberstellung mit Abb. 16 nochmals einen Vergleich mit den Verhältnissen im Tiefland (200 m).

In den Monaten der Hauptvegetationszeit Juni August liegen im Mittel aller Bewölkungsfälle die Globalstrahlungssummen an der Waldgrenze trotz großer Horizontabschirmung um 10 bis 20 % höher als in Wien. Geringer ist der Unterschied bei wolkenlosem Himmel (5 14 %), größer bei bedecktem Himmel (30 50 %), was die große Bedeutung der Himmelsstrahlung für das alpine Strahlungsklima unterstreicht.

Wenn man die Monate mit Schneedecke zum Vergleich heranzieht, kommt durch die zusätzliche Hangreflexstrahlung die Überlegenheit des alpinen Strahlungsklimas noch deutlicher zum Ausdruck, wie ein Vergleich beider Abbildungen mit einem Blick zeigt. Allerdings hat diese starke Einstrahlung im Frühling, wie aus HOLZERs Untersuchungen (1959) hervorgeht, für die über die Schneedecke herausragenden Zirbenkronen nachteilige Folgen (Strahlungsschäden). Auch die Ausbleichung der grünen Nadeln erreicht in dieser Jahreszeit ihren Höhepunkt (TRANQUILLINI 1957). Allein ohne die von unten her auf die Pflanze wirkende Rückstrahlung der Schneedecke zu betrachten, beträgt die mittlere globale Einstrahlung im Februar und März 165 170 % der gleichzeitig in der Niederung verzeichneten Werte. Der Jahresgang der Strahlung bei den mittleren Bewölkungsverhältnissen ist so asymmetrisch,

daß die globale Einstrahlung im April nahe an die im Juli heranreicht. Im Winter werden die größten relativen Unterschiede erreicht; unsere Station hat im Dezember durchschnittlich einen doppelt so großen Strahlungsgenuß als Wien.

Tabelle 11 bringt über diese Vergleiche eine zahlenmäßige Zusammenstellung.

Tabelle 11: Vergleich der Globalstrahlungstagessummen (cal/cm^2) von Obergurgl-Waldgrenze und Wien - Hohe Warte bei den mittleren Bewölkungsverhältnissen.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Obergurgl-Waldgrenze												
Rel. Sonnenscheindauer 1928 - 1950 (Vent) %	55	56	61	54	50	58	61	58	60	58	54	53
cal/cm^{2}d	122	226	372	489	535	548	520	439	327	211	130	99
% von Wien	188	169	167	147	128	119	114	111	112	129	188	202
Wien-Hohe Warte												
Rel. Sonnenscheindauer 1928 - 1950 %	22	33	43	47	53	57	60	59	56	40	21	20
cal/cm^{2}d (1938-1956)	65	134	223	333	417	460	457	395	293	163	69	49

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Abschließend zeigt Abb. 18 außer den schon erwähnten, in Tabelle 7 angeführten Mittagsintensitäten der Global-, Sonnen- und Himmelsstrahlung bei wolkenlosem Himmel auch noch die Maximalintensitäten der Global- und der Himmelsstrahlung bei wechselnder Bewölkung im Jahresgang. Zur Zeichnung der Kurve a wurden die bei aufgelockerter heller Bewölkung auftretenden maximalen Momentanintensitäten aus der Registrierung im Jahresgang aufgetragen und jeweils die höchsten Punkte durch eine Kurve verbunden. Die aus ihr abgelesenen Werte am 15. jedes Monats sind in Tabelle 12 (Global) angeführt. Durch Subtraktion der entsprechenden Mittagsintensität der Sonnenstrahlung (auf die horizontale Fläche) ergaben sich daraus die als Kurve c in Abb. 18 dargestellten und in Tabelle 12 (Himmel) angegebenen maximalen Himmelsstrahlungsintensitäten.

Tabelle 12: Maximalintensitäten der Global- und der Himmelsstrahlung bei wechselnder Bewölkung. Angaben für den 15. jeden Monats in 10^{-2}cal/cm^{2}min.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Global	99	136	169	204	220	217	207	198	171	133	93+)	81
Himmel	46	58	65	78	82	77	76	77	65	49	33+)	35

+) Mittel zwischen den Werten bei hoher Reflexion infolge Schneedecke und jenen bei geringer Reflexion über aperem Gelände.

Es fällt auf, daß die absoluten Maxima der Globalstrahlung bei wechselnder Bewölkung die Mittagsintensitäten der Globalstrahlung bei wolkenlosem Himmel (Abb. 18, Kurve b) weit übertreffen. Es handelt sich um Fälle, bei denen die volle mögliche Sonnenstrahlung um die hohe Reflexstrahlung von weißen Wolken vermehrt wurde. Es kommt dadurch zu Werten, die über der Solarkonstante liegen.

Letztere Maximalintensitäten kommen am häufigsten dann zustande, wenn zwei oder mehr Schichten hell erleuchteter, aufgelockerter Wolken vorhanden sind, die sozusagen als Strahlenfalle wirken, indem die durch Lücken eindringende Sonnen- und Himmelsstrahlung oftmals zwischen den einzelnen Wolkenschichten und von den Wolken, insbesondere von deren stark strahlenden Rändern, zur Erdoberfläche reflektiert und gestreut wird. Dadurch entstehen zeitweise, wenn die direkte Sonnenstrahlung zusätzlich durch eine Wolkenlücke voll zur Wirkung kommt, Intensitäten, die in den Mittagsstunden jene Werte wesentlich übersteigen, die für außerhalb der irdischen Atmosphäre errechnet wurden. Auf diese Weise wird praktisch die Dämpfung der extraterrestrischen Strahlung durch den Luftmantel der Erde aufgehoben und die Strah-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

lung darüber hinaus verstärkt. Wegen der großen Zuggeschwindigkeit der Wolken halten solche Intensitäten meist nur sekundenlang an.

Dank der schnellen Einstellung des Registriersystems konnten die Maximalintensitäten, falls sie wenigstens 10 - 15 Sekunden anzuhalten vermochten, gut erfaßt werden. Zwar stellt sich der volle Wert erst nach 40 Sekunden ein, doch werden schon in den ersten 10 - 15 Sekunden etwa 95 % des Endwertes erreicht, falls der Anstieg nicht aus sehr niederen Intensitäten erfolgt. Da sich der Meßwerkzeiger des Schreibers schwingungsfrei einstellte, sind fälschlich durch Pendelschläge überhöhte Werte ausgeschlossen.

Maxima über 2.0 cal/cm^{2}min sind häufig und in den 4 Monaten April - Juli aufgetreten (Tab. 13). Außer diesen meist nur sekundenlang anhaltenden Extremen sind für biologische Fragestellungen auch länger dauernde Maxima von Interesse. Maximale Stundensummen der Globalstrahlung bringt Tabelle 14 und zwar die aus den Registrierungen herausgegriffenen täglichen Höchstwerte zwischen vollen Stunden mittlerer Ortszeit (deren Monatsmittel sowie den Höchst- und Tiefstwert für jeden Monat des Registrierzeitraumes). Hervorzuheben ist die Stundensumme 11 12^h MOZ am 2. Februar 1955 von 63 cal/cm^2; sie ist die relativ größte Stundensumme, die aufgetreten ist (140 % der Globalstrahlung bei wolkenlosem Himmel) und kam zustande nach einem am gleichen Tag von 4^{00} - 6^{30} MOZ erfolgten Schneefall, bei Föhnlage und bei einer Bewölkung von 5^{0-1} Ci, Ac lent.

Tabelle 13: Maximale tägliche Momentanintensitäten der Globalstrahlung an der Basisstation Waldgrenze (10^{-2} cal/cm^{2}min).

		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Mittleres	1954	-	-	-	-	-	159	162	160	128	94	75	51
Maximum	1955	64	84	129	159	175	178	171	150	116			
Absolutes	1954	-	-	-	-	-	219	201	200	177	142	104	83
Maximum	1955	100	121	177	201	221	218	203	189	167			
Kleinstes	1954			-	-		39	20	65	36	17	29	16
Maximum	1955	36	39	77	86	57	72	135	92	43	-		

Tabelle 14: Maximale tägliche Stundenmittel der Globalstrahlung an der Basisstation Waldgrenze (cal/cm^{2}h).

		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
mittl. max.	1954	-	-		-	-	63	68	64	55	46	33	24
Std. mittel	1955	32	35	64	80	80	73	68	60	54			
absolut	1954	-		-	-	-	89	92	88	77	62	46	34
größtes	1955	47	63	80	91	107	100	94	89	77			
Std. mittel													
kleinstes	1954	-	-	-	-	-	16	8	30	13	7	14	8
maximales	1955	15	22	33	36	20	30	42	24	16			
Std. mittel													

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Als Beispiel der Wirkung solcher hoher Einstrahlung sei der Verlauf der Globalstrahlung am 12. Juni 1953 auf der Station Lichtung angeführt (Abb. 19). Deutlich ist zu bemerken, daß die Intensitätsänderungen gegen die Regel verhältnismäßig langsam erfolgten; nirgends ist infolge der geringen Ortsveränderung der Wolken am Himmel die Registrierkurve in eine Punktwolke aufgelöst wie normalerweise an wechselnd bewölkten Tagen. Einundzwanzig Minuten lang (von 11 Uhr 12 bis 11 Uhr 33 MOZ) hat die Globalstrahlung den Wert der Solarkonstante, der im Juni bei 1.89 cal/cm^{2}min liegt (KLEINSCHMIDT 1935), nicht unterschritten. Eindrucksvoll ist hier die Summierung der ungehindert durch eine stationäre Lücke in 2 3 Wolkenschichten fallenden Sonnenstrahlung von 1.48 cal/cm^{2}min und der zusätzlichen, bis 0.70 cal/cm^{2}min ansteigenden Himmelsstrahlung bei 7/10 Bewölkung registriert worden. In diesen 21 Minuten wurde einem Quadratzentimeter der horizontalen Fläche eine Strahlungsenergie von 44 Grammkalorien zugeführt. In erster Annäherung kann angenommen werden, daß davon 15 % als Strahlung wieder reflektiert werden, von der verbleibenden Wärmemenge 50 % für Verdunstung verwendet und 30 % an die bodennahe Luftschicht abgegeben werden. Es verbleiben für die Erwärmung des Bodens und der Pflanzenmasse 7.4 cal. Mit MAURER (1916) kann die zur Erwärmung von 1 cm^3 Erdreich um 1 Grad C benötigte Wärmemenge mit 0.3 0.6 cal veranschlagt werden. Da eine kleine Energiemenge den obersten Bodenschichten noch durch Wärmeleitung in tiefere Bodenschichten verlorengeht, müßte sich bei Annahme eines mittleren Wertes die oberste, 1 cm dicke Schichte eines unbewachsenen Bodens in diesen 21 Minuten um etwa 17 18 Grad C erhöht haben. Tatsächlich ist die Temperatur, die gleichzeitig in 1 cm Tiefe eines unbewachsenen, durch tägliche Regenfälle durchnäßten Bodens in der Mitte der Lichtung registriert wurde, in dieser Zeit von 23.5 auf 39.0 Grad C, also um 15.5 Grad C angestiegen. Bei Berücksichtigung der Exposition der Bodentemperaturmeßstelle (28 Grad WNW) entspricht diese Temperaturerhöhung dem theoretischen Wert bzw. den eingesetzten Werten für Verdunstung und Temperaturabgabe an die Luft sehr gut. Es läßt sich leicht ermessen, um wieviel stärker der Boden erwärmt wird, wenn die Verdunstung (bei ausgetrocknetem Boden) und die Wärmeabgabe an die Luft (bei Windstille) klein sind, der Boden eine niedrige Albedo, eine südliche Exposition und schlechtes Wärmeleitvermögen aufweist.

II. Die Beziehungen zwischen der Strahlung und der Photosynthese der Pflanzen, vorwiegend der Zirbe

Betrachten wir zunächst den Verlauf des CO_2-Nettogaswechsels eines Pflanzenblattes bei zunehmender Strahlung, wenn alle anderen, den Vorgang beeinflussenden Faktoren konstant und optimal gehalten werden (Abb. 19a). Im Dunkeln gibt das Blatt CO_2 durch Atmung ab. Sobald die Strahlung ansteigt, setzt die Photosynthese ein, so daß die CO_2-Ausscheidung immer schwächer wird und bei einer bestimmten Strahlungsintensität die Atmung kompensiert (Kompensationspunkt). Die Assimilation steigt dann zunächst proportional der Strahlungsintensität an. Die Zunahme der Assimilation bleibt jedoch immer mehr hinter der Strahlungszunahme zurück. Ab einem bestimmten Strahlungswert (Strahlung für maximale Assimilation) hört sie überhaupt auf; die Assimilationskurve ist in einen horizontalen Ast umgebogen. Diese Form der Kurve wurde bei zahlreichen Untersuchungen an verschiedenen Pflanzen immer wieder gefunden, lediglich die Lage der Kardi-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

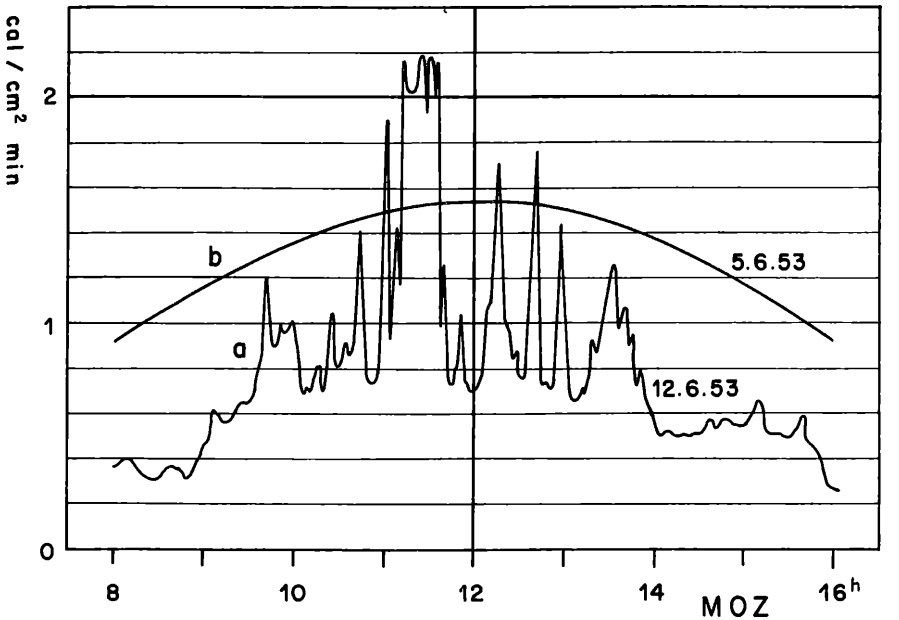


Abb. 19: a) Globalstrahlung bei wechselnd bewölktem Himmel am 12. Juni. Bewölkung: 9^h 9/10, 12^h 7/10, 18^h 9/10. Sc; As, Ac; Cs
b) Globalstrahlung an einem Tag mit wolkenlosem Himmel im Juni
Aus Turner 1958 Archiv f. Met. Geoph. Bioklim. Bd. 8 B

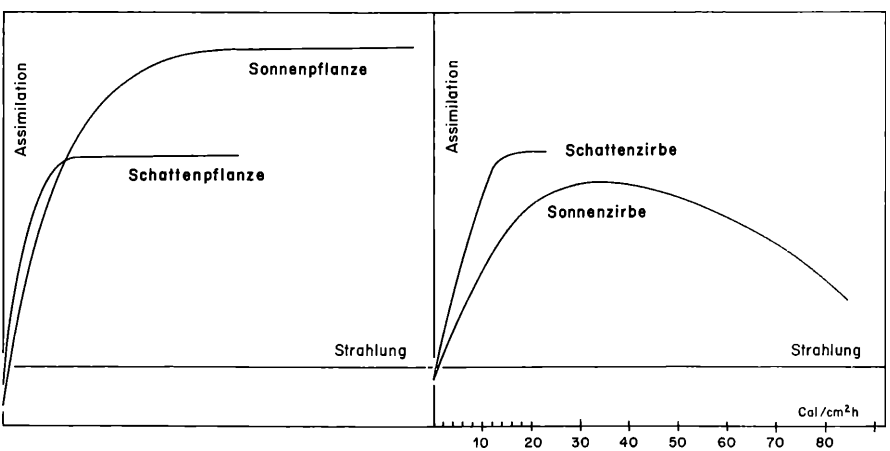


Abb. 19 a: Strahlungsabhängigkeit der Netto-Photosynthese von Sonnen- und Schattenpflanzen im Laboratoriumsexperiment bei konstanter Temperatur (links) und am Standort bei natürlicher Licht-Temperatur-kombination (rechts)

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

nalpunkte unterscheidet sich von Art zu Art, bzw. je nach der Lichtexposition einer Pflanze (Sonnen- und Schattenpflanzen) oder der Blätter eines Individuums (Sonnen- und Schattenblätter)(LUNDEGARDH 1954, BOYSEN JENSEN 1932). Es lassen sich daraus allgemein gültige Gesetze ableiten:

1) Steigerung der Strahlung um einen gewissen Betrag ruft eine umso stärkere Steigerung der Assimilationsintensität hervor, je mehr das Licht im Minimum ist (Relativitätsgesetz der Assimilation).
2) Maximale Assimilation wird bereits bei einer Strahlungsintensität erreicht, die nur einen Bruchteil der in unseren Breiten im Freien maximal möglichen beträgt.

Wenn die anderen assimilationsbestimmenden Faktoren (Temperatur, CO_2-Gehalt der Luft und die den Wasserhaushalt und damit die Spaltöffnungsweite regulierenden Faktoren) nicht konstant gehalten werden, sondern wie das im Freien immer zutrifft - zeitlichen Änderungen unterworfen sind, wirken sie gleichzeitig mit der Strahlung auf die momentane Assimilationsintensität ein. Stellen wir nun aus Tagesgängen die Assimilation von Jungzirben unmittelbar oberhalb der Waldgrenze als Funktion der gleichzeitig gemessenen Strahlung dar, so erhalten wir Strahlungsabhängigkeitskurven der Assimilation, die u. U. erheblich von den im Laboratorium gefundenen abweichen. Wenn sich diese Kurven vor allem im Bereich schwacher Strahlung und bei trübem feuchtem Wetter trotzdem sehr häufig mit der Laboratoriumskurve decken, so beweist das die dominierende Rolle der Strahlung für die Assimilation auch am Standort.

Vergleicht man eine große Zahl solcher am Standort gewonnener Assimilations-Strahlungskurven, so zeigt sich, daß der Anstieg der Assimilation im Bereich schwacher Strahlung je nach den Bedingungen der Tage einmal steiler, einmal flacher verläuft. Auch das Umknicken in den horizontalen Ast erfolgt manchmal früher, manchmal später, doch sind die Verschiebungen nicht erheblich. Am stärksten differieren die Assimilationswerte bei starker Strahlung, weil in diesem Bereich letztere keinen steuernden Einfluß mehr hat, die anderen Assimilationsfaktoren jedoch voll zur Geltung kommen.

Je nach dem Grad der Erwärmung, die mit starker Einstrahlung gekoppelt ist, fällt die Assimilation nach Überschreiten der Strahlung, die für maximale Assimilation notwendig ist, mehr oder weniger stark ab. So kann es u. U. zu einer Assimilationsoptimumkurve kommen, die jedoch erst aus dem Zusammenwirken von Strahlung, Temperatur und Spaltenverengung verständlich wird.

Trotz der erheblichen Variation der Assimilations-Strahlungskurven unter den verschiedenen Witterungsbedingungen können die

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Kardinalpunkte und ihre Streuung für freistehende Jungzirben an der Waldgrenze wie folgt angegeben werden:

1) Die Netto-Assimilation wird bereits bei einer Strahlung von 0.4 - 2.0 cal/cm^{2}h positiv. Nachdem das maximale Stundenmittel der Globalstrahlung an der Waldgrenze nach Tab. 16 107 cal/cm^{2}h beträgt, liegt der Kompensationspunkt bei 0.4 2 % oder 1/250 - 1/50 der vollen Einstrahlung.
2) Im Bereich bis 18 30 cal (17 28 %, 1/6 1/3 der vollen Einstrahlung) hat die Strahlung dominierenden Einfluß auf die Größe der Assimilation.
3) Volle Einstrahlung ist meist mit der damit verbundenen Wirkung anderer Faktoren assimilationshemmend; es kann bis zur Stillegung der CO_2-Aufnahme kommen.

Vergleichen wir die Kardinalbereiche der Strahlung mit den auf der Basisstation im Laufe eines Jahres registrierten Stundenmitteln (Tab. 14), so zeigt sich, daß selbst im Freien das Tagesmaximum der Strahlung der dunkelsten Tage eines Monates häufig unter dem Optimum der Assimilation bleibt, also die Photosynthese durch Lichtmangel begrenzt wird, so vor allem vom September bis Feber, aber u. U. auch im Sommer (Juni und Juli 1954!). Das Maximum der hellsten Tage und das mittlere Maximum der einzelnen Monate ermöglicht jedoch das ganze Jahr über maximale Assimilation.

Besseren Einblick in die Bedeutung der Strahlung für den Stofferwerb der Zirben erhalten wir, wenn wir die Tagessummen der Strahlung mit den Assimilationstagessummen vergleichen. In die Strahlungssummen geht ja auch die Tageslänge und damit die Länge der für den Stofferwerb in Frage kommenden Tageszeit ein.

Wenn wir die Assimilationstagessummen zahlreicher Tage der Vegetationsperiode (vergl. Abbildung 139 und 140) in Abhängigkeit von den entsprechenden Strahlungssummen darstellen, ergibt sich ebenfalls eine Zuordnung zu einer Kurve, deren Einzelpunkte wegen der Wirkung aller anderen Umweltsfaktoren erheblich streuen. Wir können jedoch auch hier deutlich feststellen,

welche Strahlungssumme erreicht werden muß, damit optimale Assimilationstagesleistung möglich wird. Im allgemeinen nimmt diese bereits ab, wenn die Strahlungssumme unter 250 cal/cm^{2}d bleibt. Eine stärkere, daher außerhalb der Fehlergrenze der Assimilationsbestimmung liegende Abnahme ist jedoch erst festzustellen, wenn die Strahlungstagessumme unter 150 cal/cm^{2}d bleibt. Nachdem die maximale Tagessumme der Globalstrahlung an der Waldgrenze nach Tab. 10 780 cal/cm^{2}d beträgt, tritt also eine Begrenzung der Tagessumme der Assimilation erst bei einer Strahlungssumme unter 19 32 %, oder 1/3 1/5 der maximal möglichen ein.

Untersuchen wir wiederum, wie oft diese optimale Strahlungs-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

summe (150 cal) im Laufe eines Jahres auf der Basisstation nicht erreicht wurde (Tab. 15), so ergibt sich, daß vom März bis August die Tagesleistung nur selten von der Strahlung nennenswert begrenzt wird. Auch im Feber, September und Oktober sind es nur einzelne Tage. Daß die verbleibenden Wintermonate November bis Jänner fast stets für die Photosynthese zu strahlungsarme Tage haben, ist biologisch von geringer Bedeutung, weil in dieser Zeit die Temperatur und die innere Rhythmik der Pflanzen einen Stofferwerb verunmöglichen.

Im stark gegliederten Gelände der Kampfzone finden wir Jungpflanzen nicht nur auf den Rippen, die auf Grund ihrer Horizontfreiheit ähnliche Strahlungsverhältnisse aufweisen dürften wie die Basisstation, für die also die mitgeteilten Werte Gültigkeit haben, sondern auch auf den Nordhängen der zu Tale ziehenden Rinnen, stellenweise auch auf den S-Hängen und unter Zwergstrauchvegetation. Um den Strahlungsgenuß solcher Standorte kennen zu lernen, haben wir einige Messungen in unmittelbarer Nähe von Jungzirben (also 10 cm über dem Boden) durchgeführt. Am Nordabfall des Basishügels zur Beerrinne, wo wir die Assimilationsmessungen durchführten, wurde die Strahlung inmitten zahlreicher Jungzirben während eines ganzen Jahres verfolgt.

Tabelle 15: Anzahl der Tage pro Monat mit einer Globalstrahlungssumme

a) $\leqq$ 250 cal/cm^2

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1954			-		-	6	4	6	9	15	30	31
1955	31	25	3	1	1	2	2	7	9			

b) $\leqq$ 150 cal/cm^2

1954	-		-	-	-	3	1	1	2	6	16	31
1955	21	7	0	0	0	0	0	0	5			

Unter dem Schnee ist die Schwächung der eindringenden Strahlung so groß, daß schon unter einer nur wenige Dezimeter hohen Schneedecke die Anzeigegeräte, auch wenn sie auf höchste Empfindlichkeit gestellt waren (1 Skt. 0.46 cal/cm^{2}h), keinen meßbaren Ausschlag mehr zeigten. Um trotzdem einen Anhaltspunkt für die Lichtdurchlässigkeit der horizontalen, ungestörten Schneedecke in der Nähe einer Versuchszirbe auf der unteren Verebnung vor ihrem Ausapern zu bekommen, wurde eine Photozelle am 29.4. 1955 um 14 Uhr im feuchten Firnschnee vergraben und die ursprünglich 60 cm hohe Schneedecke in weitem Umkreis in plan-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

parallelen Schichten schrittweise abgehoben. Die Stärke des vollen Tageslichtes betrug rund 70000 Lux. Aus Abb. 20 kann entnommen werden, wieviel Prozent davon durch den Schnee in verschiedene Tiefen eindrangen. Schon in 2 cm Tiefe kam nur mehr die Hälfte des vollen Tageslichtes an, in 8 cm rund 1/4, in 18 cm Tiefe 1/10, also nur mehr 7000 Lux. In 60 cm Tiefe wurden nur mehr 100 Lux festgestellt. Da Sonnenzirben die Atmung bei etwa 500 Lux kompensieren, bei 7000 Lux die halbe und bei 25000 Lux die volle Netto-Assimilationsintensität erreichen (TRANQUILLINI 1955), könnten Jungzirben, soweit es aufs Licht ankommt, im April an strahlungsreichen Tagen bereits unter einer Schneedecke von rund 50 cm Höhe kompensieren, in 15 cm Tiefe mit halber und in 2 cm Tiefe mit voller Intensität assimilieren.

Im trockenen, frischgefallenen Pulverschnee ist allerdings die Lichtdurchlässigkeit infolge stärkerer Zerstreuung (großer Gehalt an feinverteilter Luft) weit geringer (SAUBERER 1947).

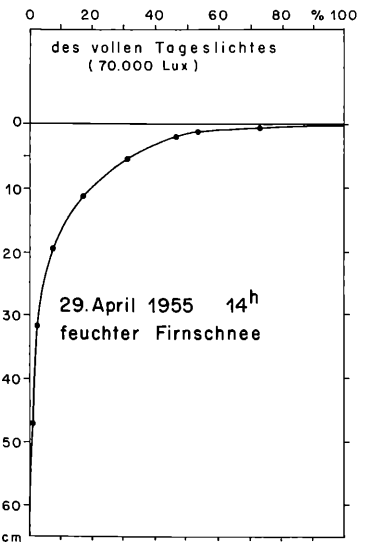


Abb. 20: Verlauf der relativen Strahlungsintensität in der Schneedecke bis in 60 cm Tiefe. Frisch gefallener, trockener Pulverschnee läßt weniger Licht durch
Aus Tranquillini 1957 Planta Bd. 49

In der schneefreien Jahreszeit hängt die Strahlungssumme, die zu den Jungzirben auf dem N-Hang gelangt, von der lokalen Horizontabschirmung durch die Geländewelle und durch nahestehende Bäume ab. Daher ist dort im Hochsommer im Verhält-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

nis zur Basis nur etwas weniger Strahlung (82 - 89 %), bei tiefem Sonnenstand sinkt dieser Anteil jedoch bereits im September auf 76 %, im November bis auf 28 %! (Tab. 16). Daß im Mai nur 57 % gemessen wurde, beruht auf den Spätschneefällen, welche die Zirben und damit das Pyranometer in ihrer Nähe vorübergehend bedeckten, während die Basismeßstelle stets schneefrei gehalten wurde.

Tabelle 16: Strahlungssummen vom Mai bis November an Jungzirbenstandorten auf dem Nordhang (N) und auf dem SW-Hang (SW) des Basishügels an der Waldgrenze und unter einem Rhododendronbusch (Rh) in % der Strahlungssummen der Basisstation (B). Anzahl der Tage, an denen das Strahlungsoptimum der Assimilation (250 bzw. 150 cal/cm^{2}d) nicht erreicht wurde und in Prozent aller Meßtage.

	Mai 55		Juni 55		Juli 55			August 55			Sept. 55		Okt. 54		Nov. 54	
	B	N	B	N	B	N	SW	B	N	Rh	B	N	B	N	B	N
Anzahl der Meßtage	18	18	23	23	31	31	6	26	26	6	29	29	15	15	28	28
Strahlungssumme in % der Basis																
Anzahl der Tage mit Strahlungssumme < 250 cal																
in % der Anzahl der Meßtage																
Anzahl der Tage mit Strahlungssumme < 150 cal																
in % der Anzahl der Meßtage																

Zur Zeit des höchsten Sonnenstandes (Juli) erhält eine Meßstelle in SW-Exposition annähernd gleich viel Strahlung wie in N-Exposition. Daher sind auch die Erwärmungen der Zirben auf beiden Seiten nur unwesentlich verschieden (vergl. Abschn. I E 3). Unter Zwergstrauchvegetation (Rhododendron) ist die Strahlung natürlich je nach der Dichte des Blätterdaches stärker reduziert; an unserer Meßstelle z. B. auf 25 % (August).

Die zusätzliche Beschattung der Zirben in Nordlage bewirkt, daß ihre Assimilation bedeutend öfter als auf völlig freien Standorten von der Strahlung begrenzt wird.

Während Tage mit einer Strahlung unter 150 cal/cm^{2}d auf der Basis, wie schon erwähnt, vom Mai bis August nicht auftreten, sind es auf dem Nordstandort im Mai 22 %, im Juni 4 %, im August 8 %. Nur der Juli ist auch auf der Nordseite der Welle stets so hell, daß keine Assimilationsbegrenzung auftritt. Erst im Herbst wirken sich die Strahlungsunterschiede zwischen der Basis und auf N auf die Assimilationsleistung der Zirben stärker aus, wie

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
aus Tab. 16 entnommen werden kann.

Dies bewirkt zusammen mit der thermischen Ungunst dieser Lage, daß auf der Nordseite die Assimilation im Herbst rascher abnimmt und früher stilliegt als in strahlungsmäßig und thermisch günstigeren Lagen des Reliefs (TRANQUILLINI 1957).

Unter Zwergstrauchvegetation reicht die Strahlung (25 % der Basis) selbst im August an keinem Tag aus, um optimale Assimilation zu ermöglichen. An einem solchen Standort jedoch sind die Zirben bereits an dieses Schwachlicht angepaßt, indem sich ihre Kardinalpunkte der Assimilations-Strahlungs-Kurve in Richtung schwächerer Einstrahlung verschieben. Dies beweisen Assimilationsmessungen an einer Schattenzirbe auf der Lichtung im Jahre 1953, über die im nächsten Abschnitt noch gesprochen werden wird.

III. Über die Strahlungsverhältnisse innerhalb des Bergwaldes

In den Baumkronen des lockeren Zirben-Lärchenmischwaldes am Versuchshang wird die Strahlung je nach der Dichte des Blätterdaches mehr oder weniger stark absorbiert, so daß nur ein geringer Teil auf den Waldboden auftrifft. Der Erfassung dieses Anteils kommt wegen der Frage, ob die natürlichen Strahlungsverhältnisse das Aufkommen von Jungwuchs verhindern können, für forstliche Belange große Bedeutung zu.

Der Bestand von Zirben, der im Süden an die Lichtung anschließt, hat teilweise dichten Kronenschluß. Am Meßort, wo vom 1.6. 6.11. die Strahlung laufend registriert wurde, ist der Himmel zu 94 % abgeschirmt. Direkte Sonnenstrahlung gelangte durch eine Lücke im Kronendach vor allem zwischen 11 und 12 Uhr in der Dauer von 5 bis 45 Minuten je nach Sonnenstand auf die Meßstelle. Geringere Anteile direkter Sonnenstrahlung gelangten auch noch zu verschiedenen Zeiten des Nachmittags auf die Meßstelle, wodurch der Tagesgang der Strahlung an sonnigen Tagen sehr unruhig verläuft.

Der relative Strahlungsgenuß (% des gleichzeitigen Freilandwertes) schwankte im Laufe eines völlig wolkenlosen Tages zwischen 1.5 % im vollen Schatten am Morgen und 90 % im direkten Sonnenlicht, das zu Mittag durch die Lücke im Kronendach Zutritt hatte. 33 - 35-fache Intensitätsunterschiede innerhalb von 15 Minuten wurden an mehreren sonnigen Tagen registriert. Ähnliche Schwankungen hat NÄGELI (1940) auch in einem Laubholzbestand festgestellt.

Den Tagesgang der relativen Strahlung im Wald bei verschiedenen Bewölkungsverhältnissen zeigt Abb. 21. Vor Son-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

nenaufgang ist die eindringende Strahlung relativ stark. Nach Sonnenaufgang fällt sie an wolkenlosen Tagen (Kurven b und c) zunächst stark ab, nimmt dann im Laufe des Tages fortlaufend zu, besonders schnell ab 14 Uhr, bis zum örtlichen Sonnenuntergang auf über 10 %. Dieser Tagesgang der Strahlung im Waldschatten wird zur Hauptsache durch die Exposition des Geländes geprägt. Die direkten Sonnenstrahlen dringen in den Bestand ein und erhöhen dabei durch Zerstreuung in den Baumkronen die diffuse Strahlung im Innern des Bestandes; am stärksten zu jenem Zeitpunkt, an dem der Einfallswinkel der direkten Sonnenstrahlung auf die Hangfläche (33° WNW) am größten ist.

Der starke Anstieg der relativen Strahlung nach Sonnenuntergang beweist, daß die diffuse Strahlung besser eindringt als die direkte (TRAPP 1938). Daß die relativen Werte am Abend bedeutend größer sind als am Morgen, beruht darauf, daß der blaue Himmel aus der Umgebung der Sonne am stärksten und abends überhaupt stärker als am Morgen strahlt; beides kann wegen der Hangexposition am Abend besser zur Geltung kommen.

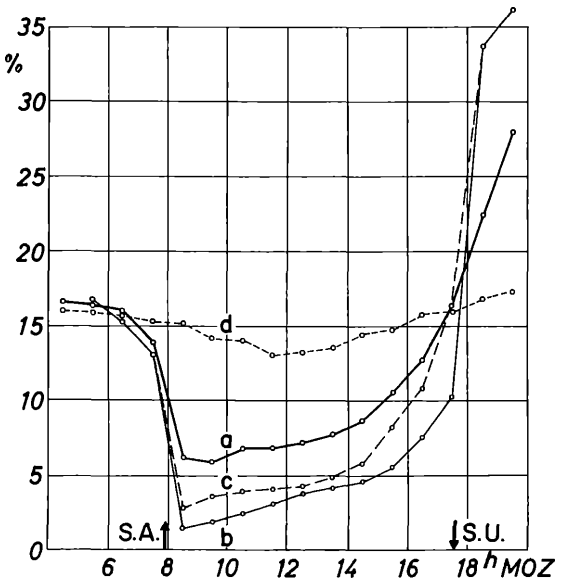


Abb. 21:
Tagesgang der Globalstrahlung im Juli in einem 30° WNW exponierten Zirbenwald. Angaben der Stundenmittel in % der Freilandwerte

a) im Monatsdurchschnitt Juli 1953
b) bei wolkenlosem Himmel im Schatten
c) bei wolkenlosem Himmel unter Einschluß der wandernden Lichtinseln
d) bei bedecktem Himmel
S. A. = örtlicher Sonnenaufgang am 15. Juli
S. U. = örtlicher Sonnenuntergang am 15. Juli

Bei bedecktem Himmel ist daher der Anteil der eindringenden Strahlung rund 15 %, also bedeutend höher als bei wolkenlosem Himmel, auch wenn man die wandernden Lichtinseln miteinbezieht (Kurve c) oder im Monatsdurchschnitt (Kurve a) und annähernd über den ganzen Tag konstant (LAUSCHER und SCHWABL

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

1934, NÄGELI 1940). Die Helligkeitsschwankungen im Freien werden daher im Waldinneren an völlig beschatteten Stellen deutlich gemildert.

Im Jahresgang der Strahlung, wie er für die verschiedenen Bewölkungsfälle in Abb. 22 zusammengestellt wurde, kommt zum Ausdruck, daß sich der mehr oder weniger kontinuierliche Nadelabfall und das Austreiben der Knospen in einem wechselnden Strahlungsgenuß im Bestandesinnern auswirken. Am schönsten zeigen das die Relativwerte bei bedecktem Himmel, weil in diesem Falle die Zufälligkeiten ausgeschaltet sind, die die Einstrahlung des direkten Sonnenlichtes beeinflussen. Bis zum Juli wird es danach im Bestand im Verhältnis zum Freiland heller. Dann erfolgt im August ein Abfall des relativen Strahlungsgenusses von 13 auf 10 %. Phänologische Beobachtungen lehren, daß Anfang Juli gewöhnlich das Austreiben beginnt. Die Jahreskurve der diffusen Strahlung läßt darauf schließen, daß dieser Prozess nach zwei Monaten (Ende August) zum Abschluß gekommen ist. Im September wirkt sich der Nadelabfall (der in diesem Herbst wegen Schädigung durch Pilzkrankheit besonders reichlich erfolgte) bereits wieder in einem Ansteigen der Strahlungskurve aus.

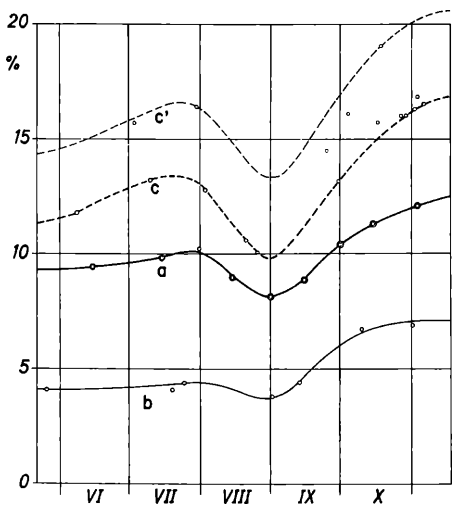


Abb. 22: Jahresgang der Globalstrahlungstagessummen in einem 70-jährigen Zirbenbestand, dargestellt in % der Freilandwerte
- a Monatsmittel, an einzelnen Monatsersten ergänzt durch Zehntagesmittel
- b bei wolkenlosem Himmel (im Schatten unter Ausschluß jeder direkten Sonnenbestrahlung)
  bei bedecktem Himmel
  bei bedecktem Himmel und durch Niederschläge tropfnassem Kronendach (die Punkte zwischen den Kurven c und c' ergaben sich bei weniger ergiebigen Niederschlägen)

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Wieder zeigt sich deutlich, daß die diffuse Strahlung des bedeckten Himmels am leichtesten in den Bestand einzudringen vermag. Die direkte Sonnenstrahlung wird von den Baumkronen wesentlich stärker reflektiert.

Die Lichtdurchlässigkeit des Kronendaches für diffuse Strahlung ist deutlich erhöht, wenn alle Nadeln durch ergiebige Niederschläge naß sind. Denn an jenen Tagen mit bedecktem Himmel, die unmittelbar auf mehrtägige Niederschlagsperioden folgten, war der relative Strahlungsgenuß um 4 - 5 % höher als der Jahreskurve entsprochen hätte (Kurve c').

Die mittlere relative Strahlung im Wald über den ganzen Registrierzeitraum, der ungefähr der Vegetationsperiode entspricht, betrug 9.6 % des Freilandes (TURNER 1958). Vergleicht man diesen Wert mit anderen Beständen, so zeigt sich, daß selbst an dieser dichten Stelle des Zirbenwaldes mehr Strahlung durchkommt als in Beständen von Schattenhölzern, jedoch weniger als in Lichtholzbeständen (TRANQUILLINI 1960).

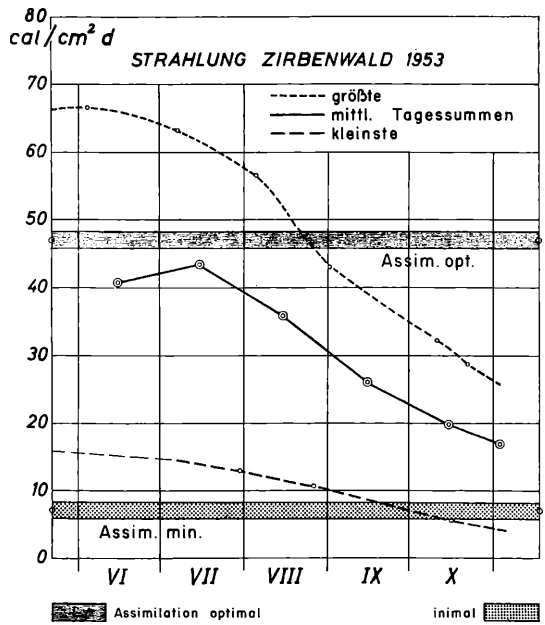


Abb. 23: Jahresgang der Globalstrahlungstagessummen in einem 70-jährigen Zirbenbestand. Strahlungsoptimum und -minimum der Assimilationstagesausbeute im September (nach Tranquillini 1955) eingezeichnet

Jungzirben, die auf Standorten stark verringerten Strahlungsgenusses aufwachsen, haben sich an das Schwachlicht angepaßt. Dies zeigt sich u.a. in der Verschiebung der Kardinalpunkte der As-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
similation. Wir haben solche Schattenzirben im Bereich der Lichtung untersucht (Rel. Strahlungsgenuß unter dem Alpenrosengesträuch 29 %) und gefunden,

| daß sie bereits bei 0.1 cal/cm^{2}h kompensieren und bei 12 cal/cm^{2}h die maximale Assimilation erreichen (TRANQUILLINI 1955).

Die Vergleichszahlen für Zirben freier Lagen an der Waldgrenze lagen bei 0.5 2.0 cal bzw. 18 30 cal/cm^{2}h (vergl. S. 93).

| Dies bewirkt, daß die Strahlungstagessumme bis 48 cal/cm^{2}d sinken kann, ohne die Tagesleistung der Assimilation zu beeinträchtigen (Waldgrenze 150 cal!).

Wir haben ferner berechnet, daß im Mittel der Vegetationsperiode mindestens 7 cal pro Tag eingestrahlt werden müssen, damit diese Schattenzirben ihre Atmungsverluste einschließlich der Winteratmung gerade noch kompensieren können (Strahlungsminimum).

Betrachten wir daher zuletzt, welche absoluten Strahlungsmengen an den einzelnen Tagen der Meßperiode am Waldboden ankommen. Abb. 23 zeigt, daß alle mittleren Tagessummen der Strahlung im Zirbenwald in den Monaten der Vegetationsperiode unter dem Assimilationsoptimum liegen. Das heißt,

| die mittleren Strahlungsbeträge reichen in keinem Monat aus, um maximalen Zuwachs zu ermöglichen.

Lediglich zu Beginn der Vegetationsperiode wurde an einigen Tagen das Strahlungsoptimum der CO_2-Tagesausbeute erreicht und sogar überschritten. Noch seltener wurde aber das Lichtminimum der Assimilation unterschritten.

Es herrscht also entschieden Lichtmangel. Die Stoffproduktion ist zwar imstande, den durch Atmung verursachten Stoffabbau mehr als auszugleichen, aber die Lichtmenge reicht nicht aus, um maximal mögliche Stoffproduktion sicherzustellen, insbesondere wenn man bedenkt, daß es im Wald viele Stellen gibt, wohin im Laufe des Tages überhaupt kein direktes Sonnenlicht gelangt.

Am Untersuchungsort, wie auch in anderen ähnlich dichten Zirbenbeständen, fehlt durchwegs ein Zirbenjungwuchs, auch Kümmerformen treten nicht auf.

| Der Bestand verjüngt sich nicht, obwohl wie oben nachgewiesen wurde, die zur Verfügung stehenden Strahlungsmengen einen zumindest schwachwüchsigen Jungwuchs ermöglichen würden.

Ob die Reduktion des Lichtes die Keimung der Zirbensamen verhindern kann, ist noch nicht untersucht, ist aber nach Beobachtungen des Aufkommens von Zirbenjungwuchs in ähnlich lichtarmen Räumen unter Alpenrosengebüsch nicht wahrscheinlich. Hier tritt eher der auf 28 % des Freilandes verringerte Niederschlag (vergl. Abschn. I E 8, S. 277 ff) sowie die Konkurrenz der Altbäume ums Bodenwasser als begrenzender Faktor auf.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Zusammenfassung

Die Globalstrahlung in einer Höhenlage von 2000 m ist stärker als in der Niederung, die Himmelsstrahlung bei wolkenlosem Wetter jedoch schwächer (geringere Mächtigkeit der durchstrahlten Luftschicht). Bei größerer Horizontabschirmung (Station "Waldgrenze", vor allem aber Station "Lichtung") kann dieser Strahlungszuschuß im Jahresdurchschnitt wieder aufgehoben werden.

Bei bewölktem Himmel ist die diffuse Strahlung in der Höhe bedeutend intensiver als im Tal (geringere Mächtigkeit der Wolkendecke).

Durch die Reflexion der überhöhten Umgebung (Hangreflexion) kann es bei Vorhandensein einer Schneedecke zu unerwartet hohen Strahlungszuschlägen kommen. Daher ist im Winter die Strahlung der Höhenlagen besonders intensiv und bis doppelt so stark als in der Niederung.

Durch Wolkenreflexion kommen im Sommer momentan wirksame Strahlungsintensitäten vor, die weit über der extraterrestrischen Strahlung liegen.

Diese Eigentümlichkeiten der Strahlung in der Höhe der Waldgrenze haben weitgehende biologische Wirkungen:

1) Die intensive Winterstrahlung führt zu Chlorophyllzerstörung und Schädigung sonnexponierter Kronenpartien selbst bei strahlungsresistenten autochthonen Zirben. Umsomehr dürften Setzlinge aus Tieflagen betroffen werden.
2) Die starke Wolkenstrahlung verhindert, daß selbst an den lichtärmsten Tagen der Vegetationsperiode die Stoffproduktion freistehender Zirben nennenswert beeinträchtigt wird. Etwas schlechter sind Pflanzen auf N-exponierten Hängen gestellt, die öfter, vor allem im Herbst, unter Lichtmangel leiden.

Im natürlichen Zirbenwald unterhalb der Waldgrenze wird die Strahlung stellenweise so stark reduziert, daß selbst Jungzirben, die an den Schatten angepaßt sind, fast nie so stark belichtet werden, um maximal assimilieren zu können. Jedoch kommt die Strahlung allein als Ursache für die fehlende Verjüngung unter Altbäumen nicht in Frage.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Literatur

BOYSEN JENSEN P. 1932: Die Stoffproduktion der Pflanzen. Jena: Gustav Fischer.

DIRMHIRN I. 1954: Zum Strahlungsklima des Zirbitzkogels. 49-50. Jahresbericht Sonnblick-Verein f. d. Jahre 1951-1952, 50-55.

DIRMHIRN I. 1958: Untersuchungen an Sternpyranometern. Archiv Met. Geophys. Biokl., B. 9, 124 - 148.

HOLZER K. 1959: Winterliche Schäden an Zirben nahe der alpinen Baumgrenze. Cbl. f. d. ges. Forstwesen 76, 232-244.

KLEINSCHMIDT E. 1935: Handbuch der meteorologischen Instrumente. Berlin: Springer.

LAUSCHER F. und W. SCHWABL, 1934: Untersuchungen über die Helligkeit im Wald und am Waldrand. Biokl. Beibl. 1, 60-65.

LUNDEGARDH H. 1954: Klima und Boden, 4. Aufl. Jena: Gustav Fischer.

MAURER J. 1916: Bodentemperatur und Sonnenstrahlung in den Schweizer Alpen. Meteorol. Z. 33, 193.

NÄGELI W. 1940: Lichtmessungen im Freiland und in geschlossenen Altholzbeständen. Mitt. schweiz. Anst. forstl. Vers. wes. 21, 250 - 306.

ROLLER M. 1957: Charakteristische Besonnungstypen der Ostalpenländer. Wetter und Leben 9, 96 - 99.

SAUBERER F. 1947: Über die Schneedeckenverhältnisse Niederöstereichs und das Mikroklima im Schnee. Zbl. ges. Forst-u. Holzwirtsch. 70, 138.

SAUBERER F. und I. DIRMHIRN, 1958: Das Strahlungsklima. In "Klimatographie von Österreich". Österr. Akad. Wiss., Denkschriften d. Gesamtakademie 3, 13 - 102.

STEINHAUSER F. 1939: Die Zunahme der Intensität der direkten Sonnenstrahlung mit der Höhe im Alpengebiet und die Verteilung der Trübung in den unteren Luftschichten. Met. Ztschr. 56, 172.

STEINHAUSER F. 1958: Sonnenschein. In "Klimatologie von Österreich", Österr. Akad. Wiss., Denkschriften der Gesamtakademie 3, 103-136.

TRANQUILLINI W. 1955: Die Bedeutung des Lichtes und der Temperatur für die Kohlensäureassimilation von Pinus-Cembra-Jungwuchs an einem hochalpinen Standort. Planta 46, 154-178.

TRANQUILLINI W. 1957: Standortsklima, Wasserbilanz und CO_2-Gaswechsel junger Zirben (Pinus Cembra L.) an der alpinen Waldgrenze. Planta 49, 612-661.

TRANQUILLINI W. 1960: Das Lichtklima wichtiger Pflanzengesellschaften. Handb. Pflanzenphysiologie 5, 304-338.

TRAPP E. 1938: Untersuchungen über die Verteilung der Helligkeit in einem Buchenwald. Biokl. Beibl. 5, 153-158.

TURNER H. 1958: Über das Licht- und Strahlungsklima einer Hanglage der Ötztaler Alpen bei Obergurgl und seine Auswirkung auf das Mikroklima und auf die Vegetation. Arch. Met. Geoph. Biokl., B. 8, 273-325.

TURNER H. 1961: Jahresgang und biologische Wirkungen der Sonnen- und Himmelsstrahlung an der Waldgrenze der Ötztaler Alpen. Wetter und Leben 13, 93 113.

WALTER H. 1951: Standortslehre. Stuttgart: Eugen Ulmer.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

2. Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit

von H. Aulitzky

Inhalt

	Seite
Einleitung	107
Stationsbeschreibung	107
Instrumentierung und Auswertung	108
I. Der Einfluß der Hanglage auf die Lufttemperatur	108
II. Die Lufttemperaturen an der Waldgrenze (2072 m)	112
III. Die Lufttemperaturen im subalpinen Zirben-Lärchenwald	113
A. Lufttemperaturunterschiede zwischen Lichtung und dicht beschattetem Zirbenwald	113
B. Der Einfluß wechselnder Bestockung auf die Lufttemperaturen im subalpinen Lärchen-Zirbenwald	115
IV. Die Luftfeuchtigkeit	121
A. Zur Abhängigkeit der Luftfeuchtigkeit von der Seehöhe	121
B. Der Einfluß des subalpinen Zirben-Lärchenwaldes auf die relative Luftfeuchtigkeit und auf den Dampfdruck	123
Zusammenfassung	124
Literatur	125

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Einleitung

Die Lufttemperatur ist neben dem Niederschlag jener Klimafaktor, der durch langjährige Messungen an vielen Punkten am besten belegt ist. Kürzere Meßreihen, wie sie bei einem bioklimatischen Netz immer vorliegen, werden daher auch auf diesen Faktor Bezug nehmen müssen, um das Meßergebnis durch Reduktion von den klimatischen Besonderheiten des Meßzeitraumes unabhängig zu machen (siehe Seite 39).

Leider sind jedoch solch langjährige Reihen meist nur von Talstationen vorhanden und diese Lufttemperaturwerte können infolge der Ausbildung eines eigenen Hangklimas nicht ohne weiteres zur Extrapolation benützt werden. Durch die eigenen Messungen sollte dieses Hangklima im inneren Ötztal erfaßt werden.

Während der Meteorologe bemüht ist, die Lufttemperatur mit einem möglichst geringen Strahlungsfehler in einer eigenen Wetterhütte zu messen, wobei er sich durch eine Meßhöhe von 2 m von den Störeffekten der Erdoberfläche möglichst unabhängig machen will, muß eine bioklimatische Messung gerade jene, an der Pflanze wirksam werdenden Strahlungseffekte miterfassen.

Daher hat die Bioklimatologie neben der "Wetterhüttentemperatur" als Bezugspunkt noch die tatsächliche Lufttemperatur in unmittelbarster Pflanzennähe zu messen und schließlich - als biologisch interessantestes Glied in thermischer Hinsicht die Pflanzentemperatur selbst.

Zwischen der "Wetterhüttentemperatur" und der Pflanzentemperatur lassen sich gesetzmäßige Beziehungen herstellen, wie dies Seite 134 auch geschehen ist, und daher können in diesem Sinne auch langjährige Reihen der Lufttemperatur in englischen Hütten wieder zu einem biologisch wertvollen Bezugsglied werden.

Die Lufttemperatur bestimmt auch weitgehend die relative Luftfeuchtigkeit und das Sättigungsdefizit der Luft und beeinflußt indirekt auch den Wasserhaushalt.

Stationsbeschreibung

Zur Erfassung der Lufttemperatur und Luftfeuchte an den Einhängen des Gurglertales waren während des Meßzeitraumes 1953 1959 bis zu 9 Thermohygrographen in Verwendung (in Wetterhütten). In den Jahren 1953 1954 wurden die Lufttemperatur- und Luftfeuchtigkeitsunterschiede im subalpinen Zirben Lärchenwald erfaßt. Während beim Talquerschnitt alle Wetterhütten die einheitliche Meßhöhe von 2 m über dem Boden hatten, befanden sich die Wetterhütten im Bereich des Stationsnetzes Lichtung in 70 cm über dem Boden. An zwei Standorten, in Lichtung-Mitte und im Zirbenwald, sorgten Doppelstationen in 200 und 70 cm für den Anschluß

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

dieses Netzes an den Talquerschnitt.

Die Station Talboden (1820 m), auf einer Wiese bei Poschach gelegen (siehe Abb. 6) und von Juni 1954 bis Ende 1955 in Betrieb, sollte neben der neu eingerichteten Station in Obergurgl (Universität Innsbruck) den Anschluß ans Talklima herstellen. Am bewaldeten Westnordwesthang wurden an folgenden Stationen Lufttemperatur- und Luftfeuchtemessungen durchgeführt: Lichtung-Mitte (1920 m), Lichtung Nordrand (1913 m), Lichtung Südrand (1912 m) (siehe Abb. 56), Horst (1912 m), Schneise (1912 m), Zirbenwald (1920 m) (siehe Abb. 26), Lärchenwald (1913 m) (siehe Abb. 54), Zirben-Lärchenwald (1916 m) (siehe Abb. 55), Waldgrenze (2072 m), Kampfzone (2150 m) und Baumgrenze (2225 m) (siehe Abb. 6). (Siehe Stationsbeschreibung).

Instrumentierung und Auswertung

Die Registrierungen der Lambrecht-Thermohygrographen wurden täglich zweimal (morgens und abends) mit den korrigierten Werten eines Stationsthermometers sowie eines Maximum- und Minimumthermometers verglichen.

Es muß angenommen werden, daß sich an allen unbeschatteten Standorten die Luft in den Wetterhütten etwas über die Außenluft erwärmte und daher als Folge des entstehenden kleinen Strahlungsfehlers etwas größere Unterschiede gegenüber den beschatteten Stationen gemessen wurden, als in Wirklichkeit auftraten.

Wie schon erwähnt, wurde während der Vegetationsperiode 1953 durch bodennahe Aufstellung der Wetterhütten versucht, das Temperaturklima in der Nähe der Vegetation zu erfassen. Wegen der Unebenheit des Geländes wurden 70 cm als Meßhöhe gewählt. Die Lufttemperatur- und Luftfeuchteunterschiede zwischen dieser Meßhöhe und 200 cm an den Stationen Lichtung-Mitte und Zirbenwald waren jedoch sehr gering. An der Station im Zirbenwald können sie überhaupt vernachlässigt werden, worin sich die große Einheitlichkeit des Stammraumklimas kundtut. Auch in Lichtungsmitte betrug der maximale Unterschied der Amplituden nur $1^{\circ}C$, was als Folge der relativ guten Ventilation an dieser Hangstation aufzufassen ist. Daher wurden bei späteren Messungen ab 1954 zur Beurteilung des Temperaturklimas der Vegetation keine Wetterhütten mehr verwendet, sondern die Luft-Nadel- und Bodentemperaturen mit elektrischen Spezialthermometern direkt gemessen.

Bei der Auswertung der wöchentlichen Thermohygrographenstreifen wurde die mittlere Abweichung ermittelt, dann die wahren Stundenabszissen den Zeitmarken gemäß eingetragen und nunmehr die korrigierten Werte stundenweise abgelesen. Soweit erforderlich, wurde eine verlaufende Korrektur verwendet.

Durch die oftmaligen Eichungen und Kontrollen wurde bei den Thermohygrographen eine Genauigkeit $\pm$ $0.4^{\circ}C$ und $\pm$ 2 % r.F. erreicht, was angesichts der geringen zu erwartenden Unterschiede auch notwendig war.

Die Kontrollen der Hygrographen wurden mit dem Assmann-Aspirationspsychrometer bei geschlossener englischer Hütte so durchgeführt, daß die Luft aus unmittelbarer Umgebung der Haarharfe angesaugt wurde. Zu Eichungen wurden ruhige Wetterlagen bevorzugt und erst das gemittelte Ergebnis mehrerer Ablesungen gewertet. Nach Trockenperioden wurden die Haarharfen regeneriert.

I. Der Einfluß der Hanglage auf die Lufttemperatur

Die reliefmäßige Gliederung der Gebirge ist nicht nur für die dortigen Strömungsverhältnisse, sondern auch für Besonderheiten in der Lufttemperaturschichtung verantwortlich (GEIGER 1950). Bekanntlich strömt während der schneefreien Zeit bei Schönwetter die am Boden erwärmte Luft tagsüber als Talauf- und Hangauf-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

wind bergan. Nach Sonnenuntergang überwiegt jedoch die Ausstrahlung und nun kehrt sich der Vorgang um: Kaltluft streicht als zähes Bächlein langsam die Hänge und Täler hinunter und sammelt sich auf Terrassen, Mulden und Tälern als "Kältesee". Nun liegen die Lufttemperaturen im Bereiche des Talbodens tiefer als die der anschließenden Hänge, wo sich eine sogenannte "warme Hangzone" ausbildet; in der Lufttemperaturschichtung zeigt sich eine Inversion (GEIGER 1950, GEIGER, WOELFLE und SEIP 1933, 1934).

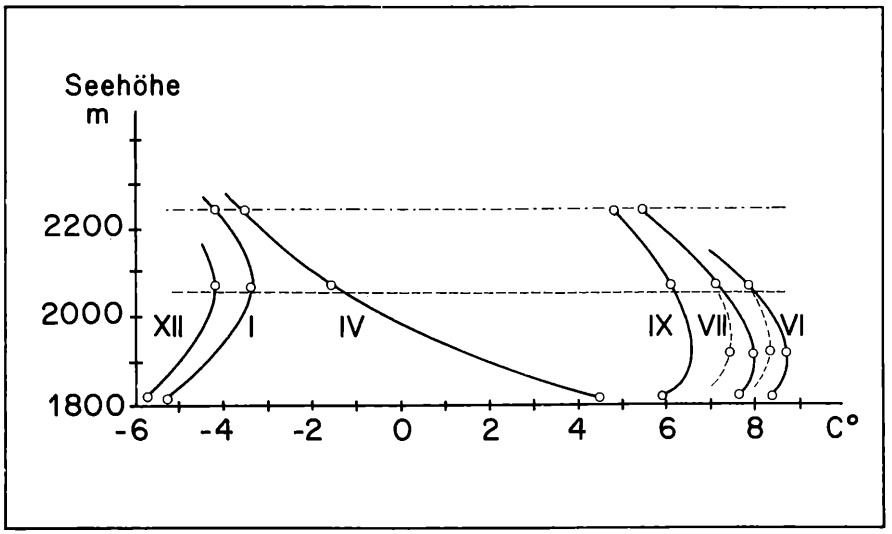


Abb. 24: Abhängigkeit einiger ausgewählter Lufttemperaturmonatsmittel von der Seehöhe am West-Nord-West-Hang des Gurglertales unter Benützung der Stationen Talboden (1820 m), Lichtung/Poschach (1920 m), Zirbenwald (1920 m), Waldgrenze (2072 m) und Baumgrenze (2225 m). Meßhöhe 2 m. Baumgrenze (strichpunktiert), Waldgrenze (strichliert). Temperaturverteilung am bewaldeten Unterhang (strichliert)

Diese Begünstigung der Hänge ist auch für den Pflanzenwuchs von Bedeutung, wie GEIGER, WOELFLE und SEIP (1933, 1934) durch gleichzeitige phänologische Untersuchungen festgestellt haben. An den Sonn- und Schattseiten der Alpenlängstäler haben bereits HELD (1941) und INNEREBNER (1933) das Lufttemperaturklima untersucht und durch die eigenen Messungen sollten nunmehr die Bedingungen in einem inneralpinen Alpenquertal (Nord-Süd-Tal) festgestellt werden.

In Abb. 24 wurden nun die Lufttemperaturmonatsmittel in Abhängigkeit von der Seehöhe aufgetragen, wozu die Stationen Talboden (1820 m), Lichtung-Mitte/Poschach (1920 m), Zirbenwald (1920 m), Waldgrenze (2072 m) und Baumgrenze (2225 m) benützt wurden. Die Auswahl der Mittel beschränkt sich auf einige kennzeichnende Monate aller Jahreszeiten. Dabei zeigt sich, daß in den Wintermonaten die Inversion stärker ausgebildet ist (Dezember 1954 und Jänner 1955) und die Temperaturen lassen jetzt ober dem Talboden einen

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Kältesee von größerer Mächtigkeit vermuten als während der Sommer- oder Herbstmonate, wo die Temperaturschichtung durch konvektive Vorgänge mehr gestört wird. Dementsprechend hat sich im Winter auch die "warme Hangzone" höher hinauf in die Kampfzone verlagert (etwa bei 2100 m), während sie während der Vegetationsperiode im bewaldeten Unterhangbereich (1950 m) zu suchen ist. Die Ausdehnung des nächtlichen Kältesees ließ sich vor allem in den Herbstmonaten durch stärkere Tau- und Reifbildung am Talboden auch mit freiem Auge gut erkennen.

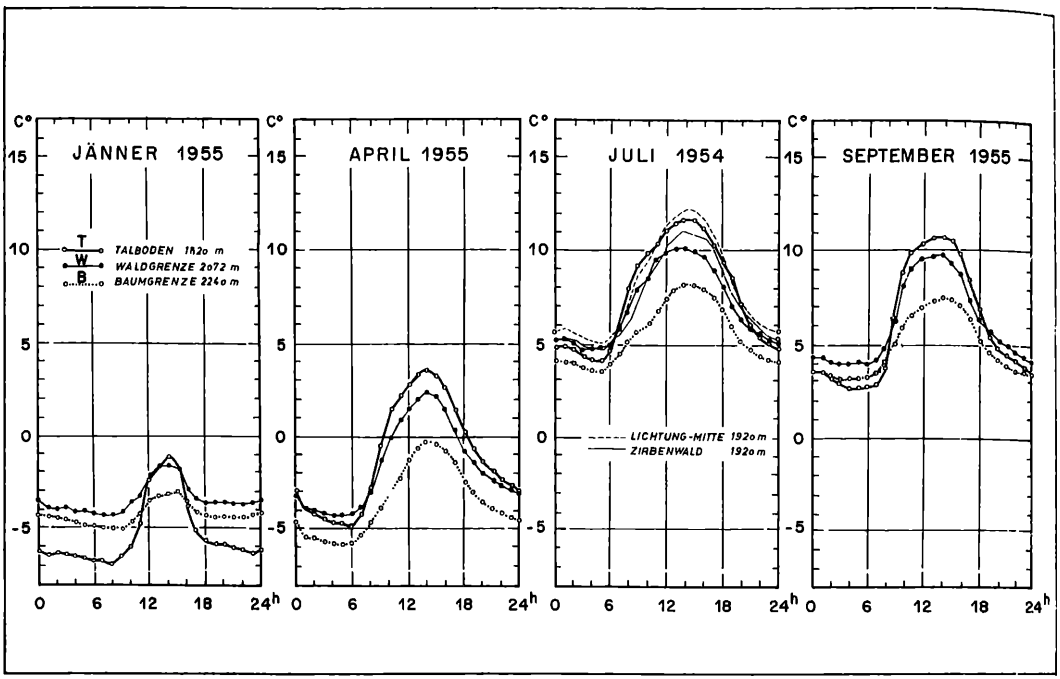


Abb. 25: Mittlere monatliche Tagesgänge der Lufttemperatur in 2 m Höhe über dem Boden aus verschiedenen Jahreszeiten an den Stationen Talboden (1820 m), Lichtung-Mitte/Poschach (1920 m), Zirbenwald (1920 m), Waldgrenze (2072 m) und Baumgrenze (2225 m)

Im Übergangsmonat April zeigten sich dagegen keine Temperaturinversionen, da zu diesem Zeitpunkt der bereits ausgeaperte Talboden sich stärker erwärmen kann, während die Luftschicht über den höher gelegenen und noch schneebedeckten Hängen kühl bleibt.

Diesen Gegebenheiten entsprechend liegen die Temperaturgradienten zu den verschiedenen Jahreszeiten ganz unterschiedlich, sowohl über als auch unter dem adiabatischen Gradienten (1°C pro 100 m).

Die stark ausgleichende Wirkung des Hanges auf die Lufttemperaturgegensätze läßt sich auch aus den mittleren monatlichen

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Tagesgängen gut erkennen (siehe Abb. 25). Mit zunehmender Höhe verkleinern sich die täglichen Schwankungen erwartungsgemäß und vor allem im Herbst und Winter liegen die Nachttemperaturen der höher gelegenen Stationen bedeutend über jenen im Tale. In geringerem Ausmaß zeigt sich dies auch während der Vegetationsperiode. Die mittägigen Höchstwerte finden sich dagegen regelmäßig im Talbodenbereich und mit zunehmender Seehöhe verringert sich ihr Absolutbetrag (siehe Abb. 25 und Tab. 1).

Als Ausnahme ist hier nur die Station Lichtung-Mitte (1920 m) zu nennen, wo die Lufttemperatur im Schutz des rings umgebenden Waldes und als Folge der geringeren Ventilation zu Mittag höhere Werte als selbst am Talboden erreicht (siehe Abb. 25 und Tab. 1). Berücksichtigt man anstelle der Station Lichtung-Mitte aber eine auf gleicher Höhe gelegene Waldstation (Zirbenwald 1920 m), so ergibt sich am bewaldeten Hang eine Verschiebung der Kurven (siehe Abb. 24) nach der kühleren Seite hin, jedoch keine grundsätzliche Änderung, da die Lufttemperaturen im Wald eben um ein weniges niedriger bleiben (siehe Seite 115).

Obwohl heute erst ein Teil des Materials ausgewertet vorliegt, weist das bisher bekannte auf eine thermische Bevorzugung des baumbestandenen unteren Hangteiles im Sommer hin. Die winterliche Verlagerung der "warmen Hangzone" in den Bereich der Kampfzone hinauf wird dagegen bei den schneefreien Teilen der Nadelhölzer infolge Fehlens der tiefen Minima eher eine stärkere Winteratmung, also einen Stoffverlust, zur Folge haben, da die Winteratmung bekanntlich umso stärker eingeschränkt wird, je tiefere Temperaturen auftreten.

Tabelle 1: Extreme und Amplituden der Lufttemperatur (2 m) in verschieden hoch gelegenen Stationen am West-Nord-West-Hang des Gurglertales in Monaten verschiedener Jahreszeit Angaben in Grad Celsius

Jahr und Monat	Station Seehöhe		Maxima mittlere	Maxima absolute	Minima mittlere	Minima absolute	Amplituden mittlere	Amplituden absolute
Juli 1954	Talboden	1820 m	12.9	21.4	3.1	-0.9	9.9	18.0
	Lichtung	1920 m	13.7	22.2	3.9	-0.9	9.9	17.1
	Zirbenwald	1920 m	12.3	21.8	3.6	-1.0	8.7	15.8
	Waldgrenze	2072 m	12.0	19.9	3.5	-2.0	8.5	14.4
	Baumgrenze	2225 m	9.7	17.8	1.9	-3.6	7.8	13.5
Jänner 1955	Talboden	1820 m	-1.3	5.7	-9.5	-20.8	9.4	14.4
	Waldgrenze	2072 m	-0.3	4.2	-6.0	-18.1	5.7	10.7
	Baumgrenze	2225 m	-1.3	5.5	-6.7	-18.2	5.4	12.9
April 1955	Talboden	1820 m	4.5	12.5	-5.5	-13.1	10.0	18.3
	Waldgrenze	2072 m	3.4	10.1	-5.0	-10.8	8.4	13.3
	Baumgrenze	2225 m	0.4	8.0	-6.6	-13.8	7.1	11.6
September 1955	Talboden	1820 m	11.5	17.8	1.4	-4.7	10.1	15.0
	Waldgrenze	2072 m	11.0	17.2	2.4	-6.6	8.5	12.6
	Baumgrenze	2225 m	8.8.	15.0	1.8	-5.2	7.0	10.3

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

II. Die Lufttemperaturen an der Waldgrenze (2.072 m)

Die Auswertung der nahezu sechsjährigen Messungen von der Station Waldgrenze läßt nunmehr schon eine Abschätzung zu, mit welchen Lufttemperaturen hier gerechnet werden muß. Wie die Tabellen 2 und 3 zeigen, vergeht kein Monat, in dem nicht die oberirdischen Teile der Pflanzen mit Frost zu rechnen hätten. Aus dem mehrjährigen Mittel der Andauerwerte ergibt sich, daß die Lufttemperaturen alljährlich unter -20°C zu sinken und über +25°C anzusteigen pflegen. Die hohen und tiefen Extreme beschränken sich allerdings auf recht kurze Zeitabschnitte. Temperaturen über 0°C sind auch in den Wintermonaten recht häufig (siehe Tab. 3). Die Monatsmittel (siehe Tab. 2) bleiben im Winter deutlich über -10°C und nur in besonders warmen Sommern erreichen die Monatsmittel im Juli und August +10°C. Nach der langjährigen Reihe von Vent reduziert (1935 1959) würde sich für die Waldgrenze bei Poschach ein Juli-Monatsmittel von 9.7°C ergeben, was etwa der 10°C-Juli-Isotherme entspricht. Die größte Differenz zwischen einem sommerlichen und winterlichen Monatsmittel betrug nur 18.6°C und es fällt auf, daß die Jahresmittel fast die Temperaturen der um 170 m tiefer gelegenen Station Vent erreichen: Sie betrugen in den Jahren 1957 und 1959 in Vent 1.8°C und 2.05°C und an der Waldgrenze bei Poschach 1.78°C und 1.93°C.

Diese Lufttemperaturen können auch biologisch von Bedeutung sein, da die hohen Temperaturen im Winter nicht nur zu Atmungsverlusten, sondern bei gefrorenem Boden auch zu Vertrocknungsschäden führen können (MICHAELIS 1932). Pflanzen mit geringer Frosthärte, wie beispielsweise die Alpenrose, müssen überall dort, wo ihnen der Schutz der Schneedecke fehlt, mit dem Erfrierungstod rechnen (PISEK 1952). Auch im Sommer stellen die Frosteinbrüche Hemmungen für den CO_2-Stoffwechsel dar. Umgekehrt reizen die höheren Lufttemperaturen des Frühjahres die Pflanzen bereits zu einem Zeitpunkt, wo noch große Teile des Gebietes mit Schnee bedeckt sind, mit dem Kohlendioxydstoffwechsel einzusetzen (siehe Seite 136). Unter Berücksichtigung der Abweichungen der Temperatur von Pflanzenoberflächen (siehe Seite 134 ff) können demnach auch aus der Kenntnis der Lufttemperatur biologische Schlüsse gezogen werden.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

III. Die Lufttemperaturen im subalpinen Zirben-Lärchenwald

Für die Lufttemperaturunterschiede im subalpinen Zirben-Lärchenwald sind zwei Einflüsse von Bedeutung: Es wirkt sich neben dem Hangeffekt vor allem die größere Luftruhe im Inneren des meist lockeren Bestandes aus, wodurch mehr von der eingestrahlten Wärme der unmittelbaren Lufterwärmung am Standort zugute kommt. Daher treten in der Lufttemperatur jeweils dann die größten Standortsunterschiede auf, wenn gut besonnte, jedoch schlecht ventilierte Verlichtungen mit Standorten starker Beschattung aber guter Ventilierung verglichen werden. Als extrem in dieser Beziehung können hier die Stationen Nordrand der Lichtung (siehe Abb. 56) und Zirben-Lärchenwald (siehe Abb. 55) gelten. Wegen der längeren Meßreihe über eine ganze Vegetationsperiode soll aber hier vor allem die Station in Lichtung-Mitte in ihren Abweichungen vom Zirbenwald (siehe Abb. 26) betrachtet werden, ein Stationspaar, das dem oben erwähnten in den Standortsunterschieden sehr nahe kommt.

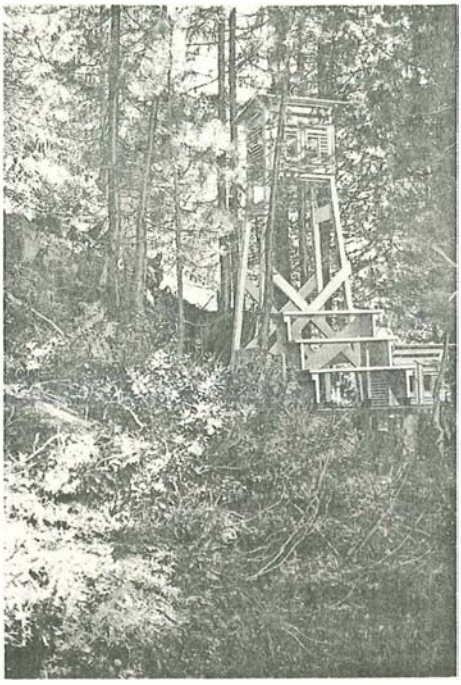


Abb. 26: Zirbenwaldstation im Untersuchungsgebiet Lichtung in 1920 m Seehöhe

A. Lufttemperaturunterschiede zwischen Lichtung und dicht beschattetem Zirbenwald

Über die Unterschiede zwischen Wald und Freiland liegt in der Literatur heute eine große Anzahl von Arbeiten vor. Wenige davon beziehen sich aber auf das Hochgebirge und im besonderen auf die subalpine Stufe im inneralpinen Silikatbereich der Alpen. Aus dieser Stufe besitzen wir eigentlich nur die eintägigen Meßreihen LÜDIS (1936, 1937, 1938) in der Umgebung von Davos, wo er den Fichtenwald in 1950 m Seehöhe mit der oberhalb anschließenden Rostalpenrosen-Zwergstrauchheide (2100 m) verglich. KREUTZ und WEHRHEIM (1942)

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

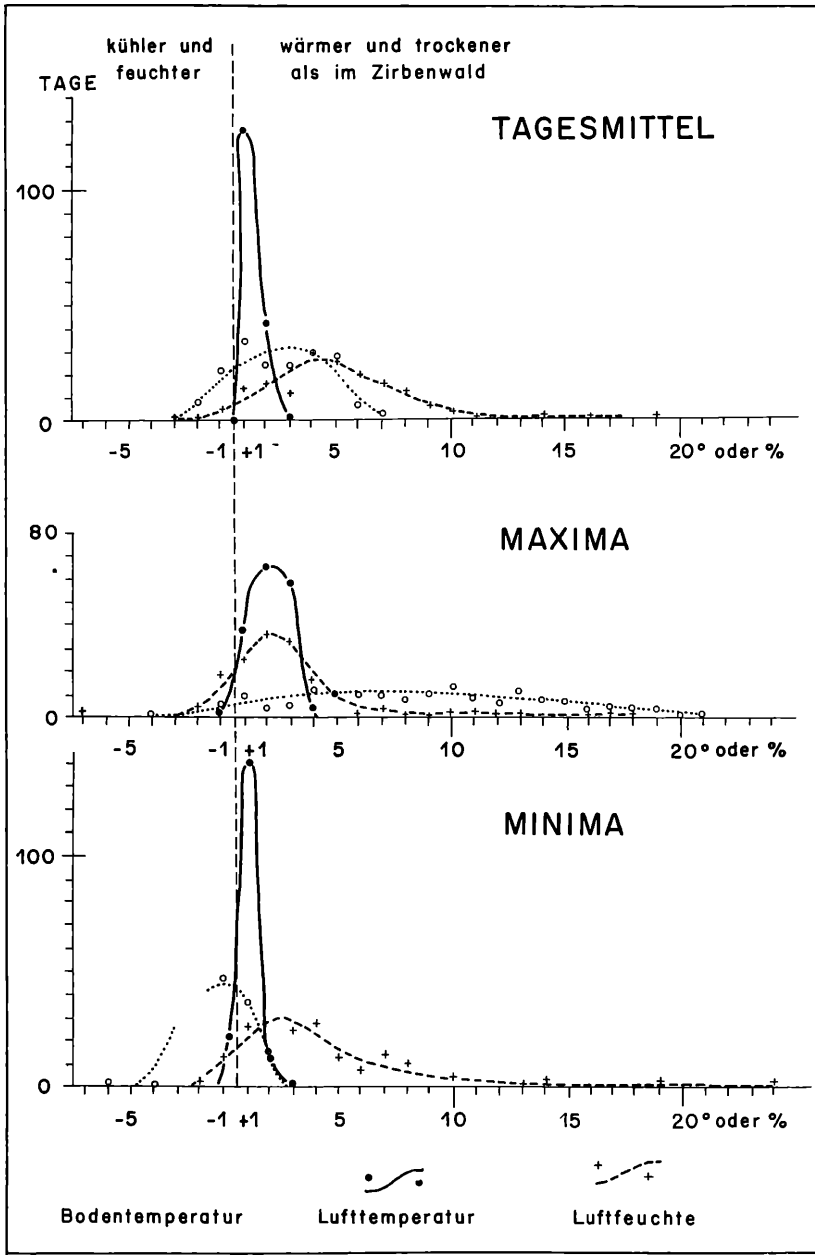


Abb. 27: Anzahl jener Tage einer Vegetationsperiode (vom 1. VI. 1953 bis 15. XI. 1953), an denen die Mittel, Maxima und Minima der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchte in 70 cm über dem Boden sowie der Bodenoberflächentemperaturen in 0 bis 1 cm Tiefe an der Station Lichtung-Mitte (1920 m) über oder unter jenen an der Station Zirbenwald (1920 m) lagen

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

haben im Glocknergebiet die Unterschiede zwischen Latschen- und Erlengebüschen und dem Freiland untersucht. In beiden Fällen waren strahlungsungeschützte Geräte verwendet worden. Von AULITZKY (1953) wurde über eine 36-tägige, bzw. 10-tägige Meßreihe mit englischen Hütten aus dem Gebiet von Salfeins bei Innsbruck berichtet, durch die er die spätsommerlichen Lufttemperaturunterschiede zwischen Freiland und südexponiertem, dichtem Fichtenwald, bzw. nördlich exponiertem Zirbenwald in etwa 1830 m Seehöhe erhob.

Bei diesen Messungen im Spätsommer 1948 unterschieden sich die Lufttemperaturmittel des Meßzeitraumes in Fichtenwald und Freiland nur um 0.4°C. Die etwas stärkere Erwärmung der Luft im Freien hat u.a. ihre Ursache in der Abschattung der Waldstationen durch den Kronenraum und die Abweichungen erreichten während des Tagesganges gegen 15 Uhr mit 1.6°C ihr größtes Ausmaß. Infolge der gegensätzlichen Exposition lag die Lufttemperatur im nordseitigen Zirbenwald nochmals um 0.4°C unter jener, die im südseitigen Fichtenwald beobachtet werden konnte. Der Tagesgang war ähnlich ausgeglichen wie im Zirbenwald, nur etwas im Niveau verschoben. Im Vergleich zu tieferen Lagen mußten diese Unterschiede als gering bezeichnet werden (MÜTTRICH 1890).

Die Messungen im Gebiet der Stationen Lichtung-Mitte und Zirbenwald sollten nun bei gleicher westnordwestlicher Exponierung einen Überblick von der ganzen Vegetationsperiode geben. Zum Unterschied von Messungen auf Salfeins sollte unter Ausschluß von Expositions- und Seehöheneffekten lediglich die Auswirkung unterschiedlicher Bestockung untersucht werden.

In der Mitte der besonnten Lichtung lagen die Tagesmittel immer über jenen im beschatteten Zirbenwald (Abb. 27). Die Häufigkeit der Abweichungen erreicht bei 1°C sein Maximum; äußerstenfalls war es im Tagesmittel etwa um 2°C wärmer, was etwa der Hälfte des Durchschnittes entspricht, den MÜTTRICH (1890) für tiefere Lagen angibt. Größere Überwärmungen zeigten sich bei den täglichen Maximalwerten, wo die größte Häufigkeit bei 1.5°C lag und die Freilandluft höchstens um 3.4°C wärmer als im Bestand war (was auch noch unter dem Durchschnitt von 3.6°C in tieferen Lagen liegt). Selbst die Minimalwerte übertreffen in Lichtungsmitte meist jene im Zirbenbestand; in seltenen Fällen ergab sich jedoch auch ein umgekehrtes Verhältnis (siehe Abb. 27).

Sehr ähnliche Differenzen ergeben sich auch für die relative Luftfeuchtigkeit (siehe Abb. 27), worin sich die starke Abhängigkeit dieses Faktors von der Lufttemperatur bei geringen absoluten Feuchtigkeitsunterschieden kundtut.

Die Abweichungen der Lufttemperatur- und Luftfeuchte im Freiland von jener im Zirbenbestand sind wohl noch kennzeichnend, bewegen sich aber in weit bescheideneren Grenzen, als dies beispielsweise bei den Bodenoberflächentemperaturen der Fall war (siehe Abb. 27). Daraus ergab sich, daß selbst bei Lufttemperaturmessungen in 70 cm Höhe über dem Boden infolge der stärkeren Ventilierung im Hochgebirge schon recht ausgeglichene Bedingungen herrschen und die großen Kleinklimagegensätze auf eine sehr bodennahe Schicht beschränkt bleiben. Während die Tagesmittel der Lufttemperatur auf der Lichtung regelmäßig höher als im Bestand waren (siehe Abb. 27), ist dies bei den Bodenoberflächentemperaturen in 0 1 cm Tiefe schon nicht mehr der Fall. Der Schutz des Bestandes gegen stärkere nächtliche Ausstrahlung wird gleichfalls erst an der Bodenoberfläche wirksam, wie sich aus der Häufigkeitsverteilung der Minima ablesen läßt: Während die Lufttemperaturminima im Bestand selten über jenen auf der Lichtung lagen, war dies bei den Minima an der Bodenoberfläche die Regel.

B. Der Einfluß wechselnder Bestockung auf die Lufttemperaturen im subalpinen Lärchen-Zirbenwald

Trotz großer Bestockungsunterschiede nach Holzart und Dichte (wie sie die unterste Leiste von Abb. 28 zeigt) waren Lufttemperatur und auch Luftfeuchte im subalpinen Zirben-Lärchenwald sehr ausgeglichen. Die Horizontalprojektion der mittleren monatlichen Tagesgänge des als Beispiel ausgewählten September 1953 zeigt nur auf der Lichtung und hier wiederum am besonnten Nordrand etwas stärkere Er-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

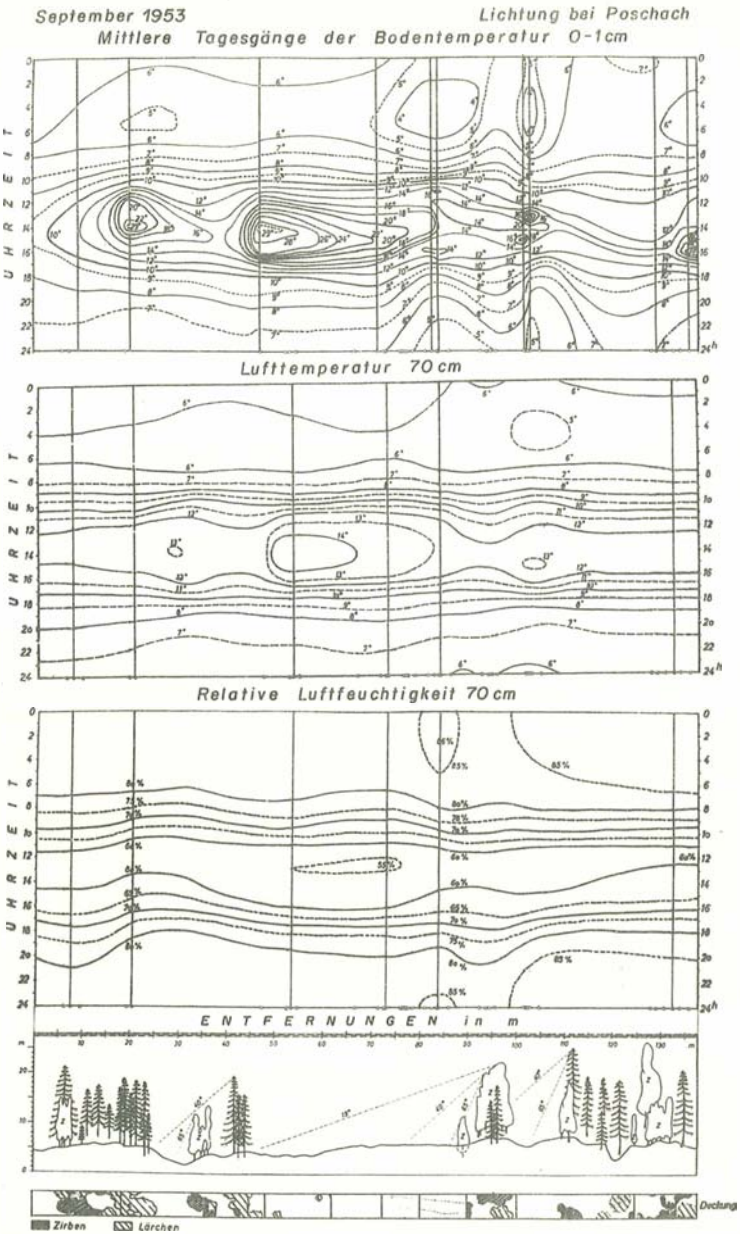


Abb. 28: Mittlere Tagesgänge der Lufttemperatur und Luftfeuchte in 70 cm Höhe über dem Boden im Vergleich mit jenen der Bodenoberflächentemperatur in 0 bis 1 cm Tiefe im Untersuchungsgebiet Lichtung Poschach und im umgebenden Zirben- und Lärchenwald. (Tagesgänge in ihrer horizontalen Projektion während des September 1953)

Tabelle 2: LUFTTEMPERATUR (2 m) Obergurgl - Waldgrenze 2072 m

1954	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Mittel						7.9	7.1	8.2	7.5	3.2	1.5	3.6
größtes Mittel						13.4	14.2	14.0	14.8	8.5	5.6	2.5
kleinstes Mittel						2.7	- 1.3	2.1	1.6	4.5	12.9	- 11.5
absol. Maximum						22.2	19.9	21.3	21.1	15.2	11.1	7.0
mittl. Maximum						13.3	12.0	13.2	11.9	7.8	1.9	- 0.6
absol. Minimum						- 1.0	- 2.0	0.2	- 6.0	6.0	14.9	- 15.1
mittl. Minimum						4.2	3.5	4.4	3.9	0.2	- 3.9	- 6.0
größte Amplitude						14.0	14.4	13.1	14.3	14.2	8.9	14.2
mittl. Amplitude						9.1	8.5	8.8	8.0	7.6	5.8	5.4
1955												
Mittel	- 3.4	- 7.6	- 4.9	- 1.6	3.0	7.3	9.2	8.0	6.1	1.6	1.8	
größtes Mittel	1.2	- 0.3	7.0	7.2	8.7	13.1	16.4	12.9	11.7	7.2	6.9	
kleinstes Mittel	- 15.6	- 15.1	- 13.1	- 8.5	- 3.7	- 0.5	2.5	1.2	- 1.8	- 6.8	12.2	
absol. Maximum	4.2	3.0	11.0	10.1	14.2	20.0	23.4	20.2	17.2	15.3	13.2	
mittl. Maximum	- 0.3	- 4.2	0.3	3.4	8.3	12.6	14.1	12.7	11.0	6.5	2.0	
absol. Minimum	- 18.1	- 17.0	- 17.0	- 10.8	- 7.2	- 4.1	0.6	- 0.7	- 6.6	- 10.7	- 17.0	
mittl. Minimum	- 6.0	- 10.2	- 8.5	- 5.0	- 1.3	3.6	5.8	4.8	2.4	- 1.6	- 4.5	
größte Amplitude	10.7	10.6	15.2	13.3	15.1	14.1	14.9	12.2	12.6	15.3	9.9	
mittl. Amplitude	5.7	6.0	8.8	8.4	9.6	9.1	8.3	7.9	8.5	8.1	6.5	

© Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.biologiezentrum.at

LUFTTEMPERATUR (2 m) Obergurgl - Waldgrenze 2072 m

1956	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
Mittel				2.6	3.6	4.2	9.6	9.0	9.1	1.6	3.7	5.0	
größtes Mittel				1.6	13.1	10.5	15.5	18.0	12.5	11.1	1.9	2.4	
kleinstes Mittel				13.6	4.6	- 2.6	3.1	3.2	4.4	- 7.8	12.1	16.9	
absol. Maximum				7.4	19.7	19.2	21.7	24.9	18.1	16.2	6.2	5.2	
mittl. Maximum				2.4	9.3	9.4	15.1	14.2	13.9	7.1	0.4	2.1	
absol. Minimum				- 15.2	9.0	- 5.1	0.5	- 1.2	0.7	9.3	13.8	17.8	
mittl. Minimum				- 5.8	0.6	0.6	5.2	4.8	5.4	- 1.3	6.3	- 7.4	
größte Amplitude				13.4	14.7	15.4	15.0	14.9	12.6	12.3	10.1	11.0	
mittl. Amplitude				8.3	9.8	8.8	9.9	9.4	8.5	8.4	5.9	5.3	
1957													
Mittel	- 6.0	- 3.7	0.1	1.2	0.7	8.5	9.2	8.3	6.1	4.3	0.1	- 4.8	1.78
größtes Mittel	3.4	4.1	5.1	3.4	6.8	15.4	19.3	13.6	13.7	9.1	5.0	0.9	
kleinstes Mittel	- 16.7	- 10.0	- 9.4	9.7	- 9.1	1.5	1.6	2.1	- 1.4	- 5.1	- 8.5	- 12.4	
absol. Maximum	7.0	8.1	9.9	9.9	15.0	23.2	27.6	19.9	19.9	16.3	10.7	5.3	
mittl. Maximum	- 2.6	0.0	4.7	3.1	5.2	14.1	14.3	13.4	11.5	9.9	3.2	- 1.9	6.24
absol. Minimum	- 20.2	- 14.8	- 13.9	- 13.9	- 12.4	- 1.8	- 0.3	- 0.7	- 4.1	- 6.6	- 13.6	- 16.7	
mittl. Minimum	- 8.9	- 6.5	- 3.3	- 4.4	- 2.6	4.4	5.1	4.4	2.5	1.1	- 2.2	- 7.1	1.46
größte Amplitude	13.4	10.5	12.7	18.0	15.0	14.6	15.7	12.7	13.2	13.1	12.2	9.8	
mittl. Amplitude	6.3	6.5	8.0	7.5	7.7	9.7	9.2	9.0	9.0	8.8	5.4	5.2	7.70

Jahresamplitude 1957: 47.8 °C

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

LUFTTEMPERATUR (2 m) Obergurgl - Waldgrenze 2072 m

1958	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
Mittel		- 3.6	6.9	2.9	6.3	6.7	10.3	11.1	9.0	2.5	0.5	- 4.2	
größtes Mittel		3.6	0.1	2.4	10.8	11.6	15.3	17.2	12.7	11.0	4.2	3.0	
kleinstes Mittel		- 14.5	- 15.3	9.9	1.7	0.4	4.2	5.0	3.7	6.2	5.0	11.5	
absol. Maximum		8.1	6.9	9.8	15.1	18.0	21.7	22.8	20.0	18.0	6.9	6.8	
mittl. Maximum		0.6	- 1.5	2.0	11.0	12.1	15.9	16.0	14.6	6.3	2.8	1.2	
absol. Minimum		- 17.9	- 18.3	- 13.6	- 4.0	- 2.5	- 0.2	2.5	1.0	- 9.0	- 6.9	- 14.2	
mittl. Minimum		- 7.0	- 10.7	- 6.4	2.4	2.4	6.1	6.9	5.5	- 0.5	- 2.5	- 6.7	
größte Amplitude		13.4	18.5	12.6	14.3	16.7	13.7	13.6	12.5	13.8	8.4	8.7	
mittl. Amplitude		7.6	9.2	8.4	8.6	9.8	9.8	9.1	9.1	6.8	5.3	5.5	
1959													
Mittel	- 7.4	- 3.2	- 1.2	- 0.2	3.4	7.0	10.6	8.4	8.3	3.4	1.9	- 4.1	1.93
größtes Mittel	- 0.5	2.8	3.5	5.8	8.2	11.8	16.0	13.9	11.6	8.8	4.2	2.1	
kleinstes Mittel	- 14.6	- 11.7	- 4.9	- 5.8	- 3.6	- 1.7	2.4	2.7	4.3	- 5.9	- 8.7	- 7.9	
absol. Maximum	3.1	7.2	8.2	10.1	14.8	18.4	23.2	21.1	19.1	15.6	7.2	5.2	
mittl. Maximum	- 4.2	0.7	2.7	3.9	7.5	12.1	16.1	13.1	13.9	8.4	1.0	- 1.4	6.16
absol. Minimum	- 17.0	- 14.2	- 8.9	- 12.0	- 6.1	- 3.2	0.6	- 1.5	- 0.8	- 8.1	10.2	- 11.1	
mittl. Minimum	- 10.4	- 5.6	- 3.8	- 3.6	0.4	3.8	6.8	4.9	4.4	0.3	- 4.1	- 6.6	- 1.13
größte Amplitude	13.5	10.5	11.2	12.9	13.4	13.1	14.2	13.7	13.1	14.6	8.9	11.2	
mittl. Amplitude	6.2	6.3	6.4	7.5	7.1	8.3	9.3	8.2	9.5	8.1	5.0	5.2	7.27

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Tabelle 3: Mittlere Andauer der Lufttemperatur in 2 m über dem Boden aus der Zeit von 1956-1959 an der Station Obergurgl/Poschach-Waldgrenze (2072 m) in Stunden, bereichsweise von 5 zu 5° C. Bei den Monaten Jänner konnte nur 1957 und 1959, im Feber 1957-59 und im März ebenso 1957-59 gemittelt werden.

Monat	-25° bis -20°	-20° bis -15°	-15° bis -10°	-10° bis -5°	-5° bis 0°	0° C bis 5°	5° bis 10°	10° bis 15°	15° bis 20°	20° bis 25°	25° bis	Gesamt-stunden
Jänner	0.75	30.00	200.00	191.00	269.50	47.75	5.00					744
Feber		9.50	52.80	151.80	316.70	128.20	13.00					672
März		16.20	65.40	125.50	293.10	220.30	23.50					744
April		0.50	35.50	115.50	288.30	247.70	32.50					720
Mai			4.10	23.80	156.50	272.00	223.60	59.00	5.00			744
Juni				0.50	65.20	203.10	280.40	138.80	29.00	3.00		720
Juli					2.25	130.15	261.20	228.10	101.15	20.00	1.15	744
August					4.40	145.90	299.90	198.70	83.40	11.90		744
September					27.60	129.80	344.40	174.30	43.90			720
Oktober				75.90	114.75	275.50	218.60	56.00	3.25			744
November			15.10	112.70	332.00	251.60	8.50	0.10				720
Dezember		16.90	48.80	259.30	333.00	84.70	1.30					744
Jahr	**0.75**	**73.10**	**421.70**	**1056.00**	**2203.00**	**2136.70**	**1711.90**	**854.90**	**265.60**	**34.90**	**1.15**	**8760**

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
wärmung; in etwas geringerem Maß ist dies auch in den Schneisen und am sonnseitigen Rand des Lärchenwaldes festzustellen, wo allerdings die Ausbildung kleiner Rinnen Anlaß zu morgendlichen Unterkühlungen bot. Auch an den Lichtungsrändern, vor allem auf der Schattenseite der Lichtung, bildete sich morgens ein Kaltluftbächlein, dessen Ausdehnung und Wirkung mit fortschreitendem Tiefstand der Sonne zunahm. Überraschend ausgeglichen waren alle Stationen im Baumschatten. Nur dort, wo sich stärkere Ventilation zusätzlich auswirken konnte, wie beispielsweise im Zirben-Lärchenwald am linken Rand der Abb. 28, traten noch niedrigere Temperaturen auf.

Ganz im Gegensatz zu den ausgeprägten Tagesgängen der Bodenoberflächentemperaturen (siehe Abb. 28, oberste Leiste) sind jene der relativen Luftfeuchtigkeit noch weniger unterschiedlich als die der Lufttemperatur. Im dicht beschatteten Zirbenwald wie auch am Schattenrand der Lichtung treten die höchsten Feuchtigkeitsgrade auf, was auf die höhere absolute Feuchtigkeit im Stammraum des Zirbenwaldes und die hier festgestellten tiefen Temperaturen zurückzuführen ist.

Vergleicht man die Monatsmittel aller Meßstellen im Untersuchungsgebiet Lichtung, so ergibt sich für die Lichtungsmitte der größte, für den Zirbenwald der geringste Wärmegenuß (siehe Tab. 4). Je nach der Besonnung der Meßstellen zu den verschiedenen Jahreszeiten nähern sich die Werte der anderen Stationen mehr oder weniger dem einen oder anderen der beiden Extreme (siehe Tab. 4).

Aus dem Vergleich der Extreme und Amplituden läßt sich ersehen, inwieweit die Pflanzen im subalpinen Zirben-Lärchenwald unterschiedliche Lufttemperaturen erfahren können. Zwar ergeben sich hier größere Abweichungen der Meßstellen voneinander, als dies bei den Monatsmitteln der Fall war (siehe Tab. 4 , rechte Leiste), aber selbst die weitesten Abweichungen der Maxima und Amplituden machen nur 4 bis 5°C aus. Höhere Werte, wie z. B. am Nordrand der Lichtung, treten dort auf, wo starke Sonneneinstrahlung mit geringer Ventilierung zusammentrifft (siehe Tab. 4, mittlere und absolute Maxima). Die tiefsten Temperaturen zeigen sich an stark beschatteten Standorten. Auch stärkerer, nächtlicher Kaltluftabfluß in Rinnen oder an Rändern kann Ursache für niedrige Minima sein (Station Schneise und auch Südrand der Lichtung nach Tab. 4). Die Tiefstwerte sind aber noch weniger differenziert als die Höchstwerte, weshalb auch das Ausmaß der Amplituden stärker von diesen als von jenen bestimmt wird.

Durch den Einsatz vieler Stationen am Poschacher Hang während einer verhältnismäßig warmen Vegetationsperiode und eines weiteren Sommers dürften nun völlig ausreichende Kenntnisse über die an sich geringen Lufttemperaturunterschiede im subalpinen Zirben-Lärchenwald vorliegen. Da auch die früheren Messungen im subalpinen Fichten-und Zirbenwald von Salfeins in einem Herbstzeitraum durchaus ähnliche Werte ergaben, obwohl dort noch Expositionsunterschiede hinzukamen, erscheint dieses Ergebnis größenordnungsmäßig auch für den subalpinen Fichtenwald gesichert.

IV. Die Luftfeuchtigkeit

A. Zur Abhängigkeit der Luftfeuchtigkeit von der Seehöhe

Während die absolute Feuchtigkeit mit der Seehöhe stark abnimmt - in 2000 m Seehöhe liegt bereits die Hälfte des Wasserdampfes der Atmosphäre unter dieser Schichtlinie - nimmt die relative Feuchtigkeit hingegen zu. Die Abnahme der absoluten Feuchtigkeit ist aus den niedrigen Lufttemperaturen zu erklären. Die Zunahme der relativen Luftfeuchtigkeit erfolgt nicht stetig und zeigt auch eine Abhängigkeit von der Jahreszeit (LAUSCHER 1949). Vor allem im Hochsommer ist eine starke Kondensationsbereitschaft im Bereich der Hochalpengipfel kennzeichnend, wodurch sich im Hochgebirge auch das sommerliche Maximum der relativen Luftfeuchtigkeit gegenüber einem vorwinterlichen in tieferen Lagen erklärt (LAUSCHER 1949). In

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Tabelle 4: Monatsmittel, sowie mittlere und absolute Extreme und Amplituden der Lufttemperatur in 70 cm über dem Boden (englische Hütte) an den Stationen Lichtungsmitte, Lichtungsnordrand, Lichtungssüdrand, Horst, Schneise, Zirbenwald, Lärchenwald und Zirbenlärchenwald in den einzelnen Monaten der Vegetationsperiode 1953 in Grad Celsius

Wert	Monat	Stationen								Größte Abweichung
		L-M	L-S	L-N	H	Sch	Z	Lä	Z-Lä	
MONATS-MITTEL	Juni	8.1	7.6		7.6	7.6	7.3			0.8
	Juli	11.2	10.9		10.7	10.7	10.3			0.9
	August	10.3	9.8		9.5	9.6	9.3			1.0
	September	8.9	8.3	8.8			8.0	8.4	8.5	0.9
	Oktober	5.2	4.7	5.2			4.6	5.0	5.0	0.6
	1.-15.Nov.	0.8	0.4	0.7			0.0	0.3	0.6	0.8
mittlere MAXIMA	Juni	14.6	13.9		12.9	13.9	12.8			1.8
	Juli	18.2	17.7		16.3	17.7	16.4			1.9
	August	17.2	16.5		14.8	16.0	15.0			2.4
	September	15.2	14.4	16.2			13.8	13.9	13.5	2.7
	Oktober	10.5	9.4	10.8			8.9	9.3	8.8	2.0
	1.-15.Nov.	6.2	4.9	6.8			5.3	5.5	5.0	1.9
mittlere MINIMA	Juni	4.0	3.4		3.8	3.3	3.6			0.7
	Juli	6.6	6.0		6.5	5.8	6.1			0.8
	August	5.8	5.2		5.5	4.6	5.1		–	1.2
	September	4.4	3.8	4.2			3.9	4.2	4.6	0.8
	Oktober	2.0	1.3	1.7			1.6	1.7	1.8	0.7
	1.-15.Nov.	-2.2	-3.0	-2.5			-2.7	-2.6	-2.2	0.8
mittlere AMPLITUDEN	Juni	10.6	10.5		10.6	9.1	9.2			1.5
	Juli	11.6	11.6		11.6	10.1	10.2			1.5
	August	11.4	11.3		11.4	9.3	9.9			2.1
	September	11.1	10.6	12.0			9.8	9.7	8.9	3.1
	Oktober	8.5	8.0	9.1			7.4	7.6	6.9	2.2
	1.-15.Nov.	8.4	7.9	9.3			8.0	8.1	7.2	2.1
absolute MAXIMA	Juni	19.8	18.6		17.8	19.3	18.2			2.0
	Juli	24.7	24.8		23.1	24.9	23.3			1.8
	August	25.5	23.9		22.3	24.2	22.8			3.2
	September	24.0	21.9	25.0			20.9	21.7	20.7	4.3
	Oktober	16.7	15.7	17.0			15.0	15.2	14.3	2.7
	1.-15.Nov.	11.0	8.5	11.7			9.7	10.0	9.1	3.2
absolute MINIMA	Juni	-5.2	-6.7		-5.3	-6.6	-5.3			1.5
	Juli	1.4	0.3		0.9	-0.1	0.3			1.5
	August	0.9	0.5		0.9	0.0	0.4			0.9
	September	-2.5	-3.4	-3.0			-2.9	-2.8	-2.7	0.9
	Oktober	-6.3	-6.6	-6.1			-6.5	-6.4	-5.8	0.8
	1.-15.Nov.	-6.7	-7.3	-7.1			-7.1	-6.8	-6.8	0.6
absolute AMPLITUDEN	Juni	15.6	15.7		14.9	16.9	14.3			2.6
	Juli	18.1	18.9		15.4	18.4	16.2			3.5
	August	18.5	18.0		15.7	20.2	17.2			4.5
	September	18.1	17.3	20.6			16.9	16.7	15.5	5.1
	Oktober	13.3	13.3	15.6			12.8	12.5	10.9	4.7
	1.-15.Nov	11.2	9.9	11.8			10.9	10.3	9.5	2.3

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

1500 m tritt das Maximum im August, in 2000 m Seehöhe schon im Juli ein.

Über die Höhenverteilung der relativen Luftfeuchtigkeit liegen für das Gebiet Österreichs die Normalzahlen LAUSCHERs (1949) vor, wonach sich im Jahresdurchschnitt für Höhen zwischen 1500 und 2000 m die relativ niedrigsten Beträge überhaupt ergeben.

RATHSCHÜLER (1948) hat nachgewiesen, daß im Gebirge der Tagesgang der relativen Luftfeuchte vorwiegend vom Dampfdruck bestimmt wird, zum Unterschied von tieferen Lagen, wo die Lufttemperatur den ausschlaggebenden Einfluß ausübt. Dieser eingipfelige Tagesgang der relativen Luftfeuchte hat in 2000 m Seehöhe, sein Minimum noch während des Nachmittags, während in 3000 m um diese Zeit als Folge der Kondensationsbereitschaft schon das Maximum auftritt.

Der Tagesgang des Dampfdruckes ist dagegen in unserem Gebiet zweigipfelig, wobei das morgendliche Hauptminimum eine Folge des gleichzeitigen Temperaturminimums darstellt. Nur im Gipfelbereich wird durch ständigen Wasserdampfzutransport vom Tale aus dieses zweite Minimum zum Maximum eines eingipfeligen Tagesganges (RATHSCHÜLER 1948).

Die eigenen Registrierungen an verschieden hochgelegenen Stationen liegen derzeit noch nicht ausgewertet vor, wohl aber jene im Zirben-Lärchenwald.

B. Der Einfluß des subalpinen Zirben-Lärchenwaldes auf die relative Luftfeuchtigkeit und auf den Dampfdruck

Vergleicht man die Monatsmittel der Station Lichtung-Mitte/Poschach, der trokkensten Station am bewaldeten Unterhang in 1920 m Seehöhe mit den gleichzeitig in Gurgl und Vent (1950 m und 1900 m) ermittelten Werten (siehe Tab. 5), so erweist sich die vom Wald umgebene Hangstation als feuchter.

Die relative Luftfeuchtigkeit im Bereiche dieser vom Wald umgebenen Station übertrifft aber auch jene im Bereich der Waldgrenze, wie die Messungen im Jahre 1954 zeigten: Lichtung-Mitte: Juni - Juli 77 %, Waldgrenze: 75 %. Da die höheren Lufttemperaturen im Lichtungsbereich (siehe Abb. 24) jedoch zu einer geringeren relativen Luftfeuchtigkeit hätten führen müssen, ist die tatsächlich höhere Feuchtigkeit hier auf den Einfluß des Waldes selbst zurückzuführen.

Tabelle 5: Vergleich der relativen Luftfeuchtigkeit zwischen der Hangstation Lichtung-Mitte/Poschach (1920 m) und den Talstationen Vent (1900 m) und Gurgl (1950 m) in Prozent.

M o n a t 1953	Lichtung-Mitte	Gurgl	Vent	Abweichungen der Lichtung gegenüber Gurgl	Abweichungen der Lichtung gegenüber Vent
Juni	75	70	69	+5	+6
Juli	76	71	68	+5	+8
August	73	68	67	+5	+8
September	73	67	66	+6	+7
Oktober	72	67	68	+5	+4

Natürlich wurden an den Waldstationen selbst noch etwas höhere Feuchtigkeiten gemessen (siehe Tab. 6), wobei die Station im Zirbenwald feuchter war, als jene im Lärchenwald. Entsprechende Unterschiede ergaben sich auch bei den Extremen.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Tabelle 6: Monatsmittel und mittlere Extreme der relativen Luftfeuchtigkeit während der Vegetationsperiode 1953 im Untersuchungsgebiet Lichtung-Poschach an den Stationen Lichtung-Mitte (L-M), Lichtung-Südrand (L-S), Lichtung-Nordrand (L-N), Horst (H), Schneise (Sch), Zirbenwald (Z), Lärchenwald (L) und Zirben-Lärchenwald (Z-Lä) in Prozenten.

Wert	Monat	Stationen								größte Abweichung
		L-M	L-S	L-N	H	Sch	Z	L	Z-Lä	
MONATS-MITTEL	Juni	77	77		77	79	79			2
	Juli	76	78		77	8o	81			5
	August	73	76		75	77	79			6
	September	73	76	74			78	75	73	5
	Oktober	75	77	76			79	75	72	7
	1.-15. Nov.	53	59	56			61	56	50	11
mittlere MAXIMA	Juni	96	97		96	97	98			2
	Juli	94	96		94	96	97			3
	August	93	95		93	95	96			3
	September	93	95	93			98	94	93	5
	Oktober	92	93	92			94	92	89	5
	1.-15. Nov.	69	73	70			76	70	64	12
mittlere MINIMA	Juni	48	49		50	49	50			2
	Juli	49	52		52	52	55			6
	August	47	49		49	49	51			4
	September	47	49	47			51	50	49	4
	Oktober	50	53	51			55	53	49	6
	1.-15. Nov.	34	39	36			38	37	34	5

Über die Häufigkeit der Luftfeuchtigkeitsabweichungen gab die Abb. 27 Aufschluß. Angesichts des verhältnismäßig warmen Versuchsjahres ist auch in normalen oder kühleren Jahren nicht mit größeren Unterschieden im subalpinen Zirben-Lärchenwald zu rechnen.

Die Feuchtigkeitsunterschiede zwischen Lichtung und Zirbenwald (siehe Tab. 6) entsprachen auch wieder durchaus jenen, die im Herbst 1948 von AULITZKY (1953) in Salfeins zwischen Fichtenwald und Freiland beobachtet wurden, so daß die Ergebnisse für den Wald der subalpinen Stufe in weiteren Grenzen Gültigkeit haben dürften.

Zusammenfassung

Im Bereich des Westnordwest-Hanges bei Obergurgl/Poschach wurden seit 1953 Registrierungen der Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit in Wetterhütten durchgeführt, wobei die Stationen zwischen dem Talboden in 1820 m Seehöhe und der Baumgrenze in 2225 m Seehöhe im subalpinen Zirben-Lärchenwald und in der oberhalb anschließenden Kampfzone errichtet waren.

Als Ergebnis der Messungen zeigte sich deutlich die Ausbildung der "warmen Hangzone", deren Lage am Hang sich im Wech-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
sel der Jahreszeiten verschob. Sie lag im Sommer am waldbestandenen unteren Hangteil und verschob sich im Winter infolge der größeren Mächtigkeit des Kältesees höher hinauf in die Kampfzone.

Mit Hilfe eines dichten Netzes von Wetterhütten (in 70 cm über dem Boden) wurden die Lufttemperatur- und Luftfeuchtigkeitsunterschiede im subalpinen Zirben-Lärchenwald bestimmt, wobei sich hier weit geringere Unterschiede ergaben, als in Beständen tieferer Lagen.

Durch das Vorliegen mehrjähriger Reihen der Lufttemperaturen am Hang und die Untersuchung ihrer Beziehungen zu Nadel- und Bodentemperaturen können die Lufttemperaturmessungen nicht nur zur klimatischen Reduktion, sondern auch zur Beurteilung biologischer Fragen benützt werden.

Literatur

AULITZKY H. 1953: Forstmeteorologische Untersuchungen an der Wald- und Baumgrenze in den Zentralalpen. Archiv f. Met. u. Geophys., Serie B., IV, 294-310.

GEIGER R. 1950: Das Klima der bodennahen Luftschicht. Braunschweig: Vieweg & Sohn.

GEIGER R., WOELFLE M. und SEIP L. Ph. 1933: Höhenlage und Spätfrostgefährdung. Forstw. Cbl. 55, 579-592, 737-746; 56, 141-151, 221-230. 253-260. 357-364, 465-484.

HELD I. R. 1941: Temperatur und relative Feuchtigkeit auf Sonn- und Schattseiten in einem Alpenlängstal. Met. Z. 58., 398-404.

INNEREBNER F. 1933: Über den Einfluß der Exposition auf die Temperaturverhältnisse im Gebirge. Met. Z. 50, 337-346.

KREUTZ W. und WEHRHEIM H. 1942: Kleinklimaforschung im Glocknergebiet in Anlehnung an praktische Bedürfnisse. Biokl. Beibl. 9, 23-34.

LAUSCHER F. 1949: Normalwerte der relativen Feuchtigkeit in Österreich. Wetter und Leben, 1., 289-297.

LÜDI W. 1936, 1937, 1938: Mikroklimatische Untersuchungen an einem Vegetationsprofil in den Alpen. I., II., III. Ber. d. geobot. Inst. Rübel, Zürich.

MICHAELIS P. 1932: Ökologische Studien an der alpinen Baumgrenze. I. Das Klima und die Temperaturverhältnisse der Vegetationsorgane im Hochwinter. Ber. d. deutsch. bot. Ges. 50, 31-42.

MÜTTRICH A. 1890: Über den Einfluß des Waldes auf die periodische Veränderung der Lufttemperatur. Z. f. F. u. Jagdw. 22., 385-400, 449-458, 513-526.

PISEK A. 1952: Zur Kenntnis der Forsthärte alpiner Pflanzen. Naturwiss. 39, 73-78.

RATHSCHÜLER E. 1948: Über die Änderung des Tagesganges der Luftfeuchtigkeit mit der Höhe im Gebirge. Arch. f. Met. u. Geophys., Serie B, 1., 17-31.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

3. Untersuchungen über die Pflanzentemperaturen in der subalpinen Stufe mit besonderer Berücksichtigung der Nadeltemperaturen der Zirbe

von W. Tranquillini und H. Turner

Inhalt

	Seite
Die Bedeutung der Temperatur oberirdischer Pflanzenteile für ihre Lebensfunktionen . .	129
Die Messung der Pflanzentemperaturen	130
Ergebnisse:	
I. Über die Abhängigkeit der Zirbennadeltemperatur von Strahlung und Luftbewegung .	131
II. Der Jahresgang der Zirbennadeltemperatur. Abweichungen von der Lufttemperatur in einer englischen Hütte	134
III. Die Nadeltemperaturen auf verschieden exponierten Standorten	138
IV. Das Temperaturmikroklima von Jungzirben auf thermisch extremen Standorten	140
V. Die Nadeltemperaturen im Winter . .	142
Zusammenfassung und Schlußfolgerungen	148
Literatur	150

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Die Bedeutung der Temperatur oberirdischer Pflanzenteile für ihre Lebensfunktionen

Wie wir wissen, gibt es sowohl eine obere als auch eine untere Temperaturgrenze für das Leben einer Pflanze. In einem wesentlich engeren Temperaturbereich spielt sich das aktive Leben ab, deren Einzelprozesse zum Teil von der Temperatur der Organe abhängen.

Während die Bedeutung der Temperatur für die Wurzeln im Abschnitt Bodentemperaturen ausführlich behandelt wird, sei hier von der Bedeutung der Temperatur der oberirdischen Organe, vorwiegend der Blätter, die Rede. Wir können die allgemein gültigen Beziehungen zwischen Temperatur und Lebensfunktionen hinsichtlich unseres Hauptuntersuchungsobjektes, der Zirbe, heute bereits teilweise quantitativ ausdrücken.

Die untere Temperaturgrenze (Frosthärte) der Nadeln der Zirbe, die vom Vorleben, Entwicklungszustand und Alter der Pflanzen abhängt, schwankt darüber hinausgehend stark im Laufe des Jahres; sie ist am geringsten im Sommer, vor allem bei den wasserreichen neugebildeten Nadeln des Jahrestriebes, und erreicht die höchsten Werte im Hochwinter, wenn die klimatischen Ansprüche an die Resistenz am schärfsten sind (s. Abschn. I F 4). Die Frosthärte liegt im ersten Fall nur wenige Grade unter dem Gefrierpunkt des Wassers, im zweiten Fall kann sie unter -50°C gehen (ULMER 1937, PISEK und SCHIESSL 1939/46, TRANQUILLINI 1958).

Oberhalb der Temperatur, bei der Kälteschäden eintreten, bis etwa -8°C, sind die Nadeln unserer Holzart gefroren, die Lebenstätigkeiten ruhen. Zwischen -8 und -4°C taut das Wasser in den Nadeln auf (TRANQUILLINI und HOLZER 1958) und damit setzen wichtige physiologische Vorgänge ein; zuerst die Atmung, bei etwas höherer Temperatur die Photosynthese (PISEK und REHNER 1958). Die Eisbildung und das Auftauen (s. Abschn. I F 5) werden, wenn diese Vorgänge langsam erfolgen, von den Nadeln der Zirbe durchaus ertragen. Wenn sie jedoch rasch erfolgen, kann es auch bei Temperaturen weit oberhalb der Frosthärte zu Zellschädigungen kommen, über die wir noch immer ungenügend unterrichtet sind (HOLZER 1959). Innerhalb des Temperaturbereiches, in dem das Wasser in den Nadeln ungefroren ist, bis zu jener Grenze, bei der die Pflanzen Hitzeschäden erleiden, verlaufen nicht nur viele Lebensvorgänge temperaturabhängig; das im Laufe des Jahres erstmalige Überschreiten bestimmter Temperaturschwellenwerte bzw. die Einwirkung bestimmter Wärmesummen löst wichtige Prozesse aus (Öffnen der Stomata, Aktivierung des Photosyntheseapparates, Austreiben u. a.).

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Greifen wir die beiden für den Wasser- und Stoffhaushalt wichtigsten Teilprozesse, die Transpiration und die CO_2-Nettoassimilation, heraus. Die Wasserabgabe des Blattes steigt, solange die Spalten geöffnet sind, aber auch wenn sie völlig geschlossen sind, bei gleichem Dampfdruck der Luft proportional der Temperatur der verdunstenden Blattoberfläche (physikalische Komponente der Transpiration). Die CO_2-Nettoassimilation hingegen verläuft nach einer Optimumkurve (TRANQUILLINI 1955, KUSUMOTO 1957, PISEK und WINKLER 1959, sowie Abb. 30). Der Optimalbereich verschiebt sich mit steigendem Licht etwas in Richtung höherer Temperaturen. Bei Sonnentrieben der Zirbe liegt er schon bei 3000 Lux zwischen 7 und 13°, bei 10.000 Lux zwischen 11 und 15° und bei 30.000 Lux zwischen 14 und 17°C. Das Maximum (Kompensation der reellen Assimilation durch die gleichzeitig stattfindende Atmung) dürfte zwischen 35 und 40°C erreicht werden. Oberhalb dieser Temperatur überwiegt die weiter stark ansteigende Atmung selbst bei starkem Licht die CO_2-Aufnahme, es kommt zu negativer Nettoassimilation. Die Atmung erhöht sich weiter bis zu jener Temperatur, bei der es zu Stoffwechselstörungen und kurz darauf zu Hitzeschäden kommt. Diese obere Lebensgrenze der Nadeln liegt bei der Zirbe in Übereinstimmung mit anderen Objekten (HUBER 1935, LEVITT 1956, LANGE 1959) bei etwa 50°C.

Die eben erwähnten Temperaturgrenzen sind nicht starr fixiert; sie unterscheiden sich sicherlich in den verschiedenen Entwicklungstadien der Pflanze und können durch Anpassung sowie durch die Einwirkung anderer äußerer Faktoren u. U. erheblich verschoben werden. Wie wir wissen, sind auch verschiedene Gewebe der Pflanzen unterschiedlich resistent (LARCHER und EGGARTER 1960). Eine Übertragung der angegebenen Werte auf die am Standort festgestellten Pflanzentemperaturen ist daher nur mit größter Vorsicht durchzuführen.

Die Messung der Pflanzentemperaturen

Um eine Vorstellung von den Temperaturen junger Zirben zu bekommen, wurde an verschiedenen Stellen im Stationsbereich bei Obergurgl (Station Lichtung, Station Waldgrenze) einerseits die Nadeltemperatur zu verschiedenen Jahreszeiten registriert, andererseits mit Thermoelementen an Standardtagen die Temperaturen an und in der Nähe ausgewählter Versuchspflanzen gemessen. Gleichzeitige Messungen der Klimafaktoren, welche für die Pflanzentemperaturen entscheidend sind (Strahlung, Lufttemperatur, Wind) gestatten eine nähere Analyse der Ergebnisse.

Als Fühler zur elektrischen Registrierung der Nadeltemperatur wurde zunächst ein strahlungsunempfindlicher, blanker Platindraht von 27 cm Länge und 0.026 mm Durchmesser verwendet. Der temperaturvariable Ohm'sche Widerstand des Drahtes

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

(50 Ohm bei 0°C) war auf die Skala eines Kreuzspul-Sechsfarbenschreibers geeicht. Der Platindraht wurde so um das Nadelbüschel der Zirbe gelegt, daß er an möglichst vielen Stellen die Nadeln berührte. Dennoch gibt das Resultat dieser Messung nicht die wahre Nadeltemperatur, sondern eher die Lufttemperatur im Nadelbereich wieder. Punktweise Vergleichsmessungen mit feinsten Haardraht-Thermoelementen brachten zur Kenntnis, daß bei Sonnenbestrahlung die wirkliche Nadeltemperatur, gemittelt über besonnte und beschattete Stellen, 1 bis 2 Grad über dieser "Platindraht-Temperatur" liegt; bei diffuser Strahlung betragen die Unterschiede nur wenige Zehntelgrade. Da dieser feine Draht sehr leicht riß, und dadurch die Messung häufig unterbrochen wurde, haben wir ihn später auf Vorschlag von Herrn MACHYTKA auf eine dünne Glimmerfolie (5 x 1 cm) aufgewickelt und durch farblosen Lack isoliert. Auf diese Weise hergestellte "Platin-Glimmer-Widerstandsthermometer" waren sehr stabil und überstanden alle unversehrt eine Meßperiode über einen ganzen Winter, selbst unter der Schneedecke. Sie wurden so zwischen die Nadeln der Versuchspflanzen eingeschoben, daß sie guten Kontakt mit diesen hatten. Die am Kreuzspulschreiber angezeigte Temperatur weicht vom tatsächlichen Temperaturmittel aller Nadeln des Triebes maximal um 2 Grad ab.

Auch die Thermoelemente stellten wir uns selbst her; zuerst aus 0.1 mm Konstantan und 0.08 mm Kupferdraht; für strahlungsunabhängige Messungen aus 0.05 mm Konstantan und 0.03 mm Kupferdraht (Haardraht-Thermoelement). Die Meßstelle wurde möglichst dünn ausgeklopft und mit der Fläche an die Meßobjekte angelegt (SEYBOLD und BRAMBRING 1933). Die Vergleichslötstelle lag thermisch gut isoliert an einem Quecksilber-Thermometer an, das unmittelbar neben dem Weston-Galvanometer, welches die Thermospannung anzeigte, in einem gemeinsamen Holzkästchen untergebracht war. Die Temperatur der Vergleichslötstelle wurde zu jeder Messung abgelesen.

Ergebnisse

I. Über die Abhängigkeit der Zirbennadeltemperatur von Strahlung und Luftbewegung

Einen ersten Einblick in das Kleinklima einer Jungzirbe auf der Lichtung im natürlichen Verband des subalpinen, heidelbeerreichen Alpenrosengesträuchs (Rhododendretum ferruginei) vermittelt die Abb. 29.

Der Standort der Jungzirbe ist 30 Grad westexponiert, 13 m vom durchschnittlich 10 m hohen Zirben- und Lärchenbestand der südlichen Lichtungsumrahmung entfernt. Das Alpenrosen-Heidelbeerzwerggesträuch ist an dieser Stelle stark gelichtet, sodaß die 30 cm hohe Zirbe ziemlich frei steht.

Vom 1. bis 22. August 1953 konnte hier durchgehend die Einstrahlung auf die hangparallele Fläche mittels Sternpyranographen, die Temperatur der Zirbennadeln in 18 bis 30 cm Höhe sowie die Temperatur des Bodens in 0.2 bis 1.0 cm Tiefe registriert werden. Für den Vergleich mit der Lufttemperatur wurde deren Registrierung in der nahe gelegenen englischen Hütte (Höhe des Thermographen 70 cm) herangezogen. Die Tagesmittel der Windgeschwindigkeit am Meßort blieben unter 0.5 m pro Sekunde.

Der Tagesgang der Nadeltemperatur, wie er in Abb. 29 (aus TURNER 1958a) als das Mittel von 9 trüben a) und 7 heiteren Tagen b) gezeichnet ist, zeigt, wie die Temperatur der Pflanzen-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
oberfläche gegenüber der Bodentemperatur deutlich in Richtung Lufttemperatur gedämpft ist. An stark bewölkten bis sonnenlosen Tagen steigt die Pflanzentemperatur zusammen mit der Bodentemperatur zwei Stunden nach dem astronomischen Sonnenaufgang, wenn die Strahlungsintensität 5 cal/cm^{2}h erreicht, über die Lufttemperatur, bleibt im Mittel 1 bis 2 Grad über dieser und sinkt 2 Stunden vor astronom. Sonnenuntergang, wieder bei etwa 5 cal/cm^{2}h Strahlung unter dieselbe, während der Boden tagsüber bis 8 Grad C über Lufttemperatur aufgeheizt wird und sich erst kurz vor Mitternacht unter die Lufttemperatur abkühlt.

An wolkenlosen bis schwach bewölkten Tagen vermag die geringe diffuse Strahlung des Blauhimmels die Pflanzen- und Bodentemperatur nicht über die Lufttemperatur zu erhöhen, erst beim örtlichen Sonnenaufgang (10 Uhr 30) übertrifft die Temperatur der Zirbennadeln die der Luft. Die Überwärmung gegen Luft betrug tagsüber im Mittel bis 5 Grad C, maximal aber 10 Grad C. Wenige Minuten nach örtlichem Sonnenuntergang werden die Pflanzenteile schon wieder kälter als die Luft. Diese Unterkühlung erreicht den höchsten Wert frühmorgens und beträgt im Mittel 2 Grad, maximal 4.2 Grad C.

Die thermischen Verhältnisse im Nadelbereich sind - überraschenderweise auch bei trübem Wetter - so wechselhaft, daß die Registrierung keine Kurve, sondern eine Punktwolke ergibt. Deren mittlere Variationsbreite in den angegebenen Zeiträumen ist in der Abb. 29 als schraffiertes Band dargestellt, wozu der höchste und tiefste Punkt zu jeder Stunde jedes Tages bestimmt wurde. Die Mittel dieser stundenweisen Temperaturextreme bilden die obere und untere Begrenzung des Streuungsbandes. Die absoluten Maxima lagen an 6 Tagen über 30 Grad C, gingen jedoch nicht über 32.5 Grad C hinaus.

Die große Unruhe der Zirbennadeltemperatur, die bei jeder Registrierung mit dem thermisch praktisch trägheitslosen Platindraht besonders gut erfaßt wurde, geht sichtlich nicht konform mit der registrierten Aufheizung der Bodenoberfläche, denn sie tritt auch schon auf, wenn der Boden noch kälter ist als die Luft. Vielmehr ist ein engerer Zusammenhang mit der Intensität der Einstrahlung ersichtlich: Sobald die Strahlungsintensitäten auf etwa 20 cal/cm^{2}h angestiegen sind, tritt an trüben wie an heiteren Tagen eine starke Erhöhung der Temperaturunruhe ein. Dies beruht darauf, daß die Luftturbulenz und Konvektion, die jene Temperaturunruhe bewirken, mit der Erwärmung der Nadeln zunimmt (vergl. WARREN WILSON 1957, CASPERSON 1957). Bei den raschen Austauschvorgängen zwischen den Zirbennadeln, die eine sehr geringe Wärmekapazität besitzen, und der umgebenden Luft ist es verständlich, daß die Unterschiede zwischen Luft- und Nadeltemperaturen nicht gar so groß sind.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

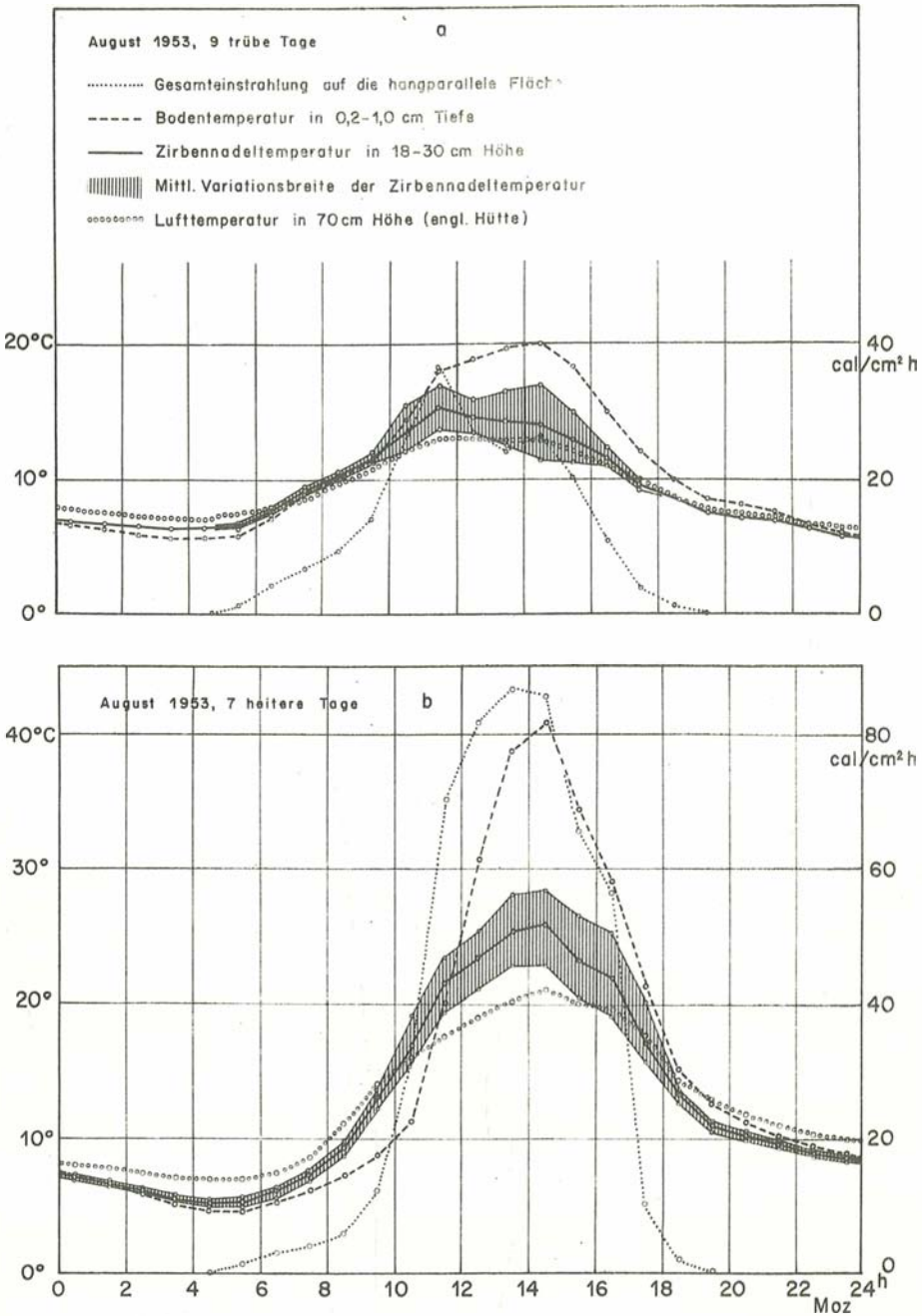


Abb. 29 a, b: Tagesgang von Strahlung, Boden-, Pflanzen- und Lufttemperatur a) bei trübem Wetter, b) bei heiterem Wetter. Aus TURNER 1958 Archiv f. Met. Geoph. Bioklim. Bd. 8 B

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Große Unterschiede zwischen Luft- und Nadeltemperaturen ergeben sich erst bei Windstille und großer Dichte des Zirbenbüschels, wenn dieses beispielsweise am Boden aufliegt. Unter solchen Verhältnissen gleicht sich die Temperatur der Pflanzenteile nachgewiesenermaßen nahe an die der Bodenoberfläche an (LANGE 1954).

II. Der Jahresgang der Zirbennadeltemperatur. Abweichungen von der Lufttemperatur in einer englischen Hütte

Die Nadeltemperatur einer 10 cm hohen Zirbe, die auf der Verebnung stand, auf der sich die Meßstellen der Basisstation Waldgrenze befanden, wurde von Ende Oktober bis zum Einschneien Anfang Dezember 1954 in Abständen von 2 Minuten lükkenlos registriert. Von diesem Zeitpunkt an wurde einerseits die Nadeltemperatur unter der Schneedecke weiter verfolgt, andererseits ein elektrisches Thermometer an den Nadeln einer anderen, größeren Zirbe, die stets über die Schneedecke ragte, jeweils so exponiert, daß es stets einen Abstand von 10 cm von der Schneeoberfläche hatte. Letztere Meßstelle wurde erst Ende Feber 1955 eingerichtet. Im Mai desselben Jahres wurde die Temperaturmessung auf eine weitere Jungzirbe auf dem NW-Abfall des Basishügels zur Beerrinne übertragen und bis Ende September 1955 fortgesetzt. Die Temperaturabweichungen der Zirben am horizontal- und NW-exponierten Standort (siehe Seite 138) sind gering, weshalb die gesamte Meßreihe zu einem Jahresgang zusammengezogen werden kann (siehe Tabelle 1).

Die Nadeltemperatur schwankte gleichsinnig mit der Lufttemperatur in einer englischen Hütte, zeigte jedoch rund doppelt so große Tagesamplituden. Diese vergleichsweise stärkere Temperaturschwankung beruht darauf, daß die bodennahe Luftschicht, in der sich die Nadeln befinden, in der Nacht kühler und am Tag wärmer ist als die Luft in 2 m Höhe (MICHAELIS 1934a) und daß sich die Nadeln in der Nacht durch Ausstrahlung unter die Lufttemperatur abkühlen, am Tage jedoch durch Strahlungsabsorption über diese erwärmen. Im November wie in allen Monaten, in denen der Ausstrahlungstypus den größeren Zeitraum des Tages einnimmt, war die nächtliche Unterkühlung der bodennahen Nadeln beträchtlich. Sie betrug im November im Extrem 9.3°C, im Mittel aller Tage noch 4.1°C. Im gleichen Zeitraum waren die Nadeln maximal nur um 4.8° wärmer als die Hüttenluft, sodaß das Monatsmittel der Nadeltemperatur um 2.0° tiefer lag als das der Hüttentemperatur.

Im März verschob sich das Verhältnis zwischen Überwärmung und Unterkühlung; die Einstrahlung war intensiver als im November und dauerte länger an. Dementsprechend überwärmten sich die Nadeln nun maximal um 10.5° (vergl. MICHAELIS 1934b), während die größte Unterkühlung nur mehr 4.2° (im Mittel 1.1°) betrug. Im Monatsmittel glichen sich Unterkühlungen und Überwärmungen aus. Im April erwärmten sich die Nadeln oberhalb der strahlenreflek-

Tabelle 1: Lufttemperatur in einer englischen Hütte in 2 m Höhe und Zirbennadeltemperatur in 10 cm Höhe an der Waldgrenze während eines Jahres (1954/55).

Lufttemperatur	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Mittel	3.2	- 1.5	- 3.6	- 3.4	- 7.6	- 4.9	- 1.6	3.0	7.3	9.2	8.0	6.1
Mittleres Maximum	7.8	1.9	- 0.6	- 0.3	- 4.2	0.3	3.4	8.3	12.6	14.1	12.7	11.0
Absolutes Maximum	15.8	11.1	7.0	4.2	3.0	11.0	10.1	14.2	20.6	23.4	20.2	17.2
Mittleres Minimum	0.2	- 3.9	- 6.0	- 6.0	-10.2	- 8.5	- 5.0	- 1.3	3.6	5.8	4.8	2.4
Absolutes Minimum	- 6.0	-14.9	-15.1	-18.1	-17.1	-17.0	-10.8	- 7.2	- 4.1	0.6	- 0.7	- 6.6
Mittlere Amplitude	7.6	5.8	5.4	5.7	6.0	8.8	8.4	9.6	9.1	8.3	7.9	8.5
Größte Amplitude	14.2	8.9	14.2	10.7	10.6	15.2	13.3	15.1	14.1	14.9	12.2	12.6
Nadeltemperatur												
Mittel		- 3.5				- 4.9			9.0	10.9		
Mittleres Maximum		3.7				4.6	14.4	16.1	22.2	24.0	21.6	15.0
Absolutes Maximum		13.8				18.4	29.7	30.1	29.5	35.2	26.9	24.6
Mittl. Überw. gegenüber d. Lufttemp.		2.0				4.3	11.0	7.8	9.5	9.9	8.9	4.3
Max. Überw. gegenüber d. Lufttemp.		4.8				10.5	21.5	18.7	14.3	15.2	13.1	8.9
Mittleres Minimum		- 8.0				- 9.6	- 5.8	- 3.5	2.0	4.0	1.7	0.5
Absolutes Minimum		-21.2				-19.5	-12.0	-12.0	- 7.5	- 0.6	- 1.7	- 6.9
Mittl. Unterk. gegenüber d. Lufttemp.		4.1				1.1	0.8	2.2	1.6	1.8	2.8	2.2
Max. Unterk. gegenüber d. Lufttemp.		9.3				4.2	3.8	7.4	4.4	4.4	5.4	5.8
Mittl. Amplitude		11.8				14.2	19.9	19.5	20.0	20.0	19.9	14.8
Maximale Amplitude		18.0				22.7	34.0	29.7	30.3	28.2	25.7	24.1

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

tierenden Schneeoberfläche am stärksten, an einem Tag sogar um 21.5°C(!) und im Mittel aller Tage des Monats noch um 11.0°C über die Lufttemperatur in der Hütte. Die nächtliche Unterkühlung nahm weiter ab (Maximum 3.8°C, Mittel 0.8°). In diesem Monat erfuhren die Pflanzen oberhalb der Schneedecke den größten Temperaturwechsel zwischen Tag und Nacht (maximale Tagesamplitude 34.0°!). Im Mai nahmen infolge Ausaperns (starke Abnahme der Reflexion) Überwärmung und Amplituden wieder etwas ab und erreichten erst im September ungefähr die gleichen Werte wie im März. Die Unterkühlungen waren im Mai auffallend hoch. Sie blieben auch im Juni und Juli in einem Ausmaß feststellbar, das den Märzverhältnissen entsprach und nahmen im August u. Sept. bereits wieder zu.

Aus den Überwärmungs- und Unterkühlungsgraden können die Nadeltemperaturextreme abgeschätzt werden, welche auf unserem Standort überhaupt zu erwarten sind, weil uns langjährige Meßreihen der Lufttemperatur zur Verfügung stehen. Am 2. Februar 1956 sank die Lufttemperatur auf -30.6°C. Dieser Wert wurde auch in einer Meßreihe von 1935 bis heute der zentralalpinen kontinentalen meteorologischen Vergleichsstation Vent (1900 m) nicht unterboten. Berücksichtigt man die im November ermittelte maximale Unterkühlung der Nadeln von 9.3°C, die wohl auch für den Monat Jänner zutreffen dürfte, so ist mit einem absoluten Nadeltemperaturminimum auf unserem Standort von nahe -40°C zu rechnen. Dieser Wert kommt an die Frosthärte von autochthonen Jungzirben im Hochwinter bedenklich nahe heran (s. Abschn. I F 4).

Inmitten einer Hitzeperiode im Juli 1957 wurde ein Lufttemperaturmaximum von 27.6°C gemessen (auch dieser Wert wurde in der langen Meßreihe von Vent nicht überschritten). Schlägt man die für diesen Monat maximale Überwärmung von 15.2° dazu, so ergäbe sich ein absolutes Nadeltemperaturmaximum von +43°C. Tatsächlich erwärmten sich die Nadeln während dieser Hitzeperiode selbst auf einer 29° südgeneigten Fläche höchstens auf 37°C (TURNER 1958b), doch konnten durch die wenigen thermoelektrischen Einzelmessungen, die Höchstwerte nicht erfaßt worden sein. Solche Nadeltemperaturen wurden mehrfach künstlich dadurch erzeugt, daß Jungzirben zur Assimilationsmessung in Küvetten eingeschlossen waren, in den die Wärmeabfuhr durch Konvektion, ähnlich wie in Gewächshäusern, behindert ist (TRANQUILLINI 1954, BOSIAN 1955, NUERNBERGK 1953). Die Pflanzen zeigten bei diesen Temperaturen zwar nur mehr negative Assimilation, jedoch traten noch keine Hitzeschäden auf.

Diese Methode wird auch verwendet, um Blätter künstlich durch Ausschalten der konvektiven Wärmeabfuhr auf ihre Hitzeresistenz zu prüfen (ROUSCHAL 1938, VAUPEL 1958).

Die Temperaturgrenzen des Lebens von Zirbennadeln sind also der extrem möglichen Jahresschwankung der Nadeltemperatur in bodennaher Luftschicht auf unserem horizontal- bzw. NW-exponierten Standort gerade angepaßt. Eine Schädigung ist eher durch Kälte als durch Hitze möglich. (Über die Nadeltemperaturen auf sonnseitigen Leehängen siehe Seite 140).

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Daher ist für das Gedeihen unserer Holzpflanzen die Frage wichtiger, ob die Temperaturen während der Vegetationsperiode und während der hellen, für die CO_2-Aufnahme in Frage kommenden Tageszeit für diesen Vorgang günstig sind. Wir haben daher aus den Nadeltemperaturregistrierungen im Zeitraum Mai - September die Häufigkeit der Stundenmittel aller hellen Tagesstunden, aufgerundet auf ganze Grade, monatsweise und für die ganze Vegetationsperiode in Abb. 30 dargestellt und zum Vergleich die Temperaturabhängigkeitskurve der Netto-Assimilation bei 10.000 Lux

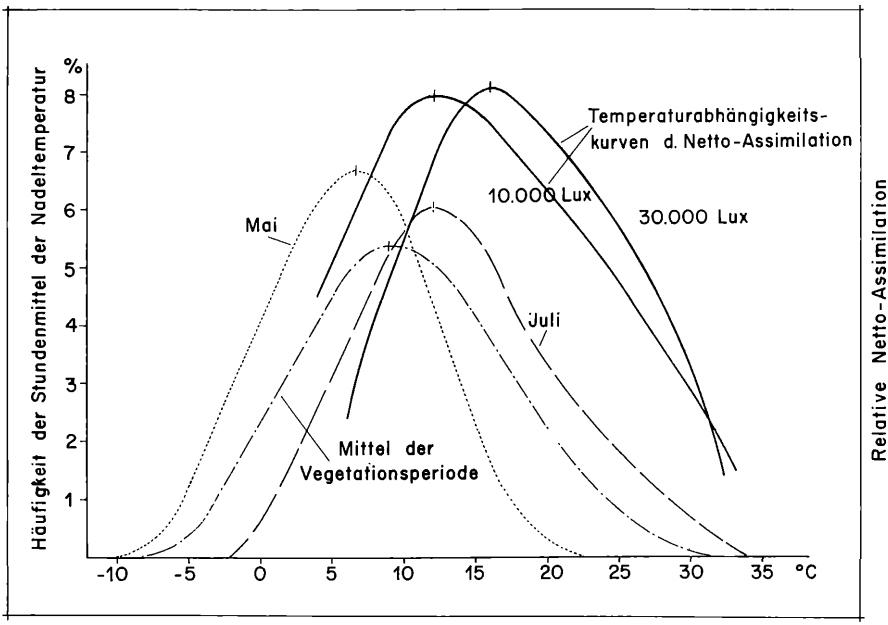


Abb. 30: Häufigkeit der Stundenmittel der Nadeltemperatur einer Jungzirbe (aufgerundet auf ganze Grade) aller hellen Tagesstunden während der Vegetationsperiode 1955 und in den Monaten Mai und Juli. Im Vergleich dazu die Temperaturabhängigkeitskurven der Netto-Assimilation der Zirbe bei 10.000 und bei 30.000 Lux (aus PISEK und WINKLER 1959)

bzw. 30.000 Lux eingezeichnet. Letztere Kurven gelten für Sonnenzweige erwachsener Zirbenbäume der alpinen Waldgrenze am Patscherkofel bei Innsbruck (PISEK und WINKLER 1959). Ihre Kurve für 10.000 Lux deckt sich völlig mit einer ebensolchen Kurve, die wir aus Tagesgängen der Netto-Assimilation von Jungzirben auf der Station Waldgrenze bei Obergurgl abgeleitet hatten (TRANQUILLINI 1955).

Die Häufigkeitskurven der Nadeltemperatur liegen beinahe in allen Monaten gegenüber den Temperaturabhängigkeitskurven der Netto-Assimilation in Richtung tieferer Temperaturen verschoben. Lediglich im wärmsten Monat (Juli) fällt die größte Häufigkeit mit dem Temperaturoptimum bei 10.000 Lux zusammen.

Die Blattemperaturen auf unserem NW-exponierten Standort sind

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

also im Mittel der Vegetationsperiode, vor allem in den Monaten Mai und September zu kühl, um optimale Assimilationsleistung zu ermöglichen.

Ob und wie sich das Temperaturoptimum der Netto-Assimilation jahreszeitlich bzw. bei noch stärkerem Licht verschiebt, ist noch nicht bekannt.

III. Die Nadeltemperaturen auf verschiedenen exponierten Standorten

Neben den beiden schon erwähnten Meßstellen auf der Verebnung (H) und dem NW-Hang des Basishügels (N) wurde auch eine Vergleichsstation auf dem SW-Hang desselben Hügels errichtet. Eine Jungzirbe (SW) überragte die Begleitvegetation, die andere stand inmitten eines hohen, locker belaubten Apenrosenbusches und wurde durch diesen stark beschattet (Rh). Die Ergebnisse von vergleichenden Meßreihen sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Die Nadeltemperaturunterschiede entsprechen den Erwartungen. Im November hatte die Zirbe auf dem NW-Hang die niedrigsten absoluten und mittleren Maxima, die auf dem SW-Hang die höchsten. Die Zirbe auf der horizontalen Versuchsfläche nahm eine Mittelstellung ein. In gleicher Reihenfolge nahmen die Amplituden zu. Auffallend ist die Reihung der Temperaturminima: Die Temperatur der tagsüber kühlsten Pflanze (N) sank in der Nacht am wenigsten tief. SW und H kühlten sich bedeutend tiefer ab. Dies dürfte mit dem Kaltluftabfluß vom Oberhang zusammenhängen, der am NW-Hang, der sich in die zu Tale ziehende Beerrinne fortsetzt, besser abfließen kann als von den beiden anderen Standorten, vor allem von der Verebnung. Die Meßreihe im Mai zeigt gleichsinnige Unterschiede zwischen der H-und N-Zirbe.

Im Hochsommer sind die Unterschiede zwischen N, SW und Rh auffallend gering, soweit man das aus der Auswertung von bloß 3 klaren und 3 trüben Tagen sagen kann. Auch hier traten jedoch erwartungsgemäß gegenüber der N-Zirbe bei der freistehenden SW-Zirbe höhere, bei der von Alpenrosen beschatteten Zirbe Rh niedrigere Temperaturmittel auf. Die mittleren Strahlungssummen zeigen, daß gegenüber der horizontalen Basis die Zirbe N und SW gleich viel (85 bzw. 86 %), die Zirbe Rh nur 25 % Strahlung erhielt. Die stärkere Erwärmung der SW-Zirbe beruht also auf der Leewirkung (vergl. CASPERSON 1957). Die Temperaturerniedrigung durch Strahlungsabsorption unter dem Blätterdach des Alpenrosenbusches dürfte durch die gleichzeitig damit verbundene Luftruhe wieder vermindert werden.

Die etwas stärkere Erwärmung von Zirbennadeln auf sonnseitig

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Tabelle 2: Nadeltemperatur von Jungzirben auf verschiedenen exponierten Standorten an der Waldgrenze.

	Nadeltemperatur	Exposition der Jungzirben			
		Horizontal (H)	NW	SW (freistehend)	SW (unter Rhododendron)
November 1954	Mittel	3.5	4.1	3.2	
	Mittleres Maximum	3.7	0.4	7.7	
	Absolutes Maximum	13.8	9.8	17.0	
	Mittleres Minimum	8.0	6.7	8.1	
	Absolutes Minimum	- 21.2	- 15.4	- 19.7	
	Mittlere Amplitude	11.8	6.3	15.7	
	Größte Amplitude	18.0	11.5	22.5	
20.-31. Mai 1955	Mittleres Maximum	16.0	13.5		
	Absolutes Maximum	23.5	20.0		
	Mittleres Minimum	5.1	3.8		
	Absolutes Minimum	12.0	- 10.5		
	Mittlere Amplitude	20.7	17.3		
	Größte Amplitude	28.3	22.6		
Juli: 3 klare Tage+ 3 trübe Tage	Mittel		10.6	11.7	
	Mittleres Maximum		23.1	24.2	
	Absolutes Maximum		35.2	32.6	
	Mittleres Minimum		2.6	3.9	
	Absolutes Minimum		0.6	0.3	
	Mittl. Tagessumme der Globalstrahlung (6 Tage)	499 cal/cm^2 (100 %)	85 %	86 %	
August: 3 klare Tage+ 3 trübe Tage	Mittel		9.6		8.2
	Mittleres Maximum		21.3		18.3
	Absolutes Maximum		25.5		24.1
	Mittleres Minimum		2.3		1.7
	Absolutes Minimum		1.5		1.0
	Mittl. Tagessumme der Globalstrahlung (6 Tage)	415 cal/cm^2 (100 %)	88 %		25 %
	Wind in 0.5 m Höhe in % Basis 10 m (Mittel VII IX)	55 %	45 %	30 %	
	Wind in Pflanzennähe, (10 cm) in % Basis 10m mehrere Tage im Juni, Juli, August; nur Tageszeitraum		17 %	3.2 %	0.9 %

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
exponierten Hanglagen, die in unserem Untersuchungsgebiet gleichzeitig im Windschatten liegen, dürfte die Temperaturverteilungskurve (Abb. 30) besser an die Temperaturoptimumkurve der Netto-Assimilation anschließen, bedeutet also für die CO_2-Aufnahme von dieser Seite aus gesehen einen Vorteil. Dieses Ergebnis deckt sich mit Zuwachsuntersuchungen auf der Jochalm, wonach junge wie alte Zirben auf S-Lagen größere Massenerträge liefern als solche auf N-Lagen (s. Abschn. I F 1). Starke Beschattung jedoch wird sich nicht nur wegen der Licht-, sondern auch wegen der damit verbundenen Temperaturabnahme auf den Massenzuwachs zunächst ungünstig auswirken.

IV. Das Temperaturmikroklima von Jungzirben auf thermisch extremen Standorten

Auf Grund von Bodentemperaturmessungen wissen wir, daß im Bereich der Station Waldgrenze die größten Temperaturgegensätze sowohl auf den künstlich angelegten Rodungsflächen als auch auf den aus natürlichen Ursachen vegetationslosen Stellen mit S- und N-Exposition (Hangneigung 29°) auftraten.

Wir haben daher auf denselben Flächen, auf denen, was die SW-Fläche betrifft, die Temperatur der obersten Bodenschicht (Meßtiefe 6 mm) mehrmals in den Bereich 60 70°C, einmal sogar bis auf 74°C hinaufschnellte (TURNER 1958b), Jungzirben eingepflanzt, an denen an mehreren sonnigen Tagen Anfang September 1954 um die Mittagszeit zahlreiche thermoelektrische Temperaturmessungen durchgeführt wurden. Infolge der vorgerückten Jahreszeit waren natürlich selbst auf der S-Rodung keine Rekordwerte mehr zu erwarten. Aus dem Verhältnis der Temperaturen zueinander sind jedoch wichtige Ergebnisse abzuleiten (Tab. 3).

Die höchste Nadeltemperatur in der Meßreihe trat auf der S-Rodung mit 28.0°C auf. Das ist nur um 3.4° mehr als das registrierte absolute Maximum der Nadeltemperatur der N-Zirbe im September 1955 (Tab. 1), jedoch um 5.3° mehr als das thermoelektrisch gemessene Maximum einer Zirbe auf der N-Rodung (22.7°, Tab. 3). Im gleichen Untersuchungszeitraum trat an einer Zirbe auf einem vegetationsbedeckten Standort in W-Exposition ein Maximum von 25.3°C auf.

Vergleichen wir noch einmal die Differenzen der absoluten Nadeltemperaturmaxima zwischen S (SW)- und N-Lagen. Sie betrugen im Juli im Mittel von 3 Klartagen 1.1° (Tab. 2), im September 5.3° (Tab. 3) und im November 7.2° (Tab. 2).

Es verschärfen sich also die Unterschiede, je tiefer die Sonne steht. Dies bedeutet, daß zur Zeit stärkster Einstrahlung und absolut größter Erhitzung der Pflanzen die Jungzirben auf Sonn- und Windschattenlagen nicht wesentlich stärkeren Erwärmungen ausgesetzt sind als besonnte Vergleichspflanzen auf N-Lagen, da-

Tabelle 3: Thermoelektrische Messungen der Luft-, Nadel-, Stamm- und Bodentemperatur an 4 klaren Tagen Anfang September um die Mittagszeit.

Jungzirben		Basis LT in Hütte	Lufttemperatur		Nadeltemperatur			Stammoberfläche		Bodentemperatur		
			LT in Zirbennähe	LT im Nadelbüschel	Sonne		Schatten	im Nadelbereich besonnt	Durchbruch besonnt	Boden besonnt	Boden beschattet	Boden unter Vegetation
					junge Nadeln	alte Nadeln						
S-Rodung	abs. Maxima	18.1	23.6	24.1	27.6	28.0	27.9	35.3	41.8	53.3		
	Mittl. Abweichung von LT in Zirbennähe			+2.6	+2.6	+3.3	+3.0	+7.1	+14.2	+23.6		
N-Rodung u. N-Veg. Fläche	abs. Maxima	17.9	20.0	16.9	22.0	22.7	20.6	24.1	18.0	22.9	12.6	11.9
	Mittl. Abweichung von LT in Zirbennähe			-0.2	+2.0	+2.7	+0.3	+4.4	2.2	+ 6.4	-4.0	
W-Veg. Fläche	abs. Maxima	17.0	20.2	22.8	24.0	25.3	21.3	25.0	19.6	33.4		17.3
	Mittl. Abweichung von LT in Zirbennähe			+0.7	+3.9	+3.7	+1.1	+4.8	2.7	+12.1		-3.9

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

her von direkten Hitzeschäden ebenso verschont bleiben dürften wie diese.

Ausgehend von den Temperaturwerten in der Hütte auf der horizontalen Basis differenzieren sich bereits die Lufttemperaturen in der Nähe der Zirben (etwa 15 cm über dem Erdboden). Sie waren um die Mittagszeit an Schönwettertagen im September im Mittel über der S-Rodung sowie über einer vegetationsbedeckten Meßstelle in W-Lage um 4.0°, über den N-Flächen nur um 0.3°, wärmer als in der Hütte.

Bezogen auf diese Lufttemperaturen in Boden- bzw. Pflanzennähe ergaben sich im Mittel zahlreicher Messungen folgende Abweichungen der Temperaturen an und rund um die Jungzirben: (Tab. 3).

S-Rodung: Die besonnten Nadeln waren um rund 3° wärmer. Diese Erwärmung teilt sich der Luft im Nadelbüschel und den beschatteten Nadeln mit, welche daher nur unwesentlich kühler waren. (Auch VAUPEL, 1958, fand die Luft im Büschel einer Jungpflanze von Pinus pinea um 4° wärmer als außerhalb desselben). Stärkere Überwärmungen zeigen die besonnten Stammpartien, welche einen viel geringeren Wärmeaustausch mit der Luft zeigen als die Blätter (HUBER 1956, dort weitere Literatur) (7° über die Luft), vor allem an der Stelle, wo das Stämmchen durch die Bodenoberfläche tritt (absolut 41.8°, 14° wärmer als die Luft). Noch um 10° heißer wird die Bodenoberfläche selbst (thermoelektr. Messung), in der Zone der Verlegung von elektrischen Bodenthermometern (s. Abschn. I E 4) sogar um rund 20°! (Registrierung d. BOT). Dieses Ergebnis ist wichtig für die Beurteilung der schädlichen Wirkung hoher Bodenoberflächentemperaturen.

Das Stämmchen kann sich offenbar durch die Wasserdurchströmung (ROUSCHAL 1939), durch Verdunstungskälte sowie durch Selbstbeschattung, bessere Wärmeableitung und schrägeren Einfallswinkel gegenüber den Sonnenstrahlen (HUBER 1935) an der Durchbruchsstelle gegen den Boden thermisch ziemlich stark isolieren.

Dort, wo nackter Boden im Schatten liegt (N-Rodung) oder mit Vegetation bedeckt ist (N und W), ist seine Oberfläche, daher auch der Durchbruch des Stengels, durch Verdunstungskälte um 2 4° kühler als die bodennahe Luft (Tab. 3).

V. Die Nadeltemperaturen im Winter

In dieser Jahreszeit müssen wir unterscheiden zwischen
A) Pflanzen, die über die Schneeoberfläche ragen und
B) solchen, die von Schnee bedeckt sind.

A) Das Grundsätzliche der Nadeltemperaturen im Winter knapp über der Schneeoberfläche wurde bereits bei der Besprechung des Jahresganges (siehe Seite 134) herausgestellt. Biologisch besonders

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

interessant sind die extremen Temperaturverhältnisse im April, wenn einerseits die Strahlung bereits stark ist, daher die Pflanzenorgane stark erwärmt sind, andererseits die um diese Jahreszeit noch geschlossene Schneedecke stärkere Lufterwärmung ausschließt, die Luft daher großen Kühleffekt besitzt. Um auch hier Einzelheiten des Temperaturklimas kennen zu lernen, haben wir Mitte Feber und Anfang April 1955 wieder an einigen klaren Tagen thermoelektrische Messungen durchgeführt (Tab. 4).

Bereits im Feber traten bei einer Lufttemperatur (Hütte) von -7° schwache Überwärmungen der besonnten wie beschatteten Nadeln in 150 cm über der Schneeoberfläche auf einer horizontalen schneebedeckten Versuchsfläche auf (1 - 2° über die Luft in der Nähe der besonnten Zweige). Das heißt, sie blieben selbst bei voller Sonnenbestrahlung mittags unter -3°C. Der besonnte Stamm erwärmte sich jedoch wesentlich stärker, nämlich rund 11° über die Luft; merkwürdigerweise unmittelbar über der reflektierenden Schneeoberfläche nicht mehr als in 80 cm Höhe über dieser. Die Erwärmung reicht aus, um die besonnten Partien des Stammes mindestens oberflächlich aufzutauen.

Erwartungsgemäß war das Temperaturklima Anfang April extrem: Bei einer Lufttemperatur nahe dem Nullpunkt ergaben sich in der Sonne an Blättern und Stämmen enorme Überwärmungen, die in bester Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Nadeltemperaturregistrierung (Tab. 1) stehen. Besonnte Nadeln erreichen 21.6°C, die Stammoberfläche in Schneenähe gar 22.1°C. Die Temperaturen schwanken äußerst rasch und stark, je nach der Luftbewegung, welche unter diesen Umständen einen dominierenden Einfluß auf die Temperatur der Pflanzen ausübt. In wenigen Sekunden kann z.B. die Nadeltemperatur bis um 20°C auf und ab schwanken. Thermisch träger reagiert der Stamm. Seine Streuung betrug nur 11° (Tab. 4). Selbst die Luft (gemessen mit völlig strahlungsunempfindlichen Haardraht-Thermoelementen) ist vor allem in Schneenähe thermisch noch ziemlich unruhig. Bezogen auf die Lufttemperatur in 150 cm Höhe über der Schneeoberfläche in Zirbennähe ergaben sich im Mittel aller Messungen geringfügige Abweichungen der Schneeoberflächen- und Lufttemperaturen unmittelbar über dieser Schneeoberfläche. Etwas wärmer war die Luft in 150 cm im Schatten der stark erhitzten Krone der Versuchszirben. Die Abweichungen der Nadeltemperaturen betrugen schon bei beschatteten Nadeln im Mittel 3° (vergl. MICHAELIS 1934b), bei besonnten Nadeln in Schneenähe 5°, in 150 cm Höhe 7° und bei besonnten Nadeln im Inneren der Krone, also in einer Zone weitgehender Luftruhe, sogar 14° (!). Die Stammoberfläche war um 12° (nahe der Schneeoberfläche) bzw. 17° (in 80 cm Höhe) wärmer als die Luft. Durch die Erwärmung der Jungpflanzen auf sonnexponierten Standorten in boden- und schneenaher Luftschicht kamen die Nadeln, wie Nadeltemperaturregistrierungen zeigten, während des allerdings relativ milden Versuchswinters 1954/55 überraschend

Tabelle 4: Thermoelektrische Messungen der Luft-, Schnee-, Nadel- und Stammtemperaturen an klaren Tagen Mitte Februar und Anfang April um die Mittagszeit. Alle Zahlenwerte in °C.

Zirben	16. Februar	Basis LT in Hütte	Lufttemperatur			Schneeoberfläche		Nadeltemperatur				Stamm	
			Sonne 150 cm ü. d. Schnee	1 cm ü. d. Schnee	im Schatten 150 cm ü. d. Schnee	Sonne	Schatten	Sonne 150 cm x)	xx)	1 cm	Schatten 150 cm	80 cm	1 cm ü. Schnee
Horizontale Verebnung Wipfel sieht 1.5 m über die Schneeoberfläche heraus	Abs. Maxima	-7.2	-3.6	-6.3		-7.2	-8.4	3.2			-4.3	+ 7.8	+ 8.0
	tiefster Meßwert mittags i. voller Sonne		-6.5	-7.4		-7.6	-9.6	4.5			-4.6	+ 2.6	+ 2.3
	Mittl. Abweichg. von LT in Zirbennähe			-1.0		-1.5	-3.0	+ 2.1			+1.4	+10.8	+11.4
	1. und 2. April												
dasselbe Obj. wie 16. Feber und ein künstl. exponierter Zirbenzweig auf einer SW-geneigten Schneefläche (Abb. 31)	Abs. Maxima	+3.1	+4.5	+8.9	+4.1	+3.1	-2.3	+21.6	+17.9	+15.8	+5.6		+22.1
	tiefster Meßwert mittags i. voller Sonne		-2.2	-1.7	-0.9	+0.1	-5.9	0.2	+10.9	1.0	0.0		+11.1
	Streuung		6.7	10.6	5.0	3.0	3.6	21.8	7.0	16.8	5.6		11.0
	Mittl. Abweichg. von LT in Zirbennähe			+0.6	+1.6	+0.7	-4.6	+7.0	+14.3	+ 5.3	+2.5		+13.2

x) an der Peripherie der Krone

xx) im Inneren d. Krone

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
oft über 0°C. Im September und Oktober sowie im April und Mai wurde der Gefrierpunkt des Wassers fast täglich überschritten, nur im Dezember und vor allem im Feber blieb die Temperatur auch tagsüber häufig unter 0°. An 226 von 373 Tagen der gesamten Versuchsperiode (das sind 83 %) waren die Nadeln wenigstens zeitweise über 0° temperiert.

Der Gefrierpunkt von Wasser, auf den sich die meteorologische Einteilung in eisfreie, in Frost- und Eistage stützt und der auch dem Begriff "Frostwechsel" zugrunde liegt, gilt jedoch für Zirbennadeln nicht (s. Abschn. I F 5). Für diese sind vielmehr jene Grenzwerte von Interesse, bei denen die Eisbildung in den Geweben vor allem in den assimilierenden und transpirierenden Blättern einsetzt und abgeschlossen ist bzw. rückgängig wird.

Es wurde daher auf Grund einer weiteren durchlaufenden Registrierung der Nadeltemperatur (20 cm hohe Jungzirbe auf einer künstlich schneefrei gehaltenen Versuchsfläche am Westhang oberhalb der Basisstation Waldgrenze) im Winter 1956/57 festgestellt:

1) Die Anzahl der Tage, an denen die Nadeltemperatur nicht über -8° anstieg (Eistage im biologischen Sinne).
2) Die Anzahl der Tage, an denen die Nadeltemperatur nicht unter -4° fiel (eisfreie Tage im biologischen Sinne).

Zum Vergleich wurde auch die Anzahl der frostfreien Tage und Eistage im meteorologischen Sinne (Temperaturminimum $> 0°$ bzw. Temperaturmaximum $< 0°$) ermittelt (Tab. 5).

Im Versuchszeitraum (Oktober bis April 1956/57, 159 Tage) gab es 29 meteorologische Eistage, jedoch nur 2 Tage, an denen Zirbennadeln ständig gefroren blieben. Andererseits wurden nur 12 frostfreie Tage im meteorologischen Sinne ermittelt, hingegen waren die Nadeln an 42 Tagen stets eisfrei!

Die Gefrierpunktserniedrigung der Nadeln wirkt also unter den natürlichen Temperaturverhältnissen des Standortes der Eisbildung in ihnen erheblich entgegen.

Dementsprechend wurden im Versuchszeitraum 118 meteorologische Frosttage (Min. $< 0°$, Max. $> 0°$), jedoch nur 56 biologische Frostwechseltage (Min. $< -8°$, Max. $> -4°$) gezählt. In den Pflanzen kommt Frostwechsel, der den Pflanzen gefährlich werden kann, infolge der tiefen Lage und der Ausdehnung des Gefrierbereiches bedeutend seltener vor als in der meteorologischen Aufstellung.

Bei der Auswertung der Temperaturkurven ergaben sich noch Tage, an denen die völlig durchgefrorenen Nadeln nur zum Teil auftauten (7 Tage) oder sich in den ungefrorenen Nadeln nur ein Teil der möglichen Eismenge bildete (52 eisarme Tage).

Ferner wurde für den Monat Oktober die Gesamtzeit berechnet, während der die Temperatur einerseits über 0°, andererseits über -4° blieb, um festzustellen, wie groß unter den speziellen Verhältnissen dieses Monats und Standortes der Zeitgewinn für die Assimilationstätigkeit war, den die Nadeln durch die Er-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Tabelle 5: Eis- und Frosttage (im meteorologischen u. im biologischen Sinne) sowie Zeitdauer des Frierens und Auftauens der Nadeln einer 20 cm hohen Jungzirbe auf einer künstlich schneefrei gehaltenen Versuchsfläche oberhalb der Station Waldgrenze im Winter 1956/57. Nähere Erläuterung im Text.

	Temperatur		Anzahl der Versuchstage je Monat						
	Min.	Max.	31 X	30 XI	23 XII [1]	27 II	28 III	20 IV	159 Summe
Eistage									
(meteorologisch)	< 0	< 0	1	9	10	7	1	1	29
(biologisch)	<-8	<-8	0	0	1	1	0	0	2
Frostwechseltage									
(meteorologisch)	< 0	> 0	19	21	13	20	27	18	118
(biologisch)	<-8	>-4	5	13	8	14	12	4	56
Eisarme Tage									
(es schmilzt nur ein Teil des Eises)	<-8	<-4	0	2	3	2	0	0	7
(es bildet sich nur ein Teil des Eises)	>-8	>-4	7	11	7	6	13	8	52
Eisfreie Tage									
(meteorologisch)	> 0	> 0	11	0	0	0	0	1	12
(biologisch)	>-4	>-4	19	4	4	4	3	8	42
Zeitdauer des Frierens: minimal			138'	39'	60'	10'	4'	2'	
(Temperatur sinkt von -4 unter -8°) maximal			279'	350'	370'	667'	390'	220'	
Mittel			199'	170'	210'	195'	123'	43'	
Zeitdauer des Auftauens: minimal			120'	30'	45'	8'	6'	2'	
(Temperatur steigt von -8 über -4°) maximal			165'	495'	360'	468'	507'	124'	
Mittel			136'	186'	186'	204'	140'	24'	

[1]) Im Monat Januar wurden keine Registrierungen durchgeführt.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

niedrigung des Gefrierpunktes und damit Herabsetzung des Temperaturminimums der Photosynthese erzielten. Während das Licht 254 Stunden hindurch für positive Assimilation ausgereicht hätte, verringert sich durch Unterschreitung des Temperaturminimums der Assimilation die produktive Zeit auf 236 Stunden. Unter der Annahme, die Nadeln würden schon bei 0^{o} gefrieren, hätte nur während 214 Stunden assimiliert werden können. Dies mag für die spätherbstliche und frühwinterliche Stoffproduktion von immergrünen Nadelhölzern vor allem in tieferen Lagen (PISEK und WINKLER 1958) von Bedeutung sein.

Aus den Temperaturkurven konnte auch entnommen werden, wie oft die Nadeltemperatur, die am Standort unter dem Einfluß von Strahlung und Luftbewegung viel stärker schwankt als die Lufttemperatur in einer englischen Hütte, im Laufe eines Tages den Gefrier- bzw. Auftaubereich durchschreitet und welche Zeit dazu nötig war (Tab. 5). Es ergab sich, daß dieser Temperaturbereich in beiden Richtungen im allgemeinen nur je einmal, seltener zweimal und nur an einem Tag in der ganzen Versuchsperiode (am 14. April) fünfmal durchschritten wurde. Die Nadeln froren und tauten also nur außerordentlich selten mehrmals am Tage. Die Zeit, die dazu notwendig war, betrug vom Oktober bis Dezember mindestens 1/2 Stunde, im Mittel aller Frostwechsel rund 3 Stunden. Im Spätwinter hingegen erfolgte sowohl die Erwärmung als auch die Abkühlung wesentlich rascher, vor allem im April, wenn die Strahlung schon stark und damit die Erwärmung bei Luftruhe groß ist, die Lufttemperatur jedoch noch tief unter dem Gefrierpunkt liegen kann. In dieser Zeit wurde der gesamte Gefrierbereich in beiden Richtungen schon in 2 Minuten, im Mittel aller Tage in etwa 1/2 Stunde durchschritten.

In Anbetracht dieses äußerst raschen Fallens und Steigens der Temperaturen, das die im Gefrier- und Auftauexperiment erzielte Geschwindigkeit der Temperaturänderungen deutlich übertrifft, muß angenommen werden, daß die Nadeln besonders an kalten Tagen mit rasch schwankender und intensiver Strahlung Schäden durch zu rasches Auftauen erleiden können (HOLZER 1959).

B) Völlig anders liegt die Sache bei Zirben unter Schnee. Ihre Nadeln hatten bereits kurz nach dem Einschneien Anfang Dezember nahezu konstante Temperatur. Sie betrug entsprechend dem relativ milden Frost zum Zeitpunkt des Einschneiens -4 bis -5^{o}C und schwankte während der ganzen Dauer der Schneebedeckung nur wenige Grade um den Gefrierpunkt. Die Tagesamplituden waren kaum faßbar, weil sie innerhalb des Anzeigefehlers der Schreibgeräte lagen (Tab. 6). Starke Abkühlung drang infolge der schlechten Wärmeleitfähigkeit der Schneedecke nennenswert nur in oberflächennahe Schneeschichten ein (GÄUMANN, ROTH und ANLIKER 1934, ECKEL und THAMS 1939, SAUBERER 1947, GEIGER 1950); immerhin ließ sich ihr Eindringen, selbst wenn die Schneedecke

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
rund 1 m hoch war, wenn schon stark verzögert und sehr abgeschwächt, doch deutlich erkennbar bis zur Pflanze verfolgen (siehe Abb. 135). Charakteristisch ist, daß die Nadeltemperatur vom Dezember bis Anfang März ganz langsam anstieg, was durch Wärmeleitung aus dem Boden erklärt werden kann (KERÄNEN 1929). Der wesentlich schnellere Temperaturanstieg gegen Ende März hingegen beruht auf dem Eindringen von Schmelzwasser, das rasch Wärme in die Tiefe trägt. Zum selben Zeitpunkt erwärmte sich auch der Boden aus gleicher Ursache (MICHAELIS 1934b). Im Spätwinter bis einige Tage vor dem Ausapern im Mai, also in der Abbauperiode der Schneedecke, herrschte an der Bodenoberfläche wie in den Nadeln der Jungzirben eine Temperatur von 0°C.

Tabelle 6:

Temperatur im Januar (°C)	Hütte	Nadeln unter 60 cm Schnee
Mittel	3.4	-1.9
Mittleres Maximum	0.3	-1.8
Mittleres Minimum	6.0	-1.9
Absolutes Maximum	4.2	-0.7
Absolutes Minimum	-18.1	-3.0
Mittlere Amplitude	5.7	0.1
Maximale Amplitude	10.7	0.4

Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Die Nadeltemperatur schwankt gleichsinnig mit der Lufttemperatur (Hütte), zeigt jedoch rund doppelt so große Tagesamplituden. Die Nadeln sind in der Regel nachts kälter, tagsüber wärmer als die Luft. Die Unterkühlung ist im Winter am stärksten, die Überwärmung (abgesehen von den besonderen Verhältnissen im April) im Sommer. Dies führt dazu, daß die maximale jährliche Differenz zwischen den Extremen der Nadeltemperatur um rund 20° größer ist als die der Luft in 2 m über dem Erdboden. Sie kann im Extrem von -40° bis etwa über +40° gehen. Es sind im Untersuchungsgebiet an den Nadeln junger Zirben Frostschäden eher zu erwarten als Hitzeschäden, selbst auf extrem bestrahlten und windgeschützten Standorten (S-Rodung). Auf keinen Fall kommt die Temperaturjahresamplitude freistehender Zirbennadeln an die der Bodenoberfläche heran (s. Abschn. I E 4). Auf Nordhängen, besonders aber an Standorten, die durch eine Vegetationsdecke beschattet sind, sind die Nadeltemperaturen in der Vegetationsperiode etwas zu kühl, um optimale CO_2-Netto-Assimilation d. h. Stoffgewinn zu ermöglichen. Pflanzen besonnter Standorte, vor allem auf W- und

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

S-Lagen sind diesbezüglich besser gestellt, besonders wenn die Sonne tief steht (Herbst und Frühjahr). Der höhere Wärmegenuß im Frühjahr kann jedoch biologisch nur dann wirksam sein, wenn diese thermisch begünstigten Standorte nicht allzu spät ausapern.

Wesentlich wärmer als die Blätter werden die Stämmchen, zumal an der Stelle, wo sie die Bodenoberfläche durchstoßen. Selbst hier treten jedoch nicht jene Temperaturextreme auf, welche die Bodenoberfläche kennzeichnen, sondern schätzungsweise bis um 20^{o} geringere. Am Ende des Winters erleiden die Pflanzen, die über die Schneedecke ragen, besonders extreme Temperaturschwankungen. Dadurch kann der Gefrierbereich ihrer Nadeln (-8 bis -4^{o}) mehrmals am Tage so rasch durchschritten werden, daß sonnseitig exponierte Nadeln Schädigungen durch zu rasches Auftauen erleiden dürften. Der Umstand, daß die Nadeln im Winter fast täglich wenigstens für kurze Zeit eisfrei werden, ist zwar für den Stoffgewinn an der Waldgrenze bedeutungslos, weil der Photosyntheseapparat inaktiv ist, bedeutet jedoch steigende Wasserverluste zumal bei jungen Pflanzen, welche keine großen Wasserreserven in ihren Stämmchen haben. Zu bedrohlichen Defiziten kann es auf schneearmen Standorten kommen, auf denen die Wurzeln u. U. längere Zeit kein Wasser aus dem gefrorenen Boden aufnehmen können.

Unter der Schneedecke haben die Nadeln nahezu konstante Temperatur von 0^{o}C. Der Schnee schützt sie vor der Einwirkung der hochwinterlichen Kälteextreme sowie vor nennenswerten Wasser- und Chlorophyllverlusten.



Abb. 31: Thermoelektrische Messungen an einem künstlich exponierten Zirbenzweig auf einer SW geneigten, stark reflektierenden Schneefläche ergaben extreme Überwärmungen gegenüber der Luft sowie starke Temperaturschwankungen

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Literatur

BOSIAN G. 1955: Über die Vollautomatisierung der CO_2-Assimilationsbestimmung und zur Methodik des Küvettenklimas. Planta 45, 470-492.

CASPERSON G. 1957: Untersuchungen über das thermische Verhalten der Pflanzen unter dem Einfluß von Wind und Windschutz. Ztschr. f. Bot. 45, 433-473.

ECKEL O. und C. THAMS 1939: Untersuchungen über Dichte-, Temperatur- und Strahlungsverhältnisse der Schneedecke in Davos. Geologie Schweiz, Hydrologie Liefg 3, 275.

GÄUMANN E., C. ROTH und J. ANLIKER, 1934: Über die Biologie der Herpotrichia nigra Hartig. Z. Pflanzenkrkh. 44, 97.

GEIGER R. 1950: Das Klima der bodennahen Luftschicht. Braunschweig: F Vieweg & Sohn.

HOLZER K. 1959: Winterliche Schäden an Zirben nahe der alpinen Baumgrenze. Cbl. ges. Forstwesen 76, 232-244.

HUBER B. 1935: Der Wärmehaushalt der Pflanzen. Freising-München: Datterer.

HUBER B. 1956: Die Temperatur pflanzlicher Oberflächen. Ruhland, Handb. Pflanzenphysiologie III, 285-292.

KERÄNEN J. 1929: Wärme-und Temperaturverhältnisse der obersten Bodenschichten. Naturwiss. Monographien und Lehrbücher. Bd. 8, S. 169, Berlin:Springer.

KUSUMOTO T. 1957: Physiological and ecological studies on the plant production in plant communities. 3. Ecological consideration of the temperature - photosynthesis curves of evergreen broad-leaved trees. Jap. Journ. Ecology 7, 126-130.

LANGE O. L. 1954: Einige Messungen zum Wärmehaushalt poikilohydrer Flechten und Moose. Arch. Meteor. Geophys. Bioklimat. 5 B, 182-190.

LANGE O. L. 1959: Untersuchungen über Wärmehaushalt und Hitzeresistenz mauretanischer Wüsten- und Savannenpflanzen. Flora 147, 595-651.

LARCHER W. und H. EGGARTER, 1960: Anwendung des Triphenyltetrazoliumchlorids zur Beurteilung von Frostschäden in verschiedenen Achsengeweben bei Pirus-Arten, und Jahresgang der Resistenz. Protoplasma (Wien) 51, 595-619.

LEVITT J. . 1956: The hardiness of plants. Agronomy Bd. 6 New York;Academic Press Inc.

MICHAELIS P. 1934a: Ökologische Studien an der alpinen Baumgrenze. II. Die Schichtung der Windgeschwindigkeit, Lufttemperatur und Evaporation über einer Schneefläche. Beih. bot. Zbl. Abt. B 52, 310-332.

MICHAELIS P 1934b: Ökologische Studien an der alpinen Baumgrenze. III. Über die winterlichen Temperaturen der pflanzlichen Organe, insbesondere der Fichte. Beih. bot. Zbl., Abt. B 52, 333-377.

NUERNBERGK E. 1953: Über Probleme der Gewächshausökologie. Ber. dtsch. bot. Ges. 66, (32)

PISEK A. und G. REHNER 1958: Temperaturminima der Netto-Assimilation von mediterranen und nordisch-alpinen Immergrünen. Ber. dtsch. bot. Ges. 71, 188-193.

PISEK A. und R. SCHIESSL 1939: Die Temperaturbeeinflußbarkeit der Frosthärte von Nadelhölzern und Zwergsträuchern an der alpinen Waldgrenze. Ber. naturwiss. medizin. Verein Innsbruck 47. 33-52.

PISEK A. und E. WINKLER 1958: Assimilationsvermögen und Respiration der Fichte (Picea excelsa LINK) in verschiedener Höhenlage und der Zirbe (Pinus Cembra L.) an der alpinen Waldgrenze. Planta 51, 518-543.

PISEK A. und E. WINKLER 1959: Licht- und Temperaturabhängigkeit der CO_2-Assimilation von Fichte (Picea excelsa LINK), Zirbe (Pinus Cembra L.) und Sonnenblume (Helianthus annuus L.). Planta 53, 532-550.

ROUSCHAL E. 1938: Zum Wärmehaushalt der Macchienpflanzen. Österr. bot. Z. 87, 42-50.

ROUSCHAL E. 1939: Die kühlende Wirkung des Transpirationsstromes in Bäumen. Ber. dtsch. bot. Ges. 57, 53-66.

SAUBERER F. 1947: Über die Schneedeckenverhältnisse Niederösterreichs und das Mikroklima im Schnee. Zbl. ges. Forst-u. Holzwirtsch. 70, 138-157.

SEYBOLD A. und F. BRAMBRING 1933: Über die thermischen Eigenschaften der Laubblätter. I. Planta 20, 201-229.

TRANQUILLINI W. 1954: Über den Einfluß von Übertemperaturen der Blätter bei Dauereinschluß in Küvetten auf die ökologische CO_2-Assimilationsmessung. Ber. dtsch. bot. Ges. 67, 191-204.

TRANQUILLINI W. 1955: Die Bedeutung des Lichtes und der Temperatur für die Kohlensäureassimilation von Pinus cembra-Jungwuchs an einem hochalpinen Standort. Planta 46, 154-178.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

TRANQUILLINI W. 1958: Die Frosthärte der Zirbe unter besonderer Berücksichtigung autochthoner und aus Forstgärten stammender Jungpflanzen. Forstwiss. Cbl. 77, 89-105.

TRANQUILLINI W. und K. HOLZER 1958: Über das Gefrieren und Auftauen von Coniferennadeln. Ber. dtsch. bot. Ges. 71, 143-156.

TURNER H. 1958a: Über das Licht- und Strahlungsklima einer Hanglage der Ötztaler Alpen bei Obergurgl und seine Auswirkung auf das Mikroklima und auf die Vegetation. Arch. Meteor. Geophys. Biokl., 8 B, 273-325.

TURNER H. 1958b: Maximaltemperaturen oberflächennaher Bodenschichten an der alpinen Waldgrenze. Wetter und Leben 10, 1-12.

ULMER W. 1937: Über den Jahresgang der Frosthärte einiger immergrüner Arten der alpinen Stufe sowie der Zirbe und Fichte. Unter Berücksichtigung von osmotischen Wert, Zuckerspiegel und Wassergehalt. Jb. wiss. Bot. 84, 553-592.

VAUPEL A. 1958: Mikroklima und Pflanzentemperaturen auf trockenheißen Standorten. Flora 145, 497-541.

WARREN WILSON J. 1957: Observations on the temperatures of arctic plants and their environment. Journ. of Ecology 45, 499-531.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

4. Die Bodentemperaturen in der Kampfzone oberhalb der Waldgrenze und im subalpinen Zirben-Lärchenwald

von H. Aulitzky

Inhalt

	Seite
Einführung	155
I. Die biologische Bedeutung der Bodentemperaturen im Hinblick auf Hochlagenaufforstungen	155
II. Meß-und Auswertemethoden	157
III. Zum Einfluß der Kontinentalität und der Seehöhe. Bodentemperaturvergleiche mit anderen Stationen	159 160
IV. Gesichtspunkte der Stationsauswahl im Kleinklimanetz	162
V. Beschreibung der Bodentemperaturmeßstellen im Untersuchungsgebiet	162
Ergebnisse	166
I. Die Primärwirkungen des Kleinreliefs	166
A. Die schneebedeckte Basisstation	166
B. Der schneearme Standort	170
C. Der Überhitzungsstandort	176
II. Die Sekundärwirkungen (Rand-und Deckwirkungen) der Vegetation	182
A. In der Rostalpenrosen-Zwergstrauchheide der Kampfzone	182
B. Im subalpinen Zirben-Lärchenwald	186
Abweichungen der Bodentemperaturen von den Werten an der schneebedeckten Basisstation-Waldgrenze (Station I-2070 m)	188
1. Auf der Lichtung	188
2. Im Zirbenwald	189
3. Im Lärchenwald	192
4. Im Zirben-Lärchenwald	194
5. Die Bodentemperatur auf Lichtungen	195
6. Die Bodentemperaturen entlang eines Querprofiles durch den subalpinen Zirben-Lärchenwald in Obergurgl	197
Zusammenfassung	201
Literatur	207

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

I. Die biologische Bedeutung der Bodentemperatur im Hinblick auf Hochlagenaufforstungen

Da die Trübungsfaktoren der Luft im Gebirge mit steigender Seehöhe abnehmen, erhöht sich gleichsinnig die Wirkung der Sonnenstrahlung und kann auf schlecht wärmeleitenden Böden zu starken Oberflächenüberhitzungen führen. Diese Tendenz wird durch das System der Schönwetterzirkulation verstärkt, weil Talauf- und Talabwinde, Hangauf- und Hangabwinde immer zu den gleichen Zeiten aus den gleichen Richtungen kommen und die gleichen Flächen ventilieren, oder aber dort fehlen. Dieser starken thermischen Differenzierung der pflanzennahen Kleinklimate, bei der auf der Bodenoberfläche hohe Temperaturspitzen auftreten können, entspricht als Ergebnis langjähriger Konkurrenz ein Mosaik kennzeichnender Pflanzengesellschaften. Allerdings wird nur in den seltensten Fällen, wenn es sich um den "Faktor im Minimum" handelt, dieser Faktor allein (z.B. Bodentemperatur) den Ausschlag geben, ansonsten wird vielmehr die Gesamtheit aller Faktoren den Standort kennzeichnen. Gerade hohe Temperaturspitzen können beispielsweise hinsichtlich ihrer schädlichen Auswirkungen auf die Pflanzen durch entsprechende Wasserversorgung ausgeglichen werden (BARTELS 1958), und kein Biologe darf bei der Beurteilung eines Faktors das Gesetz der "Austauschbarkeit der Faktoren" übersehen.

Im örtlichen Auftreten kennzeichnender Pflanzengesellschaften wird umso zufallsfreier das Ergebnis eines langjährigen Konkurrenzkampfes zu sehen sein, je weniger der Mensch die Verhältnisse durch seine Bewirtschaftung beeinflußt hatte und je schärfer die Klimafaktoren angreifen. Da dies im Hochgebirge in ungewöhnlich hohem Maße zutrifft, bietet sich hier die Standorttestung auf pflanzensoziologischer Basis ganz besonders an. Durch bioklimatische Messungen muß aber das qualitative Wissen des Soziologen nach der quantitativen Richtung zum Gebrauch durch den Ingenieur erweitert werden. Er muß aber auch die Verhältnisse am unbewachsenen Boden kennen, da auch dieser Fall bei Pionieraufforstungen von wesentlicher Bedeutung ist.

Der Boden ist für den Sämling das Keimbett, für die Wurzel der Pflanze der Lebensraum, in dem sie ihre Wasser- und Nährstoffversorgung abwickelt. Der Boden ist aber auch der Lebensraum der Bodenpilze und -tiere, wobei die Pilze zum Teil in Symbiose mit dem Baumwurzeln leben.

Alle damit verbundenen Lebensvorgänge sind stark von den Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnissen im Boden abhängig, vor allem aber jene, die das Leben der Pflanzen bestimmen, die ihren Standort ja nicht verändern können.

Die Keimung, für die auch noch Licht, Wasser und Bodenbeschaffenheit von Einfluß sind, ist von der Bodentemperatur in einer deutlich ausgeprägten Optimumskurve abhängig, wobei die Lage des Optimums und der Keimungsbereiche sich bei den einzelnen Arten unterscheiden. Unter den Holzarten der subalpinen Stufe läge das Keimungsoptimum für Zirbe bei ca. 20°C (NATHER 1958), für Lärche bei 20 - 24°C (AUER 1947), für Fichte bei ca. 20 25°C (AALTONEN 1948) und für Kiefer bei 25 26°C (HAACK 1912). Die bedeutend weiteren Keimungsbereiche beginnen schon bei ca. +5°C und reichen bis in die Nähe von +40°C (AALTONEN 1948). Höhere Temperaturen müssen auf Grund der Literatur als schädlich bzw. letal angesehen werden, wie aus zahlreichen Arbeiten zu entnehmen ist (HUBER 1937, NÄGEL 1929, PORODKO 1926, MÜNCH 1914, ROESER 1932, ARNBORG 1956, LADEFOGED 1939, BARTELS 1958, BAUMGARTNER 1956).

Bei höheren, aber supraoptimalen Temperaturen stellt sich der Keimerfolg schon nach kürzerer Andauer ein als bei tieferen Temperaturen. Es ist sicher anzunehmen, daß sich die Rassen sowie Ökotypen den jeweiligen Verhältnissen in gewissen Grenzen anpassen können und daß die Wechselwirkung von Temperatur- und Was-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

serversorgung für den Keimungsverlauf jenseits der Optimalbereiche bestimmend ist. Wasserzufuhr, z.B. beim Beregnen, führt zu einem sofortigen Absinken der Bodentemperatur (LADEFOGED 1939) und bei hohen Temperaturen zu einer spürbaren Entlastung der Pflanze, bei niederen Temperaturen jedoch zu einer Verschlechterung der Keimungsbedingungen.

Auch das Wurzelwachstum ist ein von den Bodentemperaturen abhängiger Vorgang und folgt gleichfalls einer Optimalkurve (LADEFOGED 1939). Wachstumsbereich und Optimalwerte halten sich in ähnlichen Grenzen wie die Werte für die Keimung, sind aber nur für einen Teil der Holzarten in der subalpinen Stufe bekannt.

Vor allem die Wurzeln junger Holzpflanzen können in der Nähe der Bodenoberfläche großen Temperaturschwankungen ausgesetzt sein. Über die Tiefenausbrei-

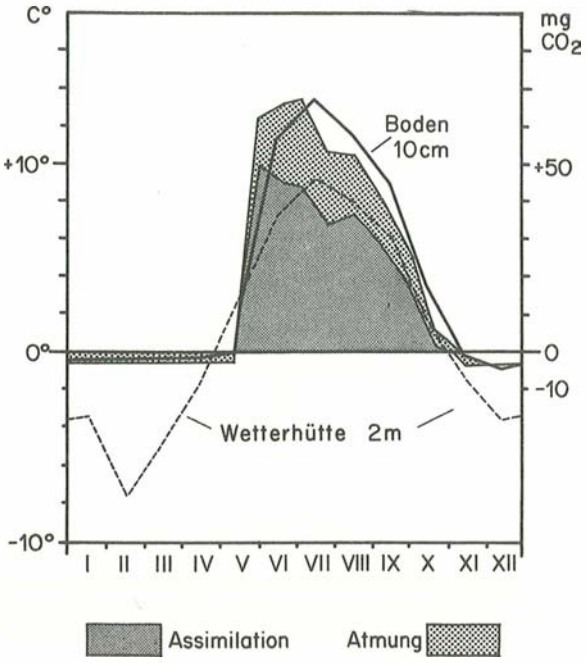


Abb. 32:
Luft- und Bodentemperaturmonatsmittel (in 200 cm über bzw. 10 cm unter der Bodenoberfläche an der schneebedeckten Basisstation Obergurgl / Poschach - Waldgrenze (I) in 2072 m Seehöhe und Vergleich mit dem Jahresgang des CO_2-Stoffwechsels (Assimilation und Atmung) 10-jähriger und 10 cm hoher Zirben (Pinus Cembra L.) aus der Zeit von Nov. 1954 bis Okt. 1955 (CO_2 - Angaben nach TRANQUILLINI)

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

tung der Wurzeln der Waldgrenzenbäume sind wir noch schlecht unterrichtet weil ihre exakte Bestimmung äußerst schwierig ist. Junge Pflanzen dürften in den obersten 10 bis 20 cm Boden wurzeln, in denen sich auch die Hauptmenge der Nährstoffe befindet (s. Abschn. I E10). Auch ältere Zirben bleiben in dieser Zone und durchwurzeln sie intensiv. Lärchen auf mineralischen Böden und gewisse Fichtenrassen können allerdings wesentlich tiefer gehen (SCHIECHTL 1958).

Die Wurzelatmung ist ein weiterer temperaturabhängiger Vorgang. Sie bedeutet ein Verlustglied für die C Stoffbilanz der Pflanze. Die Atmung steigt dabei nach einer Exponentialfunktion an, dürfte sich im Schädigungsbereich enorm erhöhen und bricht dann jenseits der Letalgrenze zusammen. Junge Zirben veratmen mit ihren Wurzeln im Laufe eines Jahres ca. 6 % ihrer Bruttoassimilation (s. Abschn. I F 3). Dies ist wenig im Vergleich zu den Berechnungen EIDMANNS (1943) für andere Forstpflanzen.

Auch die Wasser- und damit auch die Nährstoffaufnahme durch die Wurzeln sind temperaturabhängig. Sie sinken mit fallender Temperatur bis gegen 0°C stark ab und werden bei -1°C durch Ausfrieren des für die Pflanzen verfügbaren Wassers im Boden völlig stillgelegt. TRANQUILLINI hat bewiesen, daß das Ende der Stoffproduktion junger Zirben mit jenem Zeitpunkt zusammenfällt, an dem die Bodentemperatur im Wurzelbereich unter 0°C fällt (siehe Abschn. I F 3: CO_2-Jahresbilanz und Stoffproduktion der Zirbe). Dementsprechend stimmt auch der Jahresgang der Bodentemperatur im Wurzelbereich mit der Nettoassimilation der Jungpflanzen besser überein, als mit dem Gang der Lufttemperaturen (siehe Abb. 32).

Infolge der Blockade der Wasseraufnahme durch Bodenfrost kann es vor allem im Spätwinter, wenn die oberirdischen Pflanzenteile sich wieder stark erwärmen und daher transpirieren, zu Frosttrocknisschäden kommen (MICHAELIS 1934, TRANQUILLINI 1957, HOLZER 1959).

Auch das Vorhandensein und Gedeihen von Mykorrhizapilzen ist für das Gelingen von Hochlagenaufforstungen auf entwaldeten Böden von großer Bedeutung (MOSER 1956). Ihr Wachstum unterliegt ebenfalls einer thermisch bedingten Optimumskurve, wobei sich die Arten wieder verschieden verhalten. Bei Hochlagenpilzen liegt das Temperaturoptimum im allgemeinen tiefer als bei Pilzen aus Tallagen, für den Zirben-Mykorrhizapilz Suillus plorans z. B. wird es mit 15°C angegeben (MOSER 1958). Ebenso können Hochlagenpilze Frosttemperaturen besser überstehen und auch noch bei niederen Temperaturen wachsen (MOSER 1958). Eine Impfung des Pflanzgutes mit Mykorrhizapilzen wird nur dann Erfolg haben, wenn die am Standort zu erwartenden Bodentemperaturen innerhalb der artenspezifischen Temperaturbereiche der Pilze liegen. Auch die Stoffvermittlung vom Pilz zur Baumwurzel ist, wie HARTLEY (BERGEMANN 1956) berichtet, ein temperaturabhängiger Vorgang, ohne daß aber Hochlagenpilze daraufhin besonders untersucht sein dürften.

Ähnliche Gegebenheiten dürften auch für das Bakterienleben gelten. LUNDEGARDH 1954 nimmt an, daß es temperaturbedingte Ökotypen unter den Bakterien gibt. Auch hierüber sind von MOSER eingehende Untersuchungen eingeleitet worden, um die speziellen Verhältnisse in Hochlagen kennenzulernen.

Über das Leben der Bodentiere sind an der Station Obergurgl Arbeiten von E. JAHN durchgeführt worden, deren qualitatives und quantitatives Ergebnis ebenso auf Temperaturabhängigkeit ihrer Verbreitung schließen läßt (s. Abschn. I E 12).

All dies beweist, daß sehr viele Lebensvorgänge im Hochgebirge direkt oder indirekt von den Bodentemperaturen des jeweiligen Standortes abhängen. Jede standortsgemäße oder naturnahe Wiederbewaldung muß daher die reliefbedingte Gesetzmäßigkeiten der Bodentemperaturverteilung kennen und bei der Wahl der Holzarten und Maßnahmen berücksichtigen.

II. Meß- und Auswertemethoden

Der Einsatz einer geeigneten Meßmethode entscheidet - neben der ökologisch richtigen Wahl des Standortes bereits über den Aussagewert der Messung. Die beste Auswertung vermag nur mehr Vorhandenes zu sortieren. Art und Genauigkeit der Meßmethode sind daher so zu wählen, daß das Ergebnis mit Sicherheit eine hin-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
reichende Analyse des zu untersuchenden Phänomens gestattet.

Da für das Pflanzenleben der Wärmegenuß und die Temperaturbeanspruchung von gleichgroßer Bedeutung sind, mußte die Meßmethode von vorneherein auf die Bestimmung der Extrem- wie auch der Mittel- und Andauerwerte abzielen. Dieses Ergebnis läßt sich aber nur von einem registrierenden Meßverfahren erwarten. Dies gilt im besonderen Maße von den oberflächennahen Temperaturen bis zu 20 cm Tiefe, die sich unter den Einflüssen wechselnder Strahlung und Exposition kurzfristig und vielfältig ändern.

Im Hinblick auf die kurzzeitigen Änderungen wurden die Bodentemperaturen in 0 - 1 und 5 cm ausschließlich registriert, in 10 cm insoweit, als es die Ausrüstung gestattete. Die in 0 1 cm eingesetzten Widerstandsthermometer waren geweißt und zum Schutze vor Strahlungsfehlern mit einer 2 3 mm starken Erd- und Streuschicht bedeckt. Ihr Verlegungszustand wurde zweimal täglich kontrolliert. Da die verwendeten Nickelthermometer (TK 5.48 . 10^{-3}) in einem Bleimantel von 10 mm Außendurchmesser bei einer Länge von 6 7 cm eingebettet waren, kann ihre repräsentative Meßtiefe mit 6 8 mm angegeben werden (TURNER 1958a). Später wurden Nickelthermometer (TK 6.17 10^{-3}) in einer dünnen Plastikhülle mit etwas geringeren Außenabmessungen verwendet. Diese tatsächliche Meßtiefe von 6 - 8 mm wird im Folgenden kurz als "Bodenoberflächentemperatur" oder "Bodentemperatur 0 1 cm" bezeichnet.

Die Registrierung erfolgte mit Hilfe von Mehrfachfallbügelschreibern. Der Fehler dieser Geräte beträgt maximal $\pm$ 1.5 % des Skalenumfanges oder 0.75°C bei einer 50-grädigen Skala. Als Meßspannungsquellen wurden 6-Volt Blei-Schwefelsäurebatterien verwendet, der Leitungswiderstand betrug 2 mal 10 Ohm.

Außer den Registrierungen wurden Ablesungen in 10, 15, 20, 30, 50, 60 und 100 cm Tiefe mit elektrischen Widerstandsthermometern, in oberflächennahen Schichten auch mit Quecksilberablesethermometern sowie später nur Quecksilberextremthermometern vorgenommen, die infolge ihrer besser definierten Werte den gewöhnlichen Ablesethermometern vorzuziehen sind. Die Eichung aller Thermometer erfolgte im Wasserbad.

Im Hinblick auf die einleitend erwähnten Grenz- und Optimalbereiche des pflanzlichen und tierischen Lebens bestand für die Auswertung die Aufgabe, das Material vor allem nach wirklicher Andauer (DAMMANN 1955), ununterbrochener Andauer bestimmter Temperaturbereiche, aber auch nach Extremen und Amplituden sowie nach Mittelwerten durchzuarbeiten, um einen Vergleich mit anderen Stationen durchführen zu können.

Diese Aufgabe war angesichts des großen, aus den Meßzeiträumen vom 1.6. 15.11.1953 und 1.6.1954 - 31.12.1959 stammenden Materials sehr zeitraubend, da mehr als 15.000 registrierte Tagesgänge und über 40.000 Einzelablesungen vorlagen.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

III. Zum Einfluß der Kontinentalität und der Seehöhe

(Aus langjährigen Beobachtungen des Erdbodenzustandes durch den österreichischen Klimadienst).

Da in Österreich nur an sehr wenigen Stationen Bodentemperaturmessungen vorgenommen werden, lag es nahe, wenigstens an Hand des Erdbodenzustandes regionale Unterschiede zwischen ozeanischen und kontinentalen Gebieten festzustellen. Herr Prof. Dr. LAUSCHER hat dazu in dankenswerter Weise unseren seinerzeitigen Mitarbeiter Dr. A. RIEDEL in das Material der Zentralanstalt für Meteorologie in Wien Einsicht nehmen lassen. Die folgenden Gegenüberstellungen basieren auf der seinerzeitigen Bearbeitung durch Dr. RIEDEL.

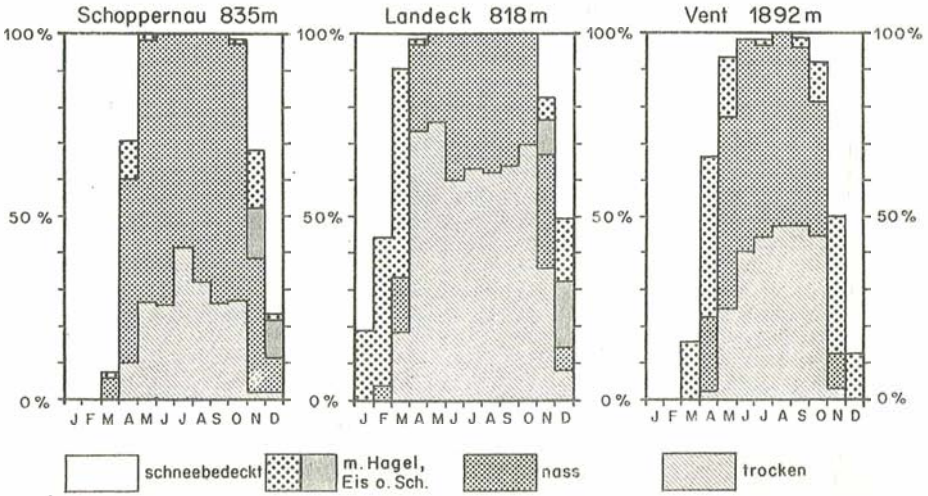


Abb. 33: Mittel der Erdbodenzustände um 14 Uhr im ozeanischen Schoppernau (Bregenzer Wald, 840 m), im kontinentalen Landeck (Oberinntal/Tirol, 818 m) und im inneralpinen Vent (1892 m) von 1940 bis 1954

Im ozeanischen und im inneralpinen, kontinentalen Gebiet sollten je eine gleichhoch gelegene Station miteinander verglichen werden und in weiterer Folge die kontinentale Station mit dem höher gelegenen Raum Vent-Obergurgl. Für diesen Vergleich wurden das ozeanisch beeinflußte SCHOPPERNAU im Bregenzer Wald (840 m, 1899 mm Niederschlag; BMfHuW 1956) dem kontinentalen LANDECK im Oberinntal (818 m, 736 mm Niederschlag) (SCHEDLER 1953) dem noch kontinentaleren VENT im Innerötztal (1892 m, 706 mm Niederschlag) gegenübergestellt. Zeitraum: 1940 - 1954).

In der Absicht, das Wesentliche herauszuarbeiten, wurden einzelne von den 9, vom Klimadienst beobachteten Erdbodenzuständen zusammengefaßt und nunmehr folgende 5 Gruppen unterschieden: "Schneebedeckt" (Erdbodenzustände 7 - 9), "Mit schmelzendem Schnee, Hagel oder Eis bedeckt" (Erdboden-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

zustände 4 6), "Trocken gefroren" (Erdbodenzustand 3), "Naß" (Erdbodenzustand 1 und 2) und "Trocken" (Erdbodenzustand 0). Da sich die Erdbodenzustände um 7,14 und 21 Uhr nur unwesentlich unterscheiden, wenn man davon absieht, daß morgens ein größerer Anteil an trockenem Bodenfrost zu verzeichnen war, sollen nur die Unterschiede des Erdbodenzustandes um 14 Uhr diskutiert werden (siehe Abb. 33).

Beim Vergleich der gleichhoch gelegenen Stationen SCHOPPERNAU und LANDECK fällt in erster Linie die große Trockenheit des kontinentalen LANDECK auf, worüber andernorts von SCHEDLER (1953, S. 40-42) berichtet wurde. Infolge der geringeren Niederschläge ist in LANDECK auch der Winter kürzer, Frühjahr und Herbst sind hier besonders trocken (ca. 70 %!), während im ozeanisch getönten SCHOPPERNAU das Maximum der Trockenheit im Juli mit nur rund 40 % der Gesamtzeit erreicht wird.

Vergleicht man nun die beiden verschieden hoch gelegenen, kontinentalen Stationen LANDECK und VENT, so zeigt sich nicht nur der erwartet lange Schneebedekkungszeitraum bei der Hochlagenstation, sondern überraschenderweise war der Boden während der Vegetationsperiode hier verhältnismäßig oft naß! Der Zeitraum der Trockenheit ist zwar größer als im ozeanischen SCHOPPERNAU, aber er läßt sich nicht mit der Trockenheit LANDECKs vergleichen!

Diese überraschende Erkenntnis ließe sich klimatisch nur aus der Annahme verstehen, daß im Hochtal von Vent die Sommerniederschläge infolge der starken Horizontabschirmung und stärkeren Bewölkung im Bereich des Alpenhauptkammes langsamer verdunsten, weil Sonne und Wind weniger einwirken. Sollte sich dieser Vorgang auch an anderen, stark abgeschirmten kontinentalen Stationen bestätigen lassen, so müßte sich der gewohnte Begriff der Kontinentalität durch Einbeziehung weiterer wichtiger Effekte ändern, um biologische Probleme exakter fassen zu können.

Gerade im Hinblick auf das Fehlen von Bodentemperaturmeßstellen müßte eine, auf breiterer Basis gestellte, vergleichende Auswertung der Erdbodenzustände einen weit besseren Überblick für biologische Fragestellungen ergeben, als er uns heute zur Verfügung steht.

Ein exakter Vergleich mit OBERGURGL selbst mußte unterbleiben, weil hier Beobachtungen des Erdbodenzustandes nicht vorlagen. Beim Versuch, die Erdbodenzustände "Naß" und "Trocken" von VENT hinsichtlich ihrer Andauer mit jenem Zeitraum zu vergleichen, in dem die Bodentemperatur an der Station POSCHACH-WALDGRENZE (2070 m) über 0°C lag, ergab sich, daß an der höher gelegenen Hangstation die Dauer der Schneebedeckung im März um 7 %, im April um 23 %, im Mai um 32 %, im Juni um 2 %, im September um 2 % und im Oktober um 18 % größer war. Da es sich jedoch um ungleiche Größen und Meßzeiträume handelte (WALDGRENZE: 1954 - 1958, VENT: 1940 1954) können diese Zahlen nur als Anhalt dienen.

Bodentemperaturvergleich mit anderen Stationen

Infolge der geringen Anzahl von Bodentemperaturmeßstellen in den Ostalpen mußte sich dieser Vergleich mit folgenden Stationen begnügen:

Stat	Seehöhe	Bemerkungen
Wien, Zentralanstalt Österreich	202.5 m	Pannonisches Klimagebiet, sonnige Meßstelle im Garten unter Rasen, windgeschützt, 48° 15' N und 16° 22' E.
Hohenpeissenberg, Observatorium, OBB, Bundesrepublik Deutschland	977.0 m	Ozeanisches Klimagebiet am Alpennordrand, einzelstehender Gipfel, der aus dem nördlichen Alpenvorland aufragt, gerodeter Boden, gegen Süden ein wenig durch Bäume abgeschirmt, 47°48' N und 11° 01' E.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Stat	Seehöhe	Bemerkungen
Rinn, Landesanstalt Tirol, Österreich	900.0 m	Am Nordrand des inneralpinen, kontinentalen Gebietes, gelegen auf Mittelgebirgsterrasse südlich des Inn; unter Rasen auf humosem, lehmigem Feinsand; 47° 15' N und 11° 30' E.
Obergurgl-Poschach, Tirol, Österreich	2072.0 m	Zentrum des inneralpinen, kontinentalen Gebietes; knapp oberhalb der Waldgrenze auf gerodetem Boden, vorher Bürstlingrasen auf podsoliger Braunerde, 46° 53' N und 11° 02' E.

Ein Vergleich mit den sicher interessanten Werten der Station HOCHSERFAUS im kontinentalen Oberinntal (975 m) mußte leider unterbleiben, da bisher darüber nichts veröffentlicht wurde. Über die Bodentemperaturverhältnisse von RINN liegt dagegen bereits die Bearbeitung des Materials aus den Jahren 1943 1952 vor (MAYR 1956). Die ergänzenden Werte aus den Jahren 1953 1958 wurden vom Leiter der Landesanstalt für Pflanzenzucht und Samenprüfung, Herrn Prof. Dr. E. MAYR, entgegenkommenderweise für diesen Vergleich zur Verfügung gestellt. Desgleichen muß ich dem Leiter des Observatoriums am Hohenpeissenberg, Herrn Oberregierungsrat Dipl. Ing. Dr. J. GRUNOW, sowie der Direktion der ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE in Wien für das bereitwillige Zurverfügungstellen ihrer Meßwerte danken.

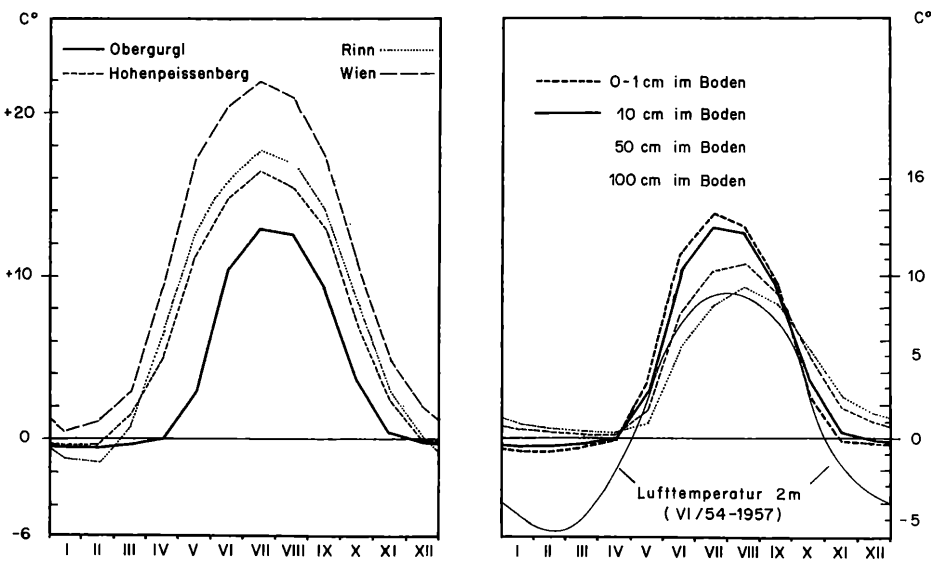


Abb. 34 a: links: Mittlere Jahresgänge der Bodentemperatur in 10 cm Tiefe aus dem Zeitraum VII/1954-XII/1958 der Stationen Wien (203 m), Rinn (900 m), Hohenpeissenberg (977 m) und Obergurgl (2070 m)

Abb. 34 b: rechts: Mittlerer Jahresgang der Bodentemperatur an der winterschneebedeckten Basismeßstelle Obergurgl-Poschach-Waldgrenze (2070 m) aus dem Zeitraum VII/1954-XII/1958 in den Meßtiefen 0-1 cm, 10 cm, 50 cm, 100 cm und mittlerer Jahresgang der Lufttemperatur in 200 cm über dem Boden an der gleichen Station aus dem Meßzeitraum VI/1954-XII/1957

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Für einen Vergleich wurde als einheitliche Meßtiefe 10 cm gewählt (siehe Abb. 34a), um die biologisch wichtigsten Werte im oberen Wurzelhorizont diskutieren zu können. Die kontinentaler gelegene Station RINN zeigt gegenüber dem ozeanischer liegenden HOHENPEISSENBERG erwartungsgemäß eine etwas größere Jahresamplitude. Dieser Effekt aber ist sicher nicht nur auf die unterschiedliche Kontinentalität, sondern auch auf die Gipfellage des Observatoriums am Hohenpeissenberg zurückzuführen. In OBERGURGL verhindert die sechsmonatige Schneebedeckung jede größere Jahresamplitude und dieser Einfluß der Seehöhe überwiegt die regionalen Unterschiede. Infolge der kurzseitigen Erwärmung des Bodens bleiben natürlich auch die Temperaturen in größeren Bodentiefen (50 und 100 cm) in OBERGURGL niedrig (siehe Abb. 34b). Andererseits verhindert die winterliche Schneedecke das Auftreten stärkerer Bodenfröste, wie sie dem Jahresgang der Lufttemperaturen entsprechen würde, und der Boden unter 50 cm Tiefe bleibt nahezu frostfrei (siehe Abb. 34b).

Im Vergleich mit WIEN (siehe Abb. 34a) kommt natürlich die starke Verkürzung der Vegetationsperiode besonders zum Ausdruck und die Werte in 100 cm Bodentiefe liegen in WIEN beispielsweise noch um 4 - 5°C höher (STEINHAUSER, ECKEL, SAUBERER 1955) als die oberflächennahen Bodentemperaturen in OBERGURGL (0 - 1 und 10 cm).

IV. Gesichtspunkte für die Stationsauswahl im Kleinklimanetz

Während die Basisstation an einem repräsentativen Punkt im Großklimagebiet errichtet wurde und einen Anschluß der eigenen Messungen an das Klimanetz gestatten soll, war es Aufgabe des Kleinklimanetzes, die gesetzmäßige Verteilung der Klimaeinflüsse im Gelände unter Berücksichtigung des Einflusses der Bodenvegetation zu erfassen.

Auf die Rippen, Hügel und Mulden des Kleinreliefs wirken die gerichteten klimatischen Faktoren verschieden ein (siehe Abb. 35). Je nachdem, ob Wind und Sonneneinstrahlung aus entgegengesetzter (Fall I) oder aus gleicher Richtung (Fall II) auf eine Geländerippe einwirken, müssen sich an den beiden Einhängen grob unterschiedliche Kleinklima- und Schneebedeckungsverhältnisse ergeben, die vor allem für den lokalen Beginn der Vegetationsperiode von entscheidender Bedeutung sind. Unter dem Einfluß jener gerichteten Faktoren Wind und Sonneneinstrahlung folgen vor allem Niederschlagsabsatz, Schneebedeckungsdauer und Ausaperung mit großer Stetigkeit reliefbedingten Gesetzmäßigkeiten (FRIEDEL 1952, FRIEDEL 1956). Diese schroffen Primärwirkungen des Reliefs vermag die Bodenvegetation je nach Art und Dichte mehr oder weniger auszugleichen.

V. Beschreibung der Bodentemperaturmeßstellen im Untersuchungsgebiet

Entsprechend diesen aus der gesetzmäßigen Verteilung von Relief, Boden und Vegetation resultierenden Gesichtspunkten bestand für das Netz der Bodentemperaturmeßstellen die Aufgabe,

a) großklimatisch repräsentative Bodentemperaturangaben hinsichtlich der subalpinen Stufe im kontinentalen Wuchsgebiet zu geben,
b) den primären Einfluß des Reliefs an gerodeten, wechselnd exponierten Stellen zu untersuchen, um Angaben für Aufforstungen an unbewachsenen Stellen machen zu können,
c) die Sekundärwirkungen der Vegetation (Rand- und Deckenwirkungen) in ihrer Artenvielfalt festzustellen.

Um diese Aufgaben lösen zu können, wurde

a) eine klimatologische, nunmehr seit 5 Jahren durchlaufende, horizontale Basismeßstelle knapp oberhalb der Waldgrenze an einer im Winter sicher mit Schnee bedeckten Stelle angelegt (siehe Abb. 36). Am Nordhang des gleichen Basishügels wurde eine weitere, jedoch durch besondere Schneearmut

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

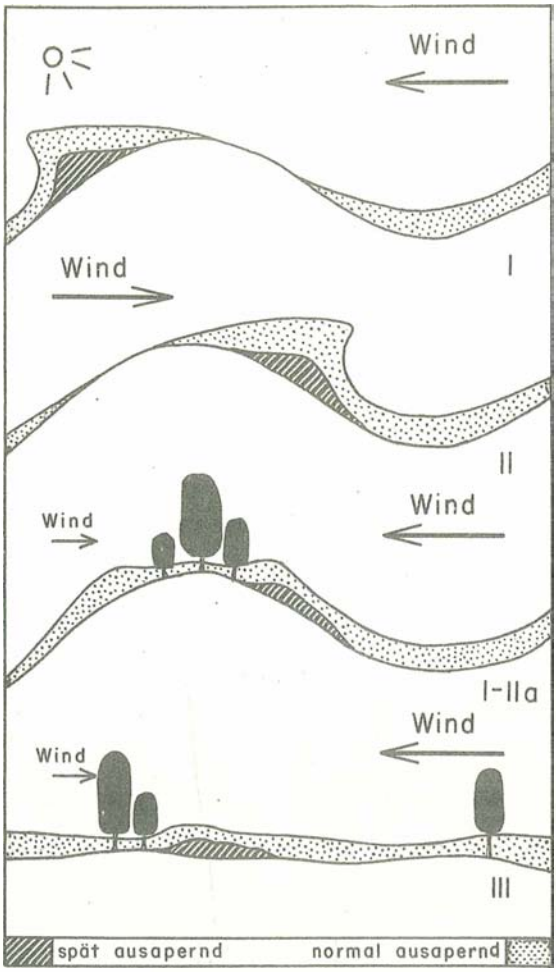


Abb. 35: Schema der reliefbedingten Schneeablagerung und Ausaperung unter dem Einfluß der gerichteten Faktoren Wind und Sonnenschein
Fall I: Wind und Sonne aus entgegengesetzten Richtungen; die Vegetationsperiode wird am schattseitigen Luv früher beginnen als am sonnseitigen Lee, wo der Winter - womöglich ohne Frühjahr - direkt vom Sommer abgelöst werden kann. Am schattseitigen Luv ist häufig mit Bodenfrost zu rechnen
Fall II: Wind und Sonne vorwiegend aus der gleichen Richtung; zeitiges Frühjahr am sonnseitigen Luv und geringere sommerliche Überhitzung auf der Südseite, dagegen späte Ausaperung und etwas wärmerer Sommer am schattseitigen Lee
Fall I a - II a: Baumbestockung der Rippen gleicht Bewindung und Schneelage aus und verstärkt die Beschattung (Fall II a dunkel getönt)
Fall III: Mit zunehmender Bestockung und abnehmender Reliefgliederung verwischen sich die Unterschiede zusehend (z.B. am besonnten und beschatteten Rand einer Lichtung im Hochwaldbereich)

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

gekennzeichnete Basismeßstelle zur klimatischen Kennzeichnung derartiger Standorte errichtet, die seit Oktober 1955 in Betrieb ist (siehe Abb. 42). Während die Vegetation auf der horizontalen, schneebedeckten Basis gerodet wurde, befand sich an der schneearmen Basismeßstelle von Natur aus keine nennenswerte Vegetation (nur Einzelpflanzen), da hier am Hügelvorsprung das Geäst einer großen Zirbe direkt eine düsenartige Wirkung hervorrief.

b) Ein Bodentemperaturnetz wurde an gerodeten Meßstellen errichtet (Stationen I, 3, 5, 6, 8, 11)(siehe Abb. 47), wobei die Meßstellen (mit Ausnahme von I) wechselnde Expositionen bei gleicher Neigung (29°) hatten (Horizontal, NE, N, W, SW, S). Hier wurde 1954 und 1955 gemessen.

c) Durch ein weitverzweigtes Netz von Bodentemperaturmeßstellen wurde der Vegetationseinfluß im Bereich der Kampfzone einmal am nahezu baumlosen oberen Hang, ein zweites Mal am unteren Hang im Schutz der Zirbenjungwüchse und schließlich ein drittes Mal in Anlehnung an die gerodeten Meßstellen im Bereich des Unterhanges auf der Lichtung und in dem angrenzenden subalpinen Zirben-Lärchenwald (siehe Abb. 54, 55, 56, 58) untersucht. An diesen Meßstellen wurde in den Jahren 1953 und 1954 ("Lichtung") sowie 1954-1959 ("Waldgrenze") gemessen.



Abb. 36: Die wintersüber schneebedeckte Basismeßstelle I Obergurgl-Poschach/Waldgrenze (2072 m) gegen Norden mit der Licht- und Globalstrahlungsmeßstelle. Die schneearme Basismeßstelle II befand sich am Nordabfall des Hügels unter der in Bildmitte sichtbaren Zirbe. Unmittelbar hinter der Rodungsfläche ist jener Wacholderbewuchs zu sehen, in dem sich die Meßstelle 1 befand

Die Schreibgeräte waren in Baracken an der Basisstation "Waldgrenze" und in der Kampfzone sowie in der "Lichtung" untergebracht.

Die Horizonteinengung der Stationen ist aus Abb. 37 und 50 zu ersehen.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

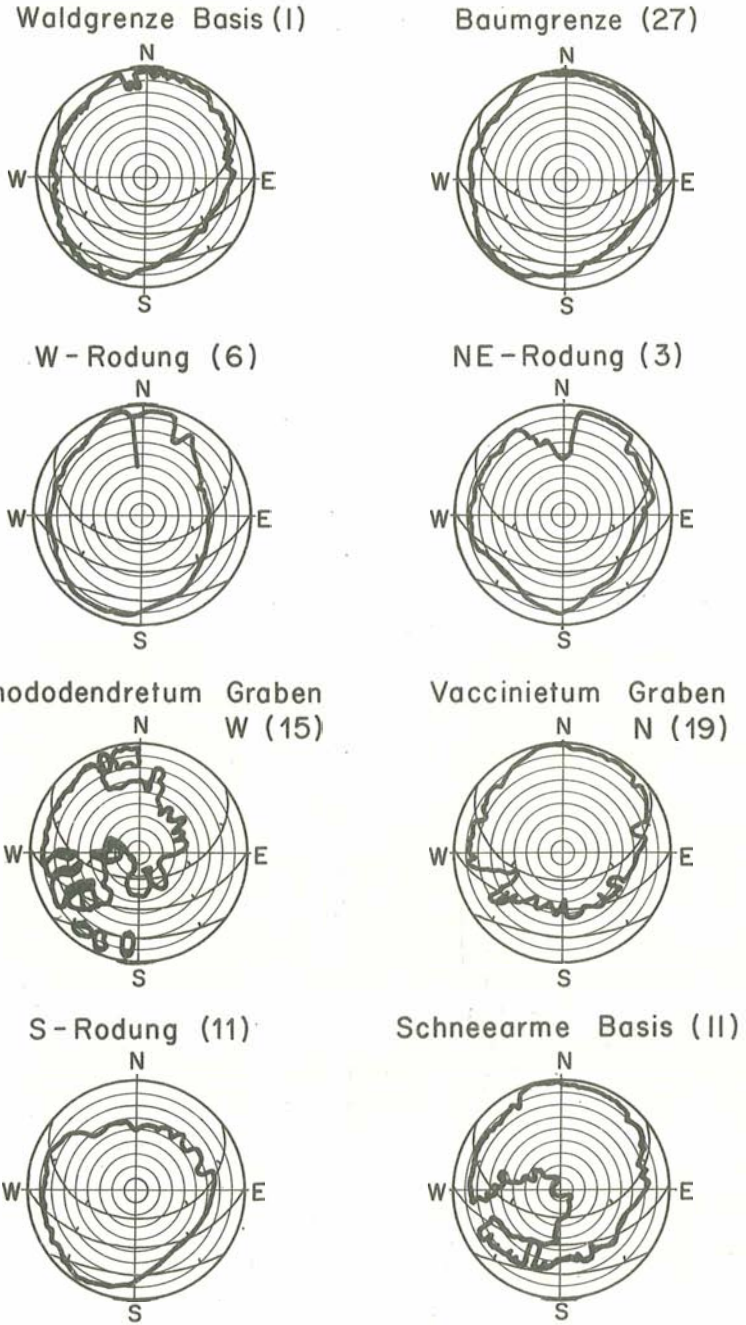


Abb. 37: Horizonte im Unteruchungsgebiet Kampfzone Obergurgl-Poschach

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

I. Die Primärwirkungen des Kleinreliefs

A. Die schneebedeckte Basisstation (Meßstelle I)

Da im Hochgebirge die Schneebedeckungsdauer das Bodentemperaturklima eines Standortes vor allen anderen Einflüssen bestimmt und der weitaus größte Teil der subalpinen Stufe im Winter sicher mit Schnee bedeckt ist, wurde als Basisstation ein derartiger Standort gewählt (siehe Abb. 36). Die Expositionseinflüsse des Kleinreliefs werden durch die horizontale Lage der Station ausgeschaltet. Die Rodung der Meßstelle verhinderte alle Sekundärwirkungen der Vegetation, die ebenso wie das Kleinrelief beim Vergleich mit anderen Stationen gestört hätten. Die winterliche Schneebedeckung im Versuchszeitraum schwankte zwischen 50 und 150 cm.

Dieser Bodentemperatur-Standort entspricht vor allem in seiner Schneebedeckungsdauer dem Bereich der Rostalpenrosen-Zwergstrauchheiden (Rhododendretum Vaccinietum). Nach Untersuchungen TURNERs aus dem gleichen Meßzeitraum entspricht der Rauschbeere eine mittlere ununterbrochene Andauer von 142 Tagen pro Jahr, dem Übergangsgebiet von Rauschbeere zur Alpenrose eine solche von 199 Tagen und dem Bereich der Alpenrose selbst eine Schneebedeckungsdauer von 200 216 Tagen (siehe Seite 300). Im gleichen Zeitraum wurden an der Basisstation (I) etwa 186 Tage ermittelt. Demnach sind die Werte der Basismeßstelle als repräsentativ für den Normalstandort in der oberen Hälfte der subalpinen Stufe im zentralalpinen Raume anzusehen und fügen sich auch gut in die Karte der Schneebedeckungsandauer von STEINHAUSER ein, der für den zentralalpinen Raum in diesen Höhenlagen Andauern von 200 Tagen und darüber angibt.

Die Vegetationsperiode war mit einer mittleren Andauer von nur etwa 179 Tagen merklich kürzer als der lange Winterzeitraum. Das absolute Ende der Vegetationsperiode von Jungpflanzen tritt durch die Bildung einer ständigen Schneedecke ein, weil die Bodentemperatur im Wurzelbereich die Frostgrenze erst später überschreitet.

Unter Vegetationsperiode versteht man in vorliegender Arbeit die Zeit zwischen dem Abschmelzen und dem Eintreten einer geschlossenen Schneedecke.

Die angegebenen Werte der Bodentemperaturen gelten infolge der Rodung nur für den nackten Boden. Ist dieser mit einer Pflanzendecke überzogen, so werden natürlich die angegebenen hohen Temperaturen durch den Bewuchs entsprechend seiner Art und Dichte

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

gedämpft, wogegen bei den Minimalwerten nur geringfügige Unterschiede auftreten. Unverändert bleibt auch das geringe Durchfrieren des Bodens, das sich auf die obersten Wurzelhorizonte beschränkt; die winterliche Wasserversorgung für tieferwurzelnde Altbäume wird an diesem Bodentemperatur-Standortstyp durch Bodenfrost nicht blockiert. Ungeachtet des geringen jährlichen Wärmegenusses der Pflanzen (langer Winter, kühle Sommernächte) kann es auch bei diesem Bodentemperatur-Standortstyp an der Bodenoberfläche zu kurzfristigen Überwärmungen kommen.

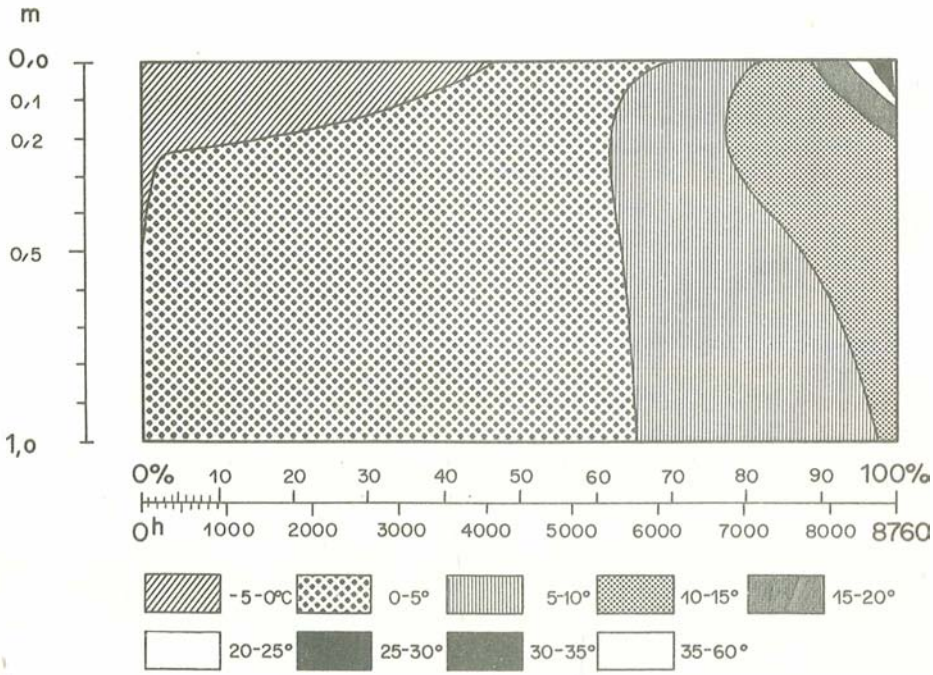


Abb. 38: Mittlere jährliche Andauer der Bodentemperatur an der schneebedeckten Basisstation (I) im Zeitraum Juni 1954 bis Dezember 1958 zwischen 0.0 und 1.0 m Tiefe, ausgedrückt in Stunden und in % der Gesamtzeit des Jahres

Eine sehr gute Standortscharakteristik für den Biologen ergibt sich aus der Darstellung der Andauer der Bodentemperaturen. Die mittlere jährliche Andauer (siehe Abb. 38) zeigt, daß Temperaturen über 20°C selbst im Bereich der Bodenoberfläche kaum 7 % der Gesamtzeit des Jahres auszumachen vermögen, Temperaturen über 40° nur mehr 0.1 % und solche über 55°C im Durchschnitt gar nur mehr 0.008 %! Auf ähnlich kurze Zeiträume im Herbst beschränken sich tiefe Temperaturen unter -5°C (0.13 %), zu denen es vor der Ausbildung einer geschlossenen Schneedecke kommen kann und die sich ebenfalls, wie die hohen Temperaturen, auf die oberflächennächsten Schichten beschrän-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

ken. In den tieferen Bodenschichten kommt den Temperaturbereichen 0 5° C und 5 10° C der weitaus größte Zeitraum zu und über 10° C vermag die Temperatur nur kurzfristig anzusteigen.

Der Temperaturablauf während des Jahres ist aus der mittleren monatlichen Andauer der Bodentemperaturen zu ersehen (siehe Abb. 39). Während der Sommermonate klettern die Oberflächentemperaturen nur während ca. 20 % der Zeiträume über 20°C hinauf. Immerhin konnten aber im Juli 1957 Temperaturen über 50°C an 18 Stunden auftreten und Temperaturen über 40°C wurden jedes Jahr erreicht. Die Herbstmonate September bis November sind besonders durch kurzfristige ,starke Fröste gekennzeichnet, was auch bei Saat und Pflanzung zu beachten sein wird. Das Durchfrieren des Bodens im Winter geht am schneebedeckten Standort selten unter 20 cm Tiefe hinunter und schon im März, besonders aber im April kündigt sich der Abschmelzvorgang der Schneedecke deutlich an. In den mehr als 6 Wintermonaten soll die Einzeichnung der beiden Bereiche 0 5° C und -5 - 0°C nicht darüber täuschen, daß die Temperaturen nur um Zehntelgrade oder höchstens Grade vom Gefrierpunkt abwichen. Da sich das pflanzenverfügbare Wasser in den größeren Poren befindet und in solchen Poren durch Kapillardepression eine Gefrierpunktserniedrigung um etwa 1°C auftritt, kann geschlossen werden, daß hier den Pflanzen selbst im Winter Wasser zur Verfügung steht. In Tiefen unter 50 cm herrscht der Bereich 0 5° C durch mehr als 7 1/2 Monate und der Bereich 10 15° C wird nur zwischen Juni und September erreicht. Im Gesamtbild beeindruckt das Vorherrschen der niederen Temperaturbereiche in allen Schichten bei gleichzeitigen kurzfristigen Aufheizungen und geringer Abkühlung im Bereich der Bodenoberfläche.

Der Schutz der Schneedecke gegen das Auftreten tiefer Temperaturen ist vielleicht noch besser aus der Lage der winterlichen Monatsmittelwerte zu ersehen (siehe Abb. 34, rechte Hälfte). Gegenüber dem Verlauf der Lufttemperaturen während des Jahres zeigte die Kurve der mittleren Monatsmittel im April und November ein für die Schneelage kennzeichnendes Abknicken, wobei die Bodentemperaturwerte in allen Tiefen nahe über (50 und 100 cm Tiefe) oder knapp unter dem Gefrierpunkt liegen (0 1 und 10 cm Tiefe). Während der Vegetationsperiode steigen die Monatsmittel der Lufttemperatur an und es wurden z. B. im Juli 1958 in 0 1 cm ein Monatsmittel von 16.3°C, in 10 cm noch immer 15°C, in 50 cm 12.1°C und in 1 m Tiefe maximal 10.3°C erreicht. Die durchschnittlichen Werte der ganzen Meßperiode liegen natürlich ebenso wie die Mittel der zwei warmen Sommer etwas unter diesen Höchstwerten. Auch für die niederen Jahresmittel, die in 0 - 1 cm bis zu 5.1°C und in 100 cm bis zu 3.2°C anzusteigen vermögen, ist die lange Dauer der Schneebedeckung verantwortlich. Die Jahresamplitude (der Monatsmittel) macht in 0 1 cm 17.6°C,

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

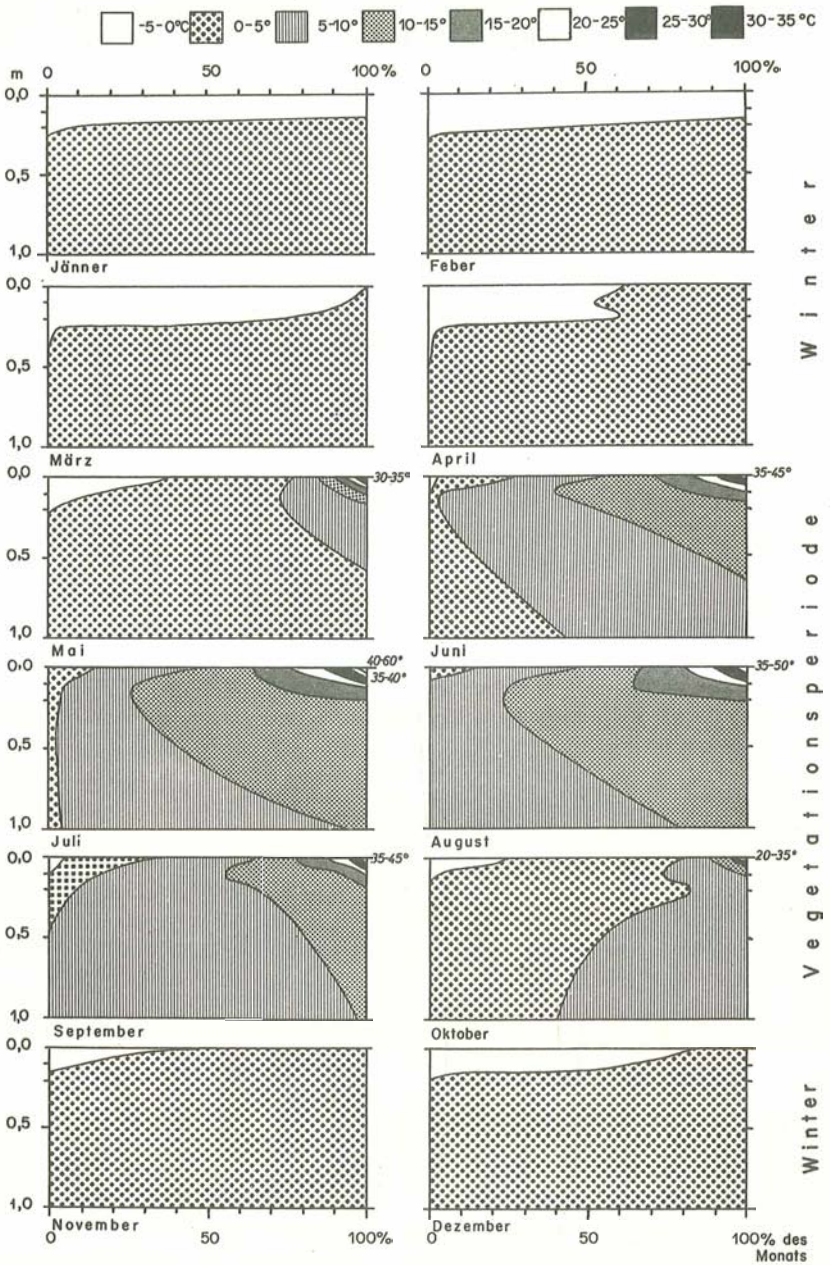


Abb. 39: Mittlere monatliche Andauern der Bodentemperaturen an der schneebedeckten Basisstation (I) im Zeitraum Juni 1954 bis Dezember 1958 zwischen 0,0 und 1,0 m Tiefe, ausgedrückt in % der Gesamtzeit der Monate

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
in 10 cm 15.8°C, in 50 cm 12.1°C und in 100 cm 10.2°C während des gesamten Meßzeitraumes aus.

Noch mehr verdeutlichen sich diese Standortseigenschaften in den absoluten Extremwerten, wobei wiederum die Bodenoberfläche geringe Unterkühlungen während des ganzen Jahres, aber doch kurzfristige Aufheizungen in einzelnen Sommern zeigt. Im Hauptwurzelhorizont der jungen Holzpflanzen sind diese Extreme schon weitgehend geglättet und die große Konstanz der Werte in den tieferen Bodenschichten läßt sich nicht übersehen. Immerhin vermögen Fröste im Einzelfall aber bis in 50 cm Tiefe vorzudringen (bis maximal 10 Tage andauernd).

Es soll hier nochmals darauf hingewiesen werden, daß vor allem die sommerlichen Maximalwerte dieses Bodentemperaturstandortstyps durch das Vorhandensein einer Vegetationsdecke eine wesentliche Dämpfung erfahren. Die Minimalwerte dagegen werden dadurch nicht sehr beeinflußt und es ist bezeichnend, daß die Tagesgänge verschiedenster Meßstellen nur während des Tages grobe Unterschiede aufweisen, in der Nacht aber alle Kurven zusammenlaufen. Nahezu täglich erreicht im Sommer die Oberflächentemperatur Werte über 30°C, die täglichen Amplituden können sogar bis über 40°C ansteigen; in 10 cm Tiefe herrschen aber bereits viel ausgeglichenere Verhältnisse, die nur mehr undeutlich den starken Wärmeumsatz im Bereich der Oberfläche ahnen lassen. Entsprechendes gilt natürlich auch für die mittleren Amplituden, die schon in 10 cm Tiefe weniger als 10°C im Tag ausmachen. Die Amplituden des Frühsommers sind deutlich höher als im Herbst und Spätherbst, weil die Vegetationsperiode nach dem Abschmelzen der Schneedecke plötzlich bei höchstem Sonnenstand beginnt, im Herbst aber allmählich ausklingt.

Jedenfalls wird angesichts des hohen Sonnenstandes eine Frühjahrspflanzung weit seltener von starken Bodenfrösten bedroht sein als eine Herbstpflanzung, wenn nicht schon der erste Kälteeinbruch im Spätherbst eine schützende Schneedecke mit sich bringt. Kein Monat des Jahres ist frostsicher.

B. Der schneearme Standort (Meßstelle II)

Neben dem Normalfall des wintersüber schneebedeckten Standorttyps, der für den weitaus größten Teil der subalpinen Stufe Gültigkeit hat, sollten jene Standorte als besonderer Typ hervorgehoben werden, die nahezu während des ganzen Winters wegen ihrer Windausgesetztheit regelmäßig schneefrei sind und als Schattlagen überdies auch während des Sommers eine nur geringe Bodenerwärmung erfahren. Hiezu zählen Rippen und Grate, wenn sie unbestockt sind, sowie die windoffenen Nordseiten dieser Geländeabschnitte. Da der Hochwald eine Turbulenzschicht erzeugt und für

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

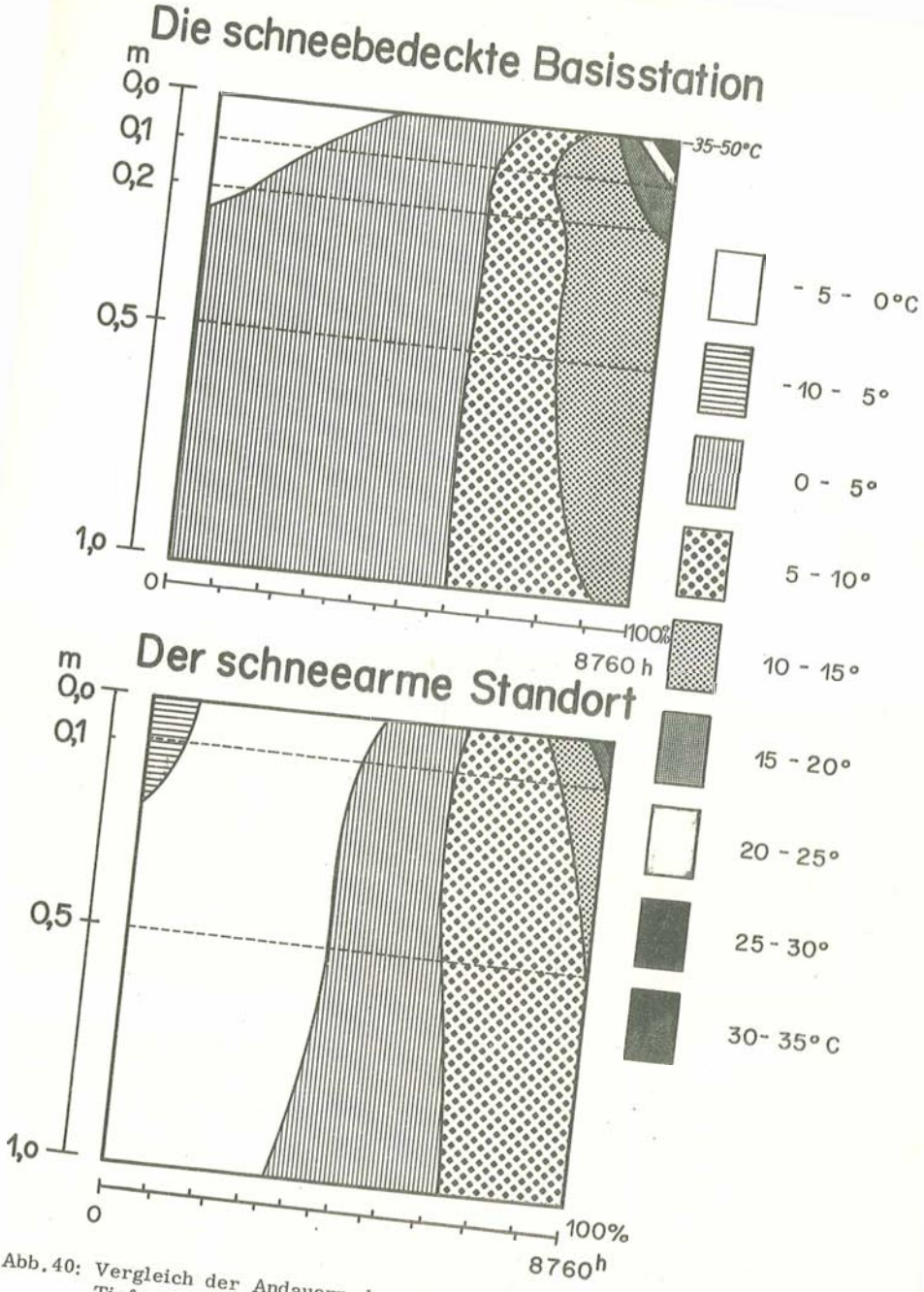


Abb. 40: Vergleich der Andauern der Bodentemperaturen von 0.0 bis 1.0 m Tiefe am schneebedeckten und schneearmen Standort (Basisstationen I und II) während des Jahres 1958. Angabe der Meßtiefen in Metern, Zeitangabe in Stunden bzw. in % der Zeit des ganzen Jahres

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
einen viel gleichmäßigeren Schneeabsatz sorgt, kommt dieser Standortstyp dort nicht vor. Er beschränkt sich vielmehr auf baumlose Gebiete und damit auf die obere Hälfte der subalpinen Stufe.

Um aber einen solchen Standort möglichst im engeren Beobachtungsbereich untersuchen zu können, wurde eine zweite Basismeßstelle (II) am windausgesetzten Nordabhang des Basishügels gewählt, wo die Krone einer alten, mehrhundertjährigen Zirbe wie eine Düse wirkte und solcherart für eine weitgehende Schneefreiheit bzw. Schneearmut des Standortes sorgte. Diese natürliche Schneearmut und Frostausgesetztheit fand vegetationsmäßig ihren Ausdruck im nur spärlichen Vorkommen vereinzelter Arten; nahezu 80 % der Fläche waren jedoch unbewachsen!

Die besonderen Eigenschaften dieses kalten Bodentemperaturstandortstyps zeigen sich vielleicht am besten, wenn man ihn der schneebedeckten Normalmeßstelle gegenüberstellt. Auch hier soll wieder von der Andauer ausgegangen werden, die für den Zeitraum eines Jahres der schneebedeckten Normalstation gegenüber gestellt wurde (siehe Abb. 40). Es fällt sofort auf, daß am schneearmen Standort der Boden jeden Winter weit unter 1 m Tiefe durchfriert. Es friert hier also der gesamte Wurzelraum und im Oberflächenbereich treten erwartungsgemäß auch tiefere Temperaturen auf. Dagegen fehlen infolge der windausgesetzten Schattlage der Station im Sommer jene kurzen, strahlungsbedingten Aufheizungen, die für den Normalstandort bei Fehlen der Vegetationsdecke bezeichnend waren.

Ein ähnliches Bild ergibt sich auch, wenn man die Isothermen der Monatsmittel beider Standorte vergleicht (siehe Abb. 41). Während am schneearmen Standort im Winter einige Grade unter 0°C erreicht werden, liegen am schneebedeckten Normalstandort die Monatsmittel nur um Zehntelgrade unter dem Gefrierpunkt. Dafür dringt hier im Sommer die 10°C-Isotherme fast bis in 1 m Tiefe vor und die Monatsmittel an der Oberfläche steigen bis zu 15°C an; am schattseitigen und windausgesetzten Standort hingegen überschreitet nur im Oberflächenbereich das Monatsmittel die 10°C-Grenze bei entsprechender Temperaturabnahme in größerer Tiefe.

Ferner ist für den schneearmen, luvseitigen Standort am Schatthang kennzeichnend, daß sich in größerer Tiefe eine Frostzone erhält, während der Boden an der Oberfläche schon auftaut (Monat Mai).

Ebenso wie die Monatsmittel liegen die Jahresmittel beträchtlich unter den Werten des Normaltyps der Standorte, ca. 2° C in allen Meßtiefen. Bei den absoluten und mittleren Extremwerten sowie bei den absoluten und mittleren Amplituden fallen in den oberflächennahen Schichten ebenso die tiefen winterlichen Temperaturen auf (bis zu -17°C in 0 1 cm) wie die deutliche Reduzierung der sommerlichen Maximalwerte (nur bis +45°C im Jahre 1957). Die sommerlichen Maximalwerte liegen tiefer unter den Temperaturen des Normaltyps der Standorte als die bei den Minimalwerten der Fall ist. Infolgedessen ist die Verkleinerung der Amplituden vor

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

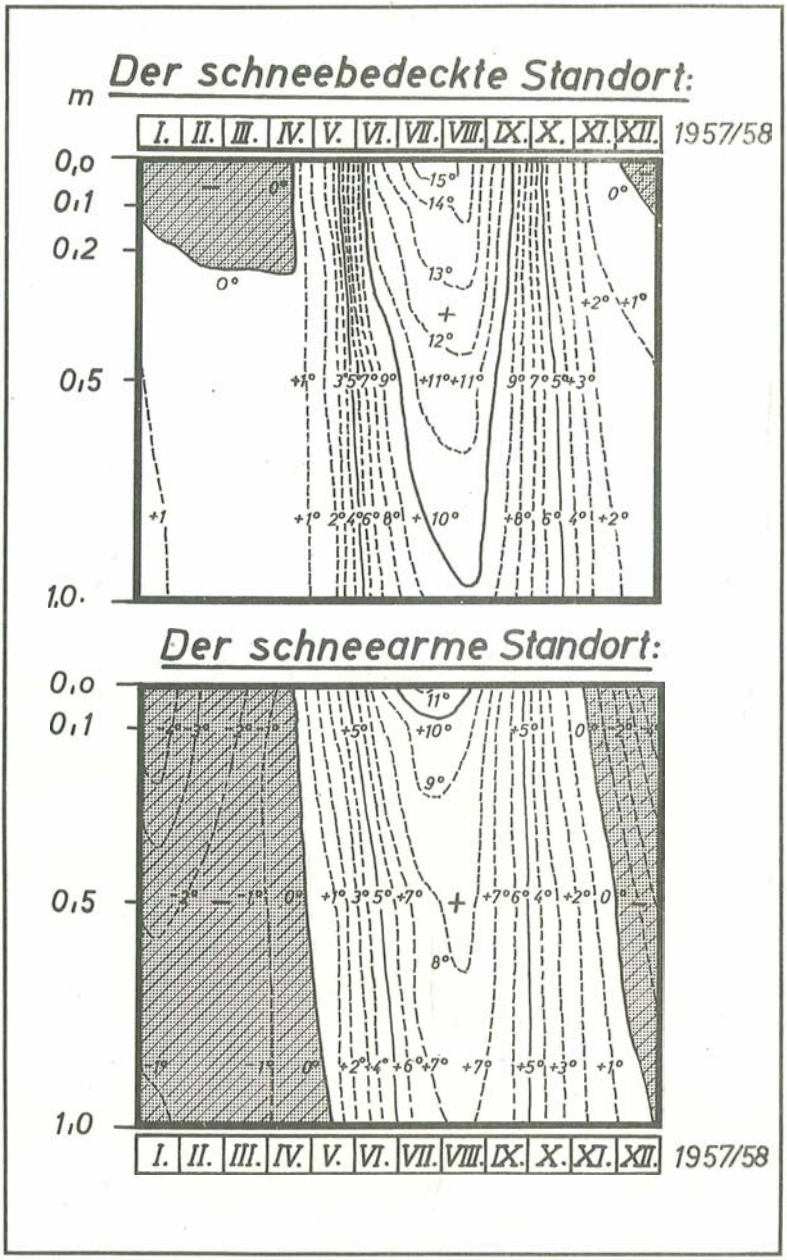


Abb. 41: Vergleich der mittleren Monatsmittel von 0 bis 1 m Tiefe am schneebedeckten und schneearmen Standort (Basisstationen I und II) von den Jahren 1957/58. Angaben der Meßtiefen in Metern, der zeitlichen Verteilung in Monaten

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

allem auf die geringe direkte Sonneneinstrahlung auf diesem nordseitigen Standort zurückzuführen. Sinngemäß gilt dies auch für die höchsten und tiefsten Tagesmittel, die, wie die mittleren Extreme und Amplituden, nur für die oberflächennahen Schichten eigens zusammengefaßt wurden, da in tieferen Schichten die Abweichung vom Normalstandort nichts wesentlich Neues mehr geboten hätten. Das Klima des schneearmen, schattseitigen Standortes (siehe Abb. 42) wird durch Abb. 43 in seinem jährlichen Ablauf deutlich. Die

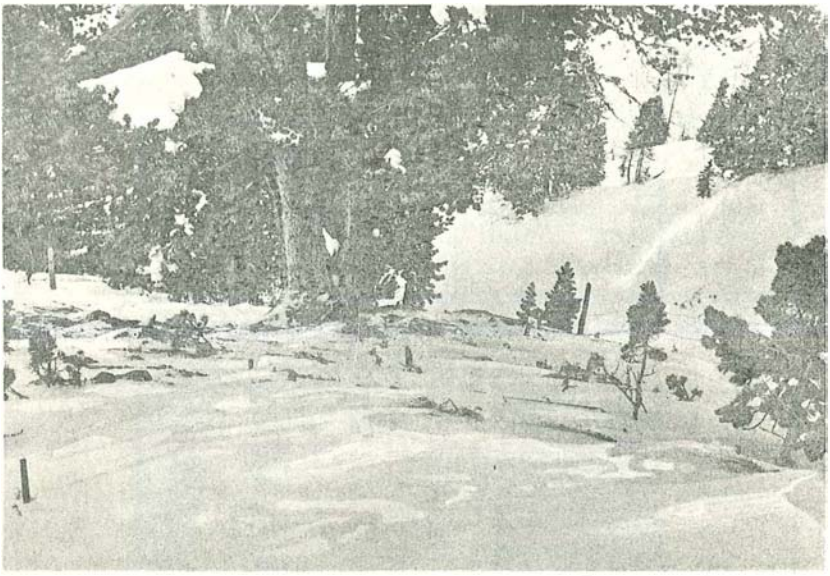


Abb. 42: Die windausgesetzte, schneearme Basisstation (II) am Nordhang des Basishügels unmittelbar an der Waldgrenze in 2064 m Seehöhe. Obergurgl-Poschach

Temperaturbereiche zwischen den absoluten Extremen werden in allen Meßtiefen mit dem Normalstandort und Überhitzungsstandort verglichen. Gegenüber dem Normalstandort zeigen sich deutliche Abweichungen nach der kühlen Seite während aller Monate des Jahres und diese Gesetzmäßigkeiten bestätigten sich auch im

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

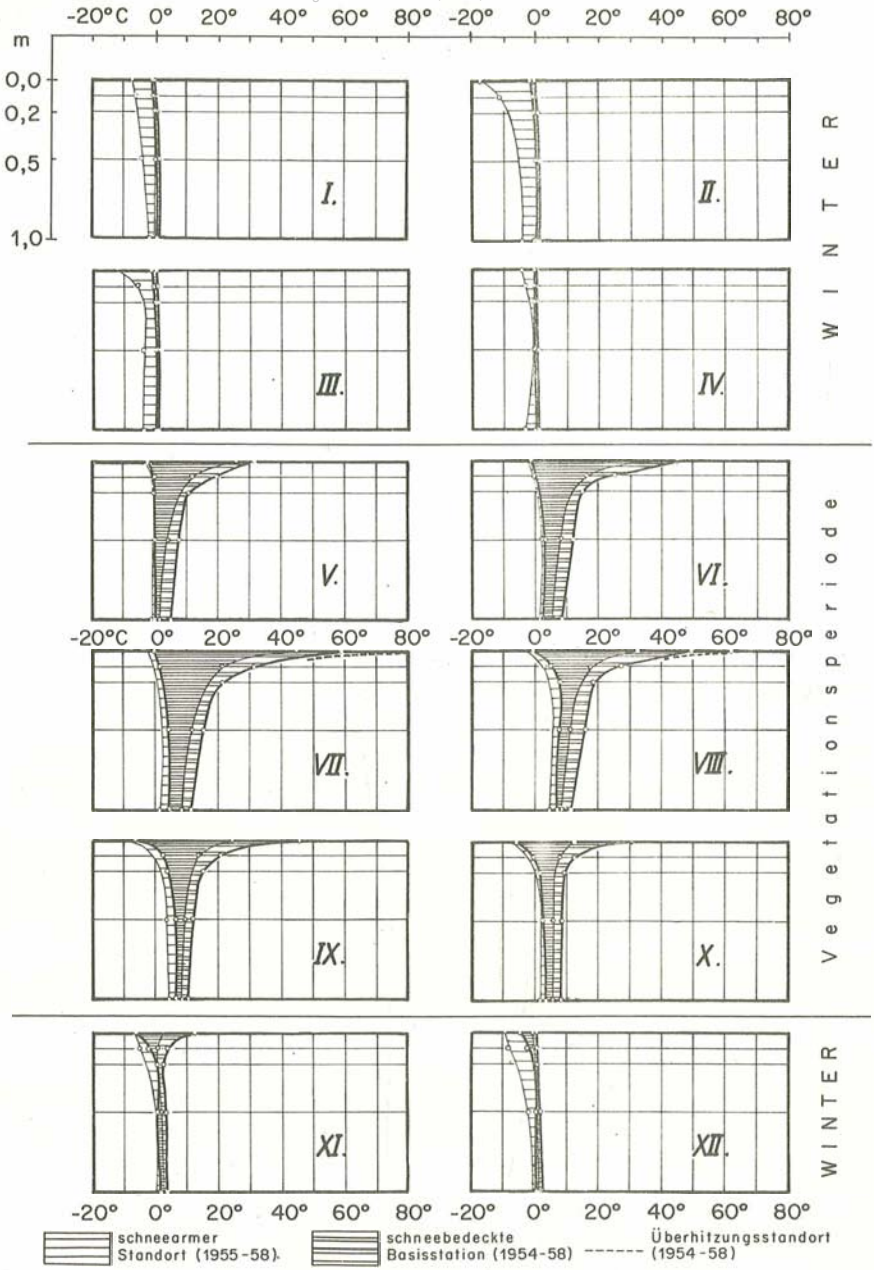


Abb. 43: Die absoluten Extreme der Bodentemperatur in Tiefen von 0 bis 100 cm im Zeitraum 1954-58 bzw. 1955-58 an der wintersüber sicher schneebedeckten Basismeßstelle (I), am schneearmen, windexponierten Standort (II) und an Überhitzungsstandorten

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
Vergleich anderer Stationspaare.

C. Der Überhitzungsstandort

Schon an der horizontalen Basismeßstelle des Normaltyps der Standorte (I) fiel die Neigung zu kurzfristigen Oberflächenüberhitzungen auf. Angesichts der Gefährlichkeit solcher Temperaturen für Samen und Jungpflanzen wurden sonnseitige Leelagen, wo diese Überhitzungen sehr häufig auftreten, als eigener Bodentemperaturstandortstyp (Überhitzungsstandort) ausgeschieden (HUBER 1935, AUER 1947, NÄGEL 1929, MÜNCH 1914, ROESER 1932).

Während Schönwetterperioden ist der Tagesgang der Bodenoberflächentemperaturen an diesen Standorten sehr wechselnd, da starke oberflächliche Erwärmungen während des Tages und die nächtliche Abkühlung auf die Niveautemperatur in kurzem Abstand aufeinanderfolgen. Das Ausmaß der dabei möglichen Oberflächenerwärmung ist vom Sonneneinfallswinkel, der Exposition, der Dichte der Bodenvegetation und des Bodensubstrats und vor allem von der Ventilation des Kleinstandortes abhängig. Dadurch entsteht an sonnseitigen Ausladungen ein Bodenoberflächentemperaturklima größter örtlicher und zeitlicher Vielfalt bis ins Kleinrelief hinein. In den Spätherbstmonaten November und Dezember, ja selbst im Winter noch, tritt oft der Fall ein, daß der Sonnenhang bis hoch hinauf kurzzeitige Oberflächenerhitzungen erfährt, während der Talboden und die Schatthänge längst schneebedeckt sind. Auch das Frühjahr bricht hier - kleinklimatisch gesehen - zu einem Zeitpunkt an, wo unten noch monatelang der Winter herrschen kann, wenn nicht gerade wie im vorliegenden Fall des Untersuchungsgebietes Sonnseite und Leelage zusammenfallen. An solchen Sonnhängen können die gegensätzlichen Temperaturzustände ober- und unterirdischer Pflanzenteile zu Vertrocknungsschäden führen (MICHAELIS 1934).

Das Vorkommen überraschend hoher Bodenoberflächentemperaturen in der subalpinen Stufe ist bereits in früheren Arbeiten mehrfach erwähnt worden (TURNER 1958a, AULITZKY 1954 und 1955a). Unser Mitarbeiter H. TURNER konnte während der Hitzeperiode im Juli 1957 nachweisen, daß im Bereich der oberen Waldgrenze mikroklimatische Verhältnisse auftreten können, die in ihrer Gegensätzlichkeit an Wüstentemperaturen (BUXTON 1924, VASSILJEV 1931, NEUBAUER 1952, HAUDE 1940, HAUDE 1934) bzw. an die Temperaturen im arktischen Bereich herankommen. Dabei herrschten damals nicht einmal die extremsten möglichen Klimabedingungen, da weder die Sonneneinstrahlung einen Höchstwert erreicht hatte, noch Windstille herrschte. Trotzdem wurden in 0.6 cm Tiefe 80°C gemessen und kurzfristige, oberflächliche Spitzenwerte von 84°C schienen wahrscheinlich (TURNER 1958a). Da diese Bodenoberflä-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

chentemperatur-Unterschiede im Kleinklima richtungsgebend für die Kennzeichnung des strahlungsbedingten Mosaikklimas im Hochgebirge sein dürften, sei die Darstellung seiner damaligen Messungen hier wiederholt (siehe Abb. 44).

Die vorliegende Bearbeitung will die Unterschiede zwischen Überhitzungsstandorten und anderen Expositionen an Hand einer z. T. mehr als einjährigen Meßreihe vom 1.7.1954 - 30.6.1955 herausarbeiten. Die Messungen wurden an verschieden exponierten, aber gleich geneigten (29°) Rodungen rund um den Basishügel knapp ober der Waldgrenze durchgeführt. Der horizontalen Basismeßstelle wurden dabei im einzelnen die Südwestrodung (Meßstelle 8 in Tab. 1), die Westrodung (Meßstelle 6) und die Nordost-Rodung (Meßstelle 3) gegenübergestellt und zeitweise auch Messungen auf der Nord-Rodung (Meßstelle 5) und der etwas abgelegenen und schon ein wenig gegen den eigenen Haupthang gerichteten Süd-Rodung (Meßstelle 11) durchgeführt. Ein Teil dieser Meßstellen war auch von TURNER benützt worden, der aber darüber hinaus auch Messungen im bedeutend weniger ventilierten Hochwaldbereich ausführte.

Als Meßtiefen waren für den ganzen Zeitraum 0 1 und 10 cm und für das Halbjahr 1954 auch 50 cm gewählt worden.

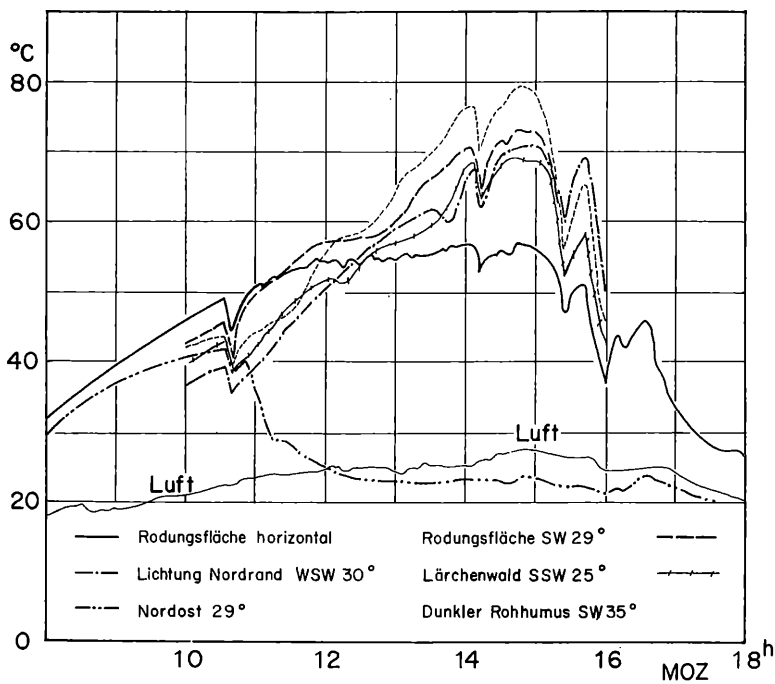


Abb. 44: Tagesgänge der Lufttemperatur und der Bodentemperaturen in 1 cm Tiefe an verschiedenen Expositionen im Bereiche der Stationen Obergurgl-Poschach/Waldgrenze und Lichtung am 5.VII.1957 (nach TURNER 1958, Wetter und Leben, Bd. 10)

Trotz des abnormal kühlen Jahres läßt sich deutlich die Gefährdung der oberflächennahen Schichten an der S- und SW-Ro-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

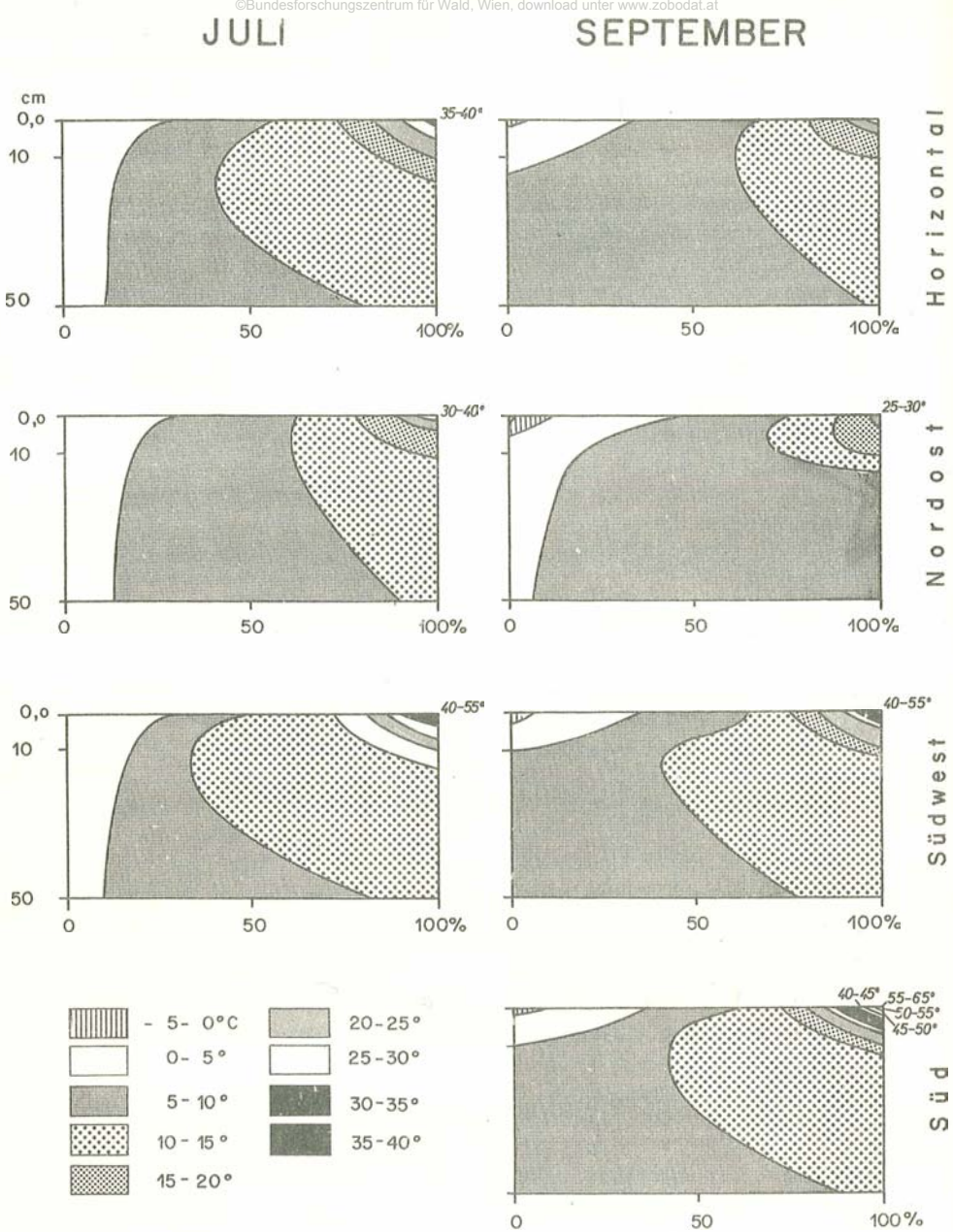


Abb. 45: Einfluß der Expositionsunterschiede auf die Bodenerwärmung von 0 bis 50 cm Tiefe in den Monaten Juli und September 1954 an der horizontalen Basisstation (I), der Nordost-Rodung (3), der Südwest-Rodung (8) und der Süd-Rodung (11) als Darstellung der Andauer in Prozent der Monatszeiträume

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
dung durch häufige, wenn auch kurzfristige Aufheizungen über die biologische Gefahrengrenze von 40 45°C hinaus erkennen (siehe Abb. 45 und Tab. 1). Im Laufe dieses kühlen Meßjahres wurden beispielsweise an der SW-Rodung 96 Stunden über 40°C gezählt, an der W-Rodung noch immer 30 Stunden über diesem Schwellenwert, wogegen an der horizontalen Rodung und an der NE-Rodung dieser Wert nicht erreicht wurde (siehe Tab. 1).

Durch die Messungen in 50 cm Tiefe während des Meßhalbjahres 1954 läßt sich zeigen, daß sich die starken Einstrahlungsunterschiede aber nicht bloß auf die oberflächennahen Schichten auswirken, sondern es auch noch in den unteren Bodenschichten zu Verschiebungen in den Temperaturbereichen von 5 10°C und 10 15°C kommt. Wie zu erwarten war, nimmt die horizontale Rodung eine Mittelstellung zwischen der kalten NE- und der warmen SW-Rodung ein. Dagegen unterscheidet sich die schon deutlich dem eigentlichen WNW-Hang zugekehrte und daher vormittags wenig strahlungsbegünstigte S-Rodung in der Erwärmung der tieferen Schichten nur mehr wenig von der SW-Rodung; an der Oberfläche sind aber noch spürbare Überhitzungen gegenüber dieser Station nachzuweisen.

Im September 1954 ließen sich die Aufheizungsunterschiede der Nebenexpositionen unseres WNW-Hanges besonders gut verfolgen: Um den Anteil der hohen Temperaturen besonders hervorheben zu können, wurden im obersten Diagramm der Abb. 45 in einer polarkoordinatenartigen Darstellung nur die Andauern der Temperaturen über +10°C expositionsweise von einem zentralen Kreis an aufgetragen; es springt sofort das starke Überwiegen der Erwärmungen am SW- und W-Hang gegenüber dem SE- und E-Hang ins Auge, wie dies angesichts der Westlage des Haupthanges erwartet werden mußte. Am Osthang des Gurglertales wäre nur ein annähernd spiegelbildliches Bild zu erhalten, da an diesem Hang die Vormittagssonne zuerst den nächtlichen Tau aufzuzehren hat und der Boden dementsprechend weniger erwärmt wird als am Westhang, wo die Nachmittagssonne keinen Tau mehr vorfindet.

Im Hinblick auf den forstlichen Endzweck dieser Arbeit drängt die Darstellung 46a zu einem Vergleich mit einer Untersuchung AUERs (1947), der bei Lärchen-Keimlingen starke Expositionsunterschiede in der Verholzung feststellte. Danach verholzten die Keimlinge am schnellsten an sonnseitigen Expositionen, am spätesten an schattseitigen, wobei eine frühe Verholzung als günstig entscheidender Faktor für das spätere Wachstum anzusehen ist (siehe Abb. 46b). Eine Untersuchung über die Zirbenverteilung läßt auch bei dieser Holzart eine stark expositionsbedingte, jedoch fast entgegengesetzte Schwerpunktsverlagerung des häufigsten Vorkommens erkennen (STERN 1956, OSWALD, siehe Abschnitt I F 1). Es soll an dieser Stelle nicht ein Kausalzusammenhang zwischen der Verholzung von Lärchen - Keimlingen und der Boden-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

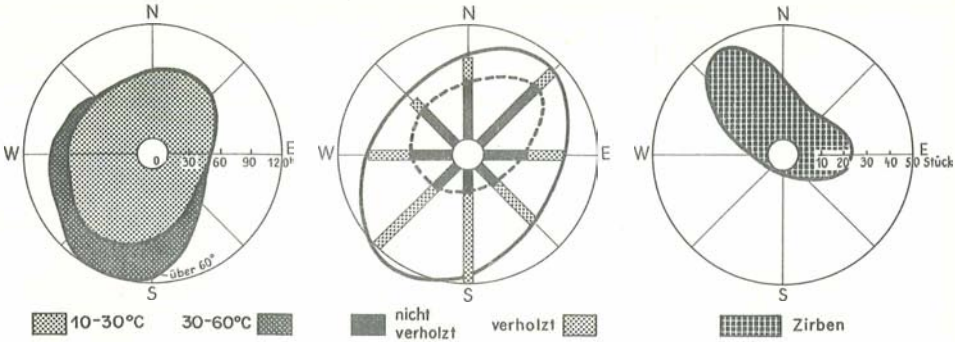


Abb. 46

a.) Andauer von Bodentemperaturen über +10° C in 0-1cm Tiefe in verschiedenen Expositionen. Obergurgl Station Waldgrenze. September 1954

b.) Zahl und Verholzung von Lärchenkeimlingen in verschiedenen Expositionen. Berninatal, Sept. 1945 (Nach AUER 1947)

c.) Zirbenvorkommen in verschiedenen Expositionen. Obergurgl Station Waldgrenze. (Nach STERN 1956).
Begleitvegetation:
Juniperetum W-S-SE
Vaccinietum SW-N-SE
Rhododendretum NE-E-ESE
Loiseleurietum NW-N-E

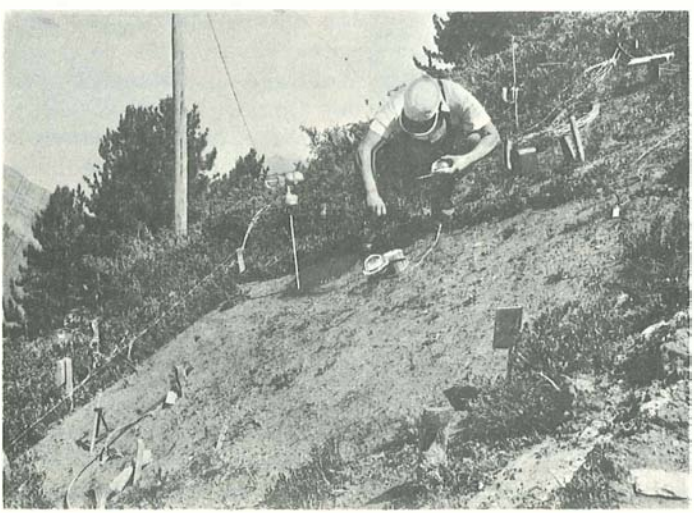


Abb. 47: Südwest-Rodung am Basishügel mit elektrischem und Quecksilberthermometer sowie Sternpyranometer und Schalenkreuzanemometer. Obergurgl-Poschach

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

temperatur behauptet werden, der Vergleich der beiden Polarkoordinaten-Diagramme zeigt jedoch deutlich, daß eine gewisse Abhängigkeit besteht. Die Aufklärung der Zusammenhänge zwischen Bodentemperatur und Pflanzenwachstum müßte aber noch Gegenstand einer physiologischen Überprüfung sein.

Angesichts der biologischen Auswirkungen hoher Temperaturen erschien es besonders angezeigt, auch die ununterbrochene Andauer besonders zu untersuchen (siehe Tab. 5).

Demnach vermochten in 0 1 cm Tiefe Temperaturen über 40°C bis zu 480 Minuten ununterbrochen anzudauern, solche über 60°C 192 Minuten; TURNER vermochte während der Hitzeperiode im Juli 1957 sogar noch während 102 Minuten die Überschreitung von 70°C festzustellen und selbst 75°C wurden noch während der Dauer einer vollen Stunde überschritten! Soweit bisher Untersuchungen von forstlichen Samen vorliegen, müssen derartige Temperaturen unter Umständen als letal für Samen und Keimling angesehen werden.

Auch die Amplituden entsprechen natürlich diesen hohen Maximalwerten, da die Minima sich nur unwesentlich von anderen, kühleren Expositionen unterscheiden. So konnte zum Beispiel am 18.7. 1955, wie schon berichtet (AULITZKY 1955a), eine Tagesamplitude an der Südwest-Rodung von fast 60°C gemessen werden, ein Wert, welcher der von PALLMANN und FREI (1943) gemessenen Jahresamplitude nahezu gleichkommt (siehe Abb. 47).

Hier soll nochmals betont werden, daß jede Vegetationsdecke diese Extreme zu mildern vermag. Aber auch dort muß bisweilen mit Hitzeschädigungen gerechnet werden, wie gerade die Abb. 44 zeigt, wo unter einem Lärchenbestand auf nahezu vegetationslosem Boden immer noch fast 70°C erreicht wurden. Solche Überhitzungsstandorte können eben nur von darauf besonders spezialisierten Pflanzen besiedelt werden, wobei neben Calluna vulgaris (Besenheide), Arctostaphylos uva ursi (Bärentraube), Vaccinium v. idaea (Preiselbeere), einzeln vorkommend aber auch Silene rupestris (Felsen-Leimkraut) und Hieracium Pilosella (gemeines Habichtskraut) genannt werden müssen. Kiefernkeimlinge hingegen sterben unter gewissen Umständen schon bei 10-minütlicher Andauer von 55°C ab (MÜNCH 1914).

Flächenmäßig kommt den Überhitzungsstandorten sicher weit weniger Bedeutung zu als dem schneebedeckten Normalstandort. Die hier einzureihenden Gebiete sind aber jedenfalls weit umfangreicher als die auf Rippen und Grate und luvseitigen Abhänge beschränkten schneearmen Standorte. Einen zahlenmäßigen Aufschluß wird hier erst eine gründliche Auswertung der Vegetationskarte Tirols vermitteln. Im Untersuchungsgebiet "Waldgrenze" (12.6 ha) entfielen auf schneearme Standorte 1.1 ha und auf Überhitzungsstandorte 0.7 ha.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

II. Die Sekundärwirkungen (Rand- und Deckenwirkungen) der Vegetation

Bisher wurde die starke thermische Gliederung als unmittelbare Folge der Primärwirkungen des Geländes beschrieben und dabei nach dem Grad der Schneebedeckung wie der sommerlichen Einstrahlung 3 Bodentemperaturstandortstypen ausgeschieden. Eine solche Gliederung erschien nach rein klimatischen, aber auch in Anlehnung an die vegetationsmäßigen Unterschiede zweckmäßig: Gibt es doch kaum Pflanzen, die Bodentemperaturamplituden von -17.7° C (schneearme Basis II im Feber 1956) bis zu +84° C (dunkler Rohhumus im Juli 1957), also 101.7° C innerhalb eines relativ kurzen Zeitraumes aushalten werden. Bisher rechnete man ja in diesen Höhen nur mit Jahresamplituden von ca. 60° C (PALLMANN-FREI 1943) und man hätte jedenfalls den Wert der Messungen vermindert, wenn nicht wenigstens die gröbsten Unterschiede nach Ursache und Standort unterschieden worden wären.

Die Pflanzen vermögen sich nun in gewissen Grenzen den äußeren Umständen teils anzupassen, teils kommt es, insbesondere an extremen Standorten, infolge der scharfen Artenkonkurrenz zur natürlichen Auswahl jener "Spezialisten", die gerade noch unter solch ungünstigen Bedingungen bestehen können. Dazwischen gibt es alle Übergänge, wobei die gesetzmäßige Abhängigkeit der Pflanzenverteilung von den Eigenschaften des Standortes umso mehr abhängt, je extremer dieser ist.

Jede Pflanzendecke wird aber ihrerseits diese Primärwirkungen des Reliefs mehr oder weniger ausgleichen. Diese Deckwirkungen der Vegetation sind in ihrem ausgleichenden Effekt stark von der Schichtung, Art und Dichte abhängig, so daß es schwer fällt, kennzeichnende Kleinklimawerte dafür anzugeben. Es ist vielmehr jeder solchen Messung eine Amplitude zuzurechnen, die sich nur durch glückliche Stationsauswahl einigermaßen einengen läßt. Bei der vorliegenden Messung bemühte man sich daher, die Stationen an die Grenzen verschiedener dominanter Pflanzengesellschaften, bzw. in das Optimalgebiet zu verlegen. Leider kann aber im Rahmen dieser Arbeit nur ein Teil der Ergebnisse ausgewertet vorgelegt werden und soll vor allem als Anhaltspunkt den reinen Reliefwirkungen gegenübergestellt werden.

A. In der Rostalpenrosen-Zwergstrauchheide der Kampfzone

Die alpenrosenreiche Zwergstrauchheide bedeckt im kontinentalen Wuchsgebiet wahrscheinlich den größten Teil der aufforst-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

baren Flächen zwischen heutiger Waldgrenze und Baumgrenze. Zu ihr gehören - nach abnehmender Schneebedeckung gereiht - neben der Alpenrose (Rhododendron ferrugineum) die Heidelbeere (Vaccinium myrtillus) und die Rauschbeere(Vaccinium uliginosum). Auf sonnseitigen Lagen tritt als große Flächen bedeckender Begleiter der Zwergwacholder (Juniperus nana) auf, die Schattseite ist durch einen Unterwuchs von Moosen (Hylocomium splendens, Pleurozium Schreberi u.a.) gekennzeichnet.

In dem Bestreben, die größten Gegensätze innerhalb dieser Gesellschaft durch länger laufende Basisstationen zu erfassen, wurde sowohl in den Bereich der sonnseitigen Variante (Station 15) wie der schattseitigen Variante (Station 17) je eine Station mit Registrierungen in 0 - 1 cm und Ablesungen in 10 cm Tiefe verlegt. Beide sind als Lage im Optimalgebiet der jeweiligen Vegetation anzusehen. Zwei weitere, westseitig geneigte Stationen lagen oberhalb eines Hügels der unteren Verebnung im Optimalgebiet der Rauschbeere (Station 12).

Auch hier soll wieder an Hand eines klimatisch ziemlich normalen Monats (September 1954) und am Beispiel der Andauer höherer Temperaturen ein erster Überblick geschaffen werden, inwieweit Vegetationsbedeckung an den untersuchten Expositionen die Spitzenwerte zu dämpfen in der Lage war (siehe Abb. 48). Die polarkoordinatenhafte Darstellung zeigt die Andauer der Temperaturen über 10°C an der horizontalen (I) sowie an der nordost-, nord-, west-, südwest- und südschauenden Rodung und den damit vergleichbaren Vegetationsflächen. Im Norden ist dies eine von Rauschbeere (Vaccinium uliginosum) und gemeinem Waldmoos (Pleurozium Schreberi) dominierte Station, die noch im Schutze einzelner, ca. 40-jähriger Zirben liegt (Station 17); die vegetationsbedeckte Station mit westseitiger Ausladung liegt auf der Kante einer Rippe ebenfalls in Nachbarschaft junger, ca. 30 Jahre alter Zirben und wird ebenfalls von Vaccinium uliginosum beherrscht. Als Vergleichsstation für die SW-Rodung wurde die von Alpenrose und Zwergwacholder beherrschte Station 14 gewählt.

Der Bewuchs mit Zwergsträuchern verhinderte bei der nordseitigen Station, wo der Strahleneinfall besonders schräg ist, am Boden das Auftreten jedweder Temperaturspitzen; 10°C wurde im September 1954 nur für die Dauer von 3 Stunden überschritten, gegenüber 96 Stunden an der gerodeten Fläche. Bedeutend geringer war die Wirkung der Zwergsträucher an der strahlungsbegünstigteren Westseite, was allerdings auch auf das Vorhandensein von Barflecken an der Kante der Rippe zurückzuführen ist. Dagegen hat sich an den sonnseitigen Expositionen der Bewuchs mit Alpenrose und Zwergwacholder (SW und WSW) wieder spürbarer in der Dämpfung der Maxima ausgewirkt; statt des auf der Rodung verzeichneten Bereiches von 50 - 55°C treten nur mehr 15 20°C auf (siehe Abb. 48).

Die Monatsmittel unterscheiden sich zwar nur wenig; auf der Schattseite werden 9.2°C und auf der Sonnseite 9.8°C erreicht.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Bei den absoluten Maxima bleibt aber die Schattseite mit 21.4°C gegenüber 28.9°C auf der Sonnseite schon bedeutend zurück und beide Stationen natürlich noch mehr gegenüber vegetationslosen Meßstellen. Entsprechende Verhältnisse ergeben sich bei den mittleren Maxima (13.2°C schattseitig und 16.7°C sonnseitig) und bei den mittieren Amplituden (7.0°C schattseitig und 12.0°C sonnseitig), während sich die mittleren und extremen Minima nur geringfügig differenzieren. In der Andauer der Schneebedeckung dagegen unterscheiden sich die Stationen um mehrere Wochen.

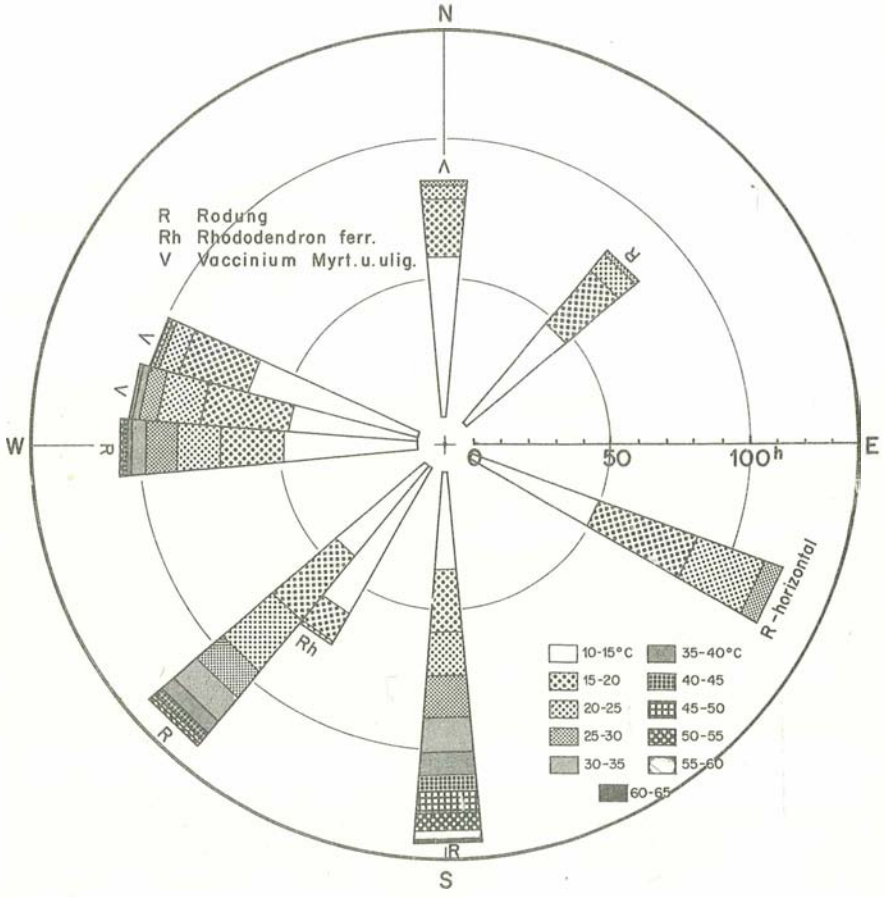


Abb. 48: Andauer der Bodenoberflächentemperaturen über +10° C in 0-1 cm im September 1954 an gerodeten und vegetationsbedeckten Meßstellen im Bereiche des Basishügels (Stationen I, 3, 5, 6, 8) und oberhalb (Stationen 11, 12, 15 und 17)

Vergleicht man die Bodenoberflächentemperaturen eines ganzen Jahres an gerodeten und vegetationsbedeckten Meßstellen annähernd gleicher Exposition (siehe Abb. 49), so tritt die Zunahme der ex-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

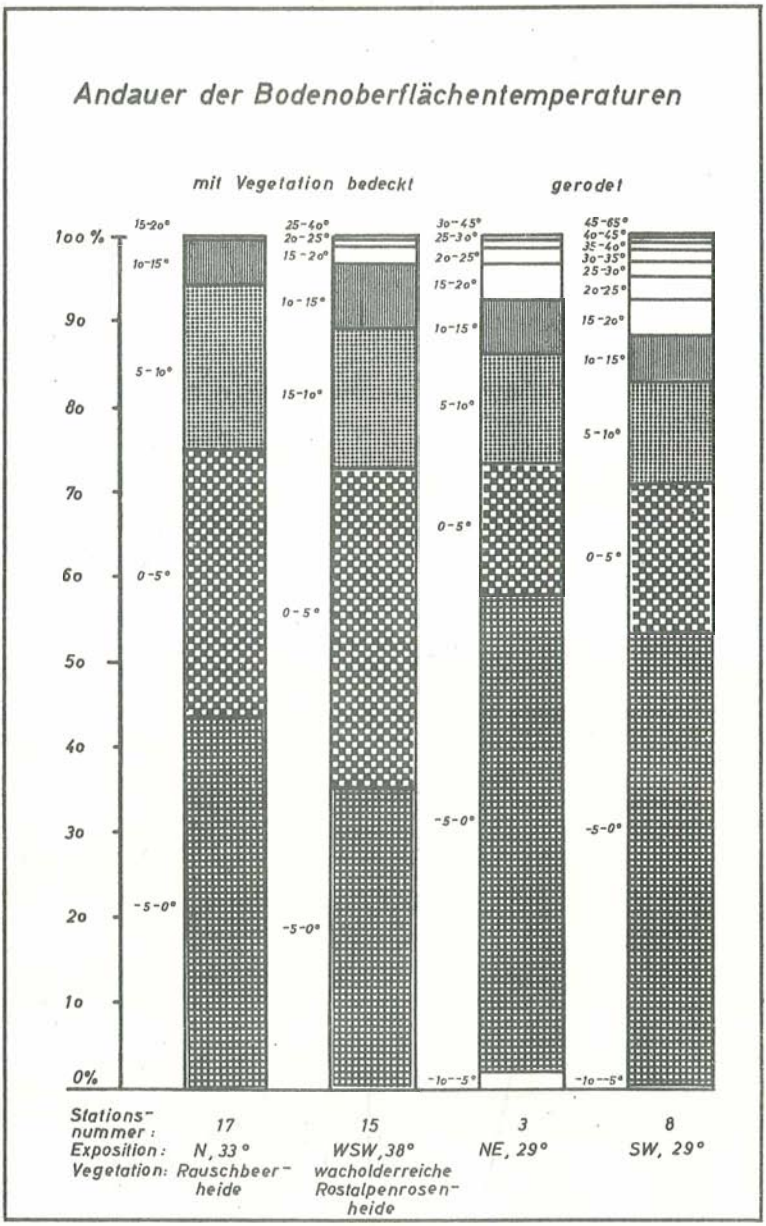


Abb. 49: Andauerwerte der Bodenoberflächentemperatur eines ganzen Jahres (vom 1.9.1954 bis 24.8.1955 an den Stationen 8, 15 und 17 und vom 1.8.1954 bis 31.7.1955 an der Station 3) in 0 bis 1 cm Tiefe an vegetationsbedeckten und gerodeten Meßstellen auf den Sonn- und Schattseiten der Rippen

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

tremen Temperaturbereiche an den gerodeten Meßstellen deutlich in Erscheinung: Nicht nur auf der sonnseitigen SW-Rodung, sondern auch auf der schattseitigen NE-Rodung werden höhere Temperaturen erreicht als im sonnseitigen, wacholderreichen Rhododendretum. Umgekehrt verzeichnet das sonnseitige Rodungsstück tiefere Temperaturen als die schattseitige Meßstelle in der Vegetation (Vergleich der Meßstellen 8 und 17 in Abb. 49). Entsprechend der stärkeren Betonung der extremen Bereiche verringern sich an den Rodungen die Andauerwerte in den mittleren Bereichen von 0 bis 10°C.

Diese Eigenschaften des gerodeten Bodens sind im besonderen bei der Saat zu beachten, da demnach mit Hitze- und Barfrostschäden an sonn- und schattseitigen Expositionen gerechnet werden muß.

B. Im subalpinen Zirben-Lärchenwald

Da sich im bewaldeten Gelände fast der gesamte Strahlungsumsatz in den Kronen des Bestandes abspielt (BAUMGARTNER 1956), kommt es - Kronenschluß vorausgesetzt zur Ausbildung eines eigenen Stammraumklimas und damit auch zu einem von den Verhältnissen im Freien stark abweichenden Bestandesbodenklima.

Die ausgleichende Wirkung des Waldes auf die Bodentemperaturen ist durch eingehende Arbeiten von HOMEN, ANGSTRÖM, HAMBERG, KERÄNEN, SCHUBERT, BURGER und einer Anzahl anderer Autoren hinlänglich belegt, soweit es sich um Flachland und Mittelgebirgslandschaften und die dort vorkommenden Holzarten handelt. Zusammenfassende Darstellungen darüber sind bei AALTONEN 1948 und GEIGER 1950 zu finden. Neuerdings wurden zu diesem Thema Arbeiten von PASAK 1957 und B. SLAVIK, J. SLAVIKOVA, J. JENIK (1957) vorgelegt, von denen vor allem letztgenannte besonders eingehend die forstlichen Aspekte berücksichtigten.

Auch der Einfluß der Bestockungsart ist wiederholt Gegenstand eingehender Untersuchungen gewesen, wobei neben den Amerikanern BATES (1923) und JEMISON (1934) ANGSTRÖM und RONGE zu nennen wären.

Sehr wenig Material liegt jedoch über die Bodentemperaturunterschiede zwischen Wald und Freiland aus Hochgebirgslagen vor, worauf LUNDEGARDH 1954 (S. 181) besonders hinweist. Hier wären vor allem die kleinklimatischen Messungen G. SCHIMITSCHEK-SCHRECKENTHALS (1933) zu nennen, die im Pitztal die Bodentemperaturen (20 cm) einer Almwiese mit jenen eines Fichtenhorstes und einer Lärchenverjüngung verglich.

Um hier ökologisch exakte, quantitative Unterlagen für den subalpinen Zirben-Lärchenwald zu erhalten, wurden die Bodentemperaturen auf der Station "Lichtung" und in den angrenzenden Zirben- und Lärchenbeständen während der Vegetationsperiode 1953 (1.6. 12.11.) und in der Zeit vom Juli 1954 bis Mai 1955 untersucht und mit den Messungen an der Waldgrenze verglichen. Die gleichzeitige Bestimmung der Strahlungs- (TURNER 1958b) und Windverhältnisse (AULITZKY 1955b) im selben Gebiet erlaubt eine weitgehende Analyse der thermischen Verhältnisse im Boden.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

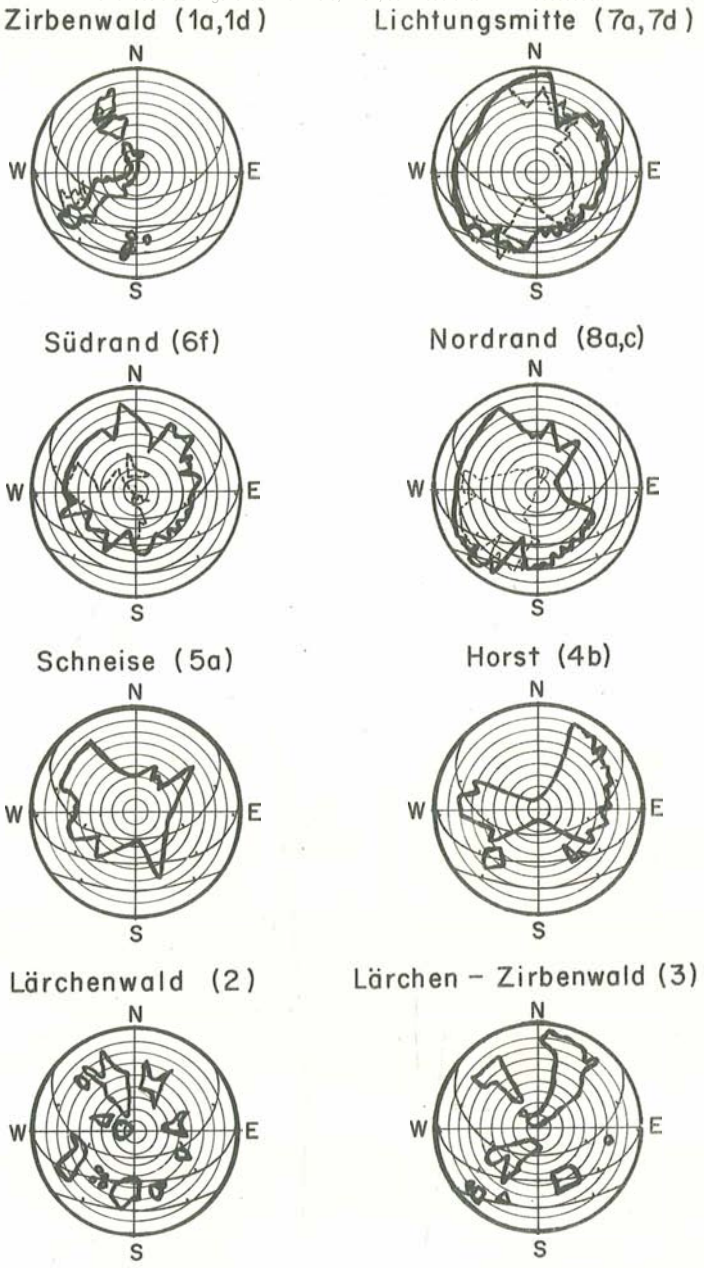


Abb. 50: Horizonte von Meßpunkten im Untersuchungsgebiet Obergurgl-Poschach "Lichtung" 1920 m Seehöhe.
Zeichenerkl.: Oberste Reihe links:dichter Zirbenwald (1a)=strichliert; besonnter Zirbenwald (1d)=voll. Oberste R. rechts: Lichtungsmitte (7a)=voll ausgezogen; Lichtungsmitte ab 1. 9. 53 – 14. 11. 53, (7d)=strichliert. Zweite R. v. oben, links: Südrand der Lichtung (6)=voll ausgezogen; Südrand der Lichtung unter Calluna vulgaris=strichliert. Zweite R. v. oben, rechts: besonnter Nordrand=voll ausgezogen; (8c)=strichliert

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Abweichungen der Bodentemperaturen von den Werten an der schneebedeckten Basisstation "Waldgrenze" (Station I-2070 m)

1. Auf der Lichtung

An den Stationen im subalpinen Zirben-Lärchenwald war der Horizont selbst an der freiesten Stelle (Lichtungs-Mitte) bedeutend mehr eingeengt als an der Basisstation oberhalb der Waldgrenze (siehe Abb. 37 und 50). Dies hatte am bewaldeten Unterhang eine weitaus kürzere Sonnenscheindauer (vergleiche TURNER-TRANQUILLINI: "Die Strahlungsverhältnisse", Seite 97), aber auch eine geringere Bodenventilation zur Folge

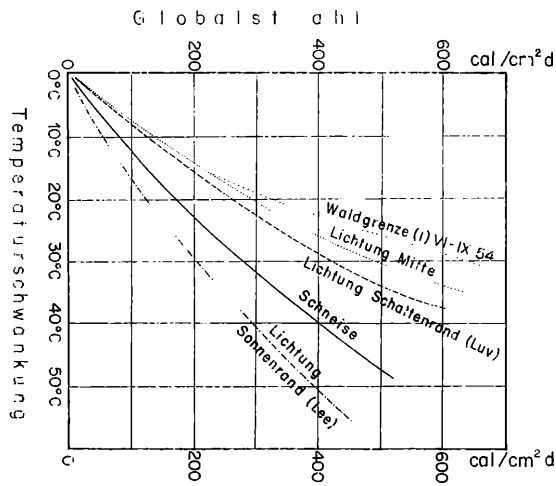


Abb. 51: Abhängigkeit der Tagesamplitude der Bodenoberflächentemperatur in 0-1 cm Tiefe von der Tagessumme der Strahlung an verschieden stark ventilierten Standorten (Messungen auf der Lichtung im Juni und Juli 1953, an der Waldgrenze im Juni-September 1954)

Windwegregistrierungen 3,0 m über dem Boden vom 17.7. bis 11.8.1956 zeigten unter der Annahme des Windweges an der Waldgrenze von 100 %, daß in Lichtung-Mitte nur mehr 33 % und am Lichtung-Nordrand (Lee) 20 %, hingegen im Gebiet der Station Baumgrenze 140 % aufgezeichnet wurden (siehe Tab. 2).

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
Je geringer die Bodenventilation ist, umso schneller steigt die Bodentemperatur bei gleicher Strahlung. Trägt man die Amplituden der Bodenoberflächentemperaturen in Abhängigkeit von den Strahlungssummen auf, so kann man diese Gesetzmäßigkeit deutlich erkennen (siehe Abb. 51). Es ist dabei allerdings zu bemerken, daß die kühlende Wirkung des Windes an einem Standort mit zunehmender durchschnittlicher Windstärke einen immer geringeren Effekt aufweist.

Es hätten demnach im Untersuchungsgebiet "Lichtung" höhere Temperaturen als oberhalb der Waldgrenze auftreten müssen, wenn nicht die Horizonteinengung diesen Einfluß überdeckt hätte. So blieben selbst an den bestbestrahlten Lichtungsstationen die Monatsmittel der Oberflächentemperatur unter jenen der Waldgrenze, infolge längerer Einstrahlung und größerer Ausstrahlung jedoch extremer als im subalpinen Zirben-Lärchenwald. Daher tritt dort, wie am Beispiel des September 1954 gezeigt wird, die Andauer der höheren Temperaturbereiche selbst in der Meßtiefe von 10 cm noch deutlich zurück (siehe Tab. 3). Im Gebiet der Station Baumgrenze in 2225 m Höhe bewirkt hingegen beispielsweise die stärkere Ventilation (bei annähernd gleicher Strahlung wie auf der Basisstation Waldgrenze) ein auffallendes Abnehmen der Andauer hoher und ein Zunehmen niederer Temperaturbereiche (siehe Tab. 3).

2. Im Zirbenwald

Die Bodentemperaturunterschiede zwischen dem dichten Zirbenbestand und dem unbestockten Bereich der angrenzenden Lichtung (siehe Abb. 56) sind vor allem eine Folge der Einstrahlungsunterschiede. Im Zirbenwald kamen während der Vegetationsperiode 1953 nur 9.6 % der Strahlung an (TURNER 1958b), die auf der Lichtung gemessen wurden. Andererseits schränkt das Kronendach auch die Ausstrahlung ein. Dies führt dazu, daß im Bestand die Maxima tiefer, die Minima höher liegen und die Amplituden daher bedeutend gedämpft werden (siehe Abb. 52 und Tab. 4). Während der Sommermonate bleiben auch die Temperaturen in größerer Tiefe im Wald hinter den Temperaturen auf der Lichtung zurück, weil der Aufheizungsprozeß langsamer vor sich geht. Im Oktober herrscht praktisch Isothermie und ab November ist der Boden im Bestand in allen Meßtiefen wärmer als im Freiland, weil nun der Abkühlungsvorgang im Walde verzögert wird (Abb. 52).

In Bestandslücken, wo die Einstrahlung zeitweise gleich groß wie im Freien, die Belüftung jedoch sehr gering ist, kann es zu hohen Aufheizungen kommen, die die Maxima der Lichtung noch übertreffen (siehe Abb. 59).

Diese großen Unterschiede innerhalb des Zirbenwaldes müssen besonders betont werden, da die Lückigkeit im subalpinen Hoch-

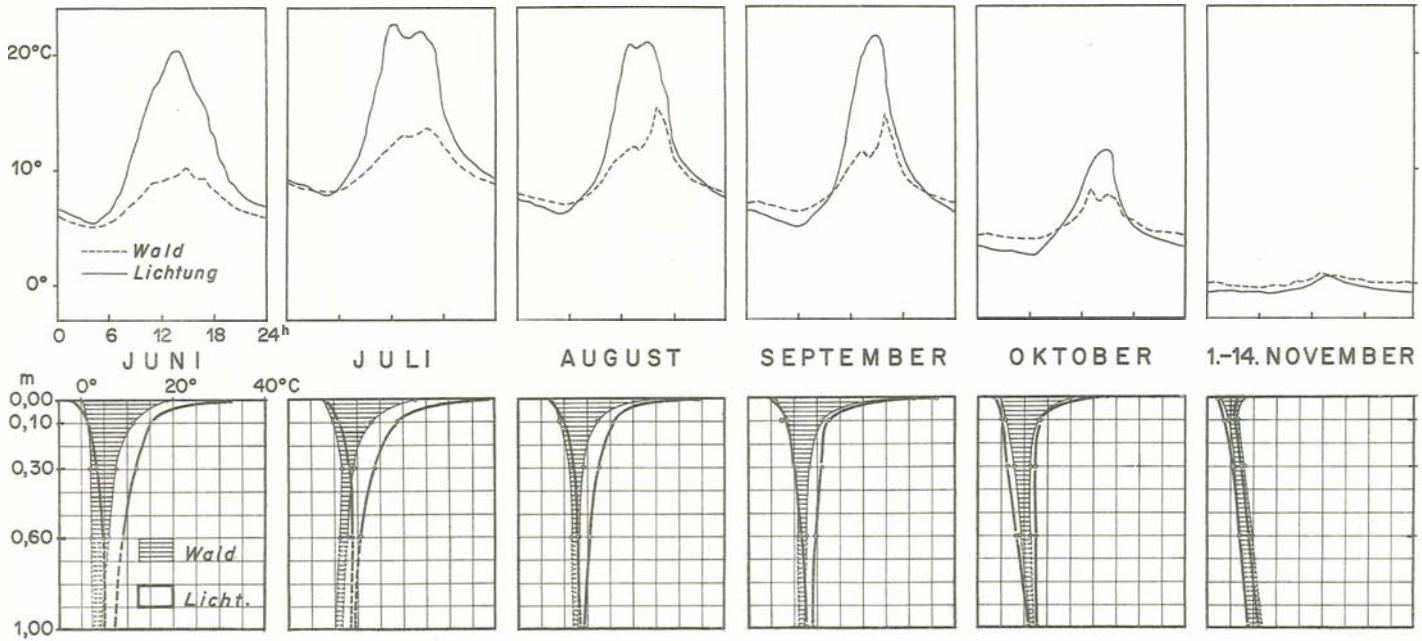


Abb. 52: Oben: Mittlere Tagesgänge der Bodenoberflächentemperatur an den Stationen "beschatteter Zirbenwald" (1a) und "Lichtungsmitte" (7a, d).
Unten: Monatliche Extreme der Bodentemperatur von 0.0 bis 1.0 m Tiefe an den Stationen wie oben. Vegetationsperiode 1953.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

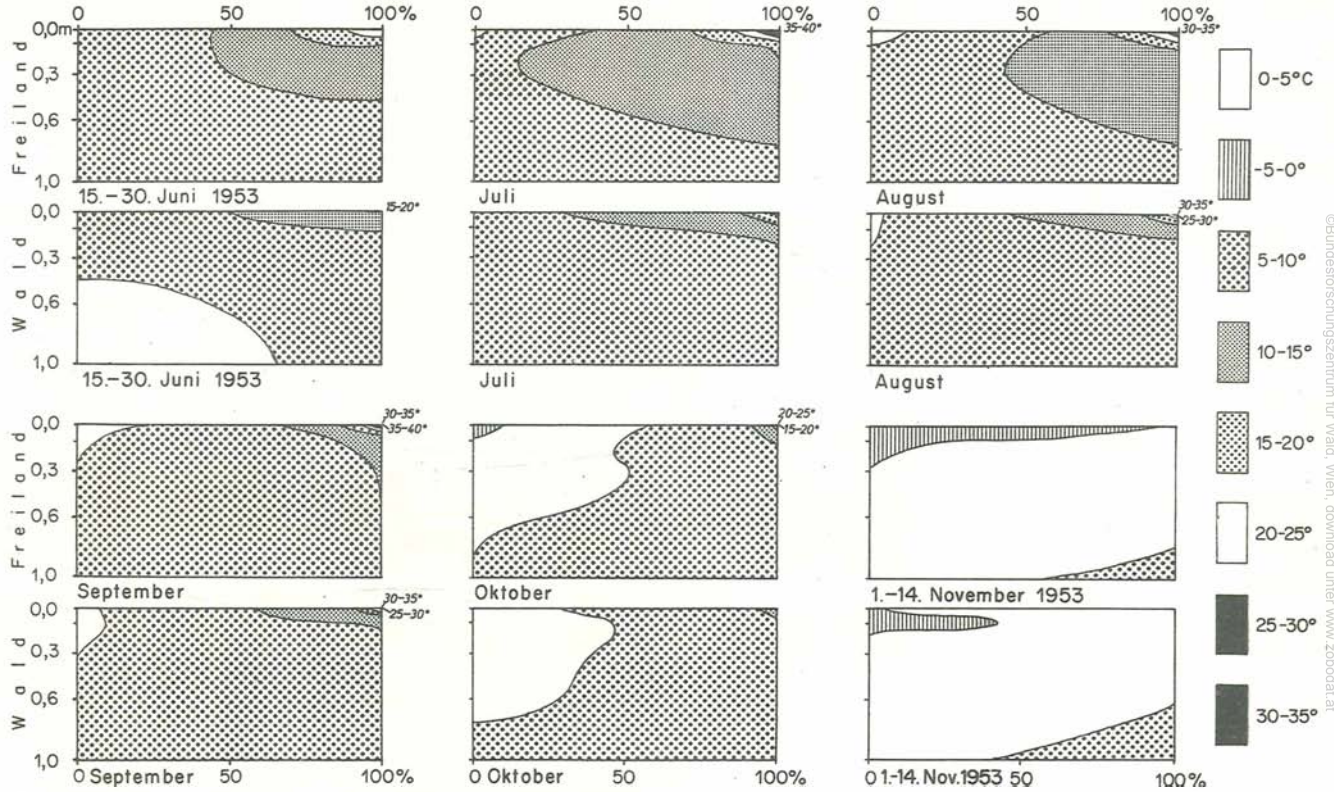


Abb. 53: Bodentemperaturandauern in Tiefen von 0.0 bis 1.0 cm an den Stationen "Lichtungsmitte" (7 a) und "beschatteter Zirbenwald" (1a und 1b), ausgedrückt in Bereichen von 5° zu 5°C und in % der jeweiligen Zeiträume.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

wald die Regel ist.

Wieder ausgehend vom anderen Extrem, der beschatteten Zirbenwaldstation (1a und 1b), sei ein Vergleich der Andauer mit der Lichtung-Mitte gezogen, um insbesondere dem Biologen die Beurteilung der Unterschiede innerhalb und außerhalb des Waldes zu erleichtern. Die Freilandstation auf der Lichtung ist in den Hochsommermonaten nicht nur durch das häufige Vorkommen höherer Temperaturen in den oberflächennahen Schichten gekennzeichnet. Als Ausläufer dieser Wärmewelle dringt z. B. der Bereich von 10 - 15°C bis unter 60 cm Tiefe ein, während er im Bestand kaum den oberen Wurzelraum bis 20 cm Tiefe erfaßt (siehe Abb. 53). Der stärkeren hochsommerlichen Erwärmung auf der Lichtung schließt sich im Herbst eine Zeit der schnelleren Abkühlung an (siehe Abb. 51 und 53), da die hochstämmige Vegetation im Bestand diesen Vorgang dort verlangsamt (Oktober und November in Abb. 51).

3. Im Lärchenwald

Die Lärchenwaldstation lag knapp innerhalb des sonnseitigen Randes des Waldes (siehe Abb. 54) und erhielt durch das lichte Dach

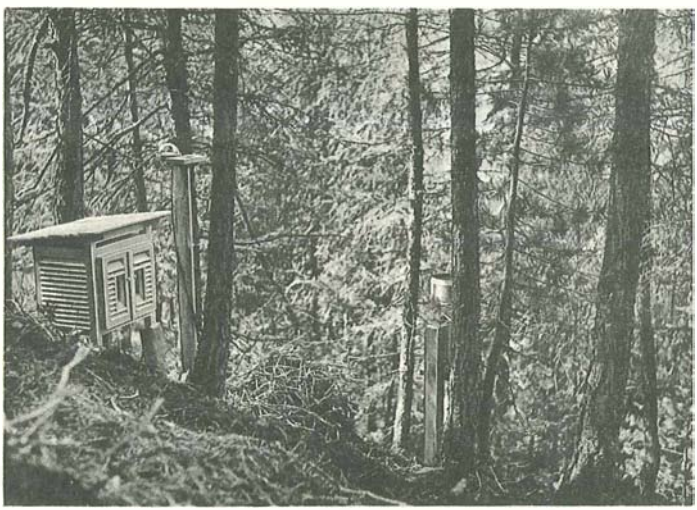


Abb. 54: Station am Saum des Lärchenwaldes (2). Links von der Wetterhütte, dem Sternpyranometer und dem Gebirgsregenmesser war der Bodentemperaturmeßpunkt

des etwa 60 Jahre alten und ca. 10 m hohen Lärchenwaldes viel Licht. Trotz der guten Beleuchtung war aber der Boden nahezu vegetationslos. Die leider erst im Herbst begonnenen Messungen (September-Mitte - November 1953 und Juni 1954 zeigten an die-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

sem Standort sehr starke Überhitzungen der Bodenoberfläche.

In den beiden Herbstmonaten September und Oktober wurden noch Temperaturen über 40°C gemessen (45.1° und 40.7°C), natürlich weit mehr, als an allen anderen Waldstationen auftraten. Lediglich am besonnten Nordrand der Lichtung lagen die Oberflächentemperaturen noch höher (Abb. 58 und 28). Da an der Lärchenwaldstation infolge des lichten Kronendaches aber auch die Minima deutlich unter den Verhältnissen im Zirbenwald lagen, ergeben sich hier auch sehr hohe Amplituden (Tab. 4 und Abb. 59). Die thermische Begünstigung dieser Station war bis spät in den Herbst hinein spürbar und wirkte sich auch in einer besseren Erwärmung der tieferen Bodenschichten entsprechend dem Typus einer stark strahlungsbeeinflußten Station aus (siehe Abb. 59).

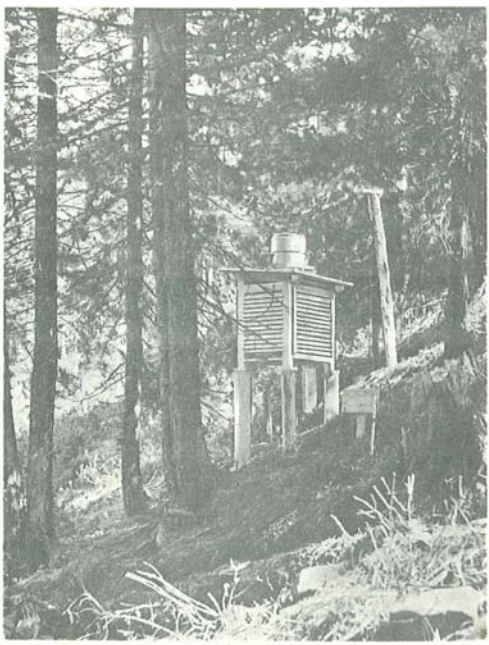


Abb. 55: Zirben-Lärchenwald-Station mit Bodentemperaturmeßstelle, die besonders gut beschattet und ventiliert war

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

4. Im Zirben-Lärchenwald

Hier sei auch noch auf die Messungen an der unmittelbar benachbarten, jedoch weit stärker beschatteten und belüfteten Zirben-Lärchenwaldstation (3) eingegangen, die ein völlig anderes Bild ergaben (siehe Abb. 55). Es war dies die kühlste Station im Hochwaldbereich überhaupt, da sich hier die Einflüsse von Beschattung und Bewindung addierten (siehe Tab. 4). Die deutlichen Abweichungen gegenüber dem Klima der Lichtung oder in den Beständen beschränkten sich nicht nur auf die Bodenoberfläche, sondern waren auch im Wurzelraum gut nachzuweisen (siehe Abb. 59). Auch an diesem in anderer Hinsicht extremen Standort fehlte die Bodenvegetation fast zur Gänze.



Abb. 56: Untersuchungsgebiet
Lichtung Poschach vom besonnten Rand (Meßstelle 8) über die Meßstelle in Lichtungsmitte (7) zum beschatteten Rand südlich der Lichtung (Meßstellen nach dem Einschneien am 1. November 1953)

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

5. Die Bodentemperaturen im Bereich von Lichtungen

Für das Kleinklima von Lichtungen im subalpinen Zirben-Lärchenwald und insbesondere für die Bodentemperaturverteilung ist Form und Größe dieser Lichtungen entscheidend.

Als Ausdruck für die kleinstandörtliche Abschirmung verwendet der Forstmeteorologe die sogenannte "Kenngröße" (GEIGER 1950), jene Zahl, die das Verhältnis des Lichtungsdurchmessers zur Höhe des umgebenden Bestandes ausdrückt. Der Klimatologe bedient sich des Raumwinkels, es läßt sich jedoch auch die Horizonteinengung mit der örtlich möglichen Sonnenscheindauer als Prozent der astronomisch möglichen oder in Flächenprozenten des Gesamthorizontes ausdrücken (siehe auch Abb. 37 und 50).

Alle genannten Größen befriedigen nicht vollkommen, weil durch sie wohl der Einfluß des Horizontes auf die Ausstrahlung, jedoch nicht seine gleichzeitige Auswirkung auf Sonneneinstrahlung und Belüftung zum Ausdruck kommt. Das heißt also, daß Horizonte gleichen Raumwinkels oft recht unterschiedliche Sonnenbestrahlung ermöglichen und auch je nach der Lage zu den Hauptwindrichtungen eine unterschiedliche Belüftung des Standortes nach sich ziehen (siehe Abb. 57 unten). Liegt der Standort bei Schönwetter im Lee, so werden bei gleichem Raumwinkel oder gleicher Kennziffer viel höhere Amplituden der Bodenoberflächentemperatur auftreten als an einem besser belüfteten Standort. Das Entsprechende gilt auch für die Mittelwerte und alle anderen Größen, wenngleich sich die Streubereiche dann einengen (siehe Abb. 57 oben).

Jedenfalls fällt auf, daß vor allem bei kleinen Verlichtungen die Größe der Oberflächenschwankungen sehr rasch zunimmt (siehe Abb. 57 oben), während sich mit zunehmender Verlichtung dieses Anwachsen verringert und trotz frei werdender Horizonte im Bereich der Baumgrenze ins Gegenteil umschlagen dürfte. Derart extreme Bedingungen auf kleinen Lichtungen entstehen, weil hier die Belüftung außerordentlich gering bleibt, wogegen die Sonneneinstrahlung bei hohem Sonnenstand gut einzudringen vermag. Das Ergebnis sind starke Oberflächenerhitzungen, wie wir sie auch tatsächlich an der besonnten Zirbenwaldstation (1d) und in der Schneise (5a), aber auch am wenig ventilierten Nordrand der Lichtung (8a, c) feststellen konnten.

Die geringe Bewindung solcher Lücken führt aber nicht nur zu hohen Extremen der Bodenoberflächentemperatur, sondern auch zu einer verhältnismäßig hohen und lang andauernden Schneedecke, weil sich im Windschatten mehr Schnee absetzt und dieser im Schatten der benachbarten Bäume auch lange liegen bleibt.

Darüberhinaus ist auch noch die Form der Lichtungen und Lükken kleinklimatisch von Bedeutung. Da die Bestockung sehr oft streifenartig den Rippen folgt, die der Fallinie entlang den Hang gliedern, haben meist auch die Verlichtungen dazwischen eine streifen-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

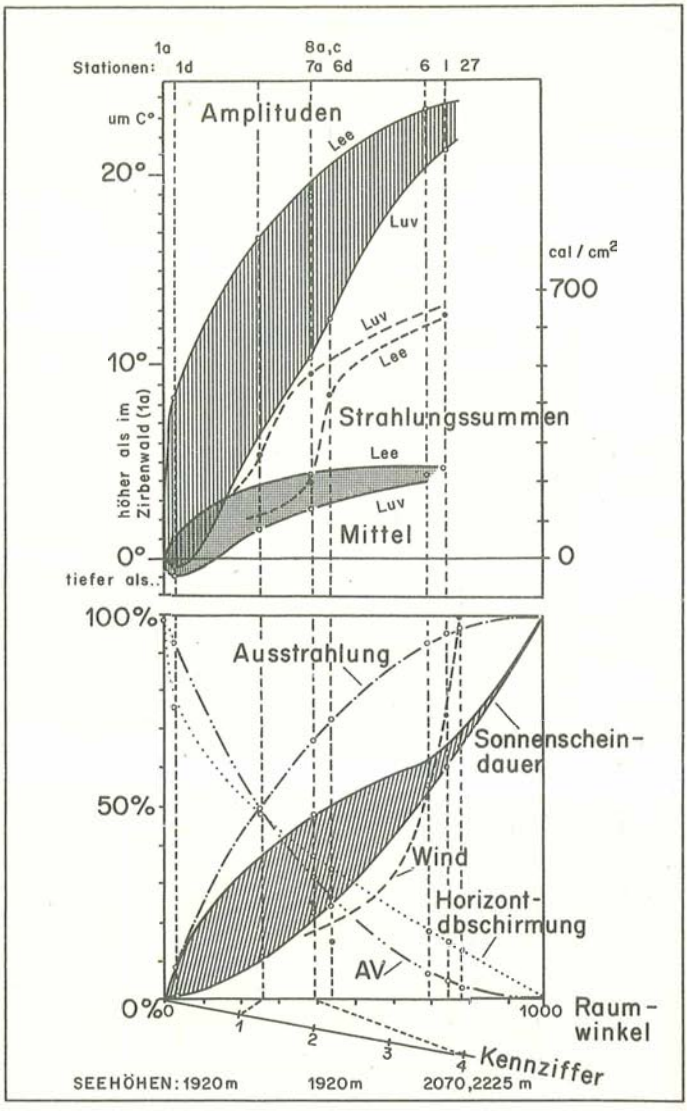


Abb. 57: Abhängigkeit verschiedener Meßgrößen vom Raumwinkel (bzw. der Kennziffer), wobei die am meisten beschattete Meßstelle im dichten Zirbenwald (1a) als Bezugspunkt diente (mittlere Horizontabschirmung 89°).

Bild oben: Monatsmittel und mittlere Monatsamplituden der Bodenoberflächentemperatur sowie Strahlungssummen, die zur Erreichung einer Oberflächenamplitude von 30° C benötigt werden.

Bild unten: Örtlich mögliche Sonnenscheindauer in Prozent der astronomisch möglichen, Wind in Prozent jenes an der Baumgrenze, mittlere Horizontabschirmung in Grad, Ausstrahlung und Ausstrahlungsverminderung gegenüber einem völlig freien Horizont in der Ebene und Angaben der Seehöhe der einzelnen Meßpunkte (Meßzeitraum 1953-55)

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
artige, längserstreckte Form. Dadurch wird der Abfluß nächtlicher Kaltluft entlang der Rinnen, die vielfach unbestockt bleiben, aber auch entlang der hangabwärts ziehenden Ränder gefördert und aus diesem Grund treten an solchen Standorten stärkere, nächtliche Unterkühlungen auf, als in anderen Teilen des lockeren Bestandes. Solche Bedingungen galten beispielsweise am Südrand der großen Lichtung, aber auch in der Schneise (Meßstellen 6d und 5a).

Sonach kann zusammenfassend gesagt werden, daß kleine Verlichtungen, etwa bis zu Kenngrößen zwischen 1 und 2 (wobei also der Lichtungsdurchmesser gleich oder doppelt so groß als die Bestandeshöhe ist), besonders zu extremen Verhältnissen hinsichtlich Schneebedeckung im Winter und Oberflächenextremen im Sommer neigen. Auf größeren Verlichtungen, wie z. B. auf unserer 40 m breiten Lichtung finden sich diese extremen Bedingungen nur auf einem Teil der Fläche, eben an den beiden gegenüberliegenden Rändern, während sich auf der Lichtung selbst ausgeglichenere Bedingungen einstellen.

Der Praktiker wird daher immer die Lage der Lichtungsränder zur Sonneneinfallsrichtung wie zur Hauptwindrichtung, aber auch zur Fallinie so wählen, daß es möglichst wenig zur Ausbildung dieser Extreme kommt. Er wird auch überall dort die Schaffung zu kleinen Verlichtungen vermeiden, wo eine Bestandesumwandlung auf etwas größerer Fläche keine Erosions- und Schneeschäden befürchten läßt. Jedenfalls haben oberflächennahe Pflanzenteile, vor allem Samen an besonnten Rändern wie auch auf kleinen Verlichtungen, mit Oberflächenüberhitzungen zu rechnen, die weit über den bisher bekannten Optimaltemperaturen dieser Samen liegen und z.T. letale Temperaturen sind. Der Praktiker möge daher im subalpinen Zirben-Lärchenwald besonders bei der Auswahl seiner Saatstellen Vorsicht walten lassen und vor allem die schütter mit Calluna vulgaris (Besenheide) und Vaccinium vitis idaea (Preiselbeere) besetzten Standort meiden. Oberhalb und unterhalb der Bodenoberfläche erfolgt jedoch ein schneller Ausgleich dieser Spitzenwerte und der mittlere Wärmegenuß bleibt auf kleinen Verlichtungen etwas unter jenem, der den Pflanzen auf größeren Verlichtungen zur Verfügung steht. Außerdem muß auf kleinen Verlichtungen infolge länger andauernder Schneedecke mit einer späten Ausaperung und damit einer Verkürzung der Vegetationsperiode bis zu einem Ausmaß von einigen Wochen gerechnet werden.

6. Die Bodentemperaturen entlang eines Querprofiles durch den subalpinen Zirben-Lärchenwald in Obergurgl

Die vorangegangenen Abschnitte haben an vielen Einzelheiten unter Beweis gestellt, daß es im subalpinen Zirben-Lärchenwald allein schon unter den Rand- und Deckenwirkungen der hochstämmigen Vegetation zu einem fein verteilten Mosaikklima der Bo-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

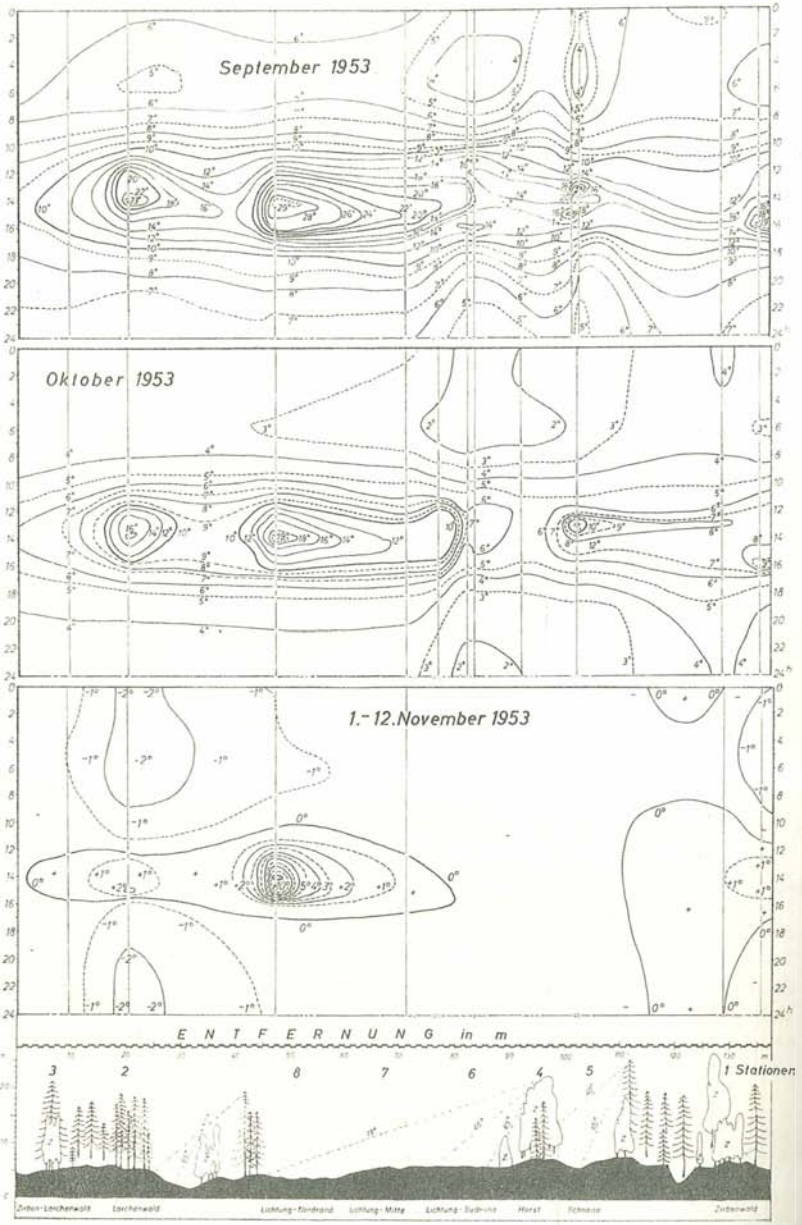


Abb. 58: Isoplethen des mittleren monatlichen Tagesganges der Bodenoberflächentemperaturen in 0 - 1 cm Tiefe quer zum Untersuchungsgebiet "Lichtung" in Obergurgl-Poschach. Profil von Station "Zirben-Lärchenwald" (3) bis Station "Zirbenwald" (1).
Im Querprofil wurden die mittägigen Sonneneinfallswinkel vom 15.6., 15.9. und 15.12. mit 65°, 40° und 19° angegeben

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
denoberflächentemperatur kommt. Der Umfang der dabei möglichen Oberflächenerwärmung hängt in erster Linie von den Strahlungs- und Ventilationsgegebenheiten am Standort ab (siehe Tab. 2). Diese sind wiederum von Art und Dichte des Bestandes, der Größe und Form der Lücken und Lichtungen abhängig. Großen Unterschieden der Bodenoberflächentemperaturen tagsüber entsprechen sehr geringe Abweichungen in den Nachtzeiträumen, weil die Kaltluft hangabwärts ziemlich gleichmäßig Freiland und Bestand durchströmt. Da die Vielfalt dieser Unterschiede für den subalpinen Zirben-Lärchenwald kennzeichnend ist, wird eine übersichtliche Darstellung erschwert. Um eine große Anzahl von Meßergebnissen (18.000 Meßwerte) anschaulich zu verarbeiten, wurden in Abb. 58 die mittleren monatlichen Tagesgänge, vom Üblichen abweichend, in ihrer Horizontalprojektion längs eines Querschnittes des ganzen Untersuchungsgebietes aufgetragen. Der Querschnitt beginnt links mit der Zirben-Lärchenwaldstation (3) und der anschließenden Lärchenwaldstation (2), erreicht über Sonnen- und Schattenrand der Lichtung den Horst (Stationen 8a-c, 7a-d und 6, sowie 4) und die Schneise (5a,b) und endet im beschatteten (1a) und besonnten (1d) Zirbenwald. Es wurden nur Meßpunkte berücksichtigt, die wenig oder gar nicht durch Bodenvegetation beeinflußt waren, sodaß die Darstellung eine Übersicht des Hochwaldeinflusses vermittelt.

In den hier ausgewählten herbstlichen Zeitabschnitten ändert sich die Sonnenhöhe stark und damit natürlich auch die Bodenoberflächentemperaturen. Die hohen Aufheizungen der Bodenoberfläche während des Sommers sind an Hand der September-Darstellung noch gut im Lärchenwald, am besonnten Lichtungsrand, in der Schneise und auch im besonnten Zirbenwald auszunehmen, desgleichen aber auch die besonders kühlen Standorte im Zirben-Lärchenwald, im Horst und im Zirbenwald.

Im Oktober ist die Struktur der Isothermenverteilung wohl noch ähnlich, es hat sich aber das Temperaturniveau bedeutend gesenkt, die Tagesgänge sind flacher geworden. Im ersten Novemberdrittel schließlich hatte nur noch die Station am besonnten Lichtungsrand einen ausgeprägten Tagesgang; im Lärchenwald (2) und im besonnten Zirbenwald (1d) sind nur noch Andeutungen eines solchen festzustellen, ansonsten herrscht an der Oberfläche fast Isothermie.

Ebenso kennzeichnend wie die großen Unterschiede der Bodenoberflächentemperaturen ist die große Ausgeglichenheit der Bodentemperaturen, die bereits im oberen Wurzelhorizont (10 cm) nur mehr Abweichungen von wenigen Graden oder gar nur Zehntelgraden ergaben. Nur dort, wo besonders starke Oberflächenüberhitzungen auftraten, ist auch der Boden in dieser Tiefe noch spürbar wärmer, wie z.B. der besonnte Rand der Lichtung (siehe Abb. 59). Um diese ausgeglichenen Temperaturverhältnisse im

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

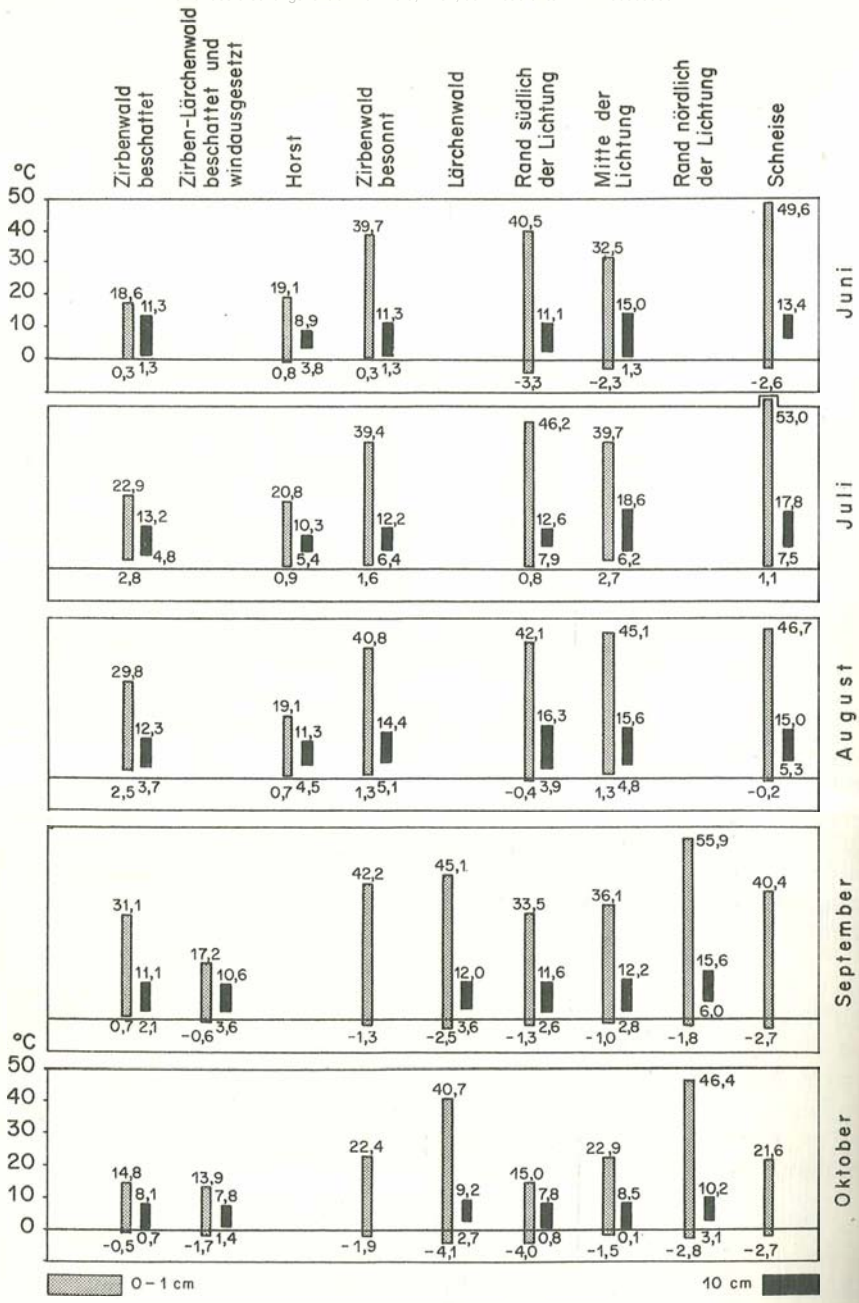


Abb. 59 Monatliche Bodentemperaturamplituden (Maxima und Minima) in 0-1 und 10 cm Tiefe von Juni bis Oktober 1953 an den wichtigsten Stationen des Untersuchungsgebietes Lichtung-Poschach.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
Boden gegenüber der extremen Oberfläche zu veranschaulichen, wurden in Abb. 59 die äußersten monatlichen Extremwerte in beiden Bodenschichten einander gegenübergestellt. Danach haben Pflanzen nur an oberflächlich besonders extremen Standorten mit einem etwas höherem Wärmegenuß im Wurzelbereich zu rechnen. Die noch viel geringeren Unterschiede in größerer Bodentiefe trotz größter Gegensätze der Bodenbedeckung wurden bereits vor Augen geführt.

Selbstverständlich beschränkten sich auch Fröste im Sommer und Winter nur auf die oberflächennahen Schichten. Während des Winters drang der Frost infolge der gleichmäßigen Schneebedeckung nie tief ein. Alle Stationen entsprachen hier dem Typus der schneebedeckten Basisstation.

Es kann somit zusammenfassend gesagt werden, daß im subalpinen Zirbenwald infolge geringerer Ventilation bereits geringere Einstrahlung als an der Waldgrenze gleich hohe Temperaturen zur Folge hatte als ebendort. Abgesehen von den damit zusammenhängenden höheren und meist kurzfristigen Oberflächenerhitzungen bis zu maximalen Werten entsprechen die Bodentemperaturen im wesentlichen dem Typus der "winters schneebedeckten Station".

Zusammenfassung

Die Bodentemperatur ist für Hochlagenaufforstungen ein wichtiger Standortsfaktor, weil von ihr die Dauer der Vegetationsperiode, das Ausmaß der Wurzelatmung, die Mykorrhizenbildung und andere Vorgänge des Bodenlebens abhängen.

Mehrjährige Untersuchungen der Bodentemperaturen im subalpinen Zirben-Lärchenwald und in der Kampfzone oberhalb der Waldgrenze haben gezeigt, daß Pflanzen im Hochgebirge mit großen oberflächlichen Temperaturbeanspruchungen, jedoch nur mit einem geringen mittleren Wärmegenuß zu rechnen haben.

Oberhalb der Waldgrenze treten die Primärwirkungen des Reliefs hervor, die das Vegetationsbild und die Bodentemperaturverteilung im Gelände bestimmen. Danach wurden unter Berücksichtigung der Kausalfaktoren Strahlung und Wind und der davon abhängigen Schneebedeckungsdauer drei Bodentemperaturstandorttypen unterschieden:

a) Der schneebedeckte Normaltyp des Standortes, bei dem aus Gründen der Exposition weder mit starken Bodenfrösten im Winter noch mit oberflächlichen Aufheizungen im Sommer gerechnet werden muß.
b) Der schneearme Typ des Standortes, bei dem die Windausgesetztheit die Ausbildung einer winterlichen, ständigen Schnee-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

decke nicht zuläßt, was zu einem tiefen Durchfrieren des Bodens führt. Dieser Typus fehlt im Hochwaldbereich infolge der geringen Ventilation.

c) Der Typus des Überhitzungsstandortes auf sonnseitigen Lagen, wo als Folge der starken Einstrahlung und einer oftmals fehlenden Ventilation durch das periodische Windsystem hohe, wenn auch kurzdauernde Oberflächenüberhitzungen auftreten.

Die großen, reliefbedingten Gegensätze der Bodenoberflächentemperaturen werden durch die sekundären Rand- und Deckenwirkungen der Vegetation ausgeglichen. Infolge der geringeren Windstärke im Hochwaldbereich haben bereits geringere Strahlungsmengen höhere Aufheizungen der Bodenoberfläche zur Folge. Unter dem Einfluß der Holzarten, der Bestockungsdichte und der Bodenvegetation entsteht ein fein verteiltes Mosaik von Bodenoberflächentemperaturen im Gelände, wobei gerade im Hochwaldbereich schon Ventilationsunterschiede bei niederen Absolutwerten starken Einfluß auf die Bodenoberflächentemperaturen haben.

Im Gegensatz zur reliefbedingten Vielfalt der Bodenoberflächentemperaturen in einem sehr extremen Bereich zeigen die Bodentemperaturen in größerer Tiefe weit geringere Unterschiede, was als Folge der schlechten Wärmeleitfähigkeit und der kurzen Vegetationsperiode aufzufassen ist.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Tabelle 1: Andauer der Bodentemperatur in 0 1 und 10 cm Tiefe während eines ganzen Jahres vom 1. Juli 1954 bis 30. Juni 1955 an der horizontalen Rodung (I), sowie an den südwest-, west- und nordost-exponierten Rodungsstellen (Stationen 8, 6, 3). Andauer in Stunden.

VII/54 - VI/55

Südwest-Rodung (Meßstelle 8)

West-Rodung (Meßstelle 6)

Nordost-Rodung (Meßstelle 3)

Horizontale Rodung (Meßstelle I)

Tabelle 2: Windwege an den Stationen Talboden, Lichtung, Waldgrenze und Baumgrenze aus der Zeit vom 17.7.1956 bis 11.8.1956 in 3 m über dem Boden.

Station Nr.	Bezeichnung	Seehöhe m	Windweg-summe in km	mittlere Windgeschwindigkeit in m/sec	Windweg in % der Station Waldgrenze	Windweg in % der Station Talboden
	Talboden	1820	37.575	1.74	79	100
7a	Lichtung-Mitte	1920	15.575	0.72	32	41
8a	Lichtung-Sonnrand	1920	9.530	0.44	20	25
6	Lichtung-Schattrand	1920	14.865	0.69	31	40
I	Waldgrenze	2072	47.458	2.20	100	126
27	Baumgrenze	2225	66.355	3.08	140	177

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Tabelle 3: Andauer der 10 cm-Bodentemperatur im September 1954 an verschieden hochgelegenen Meßstellen in vollen Stunden.

Stationsangaben				Temperaturbereiche				
Nr.	Lage	Seehöhe	Exposition	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25
7c	Lichtung Mitte	1920 m		38	427	255		
6	W-Rodung, knapp ober Waldgrenze	2072 m	29°, W	53	336	285	43	3
I	H-Rodung knapp ober Waldgrenze	2072 m	Horizontal	82	355	255	28	
27	Baumgrenze, knapp ober Trogschulter	2225 m	Horizontal	108	369	237	6	

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Tabelle 4: Mittel-, Extrem- und Amplitudenwerte der Bodenoberflächentemperatur in 0 1 cm Tiefe des Meßzeitraumes September November 1953 der Station Zirbenwald, Zirben-Lärchenwald, Lärchenwald und Lichtung bei Poschach/Obergurgl, 1920 m Seehöhe. Die Angaben für die Basisstation Zirbenwald (1a) erfolgen in Absolutwerten, die Werte aller anderen Stationen sind als Abweichung von diesem Wert angegeben.

	Station		Mittel	absolutes Maximum	mittleres Maximum	mittleres Minimum	absolutes Minimum	mittlere Amplitude
	Nr.	Bez.						
September	1a	Z Wald	8.5	31.1	17.2	5.6	0.7	11.6
	1d	Z Wald	+0.4	+11.1	+ 5.4	-1.0	-2.0	+ 6.4
	3	Z-L-Wald	-0.7 [1)]	-13.0 [1)]	3.6 [1)]	-0.8 [1)]	-1.3 [1)]	2.8 [1)]
	2	L Wald	+1.0 [2)]	+ 14.0 [2)]	+13.6 [2)]	-2.0 [2)]	-3.2 [2)]	+15.6 [2)]
	7d	Lichtung Mitte	+1.4	+ 4.9	+ 8.0	-1.4	-1.7	+ 9.4
Oktober	1a	Z Wald	5.0	14.8	9.0	3.2	-0.5	5.8
	1d	Z Wald	-0.2	+ 7.6	+ 2.9	-1.0	-1.4	+ 3.9
	3	Z-L-Wald	-0.4 [3)]	0.9 [3)]	0.3 [3)]	-0.6 [3)]	-1.2 [3)]	+ 0.3 [3)]
	2	L Wald	+1.1 [3)]	+25.9 [3)]	-10.4 [3)]	-1.1 [3)]	-3.6 [3)]	+11.5 [3)]
	7d	Lichtung Mitte	0.0	+ 8.1	+ 4.6	-1.3	-1.0	+ 5.9
1.-14. November	1a	Z Wald	0.1	2.8	1.0	-0.6	-2.2	1.6
	1d	Z Wald	-0.6	+ 1.4	+ 0.8	-1.1	-1.4	+ 1.9
	3	Z-L-Wald	-0.7 [4)]	+ 1.9 [4)]	+ 1.3 [4)]	-0.6 [4)]	+0.6 [4)]	+ 1.9 [4)]
	2	L Wald	-2.0 [4)]	+ 4.8 [4)]	+ 3.4 [4)]	-2.1 [4)]	-1.5 [4)]	+ 5.5 [4)]
	7d	Lichtung Mitte	-0.5	1.3	0.1	-0.5	-0.6	+ 0.4

[1)] Zeitraum vom 8. bis 17 9. 1953 und vom 22. bis 30. 9. 1953
[2)] Zeitraum vom 8. bis 30. 9. 1953
[3)] Zeitraum Oktober ohne 24. 10. 1953
[4)] Zeitraum vom 1. bis 12. November 1953

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Tabelle 5: Längste ununterbrochene Andauer hoher Bodenoberflächentemperaturen (0 - 1 cm Tiefe) für biologisch gefährliche Temperaturbereiche über 40°C. Angaben in Minuten.

a) Stationsbereich Obergurgl/Poschach-Lichtung (ca. 1920 m)

Nummer und Name der Meßstelle		Jahr	Monat	über 40°	über 45°	über 50°	über 55°	über 60°	über 65°	über 70°	über 75°	Maximum
8a,b	Besonnter Lichtungsrand, WSW, 30°	1953	IX	233	205	165	15					
		1957	VII	315	280	245	210	142	90	36		71.2
2 (Li)	Lücke im Lärchenwald, SSW, 25°	1957	VII	300	270	245	186	114	83			69.5
5a	Schneise Überhitzungsbarfleck, WNW, 29°	1953	VI	135	60							49.6
			VII	320	170	110						53.0
			VIII	195	15							46.7
	Dunkler Rohhumus, SW, 35°	1957	VII	390	295	250	240	192	138	102	60	79.8

b) Stationsbereich Obergurgl/Poschach-Waldgrenze (2072 m)

I	Horizontale Basis (I)	1957	VI	198								45.0
			VII	480	366	264	120					59.0
			VIII	234								43.5
		1958	VI	114								44.6
			VII	120								49.0
6	West-Rodung	1954	VII	255	80							46.5
			IX	170	45							46.8
8	Südwest-Rodung	1954	VII	345	255	45						
			IX	255	180	105						
		1955	VI	430	340	285	180	105				
			VII	450	390	324	210	111				63.9
			VIII	310	260	220	150	70				63.0
		1957	VII	410	320	300	252	168	120	60		73.5
11	Süd-Rodung	1954	IX	129	115	89	61	23				
		1955	VII	450	390	324	210	111				

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Literatur

AALTONEN V.T.1948: Boden und Wald. Parey, Berlin.

ARNBORG T.1956: Untersuchungen über die Bodentemperatur in einer mittelschwedischen Baumschule. Allg. Forstzeitschr. 11, 101-105.

AUER Chr.1947: Untersuchungen über die natürliche Verjüngung der Lärche im Arven-Lärchenwald des Oberengadins, Mitt. d. Schw. Anst. f. d. Forstl. Versuchswesen, XXV, 1. H 57

AUER Chr.1949: Ergebnisse eines Keimversuches mit Lärchensamen auf verschiedenen Böden unter wechselnden Belichtungs- und Feuchtigkeitsverhältnissen. Jahresber. d. naturforschenden Gesellschaft Graubündens, 81, 33-58.

AULITZKY H.1954: Über mikroklimatische Untersuchungen an der oberen Waldgrenze zum Zwecke der Lawinenvorbeugung, Wetter und Leben, 6,93-98.

AULITZKY H. 1955 a: Die Bedeutung meteorologischer und kleinklimatischer Unterlagen für Aufforstungen im Hochgebirge. Wetter und Leben, 7,241-252.

AULITZKY H. 1955 b: Über die lokalen Windverhältnisse einer zentralalpinen Hangstation Arch. f. Met. u. Geophys., Serie B, 6,353-373.

BARTELS H.1958: Untersuchungen über die Hitzetoleranz der Koniferen. Forstw. Zentralbl. 77,287-294.

BATES C.G.1923: The transect of a Mountain valley, Ecology 4.

BAUMGARTNER A.1956: Untersuchungen über den Wärme- und Wasserhaushalt eines jungen Waldes. Ber. d. Deutschen Wetterd. Nr. 28, 5.

BERGEMANN J.1956: Das Mykorrhizaproblem in der Forstwirtschaft. Allgem. Forstzeitschrift München, 11, S. 297-304 (zitiert HARTLEY).

BUNDESMINISTERIUM FÜR HANDEL UND WIEDERAUFBAU 1956: Energiepotential des Niederschlags im Ost-Bundesgebiet. H. 2/Teil 2.

BUXTON P.1924: The temperature of the surface of the desert. Journ. of Ecol. 12,124.

DAMMANN W.1955: Die "wirkliche" Andauerzahl, ein wichtiges Hilfsmittel in der vergleichenden und angewandten Klimatologie. Met. Abh. d. Inst. f. Met. u. Geophys. d. Univ. Berlin, II. H. 4.

EIDMANN F.E.1943: Untersuchungen über die Wurzelatmung und Transpiration unserer Haupthölzarten. Schriftenreihe der Hermann Göring-Akademie der Deutschen Forstwissenschaft 5, Verlag Sauerländer, Frankfurt am Main.

FRIEDEL H.1952: Gesetze der Niederschlagsverteilung im Hochgebirge, Wetter und Leben, 4,73-86.

FRIEDEL H.1956: Die alpine Vegetation des obersten Mölltales (Hohe Tauern), Erläuterungen zur Vegetationskarte der Umgebung der Pasterze, Wissenschaftl. Alpenvereinshefte, H.16.

GEIGER R.1950: Das Klima der bodennahen Luftschicht. 3. Aufl. Vieweg, Braunschweig.

HAACK 1912: Die Prüfung des Kiefernsamens, Ztschr. f. Forst-u. Jagdw. 44,193-222 273-307, Berlin.

HAUDE W.1934: Temperatur und Austausch der bodennahen Luft über einer Wüste. Beitr. Phys. d. frei. Atmoph. 23, 129-142.

HAUDE W.1940: Ergebnisse der allgemeinen meteorologischen Beobachtungen und der Drachenaufstiege an den beiden Standlagern bei Ikengüng und am Edsen-gol. Rp. Scient., Exped. to the NW-Prov. China under the leadersh. Dr. Sv. Hedin. IX. Met. 1. Stockholm.

HOLZER K.1959: Winterliche Schäden an Zirben nahe der alpinen Baumgrenze. Cbl. f. d. ges. Forstwesen, 76,232-244.

HUBER B.1935: Der Wärmehaushalt der Pflanzen. Verlag Datterer, Freising.

HUBER B.1937: Mikroklimatische Pflanzentemperaturregistrierungen mit dem Multithermographen von Hartmann & Braun. Jahrb. f. wiss. Bot. 84, 671-709.

JEMISON G.M.1934: The significance of the effect of stand densitiy upon the Weather neath the canopy. Journ. Forestry, 32, 446-451.

LADEFOGED K.1939: Untersuchungen über die Periodizität im Ausbruch und Längenwachstum der Wurzeln bei einigen unserer gewöhnlichen Waldbäume. Dansk. resume, Kopenhagen.

LEVITT J.1956: The Hardiness of Plants. Vol. VI, of Agronomy, N. Y., Academic Press Inc.

LUNDEGARDH H.1954: Klima und Boden. 4. Aufl. 1954, Fischer Jena.

MAYR E.1956: Die Landesanstalt für Pflanzenzucht und Samenprüfung in Rinn. Schlernschriften 145.

MICHAELIS G. und P.1934: Ökologische Studien an der alpinen Baumgrenze III. Über die winterlichen Temperaturen der pflanzlichen Organe, insbesondere der Fichte. Beihefte u. Bot. Zentralbl. Bd. L II, S 333-377.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

MOSER M. 1956: Die Bedeutung der Mykorrhiza für Aufforstungen in Hochlagen. Forstw. Cbl. 75, 1-64.

MOSER M. 1958: Der Einfluß tiefer Temperaturen auf das Wachstum und die Lebenstätigkeit höherer Pilze mit besonderer Berücksichtigung von Mykorrhizapilzen. Sydowia, XII. 386.

MÜNCH E. 1914: Hitzeschäden an Waldpflanzen, Naturw. Zeitschr. f. Forst-u. Landwirtschaft, 11, 12.

NÄGEL A. 1929: Untersuchungen über die Maximaltemperatur von Keimlingen der Kiefer und Fichte. Diplomarbeit Tharandt.

NATHER H. 1958: Zur Keimung der Zirbensamen. Cbl. ges. Forstw. 75, 61-70.

NEUBAUER H. F. 1952: Notizen über die Temperatur der Bodenoberfläche in Afghanistan. Wetter und Leben, 4, 18-24.

PALLMANN H. und FREI E. 1943: Beitrag zur Kenntnis der Lokalklimate einiger kennzeichnender Waldgesellschaften des schweizerischen Nationalparkes. Ergebnisse d. wissenschaftl. Untersuchungen d. Schw. Nationalparkes, H. 10.

PASAK V. 1957: Mikrometeorologische und hydrologische Messungen im Hochwaldbestand. Vedecke prace vyzkumneho ustavu zemedelskolesnickych melioraci csazv, V pracze.

PORODKO Th. M. 1926: Über die Absterbegeschwindigkeit der erhitzten Samen. Ber. d. Dtsch. Bot. Ges., 44, 71-80.

ROESER J. 1932: Transpiration capacity of coniferous seedlings and the problem of the heat injury. Journ. Forestry 30, 381-395.

SCHEDLER A. 1953: Zum Klima des Kaunerberg-Hanges. Wetter und Leben, 5, 40-42.

SCHIECHTL H. 1958: Grundlagen der Grünverbauung. Mitt. d. Forst. Bundesversuchsanst. Mariabrunn, Heft 55.

SCHIMITSCHECK-SCHRECKENTHAL 1933: Klima, Boden und Holzarten an der Wald- und Baumgrenze in einzelnen Gebieten Tirols. H. 13, Wagner Innsbruck.

SLAVIK B., SLAVIKOVA J. JENIK J. 1957: Ekologie kotlikove obnovy smiseneho lesa. Rada matematickych a prirodnich ved, 67, H. 2.

STEINHAUSER F., ECKEL O. und SAUBERER F. 1955: Klima und Bioklima von Wien. 1. Teil Sonderheft Wetter und Leben, Wien.

STEINHAUSER F.: Karte der Andauer der Schneedecke in Österreich 1901 - 1950, Maßstab 1 500.000.

STERN R. 1956: Die Eignung der Zirbe für Hochlagenaufforstungen. Diss. Hochsch. f. Bodenkultur, Wien.

TRANQUILLINI W. 1957: Standortsklima, Wasserbilanz und CO_2-Gaswechsel junger Zirben (Pinus Cembra L.) an der alpinen Waldgrenze, Planta 49, 612.

TURNER H. 1958 a: Maximaltemperaturen oberflächennaher Bodenschichten an der alpinen Waldgrenze, Wetter und Leben, 10, 1-12.

TURNER H. 1958 b: Über das Licht- und Strahlungsklima einer Hanglage in den Ötztaler Alpen bei Obergurgl und seine Auswirkung auf das Mikroklima und auf die Vegetation. Arch. f. Met. u. Geophys. Serie B, Bd. 8, 273-325.

VASSILJEV I. M. 1931: Über den Wasserhaushalt von Pflanzen der Sandwüste im südöstlichen Kara-Kum, Planta 14, 225-309.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

5. Über die Windverhältnisse einer zentralalpinen Hangstation in der subalpinen Stufe

von H. Aulitzky

Inhalt

	Seite
Einleitung und Aufgabenstellung	211
I. Lage und Instrumentierung der Meßstellen	212
II. Die Windverhältnisse im Gurglertal und an der Basisstation Waldgrenze . .	213
III. Die relief- und vegetationsbedingte Beeinflussung des bodennahen Windfeldes . .	216
A. Zu den Primärwirkungen des Reliefs auf das Windfeld	218
B. Zu den Sekundärwirkungen der Baumvegetation auf das Windfeld	224
Literatur	230

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Einleitung und Aufgabenstellung

Die Windverhältnisse im Hochgebirge unterscheiden sich von jenen im Flachland grundsätzlich, weil Windrichtung und Windstärke stark vom Relief beeinflußt werden und weil es in Schönwetterzeiträumen zur Ausbildung des tagesperiodischen Windsystems der Talauf- und Hangaufwinde bzw. der Talab- und Hangabwinde kommt.

Durch das Relief werden großräumige Luftbewegungen gezwungen, einen Teil der bewegten Luftmassen dem Verlauf der Täler folgen zu lassen. Der größere Teil dieser Gradientwinde (z.B. Nordstaulagen oder Föhn) überströmt jedoch, ohne hier seine Richtung zu ändern, als Gratwind die Kämme der Gebirgszüge. Nur solch großräumige Luftbewegungen haben infolge der großen bewegten Luftmassen meist auch hohe Geschwindigkeiten und kommen im Winter vor allem als schneetransportierende Winde in Frage. Das Auftreten dieser Gradientwinde ist wetterlagenbedingt und hat daher keinen ausgeprägten Tagesgang.

Von diesen Gradientwinden ist das tagesperiodische Windsystem zu unterscheiden, dessen Entstehung thermisch bedingt ist. Infolge der Sonneneinstrahlung erwärmt sich das flache Land bzw. der Talboden und die erwärmte Luft strömt nun tagsüber (mit weit geringerer Geschwindigkeit und Mächtigkeit als Gradientwinde) die Täler und Hänge hinauf. Nach Sonnenuntergang kehrt sich, als Folge der nun immer wirksamer werdenden Ausstrahlung im Bereiche der Gipfelregion, dieser Vorgang um und nun strömt Kaltluft langsam entlang der Hänge und Täler hinunter. Das Auftreten des periodischen Windsystems ist daher an Schönwetter und an das Vorhandensein einer Heizfläche gebunden. Daraus läßt sich ableiten, daß es im Winter bei vorhandener Schneedecke nur spärlich und nur ausgebildet sein kann, wenn beispielsweise die erwärmte Luft aus einem tiefer gelegenen und bereits schneefreien Haupttal in das höher gelegene und noch schneebedeckte Seitental einströmt. Die grundlegenden Untersuchungen des periodischen Windsystems sind vielfach in Tirol durchgeführt worden (EKHART 1938; JELINEK 1938 a/b; JELINEK A. und RIEDEL A. 1938; MOLL 1935; WAGNER 1938).

Die vorherrschende Windrichtung im Gebirge ist immer jene, aus der die Gradientwinde den besten Zugang finden. Sie entspricht vielfach dem Talverlauf, da die Luftmassen an den wechselnden Expositionen des Gebirgsreliefs dem Weg des geringsten Widerstandes folgen. Taleinhänge entlang einer solchen Strömungsrichtung werden zu einer Art Leitwerk und alle senkrecht dazu verlaufenden Rippen führen zur Ausbildung eines kleinflächigen Mosaiks von Luv- und Leelagen.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Wird aber eine Gebirgskette frontal angeströmt, so bilden sich großräumigere Luv- und Leelagen aus, die sogar großklimatisch unterschiedliche Kontinentalitätsgrade zur Folge haben können (GAMS 1931).

Unter dem Einfluß des Reliefs ist demnach die Windverteilung im Hochgebirge sehr unterschiedlich, wie sich schon aus den Windrosen von Gebirgsstationen entnehmen läßt (STEINHAUSER). Da die Windgeschwindigkeitsverteilung aber auch die Niederschlags- und Schneeverteilung im Relief bestimmt, ergeben sich auch Folgen für die Verteilung von Bodenvegetation und Bewaldung.

Es galt nun, die Gesetzmäßigkeit dieser reliefbedingten Ventilationsunterschiede für eine zentralalpine Hanglage im Bereich der subalpinen Waldgrenze festzustellen und dabei die Wechselwirkungen von Relief und Vegetation zu trennen. Die Notwendigkeit zu diesen Untersuchungen ergab sich ebenso aus der Seltenheit von Hangstationen wie aus der Bedeutung des Faktors Wind im Hinblick auf seine Folgen für Niederschlagsverfrachtung-Schneebedekkungsdauer-Dauer der Vegetationsperiode und damit auch für die Möglichkeit einer Hochgebirgsaufforstung.

Die vorliegende Arbeit stellt nur einen knappen Auszug aus den seit Juni 1953 laufenden Messungen dar und will in erster Linie die forstlich und biologisch wichtigen Gesichtspunkte vermitteln. Sie stützt sich hinsichtlich der Betrachtung der quantitativen Verhältnisse unterhalb der derzeitigen Waldgrenze auf eine bereits vorliegende Arbeit (AULITZKY 1955a) und ergänzt sie um Messungen aus der Kampfzone.

I. Lage und Instrumentierung der Meßstellen

An beiden Einhängen des Gurglertales wurde vom Talboden bis zu den Trogschultern eine Reihe von Meßstellen eingerichtet, um die Windgeschwindigkeitszunahme mit der Seehöhe und den Einfluß des Waldes auf das Windfeld untersuchen zu können. Diese Reihe bodennaher Meßstellen in 0.1, 0.5, 1.0 und 3.0 m über dem Boden (bzw. über der bodennahen Pflanzendecke) stützte sich auf drei Basisstationen mit einer Meßhöhe von 10 m über dem Boden, die am westschauenden Hang auf der Lichtung (L), knapp oberhalb der Waldgrenze (Wg) und an der Station Baumgrenze (SBG) errichtet worden waren. Die Stationen am Westhang wurden durch die Anlage von weiteren drei Meßstellen am Osthang (Station Osthang in 2150 m, Station Osthang-Mitte in 2250 m und Station Osthang-Baumgrenze in 2440 m) und die Station Talboden (T) in 1820 m ergänzt. Darüber hinaus waren am Westhang in Anlehnung an die besagten Netze weitere Meßstellen zur Erfassung der Windverteilung im

Die Lage der Stationen und Meßstellen ist aus den Abbildungen 6 8, 11 ersichtlich.

Die mittlere Höhe des Hochwaldes am Unterhang, also im Bereich der Lichtungsstation, betrug 10 m.

Die Windgeschwindigkeitsmessungen wurden mit elektrischen Schalenkreuzanemometern durchgeführt, die als Wechselstromdynamo schleifring- und kollektorlos arbeiteten. Die Spannungsimpulse wurden gedämpft und gleichgerichtet und an Drehspul-Zweifarben-Fallbügelschreibern (Fa. Hartmann & Braun) mit einem Ska-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
lenvollausschlag von 1 m registriert. Die Ansprechschwelle der Anemometer lag zwischen 1.5 und 2.0 m/sec.

Die Windrichtungsmessung arbeitete nach dem Prinzip der stufenweisen Widerstandsänderung, wobei sich je nach der Stellung der Windfahne zu einem der acht, den Haupthimmelsrichtungen entsprechenden Widerständen ein entsprechender Ausschlag bei gleichbleibender Spannung (2 Volt) am Fallbügelschreiber ergab.

Zur Windwegsummierung, die später durch eine eigens entwickelte Windwegrichtungssummierung ergänzt wurde, standen mechanische Summiergeräte, aber auch Kontaktanemometer der Fa. Lambrecht/Göttingen in Verwendung. Die Ansprechschwelle lag leider auch bei diesen Geräten noch oberhalb des biologisch bereits interessanten Meßbereiches von 0 1 m/sec.

Weitere instrumentelle Einzelheiten sind aus der bereits vorliegenden und einer noch nachfolgenden klimatologischen Fachveröffentlichung zu entnehmen (AULITZKY 1955a).

An der Basisstation Waldgrenze wird seit Juni 1954 mit kurzen Unterbrechungen bis zum Zeitpunkt der Vorlage dieser Arbeit registriert (Feber 1960). Diese Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsregistrierungen in 10 m über dem Boden wurden in den Jahren 1953 und 1954 im Bereich der Lichtung durch Messungen in der gleichen Meßhöhe ergänzt (AULITZKY 1955a), später auch noch durch solche an der Baumgrenze (1956/57).

Auch nach dem Abbau des weitverzweigten ökologischen Netzes im November 1955 wurden neben den Basisregistrierungen an der Waldgrenze in 10 m Höhe Windwegsummierungen in 3 m Höhe über dem Boden am Osthang, am Talboden (T), am bewaldeten westschauenden Unterhang auf der Lichtung (L) und im obersten Teil der Kampfzone (knapp unter Station SBG)(siehe Stationsbeschreibung Abb. 6) bis heute fortgesetzt.

II. Die Windverhältnisse im Gurglertal und an der Basisstation Waldgrenze

Unbewaldete Gebiete im Hochgebirge, die regelmäßig vorherrschenden Winden aus einer Richtung ausgesetzt sind, lassen dies im Winter in der gleichmäßigen Kämmung der Wächten nach einer Seite auch ohne Messung - gut erkennen. Dieser Anblick verstärkt sich noch eindrucksvoller im Frühjahr im Zustand der "halben Ausaperung" (siehe Abb. 60), wenn auch die engere Nachbarschaft der Luvlagen schon zur Gänze schneefrei geworden ist und sich deutlich von den noch schneebedeckten Leelagen abhebt("Schneefleckenlandschaft"). Dieser Zustand tritt im Hochgebirge jedes Jahr in gleicher Weise ein, wenn auch nicht zum gleichen Zeitpunkt (FRIEDEL 1952), sofern das Gebiet nur einseitig bewindet ist. Als Folge der windbedingten Verteilung der Schneeablagerung im Relief ist als Ergebnis der harten Konkurrenz auch die Verteilung der Vegetation gesetzmäßig und vom Wind beeinflußt (siehe Seite 317).

An dieser Stelle sei für den Lawinenverbauer darauf hingewiesen, daß er sich gerade durch Kartierung der Wächten im Frühjahrszustand der "halben Ausaperung" (siehe Abb. 60) und durch Vergleich dieser Unterlagen mit der Vegetationsverteilung auf schnellstem Weg über die durchschnittliche, winterliche Schneeverteilung orientieren kann, weil sich ja die genannten Effekte als

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Summenwirkungen über alle Wetterlagen eines ganzen Winters einstellen und einen schnellen Überblick über ein großes Gebiet gewähren.

Die Wächtenkartierung zeigte weiter, daß auch am ostschauenden Hang im Gurglertal noch Nordwinde vorherrschen. Erst südlich der Talwendung zwischen Zwieselstein und Poschach gerät der Osthang in zunehmendem Maß in das Lee der Nordwinde, die sich dafür umso stärker auf Wächtenbildung am Westhang auswirken können. Der Westhang übernimmt nämlich hier leitwerksartig die

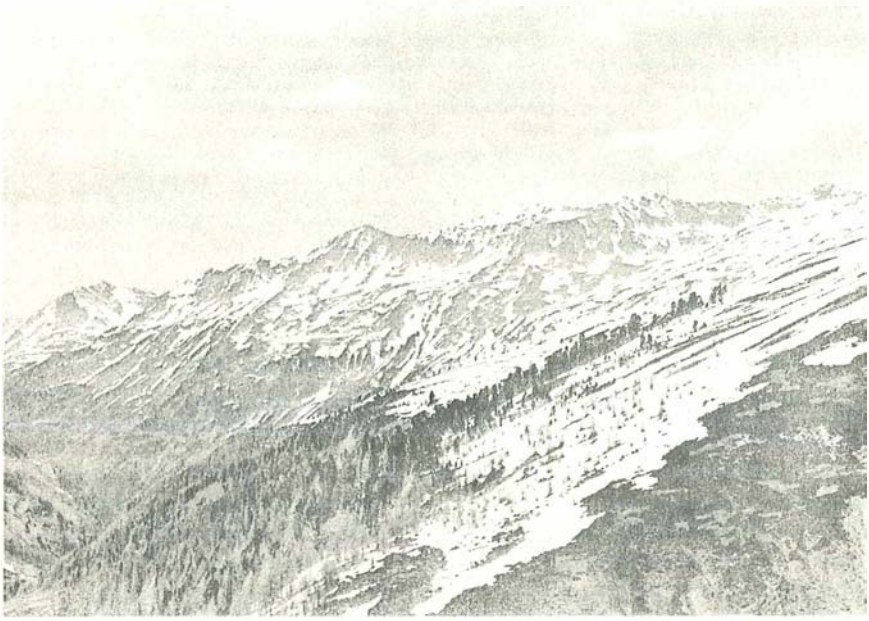


Abb. 60: "Schneefleckenlandschaft" im Zustand der "halben Ausaperung"

Führung dieser intensitätsstarken Nordwinde, während am gegenüberliegenden Osthang zwischen Ober- und Untergurgl ein Bereich uneinheitlicher Windrichtung anschließt. Noch südlicher im Talinnern zeigt dieser Osthang sogar föhnbedingte Wächtenbildungen nach Norden, da hier vor allem dieser Hang durch eine weitere Wendung des Tales nach Süden dem Zugriff des Föhns offen steht.

Die Wächten im Gratbereich zeigen eine andere Lagerung als jene an den Hängen, da hier die bestimmenden Nordwestwinde noch ihre ursprüngliche Richtung beibehalten haben und zu entsprechenden Wächtenbildungen, je nach der Lage der Gebirgskämme, führen.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Dieser schnell zu gewinnende Überblick an Hand der Wächtenkartierung wird in quantitativer Hinsicht für den Bereich des Stationsgebietes durch die Messungen an der Basisstation Waldgrenze ergänzt. Die Messungsergebnisse veranschaulichen die überwiegende Beeinflussung des Ötztales durch Nordstaulagen (siehe Abb. 61), die in das nach Norden offene Ötztal - über den Fernpaß kommend - leicht eindringen können. Durch den Verlauf des Tales aus ihrer ursprünglich nordwestlichen in eine nördliche Richtung abgelenkt, folgen sie diesem ungehindert bis südlich Zwieselstein,

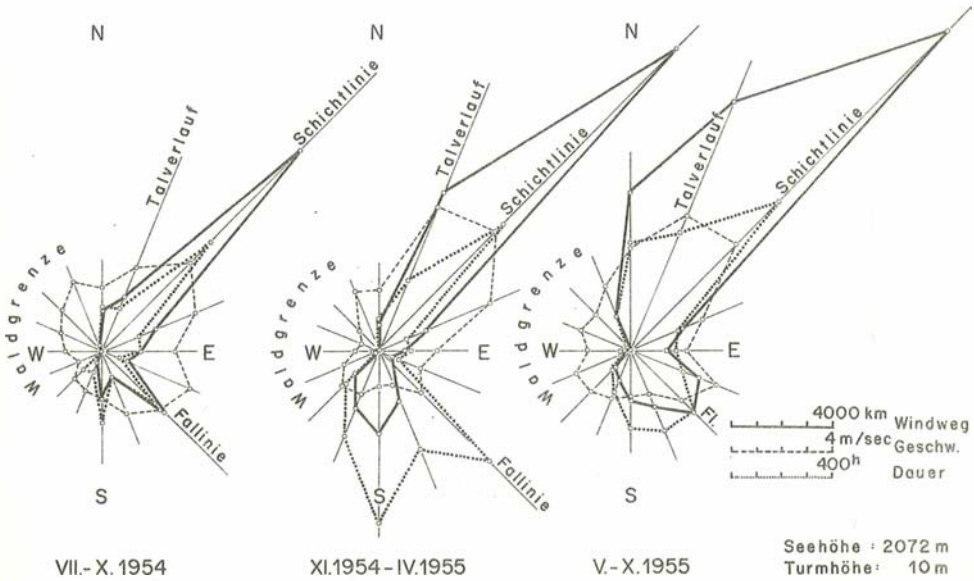


Abb. 61: Windrosen der Basisstation Obergurgl / Poschach - Waldgrenze (2072 + 10 m) für die Vegetationsperiode 1954 (VII.-X.1954), für den Winterzeitraum 1954-1955 (XI.1954-IV.1955) und die Vegetationsperiode 1955 (V.-X.1955). In den 16 Himmelsrichtungen wurden die Windwegsummen in km (ausgezogene Linien), die mittleren Windgeschwindigkeiten in m/sec (strichlierte Linien) und die Andauer in Stunden (punktierte Linien) aufgetragen. Der Verlauf des Tales, der Schicht- und der Fallinie sowie die Abschirmung durch die Waldgrenze wurden angedeutet

wo eine kleine Südwestdrehung des Tales Ursache für ein stärkeres Anströmen des Westhanges wird. Für die verhältnismäßig

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

hohen Windgeschwindigkeiten an diesem Hang ist auch der gerade Verlauf des 50 km langen Tales bis hierher verantwortlich.

Entsprechend der Talrichtung bei Poschach pendelt der Wind bei Nordstaulagen zwischen NNE und NE, die größten Windgeschwindigkeiten und Windwege treten aber nicht mehr in der Richtung des Talverlaufes selbst auf, sondern schmiegen sich dem örtlichen Verlauf der Schichtlinie (NE-Richtung) deutlich an (siehe Abb. 61).

Die gleiche Abbildung zeigt auch, daß der Einfluß des Föhns seiner Häufigkeit und Intensität nach gegenüber den Nordstaulagen weit zurückbleibt. Dies ist vor allem auf die ziemlich gute Abschirmung des Ötztales nach Süden durch den Alpenhauptkamm zurückzuführen. Bei geringer Ausbildung des Föhns wirkt sich dieser im inneren Ötztal nur im Bereich der niederen Jöcher (z.B. Timmelsjoch) aus und erst bei größerer Mächtigkeit überwindet er als böiger Fallwind den Hauptkamm und tritt dann im Stationsbereich, in einem breiten Sektor von ENE bis SSW pendelnd, auf.

Hinsichtlich der auftretenden Windgeschwindigkeiten ist die Bedeutung des periodischen Windsystems weit geringer. Nur in den Sommerhalbjahren kann sein Vorhandensein aus den Windrosen entnommen werden, wo die mittleren Windgeschwindigkeiten und Windwege in den Richtungen der Hangauf- und Hangabwinde leicht zugenommen haben. Angesichts der geringen Mächtigkeit und Geschwindigkeit der hier bewegten Luftmassen mußte sich sowohl die hohe Ansprechschwelle der Anemometer als auch die teilweise Abschirmung an der Waldgrenze störend auf die Erfassung dieser Windgeschwindigkeiten auswirken.

Sein Vorhandensein ließ sich besser aus den Windrichtungsregistrierungen erkennen, die einen deutlichen Tagesgang der Windrichtung zeigten (AULITZKY 1955a) Während der Vegetationsperioden traten die Hangab- und Talabwinde nur in der Zeit zwischen 18^h und 8^h auf, die Hangauf- und Talaufwinde dagegen zwischen 8^h und 18^h. Während des Winters ließ sich das periodische Windsystem nur in seiner Talauf- und Hangaufwindkomponente nachweisen, was auf das konvektiv bedingte Einströmen von über dem Inntal erwärmten Luftmassen zurückzuführen ist, da dort eine viel kürzere Schneedeckenandauer diesen Vorgang einleitet.

III. Die relief- und vegetationsbedingte Beeinflussung des bodennahen Windfeldes

Um einen ersten Überblick zu gewinnen, wurde ein Netz von Windwegsummierern (in 3 m Höhe über dem Boden) am unbewaldeten Westhang errichtet, das sich auf die genannten Basisstationen hinsichtlich der Richtungsmessungen stützte. Diese Meßstellen mußten natürlich schon viel mehr die relief- und vegetationsbedingten Einflüsse auf das Bodenwindfeld zum Ausdruck bringen als die Basisstationen in 10 m Höhe, wo zumindest eine Auswirkung des Kleinreliefs auf das Windfeld nicht mehr zu befürchten war. An der Station Waldgrenze wurden in 3 m noch etwa 75 % des Windweges in 10 m Höhe gemessen.

An diesem Windprofil quer über das Gurglertal (siehe Abb. 62) ließ sich ebenso die Windzunahme mit der Seehöhe wie die stark bremsende Wirkung der Bewaldung auf das Windfeld erkennen. Am

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

stärker bewindeten Westhang wurden schon in weit geringerer Seehöhe höhere mittlere Windgeschwindigkeiten als am gegenüberliegenden Osthang gemessen, was auf die bereits erwähnte Südwestdrehung des Gurglertales und die daraus abzuleitende Ventilationssteigerung am Westhang zurückzuführen ist. Die Zunahme der Windgeschwindigkeit mit der Seehöhe erfolgt an dem etwas im Lee liegenden Osthang in den unteren Hangpartien langsamer als am bewindeten Westhang, wenn man vom Einfluß der Bewaldung an diesem Hang absieht. Erst knapp unter der Trogschulter wird der

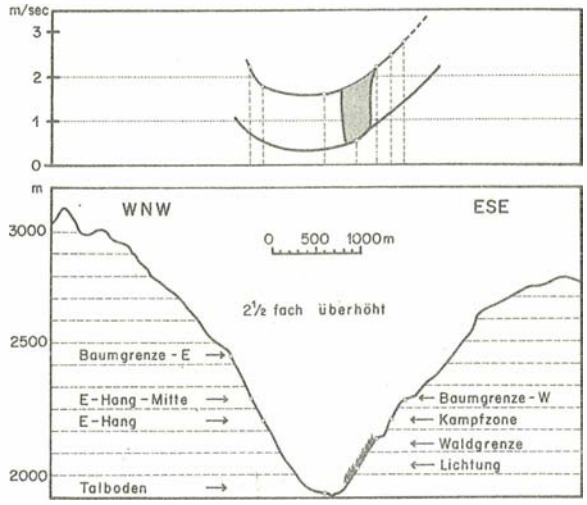


Abb. 62: Gelände- und Windprofil des Gurglertales beim Weiler Poschach. Die Windsummierungen wurden in 3 m Höhe in der Zeit von 4.11.1955 bis 31.5.1956 durchgeführt, die Wiedergabe erfolgte in m/sec. (Nach AULITZKY 1958, Cbl. ges. Forstwesen, Bd. 75)

Osthang windoffener und erst hier beginnt die Windgeschwindigkeit rasch mit der Seehöhe zuzunehmen. Die höheren Windgeschwindigkeiten an den höher gelegenen Stationen erklären sich aus der größeren Talbreite und der damit zusammenhängenden größeren Mächtigkeit und Geschwindigkeit der Luftmassen, die im Tale hin- und hergeschoben werden.

Neben diesen Einflüssen des Mittelreliefs auf das Windfeld läßt die Darstellung in Abb. 62 aber auch jenen der Bewaldung gut erkennen. Die schraffierte Fläche zeigt an Hand der Messungen auf unserer 40 mal 80 Meter großen Lichtung, deren Längsachse sich quer zur Talrichtung erstreckte, wie stark durch den umgebenden 10 m hohen Zirben-Lärchenwald noch in 3 m Höhe die Windgeschwindigkeit reduziert wurde. Wurden doch hier im lockeren, subalpinen Hochwald nur Bruchteile jener Windgeschwindigkeiten fest-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
gestellt, wie sie selbst auf der unbewaldeten Talsohle auftraten. Sofort ober der Waldgrenze nahm die Windgeschwindigkeit aber auf das 3 7-fache zu und gleichzeitig rückt der Faktor Wind in der unbestockten Kampfzone zum bestimmenden und die Lebensbedingungen begrenzenden Einfluß auf.

Dieses Windprofil gestattete es, die Primärwirkungen des Reliefs klar von den Sekundärwirkungen der Baumvegetation zu unterscheiden. Die Grenzlinie zwischen beiden verläuft an der oberen Grenze des Hochwaldes bzw. an der oberen Grenze dichteren Jungwuchses (siehe auch Abb. 69). Weil der Ventilation zu beiden Seiten der subalpinen Waldgrenze ganz unterschiedliches Gewicht beizumessen ist, stellt die Waldgrenze im windoffenen Gebirge immer eine echte Kleinklimagrenze dar und zwar unabhängig davon, ob der Verlauf der Waldgrenze nun natürlich ist oder nicht. Bis zur Waldgrenze verhindern die Sekundärwirkungen selbst eines lokkeren Bestandes das Hervortreten des Faktors Wind mit allen seinen Folgen; oberhalb der Waldgrenze dagegen muß der Forstwirt, auch wenn es sich um ehemaligen Waldboden handelt, diesem Faktor sofort großes Gewicht beimessen (soferne er nicht in einem Leegebiet arbeitet).

Während in den bewaldeten Teilen der montanen und subalpinen Stufe die Dauer der Schneebedeckung vor allem von der Besonnung des Standortes abhängt, folgt in der Kampfzone die Ausaperung im windoffenen Gebirge den ventilationsabhängigen Linien gleicher winterlicher Schneehöhe, sobald die Unterschiede in der Schneebedekkung mehr als 1 2 betragen. Infolgedessen kommen in der subalpinen Kampfzone windzonierte Reliefunterschiede im Bewuchs häufig deutlicher zum Ausdruck als Standortsunterschiede in der Sonneneinstrahlung (FRIEDEL 1953).

Würde man sich in Abb. 62, ausgehend von dem Meßwert der Lichtung, eine parallele Kurve der Windgeschwindigkeit für ein besser bewaldetes Tal extrapolieren, so müßte sich auch für die angrenzenden und umschlossenen landwirtschaftlichen Nutzflächen geringere Ventilation, gleichmäßigere Schneebedeckung, eine im Durchschnitt längere Vegetationsperiode und eine geringere Verdunstung ergeben. Dies müßte vor allem für die niederschlagsarmen Hochtäler der Innenalpen von Nutzen sein, da jede Verringerung der Verdunstung zu einer Verbesserung im Wasserhaushalt führt.

A. Zu den Primärwirkungen des Reliefs auf das Windfeld (oberhalb der Waldgrenze)

Für die Bewegung einer strömenden Luftmasse stellt das baumlose Gelände ein unverrückbares Hindernis dar, das sie auf dem rationellsten Wege stromlinienförmig zu umgehen sucht. Beim schrägen Anströmen eines sanft ansteigenden Hinder-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

nisses kommt es auf der Luvseite zu einer Verdichtung der Stromlinien, auf der anschließenden Leeseite dagegen zu einer Vergrößerung ihrer Abstände. Die stärkste Komprimierung der Stromlinien ist an der Luvkante der überströmten Kuppe zu erwarten (YOSHINO 1958). An schroffen oder beweglichen Hindernissen kommt es im Gegensatz dazu zu örtlichen Wirbelbildungen (KREUTZ 1953, KREUTZ-WALTER 1956, MAGYAR 1954).

Das Windfeld eines Hanges ist umso uneinheitlicher, je gegliederter sein Relief und je unterschiedlicher seine Bestockung ist. Während die Hauptzirkulation in der Talrichtung vor sich geht, sind senkrecht dazu verlaufende Rinnen, Schneisen und Lawinengänge Bereiche, in denen sich Zirkulationen quer zur Talrichtung besser ausbilden oder halten können (YOSHINO 1957). Bei der Einmündung von Quertälern kann sich deren Strömungssystem noch deutlich in das Haupttal hinein auswirken, bei einförmigen Hängen dagegen, wird sich eine Hangwindzirkulation viel seltener erhalten.

Um nun die Reliefeinflüsse nicht nur im Mittelrelief des Talquerprofiles (siehe Abb. 62), sondern auch im Kleinrelief der Hanggliederung zu erfassen, wurden quer zu einer Rinne des Westhanges und den beiden anschließenden Rippen (Beerrinne) Schalenkreuzanemometer in 0.5 m über dem Boden und Windwegsummierer in 0.1 m über der jeweiligen Bodenvegetationsdecke eingesetzt. Mit Hilfe dieser Geräte sollte in der Kampfzone der Einfluß des Kleinreliefs auf die Windgeschwindigkeit festgestellt und kennzeichnende Windwerte für die einzelnen Vegetationsgesellschaften bestimmt werden.

Als Ergebnis der Schalenkreuzregistrierungen des Sommers 1954 und der Windwegsummierungen in Pflanzennähe im Sommer 1955 zeigte sich, daß die reliefbedingten Unterschiede in der Windgeschwindigkeit umso größer werden, je näher man dem Boden kommt (siehe Tab. 1,2,3 und Abb. 64). Es zeigte sich aber auch an Hand der Windwegsummierungen, daß die Unterschiede mit der Tiefe der Geländeeinschnitte bei gleichem Rippenabstand zunahmen.

Tabelle 1: Mittlere Windgeschwindigkeiten und Maxima. Angabe in m/sec in 0.5 m über dem Boden (aus dem Zeitraum Juli bis September 1954) am sonnseitigen Leehang im Südwesten, auf der horizontalen Kuppe und am luvseitigen Nordhang des Basishügels der Station Obergurgl/Poschach-Waldgrenze (2072 m) im Vergleich zu den mittleren Windgeschwindigkeiten der Basisstation in 10 m Höhe über dem Boden (in Prozenten).

S t a t i o n	Mittl. Maxim.	Mittel: M/sec	% d. Basis
sonnseitiger Leehang im Südwesten	4.4 m/sec	1.00	31
horizontale Kuppe	6.2 m/sec	1.83	56
schattseitiger Luvhang im Norden	5.8 m/sec	1.50	46

Tabelle 2: Mittlere Windgeschwindigkeiten tags- und nachtsüber in 0.1 m über dem Boden in Prozent der Windgeschwindigkeiten an der Basisstation Ober gurgl/Poschach-Waldgrenze (2072 m) in 10 m Höhe über dem Boden wäh rend verschiedener Zeiträume im Sommer 1955.

S t a t	Monat	tagsüber	nachtsüber	im Mittel
sonnseitiger Leehang im Südwesten	VII	3.2 %	0.2 %	
schattseitiger Luvhang im Norden	VI	17.0 %	8.0 %	12.5 %
	VII	19.8 %		
	VIII	22.1 %		
unter dichtem Rhododendron-Gebüsch	VIII	0.9 %		

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Tabelle 3: Mittlere Windgeschwindigkeit in 0.1 m Höhe oberhalb der Blattschicht verschiedener kennzeichnender Pflanzengesellschaften im Bereich der Beerrinne nächst der Station Obergurgl/Poschach-Waldgrenze zwischen 2070 und 2240 m Seehöhe in der Zeit vom 15.7. bis 20.10.1955.

Pflanzengesellschaft	Amplitude der mittleren Windgeschwindigkeit		mittlere Windgeschwindigkeit
Windbartflechten-Heide (Alectorietum ochroleucae)			0.75 m/sec
Gemsheide (Loiseleurietum procumbentis)			0.70 m/sec
Rauschbeere-Luv (Vaccinietum uliginosi)	0.54	0.69 m/sec	0.61 m/sec
Alpenrosen im Lee mit Zwergwacholder (Juniperus nana-reiches Rhododendreto-Vaccinietum)	0.20	0.50 m/sec	0.35 m/sec

Während sich beispielsweise in 50 cm über dem Boden die Windgeschwindigkeiten in Lee und Luv wie 1 1.5 verhielten und auch an der umströmten Kuppe nur 1.83 m/s erreicht wurden (siehe Tab. 1), was jeweils 1/3 bis 2/3 der Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe entsprach, traten in 10 cm über dem Boden weit geringere Absolutwerte, jedoch weit größere Unterschiede zwischen den Meßstellen auf (siehe Tab. 2). Des weiteren ergab sich auch ein stark tagesgangartiger Rhythmus der Windwege (siehe Tab. 2) und Windgeschwindigkeiten (siehe Abb. 63), was wiederum auf das Vorhandensein des tagesperiodischen Windsystems hinweist. Der Tagesgang auf der Kuppe des Basishügels ist viel ausgeglichener als jener auf seinen beiden Hängen (siehe Abb. 63): Während hier in der Nacht die Windgeschwindigkeiten stark absanken, übertrafen die Windgeschwindigkeiten am Luvhang während eines Teils des Tages sogar jene auf der Kuppe (siehe Abb. 63). Das Ansteigen der Windgeschwindigkeit setzt etwas später ein als der lokal bedingte Anstieg der Lufttemperaturen (dünnstrichlierte Kurve in Abb. 63), da sich die konvektiven Luftbewegungen erst nach Beginn der Einstrahlung ausbilden können.

Mit Absicht werden hier auch Windgeschwindigkeiten über kennzeichnenden Bodenvegetationsdecken im Zusammenhang mit den Reliefwirkungen besprochen, da diese Vegetationsdecken als Ergebnis eines langen und scharfen Konkurrenzkampfes und in Folge reliefbedingter Windverteilung auftreten und nicht ihrerseits das Windfeld beeinflussen. Da diese Vegetationsdecken in der Kampfzone das Gelände teppichartig überziehen, stellen sie zum Unterschied von baum- und strauchartiger Vegetation kein Windhindernis dar. Infolge der verschiedenen Höhen der Bodenvegetationsschichten befanden sich diese Windwegsummierer also wohl in ungleicher Höhe über dem Erdboden, aber alle in einer gleichen Höhe von 10 cm über den wirksamen Oberflächen der Pflanzendecken.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Bei diesen Messungen ergaben sich recht deutliche Unterschiede in den Windgeschwindigkeiten über den einzelnen Pflanzengesellschaften (siehe Tab. 3). Die Reliefabhängigkeit dieser Windgeschwindigkeiten wie auch der Pflanzenverteilung ergibt sich aus Abb. 64, die an Hand eines idealisierten Querschnittes durch die Beerrinne auch den Einfluß der Windverteilung im Relief auf andere Faktoren deutlich macht. Die höchsten Windgeschwindigkeiten in Pflanzennähe fanden sich an den flechtenbewachsenen Kuppen (Alectoria ochroleuca), wobei als Mittel über den ganzen Zeitraum 0.75 m/sec festgestellt wurden. Beiderseits der Kuppen nahm die Wind-

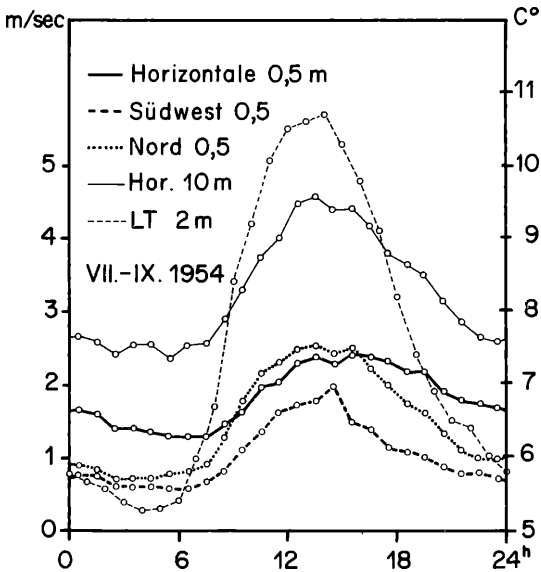


Abb. 63:
Mittlerer Tagesgang der Windgeschwindigkeiten im Bereich der Basisstation Obergurgl/Poschach - Waldgrenze (2072 m) in 10 m über dem Boden sowie in 0.5 m auf der horizontalen Fläche der Kuppe (Horizontale 0.5 m), am sonnseitigen Leehang in Südwest (Südwest 0.5) und am schattseitigen Luvhang im Norden (Nord 0.5) und Vergleich mit dem mittleren Tagesgang der Lufttemperatur in 2 m über dem Boden (LT 2 M)

geschwindigkeit ab, auf der Leeseite natürlich bedeutend rascher als auf der Luvseite. Mit abnehmender Windgeschwindigkeit schließen an die flechtenbewachsenen Kuppen die Areale der Gemsheide, der Rauschbeere und der Alpenrose an (siehe Tab. 3). In den windgeschützten Lagen der Rinne sank schließlich die Windgeschwindigkeit (in 10 cm über den Pflanzen) bis auf ein Drittel des Wertes auf den Kuppen ab.

Auch Verdunstung, Niederschlag und Bodenfeuchte zeigen im Gelände eine Intensitätsverteilung, die auf die Windgeschwindigkeitsunterschiede zurückzuführen sind. An bewindeten Stellen nehmen die Verdunstung zu, der Niederschlagsabsatz und die Bodenfeuchte dagegen ab (siehe die betreffenden Arbeiten in dieser Publika-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

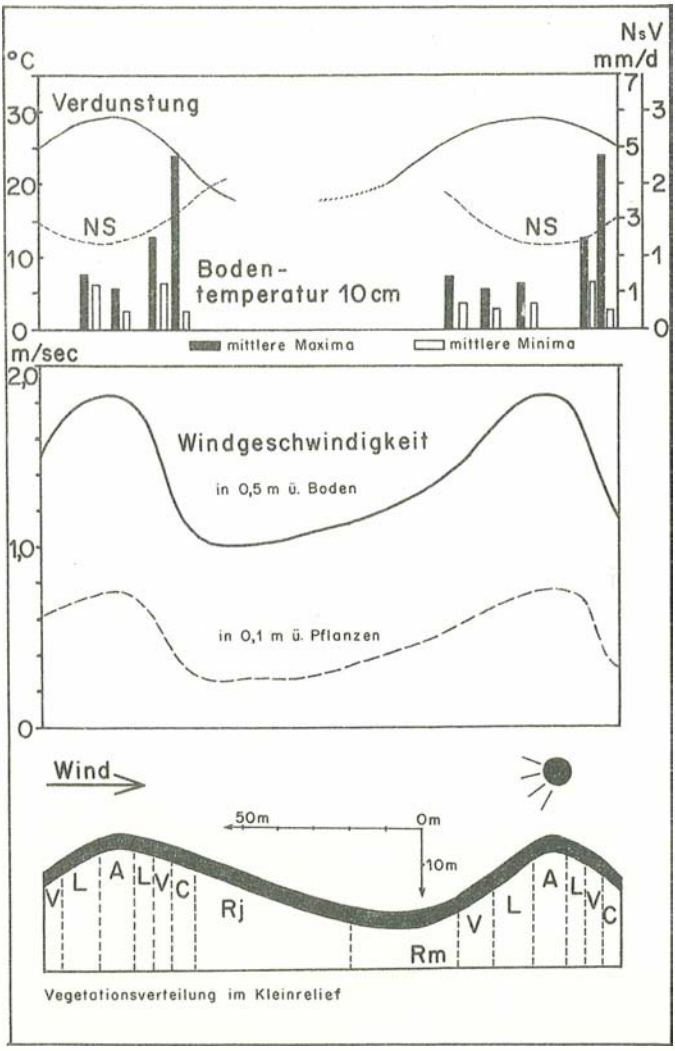


Abb. 64: Reliefbedingte Verteilung der mittleren Windgeschwindigkeiten in 0.5 m über dem Boden (VII.-IX. 1954), in 0.1 m über den Pflanzendecken (15.7. bis 20.10.1955), der mittleren täglichen Verdunstung in der Blattschicht der Vegetation (15.7. bis 20.10.1955) sowie der mittleren täglichen Niederschlagssumme (26.8. bis 13.9.1955) und der mittleren Extreme der Bodentemperatur in 10 cm Tiefe (4.9. bis 5.10.1955) entlang eines idealisierten Querschnittes durch die Beerrinne. Niederschlag (NS) in mm/Tag, Verdunstung in mm/Tag (V), Bodentemperaturen in °C, Windgeschwindigkeit in m/sec. A = Alectoria ochroleuca, L = Loiseleuria procumbens, V = Vaccinium uliginosum, Vaccinium myrtillus und Vaccinium vitis-idaea, C = Calluna vulgaris, Rj = Rhododendron ferr. m. Juniperus nana, Rm = moosreiches Rhododendretum

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

tion, Seiten 231, 265, 257).

Die Bodentemperaturverteilung in der Kampfzone ist jedoch mehr von den Einstrahlungsgegebenheiten des Standortes abhängig, da im Bereich der Kampfzone jedem Standort bereits ein höheres Maß an Ventilation zukommt als in tieferen Lagen.

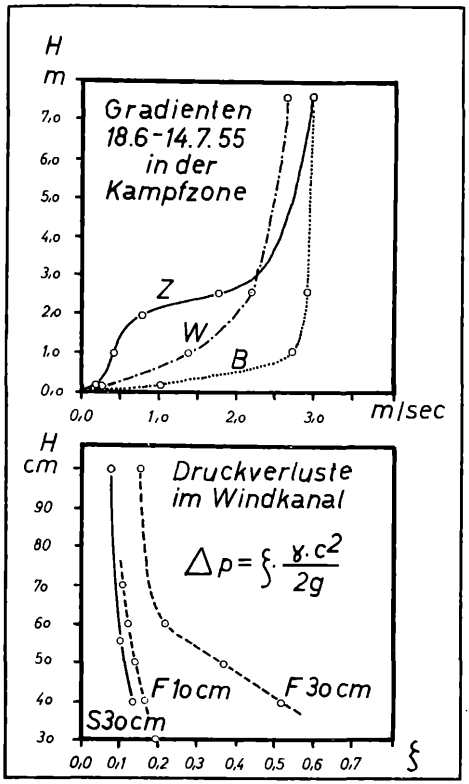


Abb. 65:

Oben: Gradienten der Windgeschwindigkeit im Bereich der Kampfzone in der Zeit vom 18.6. bis 14.7.1955. Ausgezogene Linie: im Bereich von 2 m hohen Jungzirben. Strichpunktierte Linie: knapp oberhalb der Waldgrenze. Punktierte Linie: an der Baumgrenze

Unten: Bestimmung der Widerstandszahlen ζ von 10 und 30 cm hohen Fichten (F 10 cm und F 30 cm) sowie von 30 cm hohen Schwarzkiefern (S 30 cm) im Windkanal. H = Höhe des Windkanals, γ = spez. Gewicht der Luft, c = Geschwindigkeit, g = 9,81, Δ p = Druckverlust (MAGYAR 1954)

Will man nun den Einfluß der Primärwirkungen von Mittel- und Kleinrelief auf das Windfeld zusammenfassen, so ergibt sich folgendes:

a) Die Windgeschwindigkeit nimmt an den Talhängen mit der Seehöhe zu, was eine Folge der größeren Talbreite und der höheren Geschwindigkeit der größeren, hier bewegten Luftmassen ist (Niveaueffekt).

b) Je nach der Lage eines Hanges zum Talverlauf und zu einmündenden Seitentälern zeigen gegenüberliegende Hänge in der

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

gleichen Höhenlage unterschiedliche Windgeschwindigkeiten (Reliefeffekt).

c) Das Windfeld innerhalb der Hänge ist umso unterschiedlicher, je gegliederter diese Hänge sind (Reliefeffekt). Die Unterschiede in der Windgeschwindigkeit sind am größten in Pflanzennähe und verwischen sich mit zunehmender Höhe über der wirksamen Oberfläche.

d) Die Rippen und Mulden des Kleinreliefs haben wohl unterschiedliche Windgeschwindigkeiten, jedoch keine Turbulenz der Strömung zur Folge (Reliefeffekt).

e) Die reliefbedingten Unterschiede in der Windgeschwindigkeit erzeugen Kleinklimagegensätze, indem sie als Kausalfaktor auf Verdunstung, Niederschlagsabsatz und Bodenfeuchte wirken, ferner auf die Schneebedeckungsdauer, die Dauer der Vegetationsperiode und auf die Verteilung der Pflanzengesellschaften im Relief; in geringerem Maße werden auch die Bodentemperaturen in der Kampfzone beeinflußt. Ein leicht erkennbarer Reliefeffekt der Windverteilung ist die "Schneeflekkenlandschaft".

B. Zu den Sekundärwirkungen der Baumvegetation auf das Windfeld

Wie schon die Abb. 62 zeigte, ist der Einfluß der Bewaldung auf das bodennahe Windfeld anderer Art als jener des Reliefs. Die Ursache hiefür ist darin zu sehen, daß der Baumbewuchs ein bewegliches, elastisches Windhindernis darstellt, das die stromlinienförmige Bewegung der bodennahen Luftmassen turbulent verändert.

Bei Windkanalversuchen, die als Teil der Klimahausprojektierung am Institut für Strömungslehre an der Technischen Hochschule in Wien durchgeführt wurden, zeigte sich, daß das Ausmaß der erzeugten Turbulenz ganz von der Holzart abhängt (MAGYAR 1954). In den Luftstrom des dortigen Kanals wurde ein kleinerer rechteckiger Kanal von 2 m Länge eingebaut. Während die Breite des Kanals 0.9 m betrug, wurde seine Öffnungshöhe von 0.3 bis 1.0 m benutzt (H im unteren Teil der Abb. 65). In diesem Kanal wurden nacheinander je 9 Schwarzkiefern, Lärchen und Fichten von ca. 30 cm Höhe, sowie auch 9 Fichten von 10 cm Höhe auf einer Fläche von 0.9 mal 0.9 m eingebracht und zur Berechnung der Widerstandszahlen ζ (siehe Abb. 65 unten) die statischen Drücke Δp sowie die Geschwindigkeiten (c) in Profilen vor und nach den Pflanzen gemessen. Die Windgeschwindigkeiten (c) wurden zwischen 0 und 20 m/sec verändert.

Bei zunehmender Windgeschwindigkeit verhielt sich die Schwarzkiefer (30 cm) sehr elastisch, neigte sich, schloß die Nadelbüschel und erzeugte keine Turbulenz, wie durch Messungen mit Einfadenströmungsmessern nachgewiesen werden konnte (siehe Abb. 66). Die Lärche hatte zwar nicht mehr die gleiche Elastizität, aber auch hier war die erzeugte Turbulenz gering. Die buschigen Fichten dagegen vermochten sich am wenigsten ins Windfeld zu neigen, pendelten lebhaft im Windfeld und gestatteten infolge der erzeugten Turbulenz keine Strömungsmessung (siehe Abb. 67). Dementsprechend hoch waren auch die Widerstandszahlen der Fichte (siehe Abb. 65 unten).

Leider standen für diese Windkanalversuche in Wien keine Jungzirben, unser wichtigstes Untersuchungsobjekt, zur Verfügung. Wie elastisch aber gerade jene Holzart im Jugendstadium ist, zeigt u.a. Abb. 68. Im Sturm peitschen die Äste der jungen Zirben intensiv im Windfeld und die dabei erzeugte Turbulenz führt zu einer deutlichen Bremsung des Bodenwindes (siehe Abb. 65 oben). Nur aus dieser Eigenschaft der jungen Zirben läßt sich erklären, daß sie auf windexponierten Standorten,

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

trotz ihrer flachen Verwurzelung, gehäuft vorkommen, ohne daß über mechanische Windschäden berichtet werden könnte. Alte Zirben scheinen jedoch einen Teil dieser Elastizität zu verlieren.

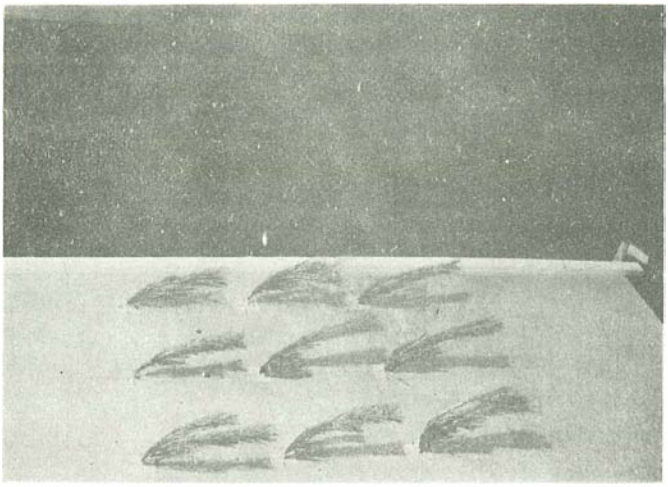


Abb. 66: Verhalten von Schwarzkiefern im Windkanal bei 20 m/sec

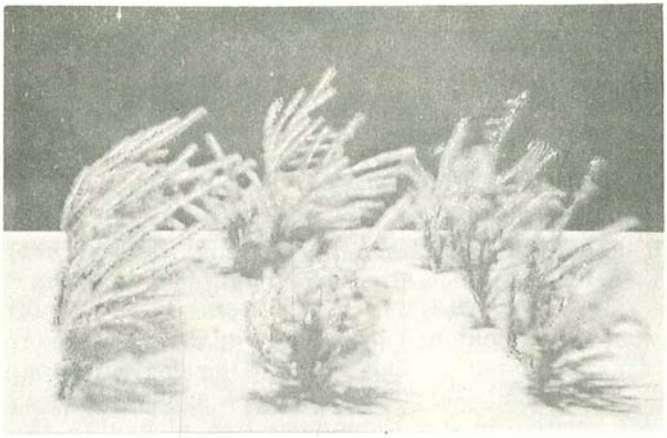


Abb. 67: Verhalten von Fichten im Windkanal bei 20 m/sec

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Die Wirkung eines derartigen Verhaltens fand sich in Gradientenmessungen in der Kampfzone bestätigt (siehe Abb. 65 oben), die eine stark bremsende Wirkung des Zirbenjungwuchses noch oberhalb der Kronbereiche zeigten und vor Augen führten, wie sehr selbst in der stark ventilierten Kampfzone die Geschwindigkeit des Bodenwindes durch einige Jungzirben beeinflußt werden kann. Es sei hier allerdings betont, daß es sich nicht um Einzelbäume handelte, sondern um gruppenweise aufgekommene Zirben von etwa 1 - 3 m Höhe, die entlang der Wegrippe an deren luvseitiger Kante aufgekommen waren (siehe Abb. 68). Außerhalb des Zirbenjung-



Abb. 68: Jungzirben im Schneesturm. Kampfzone Obergurgl-Poschach

wuchses nahm natürlich die Windgeschwindigkeit schon in geringerer Höhe über dem Boden steil zu, wobei sich allerdings der Bereich knapp ober der Waldgrenze von jenem an der Baumgrenze noch graduell unterschied (siehe Abb. 65 oben).

Die bremsende Wirkung des Jungwuchses auf den Rippen hat aber auch eine große praktische Bedeutung, weil gerade von diesen Geländeerhebungen aus eine größtmögliche Turbulenz des Windfeldes erreicht wird. Dies führt zum Beispiel im Winter auf den mit Jungwuchs bestockten Rippen zur Ablagerung großer Schneemassen, die ansonsten in der anschließenden Mulde zur Ablagerung gelangen würden, während die Rippen schneefrei bleiben. Entlang des Windprofils in der Kampfzone ließ sich eine sehr schöne Abhängigkeit zwischen Windgeschwindigkeit, Schneehöhe und Vorhandensein von Zirbenjungwuchs feststellen (siehe Abb. 69). Im Bereich des kaum 50-jährigen Jungwuchses der Kampfzone, dessen

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Höhe zwischen 1 und 3 m schwankte, wurden Jahr für Jahr nahezu die gleichen mittleren Schneehöhen gemessen wie im 10 12 m hohen und 300 Jahre alten Zirbenhochwald unterhalb der Waldgrenze! Die Ablagerung erfolgte im Bereiche der jungwuchsbestockten Kampfzone zwar lang nicht so gleichmäßig (siehe Abb. 70) wie unten im Hochwaldbereich, da hier oben das Windfeld ja nur örtlich gestört und nicht - wie im Hochwald als ganzes gehoben wird. Infolgedessen treten auch in der Kampfzone zwischen den Einzelbäumchen und Gruppen immer wieder schneefreie Düsen mit der kennzeichnenden windgefegten Vegetation auf, die ebenfalls im Hochwaldbereich fehlen.

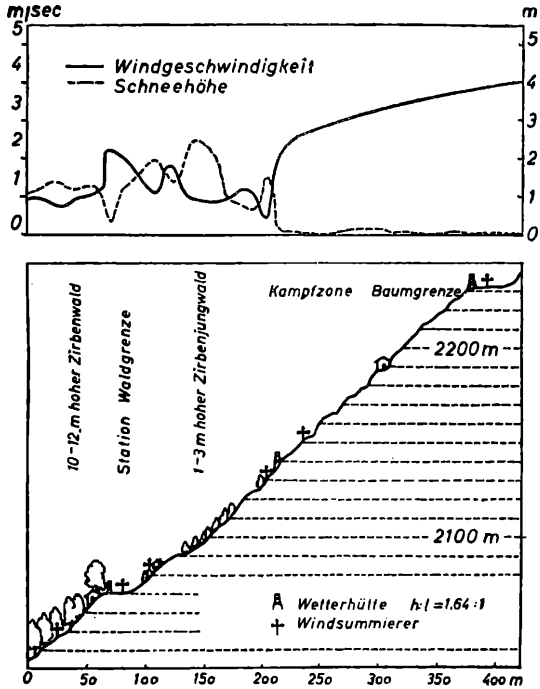


Abb. 69: Profil der Kampfzone von der Basisstation Obergurgl/Poschach-Waldgrenze (2072 m) bis zur Baumgrenze (2225 m) und Abhängigkeit der mittleren winterlichen Schneehöhe von der durch den Baumwuchs nach Art und Dichte bestimmten Windgeschwindigkeit (AULITZKY 1955 b, Wetter u. Leben, Bd. 7)

Durch diese Schneeablagerungen auf den Rippen wird auch das "Nährgebiet" der Lawinen verkleinert, wie von GAYL und HECKE (1953) festgestellt wurde. Dies wäre für den Bereich der Lawinenvorbeugung von großer Bedeutung, wenn es gelänge, Jungwuchs schneller auf solchen Rippen hochzubringen.

Um nun den Zeitraum der natürlichen Wiederbesiedlung solcher Rippen abzukürzen und die Ausfälle bei Aufforstungen in Gebieten starker Windexponiertheit auf ein Mindestmaß zu beschränken, können Zäune benutzt werden (HOPF 1958, siehe auch HOPF-BERNARD

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
Abschnitt II A dieser Publikation).

Während in der Kampfzone bei weitem die Primärwirkungen des Reliefs dominieren und nur im Bereich dichteren Jungwuchses sich Sekundäreinflüsse der Baumvegetation auf das Windfeld geltend machen können, sind im Hochwaldbereich nur mehr die Sekundärwirkungen maßgebend. Das Windfeld ist durch die Baumschicht als ganzes gehoben und führt im Kronenbereich eine bremsende Turbulenzschicht mit sich. Aus diesem Grunde ist die Ventilierung nicht nur im Stammraum, sondern auch auf Lichtungen eine weit-

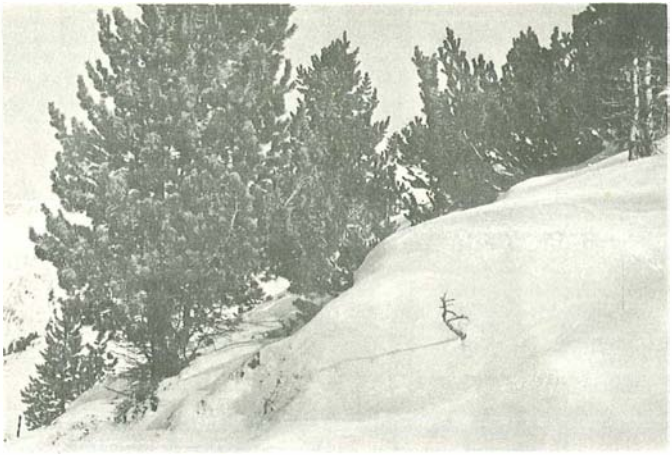


Abb. 70: Schneeablagerung im Lee von Jungzirben in der Kampfzone

aus geringere und der Faktor Wind ist hier nicht mehr von lebensentscheidendem und zonierendem Einfluß auf die Vegetation. Es fehlen sowohl die windharten Vegetationsgesellschaften, wie auch die winterliche Schneeverteilung eine viel gleichmäßigere ist (AULITZKY 1955a).

Wohl aber vermag der Wind dort das Ausmaß anderer Faktoren noch spürbar mitzubestimmen, wo schon bei geringen absoluten Windgeschwindigkeiten Intensitätsunterschiede in der Ventilation den anderen Faktor verändern. Dies gilt z.B. von Bodenoberflächentemperaturen, die gerade im Hochwaldbereich bei geringer oder fehlender Ventilation hoch anzusteigen vermögen (AULITZKY 1954 und 1960), wobei das Ausmaß der Spitzenwerte sehr stark von der Ventilation des Standortes abhängt.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Tabelle 4: Windverhältnisse im Bereich der Lichtung (3 m über dem Boden) in der Zeit vom 17.7. 11.8.1956.

Stationsbezeichnung	mittlere Windgeschwindigkeit in m/sec	Windweg in Prozent der Station Lichtungsmitte
besonnter Lee-Rand	0.44	61.2
Lichtungsmitte	0.72	100.0
beschatteter Luv-Rand	0.69	95.6
Waldgrenze	2.20	304.0

Dieser Fall liegt z.B. an den Rändern der untersuchten Lichtung vor, wo der besonnte Rand normalerweise im Lee, der beschattete Rand jedoch im Luv liegt (siehe Tab.4). Die fehlende Ventilation am besonnten Rand war wiederholt Anlaß zu hohen Spitzenwerten der Bodenoberflächentemperatur (AULITZKY 1954 und 1960; siehe auch Seite 156), die auch ihren Ausdruck im Auftreten hitzebeständiger Vegetation fand.

Da an den steilen Hängen des Hochgebirges Lichtungen, Schneisen und Blößen aller Art häufig in der Fallinie verlaufen, die wiederum senkrecht zum Talverlauf liegt, stellen solche Kulissen an Tagen geringer Luftbewegung Führungsrinnen für Hangzirkulationen dar. Die Kleinklimagegensätze an den Rändern solcher Blößen erreichen ein Höchstmaß - wie im vorliegenden Fall -, wenn Hauptwindrichtung und Sonneneinstrahlung aus entgegengesetzten Seiten einwirken.

Die Sekundäreinflüsse der Baumvegetation auf das Windfeld lassen sich also dahingehend zusammenfassen, daß

1) durch sie im Bereich des Hochwaldes und dichteren Jungwuchses eine stark ausgleichende Wirkung auf viele Klimafaktoren und -Einflüsse ausgeübt wird und die schroffen Reliefgegensätze des Hochgebirges wieder weitgehend verwischt werden. Daher ist die obere Waldgrenze im windoffenen Gebirge immer eine echte Kleinklimagrenze, zu deren beiden Seiten dem Faktor "Wind" ganz unterschiedliche Bedeutung zukommt;
2) die Ursache für die starke Bremsung des bodennahen Windfeldes in der erzeugten Turbulenz durch das bewegliche Hindernis "Baum" zu suchen ist;
3) das Ausmaß der Sekundärwirkungen von der Holzart abhängt;
4) einzeln stehende Jungwüchse das Windfeld noch nicht beeinflussen können, sondern in extremen Windlagen vielmehr eines Windschutzes bedürfen.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Literatur

AULITZKY H. 1954: Über mikroklimatische Untersuchungen an der oberen Waldgrenze zum Zwecke der Lawinenvorbeugung. Wetter und Leben 6, 93-98.

AULITZKY H. 1955 a: Über die lokalen Windverhältnisse einer zentralalpinen Hochgebirgs-Hangstation. Arch. Met. Geoph. Biokl., B. 6, 353-373

AULITZKY H. 1955 b: Die Bedeutung meteorologischer und kleinklimatischer Unterlagen für Aufforstungen im Hochgebirge. Wetter und Leben, 7, 241-252.

AULITZKY H. 1958: Waldbaulich-ökologische Fragen an der Waldgrenze. Cbl. ges. Forstwesen 75, 18-33.

AULITZKY H. 1960: Die Bodentemperaturverhältnisse einer zentralalpinen Hanglage beiderseits der subalpinen Waldgrenze. Arch. f. Met. Geoph. Biokl. B 11, im Druck.

EKHART E. 1936: Die Windverhältnisse über inneralpinen Station. Beitr. Phys. d. fr. Atm., XXIII.

EKHART E. 1938: Die Tageszeitenwinde der Alpen. Die Naturwissenschaften 26, 22-27.

FRIEDEL H. 1952: Gesetze der Niederschlagsverteilung im Hochgebirge. Wetter und Leben, 4.

FRIEDEL H. 1953: Wirkungen der Schneeverteilung im Pasterzengebiet. Carinthia II, Mitteilungen d. naturw. Ver. f. Kärnten, 142.

GAMS H. 1931: Die klimatische Begrenzung von Pflanzenarealen und die Verteilung der hygrischen Kontinentalität in den Alpen. Zeitschr. Ges. f. Erdkunde Berlin.

GAYL A. und HECKE H. 1953: Neuere Erkenntnisse der vorbeugenden Lawinenbekämpfung. Allgem. Forstzeitung, 64.

HOPF J. 1958: Über die Bedeutung, Art und Verteilung windabhängiger Bauten in der Lawinenverbauung und -vorbeugung. Allgem. Forstztg. 69, 47-52.

JELINEK A. 1938 a: Beiträge zur Mechanik der periodischen Hangwinde. Beitr. Phys. d. fr. Atm., XXIV, 60-84.

JELINEK A. 1938 b: Über den thermischen Aufbau der periodischen Hangwinde. Beitr. Phys. d. fr. Atm., XXIV.

JELINEK A. und RIEDEL A. 1938: Über die Schichtdecke der periodischen Lokalwinde Inntal. Beitr. Phys. d. fr. Atm., XXIV, 205-215.

KREUTZ W. 1953: Der Windschutz, Windschutzmethodik, Klima und Bodenertrag.

KREUTZ W. und WALTER W. 1956: Der Strömungsverlauf sowie die Erosionsvorgänge an künstlichen Windschirmen nach Untersuchungen im Windkanal. Ber. d. Deutschen Wetterdienstes Nr. 24, 4.

MAGYAR F. 1954: Bericht über die Versuche zur Ermittlung der ungefähren Widerstandszahlen. Institut f. Strömungslehre d. Techn. Hochschule Wien, unveröff.

MOLL E. 1935: Aerologische Untersuchungen periodischer Gebirgswinde in V-förmigen Alpentälern. Beitr. z. Phys. d. fr. Atm., XXII, 176-199.

STEINHAUSER F. 1956: Karte der Windverteilung in Österreich 1 : 500.000.

WAGNER A. 1938: Theorie und Beobachtung der periodischen Gebirgswinde. Gerlands Beitr. z. Geophys., 52, 408-449.

YOSHINO M. 1957: The Structure of Surface Wind Crossing over a Small Valley. Journ. of the Met. Soc. of Japan, Serie II, 35, 184-195.

YOSHINO M. 1958: Wind Speed Profiles of the Lowest Air Layer under Influences of Micro-topography. Journ. of the Met. Soc. of Japan, Serie II, 36, 174-186.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

6. Die Verdunstungsverhältnisse einiger subalpiner Standorte

von E. Prutzer

Inhalt

	Seite
Einleitung	233
I. Aufgabenstellung	233
II. Untersuchungsgebiet und Meßstellen	234
III. Meßinstrumente und Meßmethodik	237
IV. Meßergebnisse	238
A. Verdunstung und Gelände	238
1. Die Verdunstung im Relief. .	238
2. Die Verdunstung in der Vegetation	242
B. Verdunstung und Klima	246
1. Die Verdunstung in Abhängigkeit von der Windstärke	246
2. Die Verdunstung in Abhängigkeit vom Bodenabstand	248
Zusammenfassung	253
Literaturverzeichnis	255

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Einleitung

Die Verdunstung spielt im Wasserhaushalt der Pflanzen eine entscheidende Rolle. Sie ist ein Komplexfaktor, der durch mehrere Elementarfaktoren beeinflußt wird. Für unsere ökologische Aufgabe kommt es zuerst darauf an, die Verteilung der Verdunstung im Gelände zu verfolgen. Das Zusammenwirken der Einzelfaktoren innerhalb des Komplexfaktors ist erst in zweiter Linie bedeutungsvoll. Kennzeichnen wir Standorte durch ihre Verdunstungsgröße, so kann dies auf zwei Wegen erfolgen: durch Messung der tatsächlichen oder der möglichen Verdunstung. Die tatsächliche Verdunstung einer vegetationsbedeckten Bodenfläche läßt sich nur durch besondere Meßeinrichtungen wie etwa Großlysimeteranlagen (BARTELS 1933) oder Kleinlysimeter (SCHUBACH 1952) direkt erfassen oder aus genauen Transpirationsanalysen errechnen (PISEK und CARTELLIERI 1941). Lysimeter sind in der alpinen Stufe zu unhandlich und an flachgründigen sowie steilen Standorten sogar unbrauchbar. Zur Standortskennzeichnung ist jedoch die mögliche Verdunstung gemessen an Vergleichskörpern besser geeignet, weil sie die Beanspruchung der Pflanzen hinsichtlich ihres Wasserhaushaltes charakterisiert.

Die Pflanze muß das Wassergleichgewicht oberhalb des Welkungspunktes aufrecht erhalten. Dieser liegt jedoch bei der homoiohydren Pflanze bei so hoher Wassersättigung, daß ihre Verdunstungsbeanspruchung durch einen wassergesättigten Körper gut wiedergegeben werden kann. Die Verdunstungsgröße eines solchen zu messen ist mit Hilfe der üblichen, auf dem Prinzip der Wassersättigung basierenden Verdunstungsmeßgeräte verhältnismäßig einfach (HUBER 1956).

WALTER (1928) hat in diesem Sinne Verdunstungsmessungen im Gebiete der biologischen Versuchsstation Lunz (Niederösterreich) durchgeführt und namentlich auf die großen Verdunstungsunterschiede zwischen sonnigen und schattigen Standorten hingewiesen. BURGER (1937), EGGLER (1942), HEINRICH (1950), BOSS (1952, 1953), LEISTNER (1952) und AULITZKY (1953) brachten Verdunstungswerte von Messungen über verschieden gestalteten Oberflächen unter mannigfachen klimatischen Begebenheiten. Im Rahmen von Standortsuntersuchungen über große Geländebereiche sind Verdunstungsmessungen von PALLMANN und HAFTER (1933), MICHAELIS (1934), LÜDI (1948) und FABIJANOWSKI (1950) gemacht worden und zeitigten für die mikroklimatische Standortskennzeichnung wertvolle Ergebnisse.

Trotz aller Mängel, die den Atmometern anhaften, erscheint ihr Einsatz im Gelände gerechtfertigt. Denn letzten Endes kommt es dem Ökologen weniger auf unbedingt exakte Messungen an, als vielmehr auf eine ziemlich große Zahl von Annäherungswerten, deren relative Vergleichbarkeit untereinander sichergestellt ist.

I. Aufgabenstellung

Auf stark gegliederten Hängen ist durch klimatische Einflüsse, namentlich durch Wind sowie Schnee und Regen, vielfach eine gesetzmäßig angeordnete Vegetation zu beobachten.

Infolge der Größe des Untersuchungsgebietes wählten wir zunächst eine beschränkte Anzahl von Meßstandorten aus, die uns erst einen allgemeinen Überblick über die Verdunstungsverhältnisse und Folgerungen für Maßnahmen bei künftigen flächenintensiven Messungen geben sollten. Im Jahre 1955, zwischen dem 31. Juli und 13. September (44 Tage), wurden daher die Atmometer an den Grenzen von Pflanzengesellschaften aufgestellt (innerhalb eines Streifens von etwa einem halben Meter Breite), wo die Dominante einer Gesellschaft eindeutig an eine andere abgegeben wird. Die Messungen des Jahres 1954, vom 22. Juli bis 19. September (60 Tage), sollten uns Aufschluß über die Verdunstung in ihrer Abhängigkeit von der Höhe über dem Boden und der Windauslage geben. Vor

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

allem ging es darum, eine geeignete Standardhöhe für die Verdunstungskörper in Bezug auf die Vegetation zu ermitteln. Zu bemerken wäre, daß die tatsächliche Meßdauer an den verschiedenen Standorten mit den oben angeführten Zeiträumen nicht immer identisch war.

II. Untersuchungsgebiet und Meßstellen

Wie aus der Karte des Stationsgebietes (siehe Abb. 71) zu ersehen ist, waren die Meßstellen auf zwei Geländebereiche verteilt: auf die Hangverebnung, an deren talseitigem Geländeknick die Grenze des geschlossenen Waldes verläuft (Meßstandorte Nr. I - VIII), und auf den Hang darüber, der Zone zwischen Wald- und Baumgrenze (Meßstandorte Nr. 1 20).

Die Meßstellen in der Kampfzone waren in drei Profilen angeordnet. Die unterste Profilreihe (Profil A, Standorte Nr. 1 - 7) ordnete sich hiebei in gesunden, ziemlich dichten Jung- und Kleinzirbenbestand auf 2085 ±7 m ein, das mittlere Profil (Profil B, Standorte Nr. 8 14) kennzeichnete die obere Grenze dieses Bestandes in einer Höhe zwischen 2132 und 2143 m, und die oberste Reihe der Meßstandorte (Profil C, Standorte Nr. 15 20) lag an der Baumgrenze. Dieses Profil war zwischen 2178 2194 m Höhe angelegt.

Die Tabelle 1 vermittelt einen Überblick über die Kleinrelief- und Vegetationsverhältnisse der einzelnen Meßstandorte. Neben den allgemein gebräuchlichen Bezeichnungen der Himmelsrichtungen für die Standortsauslage wird noch der Buchstabe H zur Kennzeichnung horizontaler Flächen verwendet. Die Klassifizierung der Vegetation erfolgte nach Dominanten unter Berücksichtigung der Begleitpflanzen in einer kombinierten Skala von Deckung und Häufigkeit. Die Meßstandorte waren für gewöhnlich 1 m^2 groß.

(Unter "Kleinzirben" sind hier rund 20-50-jährige Individuen mit Stammhöhen von knapp 1 bis 3 1/2 m zu verstehen).

Tabelle 1:

Die Lage der Meßstandorte im Gelände und ihre Vegetation.

Meßstandort Nr. und Lage (vergl. Abb. 71)		Exposition/ Neigung °	Vegetation
I	Hangverebnung, Rinnensohle	H	Nardus stricta 3, Polytrichum sexangulare 2, Barflecken
II	Hangverebnung	H	Juniperus nana 5
III	Rippenabfall	W/31	Rhododendron ferr. 5, Vaccinium myrt. +
IV	Rippenscheitel	NW/30	Windblaike, Stereocaulon 2, Vaccinium vit. id +, Barflecken
V	Rippenabfall	W/32	Vaccinium ulig. 3, V. myrt. 2, Juniperus nana 1, Cladonia rangif. 1, Vacc. vit. id. +, Pinus cembra
VI	Hügelabfall auf Hangverebnung	N/29	Loiseleuria procumbens 3, Empetrum hermaphrod. 2, Vacc. ulig. 1, Cladonia rangif. 1, Cetraria isl. +
VII	Rand der Hangverebnung	H	Rhododendron ferr. 5, Vacc. myrt. +
VIII	Hangverebnung, Mitte	H	Windblaike, Stereocaulon 2, Nardus stricta 1, Juniperus nana +, Pinus cembra r, Barflecken
1	Rippenscheitel	WNW/28	Loiseleuria procumbens 2, Vaccinium ulig. 2, V. vit. id. 1, Arctostaphylos uva ursi 1, Cladonia silvatica 1, Cetraria nivalis 1
2	Rinneneinhang	W/35	Vaccinium ulig. 3, Rhododendron ferr. 2, Empetrum hermaphr. 1, Cetraria isl. 1
3	Rinne	NW/28	Vaccinium ulig. 1, V. myrt. 1, Rhododendron ferr. 1, Empetrum hermaphr. 1, Polytrichum sexang. 1, Barflecken

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Meßstandort Nr. und Lage	(vergl. Abb. 71)	Exposition/ Neigung °	Vegetation
4	Rinneneinhang	N/33	Rhododendron ferr. 2, Vaccinium ulig. 2, Pleurozium Schreb. 2, Empetrum hermaphr. 1, Cladonia rangif. + et silv. +
5	Rinneneinhang	N/33	Loiseleuria procumbens 3, Vaccinium ulig. 2, Cladonia rangif. + C. silv. +, Cetraria isl. +
6	Rippe	W/25	Vaccinium myrt. 2, Rhododendron ferr. 2, Juniperus nana 2, Empetrum hermaphr. 1
7	Flache Rinne	NW/28	Rhododendron ferr. 2, Vaccinium myrt. 2, V. ulig. 1, Empetrum hermaphr. 1, Pleurozium Schr. 1, Juniperus nana +
8	Rippe	NW/31	Vaccinium ulig. 3, Rhododendron ferr. 2, Loiseleuria proc. 1, Cladonia rangif. 1, C. silv. 1, Cetraria islandica +, Empetrum hermaphroditum +
9	Rippe	WNW/30	Vaccinium ulig. 2, V. myrt. 2, Rhododendron ferr. 2, Cladonia rangif. 1, C. silv. 1, Empetrum herm. +, Loiseleuria proc. +
10	Rinneneinhang	N/28	Rhododendron ferr. 3, Vaccinium myrt. 2, Pleurozium Schr. 2, Empetrum herm. +
11	Rinneneinhang	N/34	Rhododendron ferr. 3, Pleurozium Schr. 2, Vaccinium ulig. 2, Cladonia silvat. +, C. rangiferina +
12	Rippenabfall	SW/40	Juniperus nana 5, Vaccinium myrt. 1
13	Rinneneinhang	N/30	Alectoria ochroleuca 3, Loiseleuria proc. 2, Vaccinium ulig. 2, Empetrum hermaphr. 1, Cladonia silv. +, Cetraria islandica +
14	Rippenabfall (Scheitelnähe)	NW/36	Vaccinium ulig. 2, Loiseleuria proc. 2, Cladonia silv. 2, Empetrum herm. 1
15	Rippenscheitel	WNW/26	Alectoria ochrol. 3, Loiseleuria proc. 2, Vaccinium ulig. 2, Empetrum herm. 1
16	Rippe	WNW/31	Loiseleuria proc. 2, Vaccinium ulig. 2, Cladonia rangif. 1, C. silv. 1, Cetraria nivalis 1, Pinus cembra +
17	Rippenabfall (Scheitelnähe)	WSW/31	Vaccinium ulig. 3, V. myrt. 2, Rhododendron ferr. 2, Empetrum herm. 1
18	Rinneneinhang	N/31	Vaccinium ulig. 2, V. myrt. 2, Rhododendron ferr. 2, Cladonia silv. 1, C. rangif. 1, Cetraria isl. 1, Loiseleuria proc. +, Empetrum herm. +, Pleurozium Schreberi +
19	Flache Rinne	W/39	Rhododendron ferr. 3, Vaccinium ulig. 1, V. myrt. 2, Juniperus nana 2, Empetrum herm. +, Cetraria island. +
20	Flache Rinne	WNW/37	Vaccinium ulig. 2, V. myrt. 2, Rhododendron ferr. 2, Empetrum herm. 1, Cladonia rangif. 1, C. silv. +, Loiseleuria proc. +, Cetraria island. 1

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

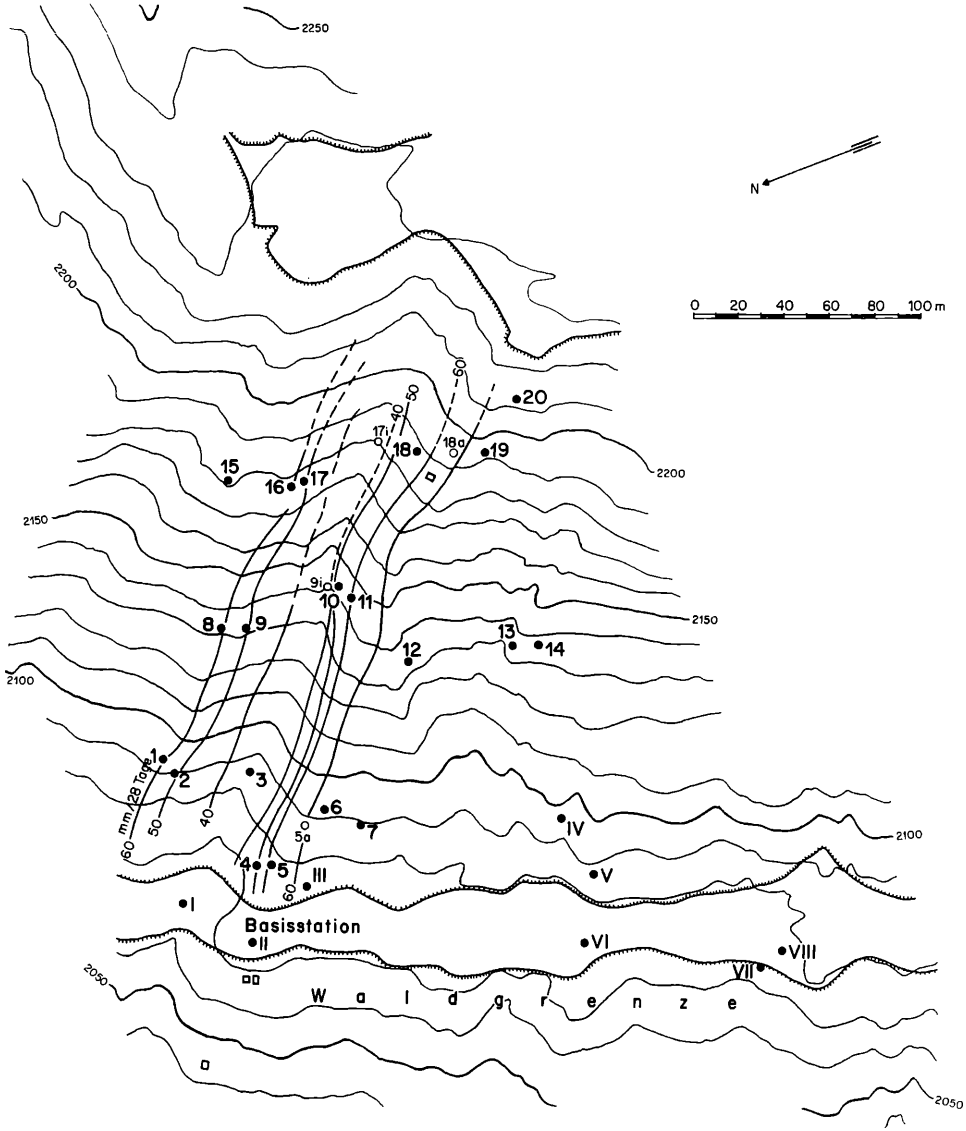


Abb. 71: Versuchsgelände der Verdunstungsmessungen in Obergurgl-Poschach

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

III. Meßinstrumente und Meßmethodik

Von den gebräuchlichen Verdunstungsmeßgeräten ist das PICHE-Atmometer mit seiner Verdunstungsscheibe (siehe Abb. 72) und der damit verbundenen Annäherung an das pflanzliche Blatt gerade für Standortsmessungen recht geeignet (HUBER 1956, WALTER H. 1950). Im ersten Meßjahr wurden die Atmometer in drei Abständen über der Bodenoberfläche angebracht: in 3 - 5 cm zur Messung des Verdunstungsvermögens der Luftschichten im unmittelbaren Bodenoberflächenbereich, in der obersten Blattschichte der betreffenden Standortsvegetation schwankend zwischen 15 und 50 cm und schließlich in 100 cm über dem Boden. Die Erfahrung aus diesem Meß-

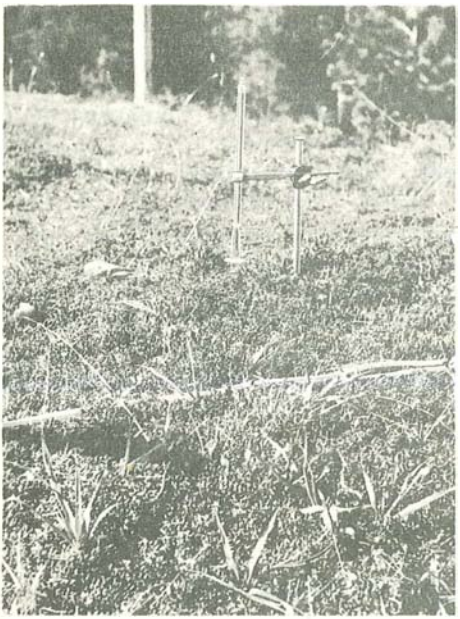


Abb. 72: Verdunstungsmeßstelle mit Piche-Atmometer mit Verdunstungsscheibe. Station Obergurgl-Poschach



Abb. 73: Kleinregenmesser; oben Netz, unten Auffangbehälter. Station Obergurgl-Poschach

jahr ließ es zweckdienlich erscheinen, im darauffolgenden Jahr die Meßkörper nur in die oberste Blattschichte zu versetzen: Je nach Höhe der Vegetationsdekke wurden die Verdunstungsscheiben der Atmometer zwischen 3 und 50 cm über der Bodenoberfläche angebracht.

Im Meßjahr 1954 verwendeten wir Verdunstungsscheiben aus weißem Fließpapier (3 cm Durchmesser), 1955 einheitlich grüne Scheiben mit ebenso 3 cm Durchmesser, wie sie WALTER empfiehlt. Die Kontrolle der Meßgeräte und ihre Ablesungen erfolgten täglich zumindest einmal, bei welcher Gelegenheit die Meßzylinder der Atmometer neu mit Wasser versorgt wurden.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Die zu Vergleichszwecken angestellten Wind- und Niederschlagsmessungen wurden teils mit elektrisch registrierenden Schalenkreuzanemometern, teils mit mechanischen Windwegsummierern (Firma W. Lambrecht/Göttingen) sowie neu konstruierten Kleinregenmessern durchgeführt. Die Windmesser standen in der Regel in 15 50 cm über dem Boden, die Regenmesser waren mit ihrer Auffangfläche in die Hangneigung gebracht und in die Bodenoberfläche verlegt worden (siehe Abb.73). Die Auffangfläche bedeckt ein Netz, welches die Zerstäuberwirkung der Bodenoberfläche ersetzt und eine Wirbelbildung verhindert.

IV. Meßergebnisse

A. Verdunstung und Gelände

1. Die Verdunstung im Relief

Das Beobachtungsgelände zwischen Wald- und Baumgrenze ist durch Rippen und Rinnen scharf gegliedert (siehe Abb. 12). Die Meßstellen 1, 8, 15, 16, 5a und 18a nehmen wind- und strahlungsexponierte Standorte auf Rippen ein. Die Standorte 2, 9, 17 kennzeichnen den zur Rinnensohle abfallenden Lee-Sonnenhang, 4, 5, 10, 11, 18 den Luv-Schattenhang. Die Meßstellen 6, 12, 19 sowie 7, 20 liegen im allgemeinen windgeschützt hinter einer Rippe, 13 und 14 stehen unter extremer Windeinwirkung. Die Standorte 3, 9i, 17i befinden sich in der Tiefenlinie der großen Rinne. Auf Abb. 74 sind schematisierte Profile durch die Geländebereiche der drei Meßreihen zu sehen, in denen die einzelnen Meßpunkte in den relativen Höhen zueinander dargestellt sind. Die Säulen geben die Verdunstung in mm eines 28-tägigen Meßzeitraumes (vom 11. August bis 7. September 1955) an, die auch für die Eintragung der Linien gleicher Verdunstung auf Abb. 71 herangezogen wurden. Die Rinne, wir nennen sie Beerrinne, ist asymmetrisch profiliert. Die nach Norden schauende, windzugekehrte Seite fällt relativ steil ab, die gegenüberliegende Seite ist sanfter geböscht.

Betrachten wir die Verdunstungsgrößen in den Meßreihen, so läßt sich in allen Profilen feststellen, daß die Verdunstung auf den Rippen am größten, in der Rinne am kleinsten ist. (Siehe Abb. 74). Die Rinneneinhänge liegen mit ihren Verdunstungsgrößen dazwischen.

Faßt man in allen drei Meßreihen die Verdunstung der einander im Relief entsprechenden Standorte zu jeweils einem Mittelwert zusammen, so ergeben sich Werte, wie sie aus der Tabelle 2 ersichtlich sind.

Auf den Rippen ist die Verdunstung somit fast doppelt so groß als in der Rinne.

Der Verdunstungsunterschied auf den beiden Einhängen ist wesentlich geringer. Der gegen Südwesten exponierte Einhang, der windabgekehrt liegt, zeigt einen kleineren Verdunstungswert als der gegenüberliegende Schatten- bzw. Luvhang. Am Luvhang vermag bis zu rund 20 % mehr zu verdunsten als am Leehang, ja im Ex-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

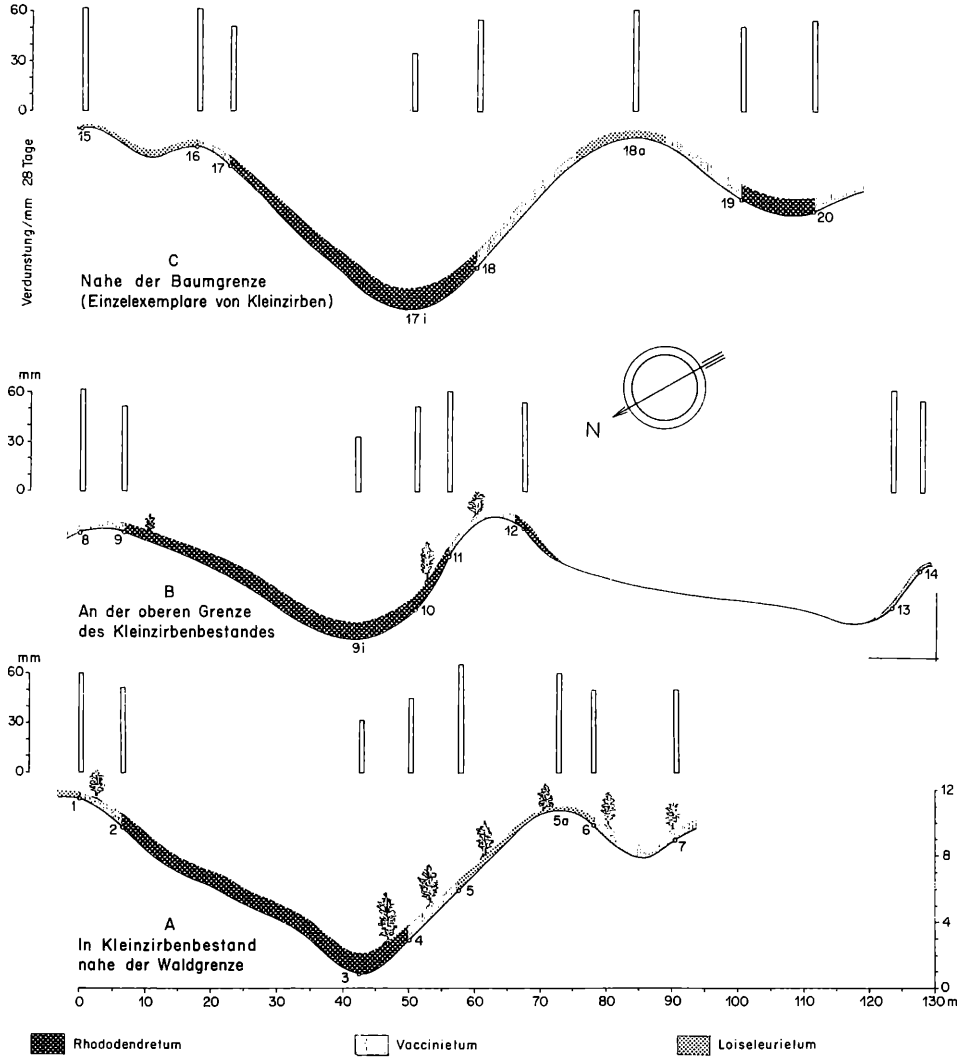


Abb. 74: Schematisierte Profile durch den Geländebereich zwischen Wald- und Baumgrenze

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

tremfall sogar noch um etwas mehr als auf den Rippen.

Tabelle 2: Die Verdunstung im Profil der Beerrinne

	Rippe	Sonnen-Leehang	Rinne	Schatt-Luvhang	Rippe
Meßzeitraum 28 Tage (11. Aug. -7. Sept. 1955)					
Gemittelte Summenwerte mm	61.7	51.7	33.5	61.8	61.2
Mittl. Tagesverdunstung	2.2	1.85	1.2	2.21	2.18
%	100.0	83.8	54.3	100.2	99.2
Strahlungstag (3. Sept. 1955)					
Gemittelte Summenwerte mm der Tagesverdunstung	4.83	3.98	2.55	4.56	4.73
%	100.0	82.7	52.8	94.4	97.9
Schlechtwetterlage (5.-12. Sept. 1955)					
Gemittelte Summenwerte mm	5.33	4.82	3.74	4.79	5.37
Mittl. Tagesverdunstung	0.79	0.72	0.55	0.71	0.8
%	100.0	90.5	70.1	89.8	100.8

Die Wirkung des Windes auf die Verdunstung wird noch dadurch unterstrichen, daß die Verdunstungsverteilung auf Luv- und Leehang sogar an Strahlungstagen proportional dem Mittelwert des 28-tägigen Zeitraumes bleibt, welcher seinerseits bereits einer gemischten Wetterstrecke entspricht. Die absoluten Werte sind an Strahlungstagen natürlich größer.

Bei Schlechtwetter unterscheiden sich Rinne und Rippe nur mehr um 30 % ihrer Verdunstungswerte, die Absolutzahlen sind klein, die Verdunstung ist ausgeglichener. Auffallend ist, daß nun am Sonnenhang mehr verdunstet als am Schattenhang: Dies hat seinen Grund darin, daß während der Schlechtwetterperiode (5. 12. IX.) Südwinde vorherrschend waren (siehe Tab. 3), so daß in dieser Zeit die beiden Einhänge ihre Windauslage vertauscht bekamen. Der Sonnenhang wurde gleichzeitig Luvhang, die Schattenseite wurde Leeseite.

Auf das gesamte Beobachtungsgelände bezogen (siehe Tab. 2) verhalten sich die absoluten Verdunstungswerte im Tagesmittel der schiedenen Witterungsperioden wie folgt:

Schlechtwetter	28-tägigem Meßzeitraum	Strahlungstagen
1	2.7 :	5.9.

Zwei gleiche, jedoch verschieden exponierte Vegetationszonen können an ihren Grenzen oft recht unterschiedliche Verdunstungssummen aufweisen (siehe Tab. 4a). Zwischen dem Standort 1 und 2, welche das Vaccinietum am Sonnenhang einschließen (vergl. Abb. 74) ist beim 28-tägigen Meßzeitraum ein Verdunstungs-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

unterschied von 8.7 mm, zwischen den Standorten 4 und 5, welche das Vaccinietum am Schattenhang einschließen, ein solcher von 20.8 mm! Die beiden Differenzen verhalten sich wie 1 2.4. Bei Schönwetter wird dieses Verhältnis größer (1 3.4), bei Schlechtwetter kleiner (1 1.6).

In noch viel krasserem Ausmaß tritt diese Tatsache beim Vergleich einer großen, tiefen mit einer kleinen, flachen Rinnenzone hervor (siehe Tab. 4b). In beiden Fällen wird das Rhododendretum eingegrenzt. Die Unterschiede zwischen den Grenzwerten schwanken von 1 3 (Schlechtwetter) bis 1 21 (Schönwetter).

Tabelle 3: Klimatische Daten der Basisstation (Waldgrenze) für die Witterungsperioden des Meßzeitraumes 1955

Witterungsperiode	Einzeltage	Basiswind 10 m über Boden Windstärke m/sec/Mittel f. je 8 Std./Tag	Windrichtung	Sonnenscheindauer St./Min.	
16. (18^{00})-	16.		/. ENE		Schönwetterlagen
19. (9^{50})	17.	3.8	.S / .N / .NE	ganztägig	
August	18.	4.0	.ENE/. NNE/. NE	insges. 20/50	
	19.		.S		
20. (16^{40})-	20.		/ D		
24. (10^{40})	21.	2.2	SSE/. ESE/ .NE	ganztägig	
August	22.	2.5	.SE/ .E / D	insges. 28/10	
	23.	2.7	.SE/. NNE/ NE		
	24.		.SE		
2. (9^{45})-	2.	2.5	/ .N /. E	ganztägig	
4. (10^{25})	3.	2.0	.SSE/ N / NE	insges. 17/00	
September	4.		.S		
12. (16^{55})-	12.		/. SE		
13. (18^{30})	13.	2.9	.SE / .N/	insges. 0/50	Schlechtwetterlagen
August					
25. (11^{20})-	25.	1.9	/. NE/. SW		
27. (13^{40})	26.	2.0	.S /. WSW/. S	insges. 6/10	
August	27.	2.0	.SSW/. ESE/		
5. (15^{45})-	5.		/. NE		
12. (9^{50})	6.	2.2	.SSW/. NNW/ NE		
September	7.	2.4	.SSW/. ESE/. SSE	insges. 5/40	
	8.	3.0	.SSE/. SSW/. SSE		
	9.	2.0	.S / . ESE/. S		
	10.	2.0	.SSW/. N /. ENE		
	11.	1.3	.NE /. N /. SSE		
	12.		SSE /		

Anmerkung: Windrichtung D drehend nach allen Richtungen
drehend um die genannte Richtung

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

	a) Die Verdunstung in verschieden exponierten Zonen der Beerrinne	b) Die Verdunstung im Rinnenbereich einer großen, tiefen und einer kleinen, flachen Rinne	
		Große, tiefe Rinne Standort	Kleine, flache Rinne Standort
		2 4	7
Meßzeitraum 28 Tage (11. Aug. -7. Sept. 1955)			
Summenwerte/mm			
Differenz/mm			
Verhältnis			
Mittlere Verdunstungssumme beider Zonen mit ± Streuung um den Mittelwert mm			
Schönwetterlage (16. -19., 20. -24. Aug., 2. -4. Sept. 1955)			
Summenwerte/mm			
Differenz/mm			
Verhältnis			
Mittlere Verdunstungssumme beider Zonen mit ± Streuung um den Mittelwert mm	24.85±0.87		
Schlechtwetterlage (12. -13., 25. -27. Aug., 5. -12. Sept. 1955)			
Summenwerte/mm			
Differenz/mm			
Verhältnis			
Mittlere Verdunstungssumme beider Zonen mit ± Streuung um den Mittelwert mm			

2. Die Verdunstung in der Vegetation

Mitteln wir die Verdunstungssummen an den Grenzen einer bestimmten Vegetationszone, so ergibt sich zunächst ein Verdunstungswert für die jeweilige Zone selbst. Die Werte gleicher Zonen zu einer gemeinsamen Summe gemittelt, bestimmen die einzelne Vegetationseinheit.

Obwohl die Verdunstungswerte an den Grenzlinien der Vegetationszonen ganz unterschiedliche Größen aufweisen (Tab. 4a, b), werden nun die Vegetationseinheiten durch übereinstimmende Mittelwerte markant gekennzeichnet (siehe Tab. 5), gleichgültig wie sie im Relief liegen.

Das bedeutet, daß die Verdunstung zwar nicht entscheidend ist für die Ausbildung dieser Grenzen (denn sonst müßten ja die

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Grenzwerte übereinstimmen), jedoch daß die reliefabhängige Verdunstungsverteilung mit der Verteilung der für die Ausbildung der Vegetationszonen entscheidenden Schneebedeckungsdauer räumlich kombiniert ist, also vom selben Elementarfaktor (nämlich vom Wind) abhängt.

Die mittlere Verdunstung nimmt vom Loiseleurietum über das Vaccinietum zum Rhododendretum deutlich ab. Diese Abnahme ist in beiden Meßprofilen (A, C) und bei jeder Wetterlage festzustellen (siehe Tab. 5 und 6).

Tabelle 5: Meßwerte der Verdunstung in den verschiedenen Pflanzengesellschaften für die Zeit vom 11. August - 7. September 1955 (28 Tage). Alectorietum A, Loiseleurietum L, Vaccinietum V, Rhododendretum R. Verdunstungssummen mm/28 Tage

C											A										
Baumgrenze											Jungzirbenbestand										Profil
20	19	18a	18	17	16	15	7	6	5a	5	4	2	1								Meßstandort Nr.
R/V	V/R	L/V	R/V	V/R	L/V	A/L	R/V	V/R	L/V	V/L	R/V	V/R	L/V								Vegetationsgrenzen
55.9	52.1	61.8	56.2	51.2	61.8	62.5	50.4	49.8	60.5	66.1	45.3	51.8	60.5								Meßwerte der Verdunstung/mm
R	V	L/V	R	V	L		R	V	L	V	R	V									Vegetationszonen
54.0	56.95		53.7	56.15	62.15		50.1	55.15	63.3	55.7	48.55	56.15									Verdunstungswerte der Vegetationszonen/mm
87	92		86	91	100		79	87	100	88	77	89									% Verhältnis
			R	V	L				R	V	L										Vegetationseinheiten
				56.55±0.4	62.15				49.35±0.8	55.65±0.5	63.3										Mittlere Verdunstungssummen der Vegetationseinheiten mit ± Streuung um den Mittelwert/mm
				91	100				78	88	100										% Verhältnis
				53.85±0.15																	

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Tabelle 6: Die gemittelte Summe der Tagesverdunstung in den drei Pflanzengesellschaften Loiseleurietum = L, Vaccinietum V und Rhododendretum R während a) Schön- und b) Schlechtwetterlagen, ermittelt aus 8.38 und 9.84 Tagen der verschiedenen Witterungsperioden (siehe Tab.3). Verdunstung in mm/Tag

Profile		a mm	a %	b mm	b %	b		A %	C %
A. Jungzirben	L	3.3	100	1.1	100	100	33		
	V	3.0 ± 0.15	91	0.95 ± 0.09	86	100	32		
	R	2.75 ± 0.16	83	0.8 ± 0.05	73	100	29	L 100	112
	Mittel	3.0 Diff.	17	0.95	27	100	31	V 100	114
C. Baumgrenze	L	3.7	100	1.05	100	100	29	R 100	119
	V	3.4 ± 0.06	92	0.95 ± 0.04	90	100	27		
	R	3.25 ± 0.13	88	0.85 ± 0.04	81	100	26	100	115
	Mittel	3.45 Diff.	12	0.95	19	100	27		

Bei Schlechtwetterlagen ist die Verdunstung nur mehr ein Drittel (Jungwuchsprofil) bis Viertel (Baumgrenzprofil) jener bei Strahlungstagen. An Strahlungstagen vermag in den Vegetationseinheiten an der Baumgrenze um 15 % im Mittel mehr zu verdunsten als in jenen im Jungwuchs. An trüb-regnerischen Tagen ist die Verdunstung in beiden Profilen nahezu ausgeglichen. In der Summe des 28-tägigen Zeitraumes verhält sich die Verdunstung zwischen A-B- und C-Profilen nurmehr wie 100 104 107 % (siehe Tab.7). Die Zunahme der Verdunstung in gleichen Pflanzengesellschaften mit der Seehöhe ist also sehr gering.

Tabelle 7: Die Verdunstung in den drei Meßprofilen zwischen der Wald- und Baumgrenze, ermittelt aus dem 28-tägigen Meßzeitraum (11. Aug. 7. September 1955)

Profile:	Mittl. Höhe ü.d.M.	Gemittelte Summenwerte mm/28 Tage	%
C. Baumgrenze	2188 m	53.5	107
B. Obere Grenze des Jung- und Kleinzirbenbestandes	2137 m	52.0	104
A. Jung- und Kleinzirbenbestand	2088 m	50.1	100

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Dies überrascht, weil der Wind, der, wie wir gesehen haben, für die Verdunstungsunterschiede auf Rinnen und Rippen so entscheidend war, oberhalb des geschlossenen Jungwuchses stark zunimmt (vergl. Seite 211). Es dürfte sich also diese Zunahme des Windes mit der Seehöhe auf die Verdunstung nicht mehr stark bemerkbar machen. Es darf allerdings nicht übersehen werden, daß

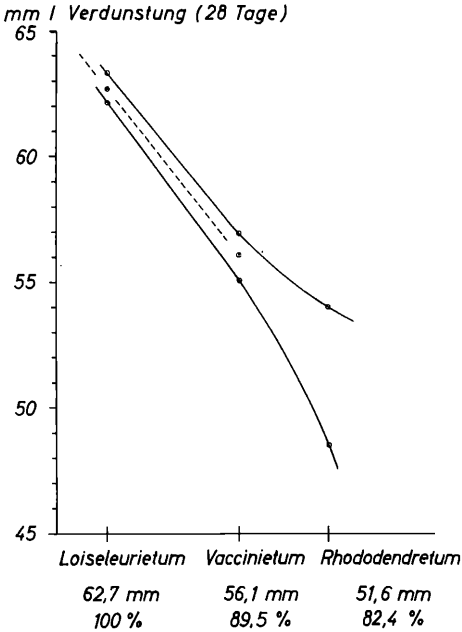


Abb. 75: Mittlere Verdunstungssummen von 28 Tagen (11. Aug. bis 7. Sept. 1955) für den Kampfzonenbereich und ihre Streuung um den Mittelwert

die Verdunstungsmessung in der Blattschichte erfolgte und dort der Wind stark gebremst wird. Wie später noch gezeigt werden kann, ist der Grad der Windbremsung in der Blattschichte spezifisch für die einzelnen Vegetationseinheiten. Daher sind die Unterschiede zwischen den Verdunstungswerten verschiedener Vegetationseinheiten im gleichen Hangprofil größer als die Unterschiede zwischen den Verdunstungswerten gleicher Vegetationseinheiten in den verschieden hoch gelegenen Hangprofilen.

Die relativen Unterschiede der mittleren Verdunstungswerte in den 3 Vegetationseinheiten (L, V, R) sind bei Schlechtwetter größer (siehe Tab. 6, %-Differenz 27 und 19) als bei Schönwetter (%-Differenz 17 und 12), an der Baumgrenze bei jeder Wetterlage jedoch kleiner als an der Waldgrenze.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Das bessere Durchgreifen des Windes bis zum Boden an der jungwuchslosen Baumgrenze wirkt also ausgleichend auf die Unterschiede der Verdunstung in der Blattschicht der einzelnen Vegetationszonen.

Bilden wir für die 3 Vegetationseinheiten je ein Mittel aller Verdunstungswerte der 3 Profile und betrachten wir die jeder Pflanzengesellschaft zugeordnete Streuung um den Mittelwert an ihren Grenzen zur Nachbarvegetation (siehe Abb. 75), so vermerken wir beim Rhododendretum die größte Streuungsbreite. Mit weitem Abstand folgt hierauf das Vaccinietum, dem sich mit geringer Spanne das Loiseleurietum anschließt. Die Streuung verhält sich im

Loiseleurietum	Vaccinietum	Rhododendretum
wie 1	1.7	5.9.

B. Verdunstung und Klima

1. Die Verdunstung in Abhängigkeit von der Windstärke

Wie bedeutend der Wind für die standörtliche Verdunstung auf einem stark gegliederten Hang sein kann, haben wir aus der Gegenüberstellung von Rippe und Rinne sowie Luv und Lee ersehen. Die Verdunstung folgt daher auch einem Windrichtungswechsel: Während einer Schlechtwetterperiode mit vorherrschenden Südwinden (siehe Seite 240) war gegenüber dem Schattenhang eine Verdunstungszunahme am Sonnenhang der Rinne festzustellen, der im Mittel eines längeren Beobachtungszeitraumes durchschnittlich im Lee liegt.

Die Beziehung zwischen Verdunstung und Wind ist in Abb. 76 graphisch festgehalten. Auf der Ordinate ist die Tagesverdunstung in mm, gemittelt aus den 28-tägigen Meßwerten (11. Aug. 7. Sept. 1955), für das Rhododendretum, Vaccinietum und Loiseleurietum der Kampfzone aufgetragen, auf der Abszisse die für die einzelnen Vegetationseinheiten im Meßzeitraum entsprechenden Windstärkenwerte (gemessen in Vegetationshöhe). Wir sehen aus dem Kurvenverlauf die proportionale Zunahme der Verdunstung bei größerer Windstärke. Die Verdunstungssteigerung ist hiebei bei geringeren Windstärken relativ größer (vergl. LEICK, 1939, S. 1675).

Über die Verteilung von Verdunstung, Niederschlag und Wind im Relief gibt uns die Abb. 77 Aufschluß. Die Werte der Windstärke wurden aus einem 98-tägigen Meßzeitraum (15. Juli - 20. Oktober 1955) gemittelt, die Verdunstungswerte für diese Periode nach der Relationskurve Wind - Verdunstung (siehe Abb. 76) extrapoliert. Für den Niederschlag wurden gemittelte Tageswerte eines 34-tägigen Meßzeitraumes (11. August - 13. September 1955) zur Darstellung herangezogen. Die Gegenüberstellung bezieht sich auf das Ge-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
biet der Kampfzone, wo auf der Abbildung in einem schematisierten Profil durch die Beerrinne die Vegetationszonierung und die in der Regel vorherrschende Windrichtung und Sonneneinstrahlung wiedergegeben ist.

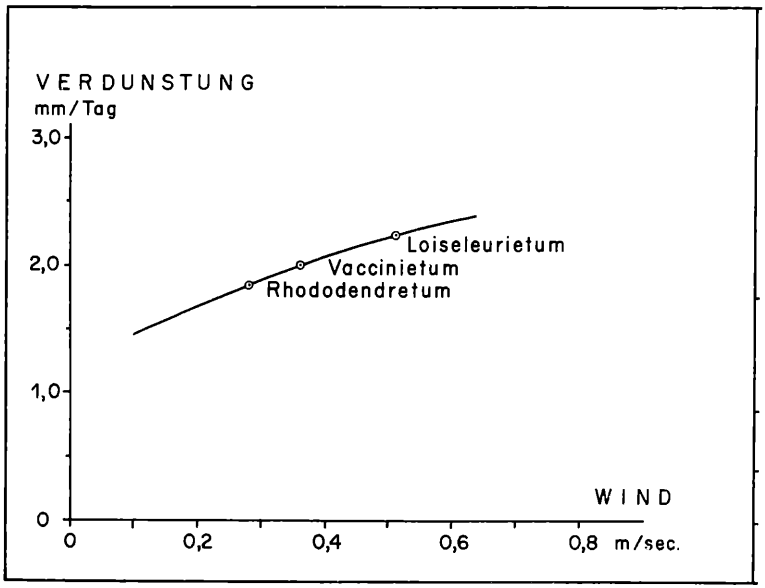


Abb. 76: Beziehung zwischen Verdunstung und Wind

Alle drei Faktoren: Wind, Verdunstung und Niederschlag halten sich mit der Verteilung ihrer Größen streng an das Relief. Auf den Rippen vermerken wir die höchsten Wind- und Verdunstungswerte, in der Rinne die tiefsten. Das Windminimum ist von der Tiefenlinie der Rinne etwas gegen Lee hin verschoben. Die Niederschlagsverteilung ist folgerichtig gerade umgekehrt: Die Minimumwerte finden sich auf den Rippen, das Maximum in der Rinne. Auf den beiden Rinneneinhängen ist der abgesetzte Niederschlag nahezu gleich, weil in dem kurzen Untersuchungszeitraum sowohl Wetterlagen mit Nord- als auch solche mit vorherrschender Süd-Windrichtung vorkamen. Die Verdunstung ist, wie schon erwähnt, am Luvhang in der Regel größer als am Leehang.

Die aufgefundenen Gesetzmäßigkeiten, vermehrt um die Bodenfeuchtemessungen im Querprofil (vergl. Seite 257) gestatten eine erste Beurteilung des sommerlichen Wasserhaushaltes der Vegetationszonen:

Am schlechtesten sind die Rippen gestellt. Sie stehen unter der

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

verdunstungsfördernden Wirkung des Windes, der nicht nur den sommerlichen flüssigen Niederschlag wegführt, sondern vor allem im Winter den Schnee wegfegt, der daher für den Wasserhaushalt gleichfalls weitgehend verloren geht. Am Luv(=Schatten)-hang ist ebenso die Verdunstung größer, der Niederschlag jedoch nahezu gleich wie am Leehang. Dies stimmt gut überein mit den Bodenfeuchtemessungen, welche ergaben, daß auf der Luvseite weniger Wasser im Boden vorhanden war als auf der Leeseite. Wenn trotzdem die Zirbe sich auf der Luvseite besser verjüngt als auf der Leeseite, so dürfte diese Verteilung nicht ursächlich mit dem Wasserhaushalt während der Vegetationsperiode zusammenhängen.

Betrachten wir die Niederschläge an der Baumgrenze (siehe Tabelle 8), so ergeben sich auf der Rippe (Standort 16) sowie im Lee (17) kleinere, im Luv (Standorte 18 und 20) größere, im Mittel aller Meßstellen gleiche Niederschläge wie an den Vergleichsstandorten an der Waldgrenze. Berücksichtigt man noch die äußerst geringfügige Verdunstungssteigerung zwischen Wald- und Baumgrenze, so kann gesagt werden, daß dort, wo der Boden mit natürlicher Vegetation bedeckt ist, im Sommer keine wesentlichen Unterschiede im Wasserhaushalt zwischen Wald- und Baumgrenze zu erwarten sind.

Tabelle 8: Die Niederschlagsverteilung (mm) im 28-tägigen Meßzeitraum (11. August - 7. September 1955) im Bereich der Beerrinne.

Profil	Rippe L/V	Lee V/R	Luv R/V	Luv, R/V Kl. Rinne	Mittel
A	49.3	58.7	35.0	42.4	46.3
B	42.5	38.7	51.6	54.6	46.8

2. Die Verdunstung in ihrer Abhängigkeit vom Bodenabstand

Im Bereich der Hangverebnung an der Waldgrenze wurden acht charakteristische Vegetationsstandorte ausgewählt, welche uns über die Verdunstungsabhängigkeit vom Bodenabstand unter Berücksichtigung der Windauslage Aufschluß geben sollten (siehe Abb. 71).

Neben den zonierten Pflanzengesellschaften wurden auch solche in die Messungen mit einbezogen, die den zonierten entweder beigeordnet oder durch Selektion entstanden sind. Hier wäre das juniperusreiche Rhododendretum zu nennen, welches wärmere Standorte in West- oder Südwestlage kennzeichnet, aber oft auch infolge Weidebetrieb größere Flächen einnimmt. Letzteres ist auch beim Nardetum der Fall. Bei den als Windblaiken bezeichneten Meßstellen handelt es sich um extrem windausgesetzte Standorte,

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

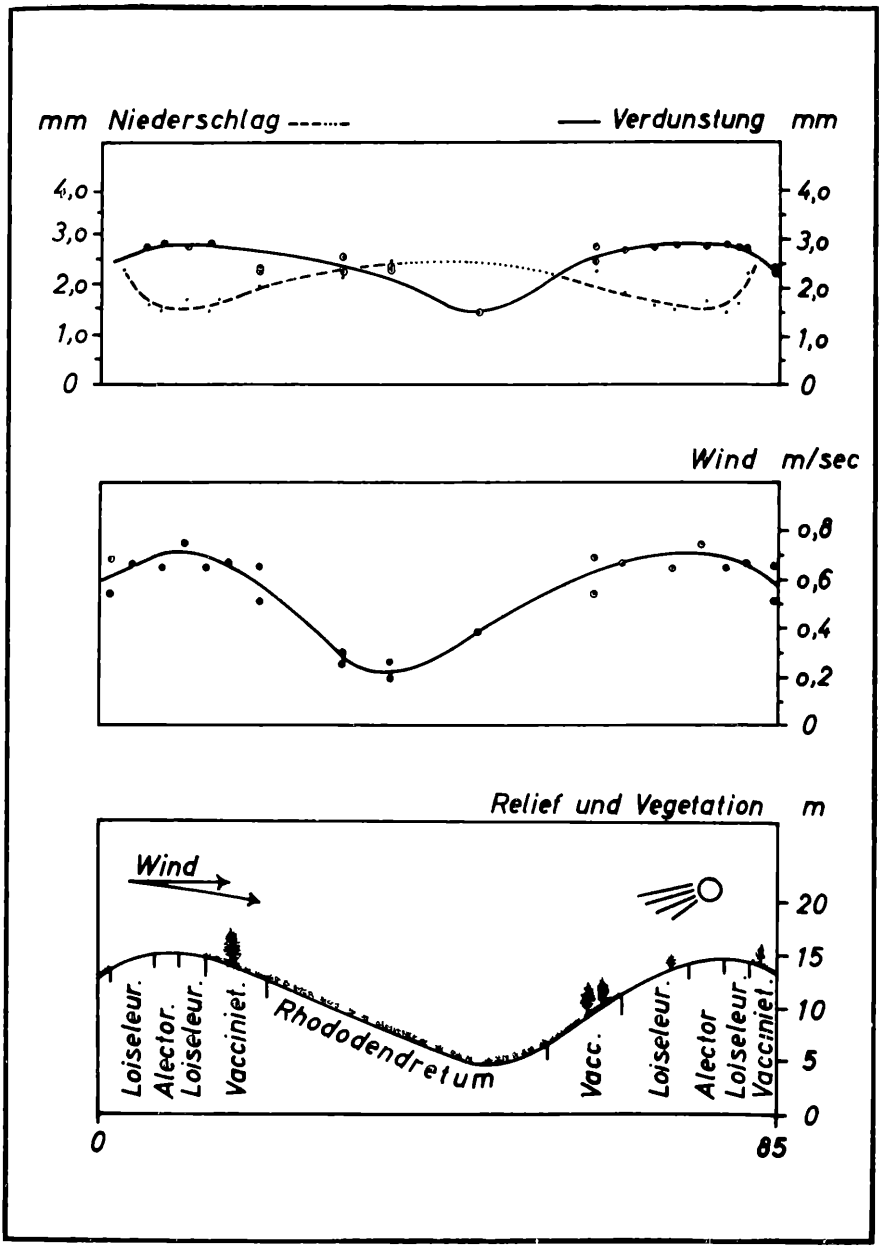


Abb. 77: Verdunstung, Niederschlag und Wind im Relief

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

wo die ursprüngliche Vegetation z.T. erodiert wurde.

Aus Abb.78 ersehen wir die mittlere Tagesverdunstung in der Boden-, Blattschichte und in 100 cm Höhe über dem Boden verschiedener Standorte während Strahlungstagen, innerhalb eines witterungsmäßig gemischten 21-tägigen Meßzeitraumes und bei Schlechtwetter (siehe Tab.9). Die Standorte sind in der Abbildung nach steigenden Verdunstungssummen in der Blattschichte gereiht. Sie geht von Lee über horizontales Gelände zu Luv.

Tabelle 9: Klimatische Daten der Basisstation (Waldgrenze) in Tagessummen- oder Tagesmittelwerten für den 21. 23. August und 31. August 2. September 1954

Einzeltage	21.	22.	23.	31.	1.	2.
Sonnenscheindauer St./Min.	2/24	0	5/12	8/54	8/54	8/24
Windstärke 10 m H. m/sec.	3.8	3.6	2.4	2.5	2.6	2.2
Windrichtung 10 m H. je 8 St.	SE/SE/S	S/NW/NE	SSW/N/NE	S/N/NE	E/E/E	E/NW/SE

Eindeutig können wir auch hier wieder die Verdunstungszunahme von Rhododendretum über das Vaccinietum und Loiseleurietum zur Windblaike feststellen. Im Mittel der 3 Meßhöhenwerte erhalten wir für die Standorte folgende Tagessummen der Verdunstung (gemittelt aus 21 Tagen):

Rhododendretum	W	1.4 mm
Rhododendretum	H	1.7 mm
Rhod. junip. reich	H	1.85 mm
Vaccinietum	W	1.9 mm
Loiseleurietum	N	(2.0) mm
Nardetum	H	2.1 mm
Windblaike	H	2.7 mm

In allen Vegetationsgesellschaften und bei allen Wetterlagen nimmt die Verdunstung von der Boden- über die Blattschichte bis in 1 m Höhe zu. Die Absolutwerte sowie der Gradient sind an Schönwettertagen am größten, bei Schlechtwetter am geringsten.

Bilden wir aus den Verdunstungssummen einer 3-wöchigen Messung (13. August - 2. September 1954) einen mittleren Gradienten für alle Standorte, so ergeben sich für die Boden-, Blatt- und 100 cm-Schicht Tagesmittelwerte von 1.05, 1.85 und 3.0 mm. Zwischen Bodenoberfläche und 100 cm darüber beträgt somit der mittlere Gradient 1.95 mm. Hievon entfallen auf die Feldschicht 0.8 mm (Differenz 1.05/1.85) und auf die Schicht bis 1 m 1.15 mm (Differenz 1.85/3.0). Da die Feldschicht den Raum im Mittel zwischen 3.5 und 29 cm über dem Boden einnimmt, erhält man für diesen Viertel Meter eine Verdunstung von 0.03 mm je Höhenzentimeter, für die anschließenden 71 cm 0.015 mm je Höhenzentimeter. Das

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

heißt, die Verdunstung nimmt im Mittel aller Standorte in der Feldschicht mit doppelter Intensität zu als darüber bis 1 m.

Der Bereich, in dem sich die Verdunstung aller Standorte in der Bodenschicht bewegt, liegt zwischen 0.5 mm/Tag (Rhododendretum West Abb. 79) und 2.8 mm/Tag (Windblaike H), in 1 m über dem Bo-

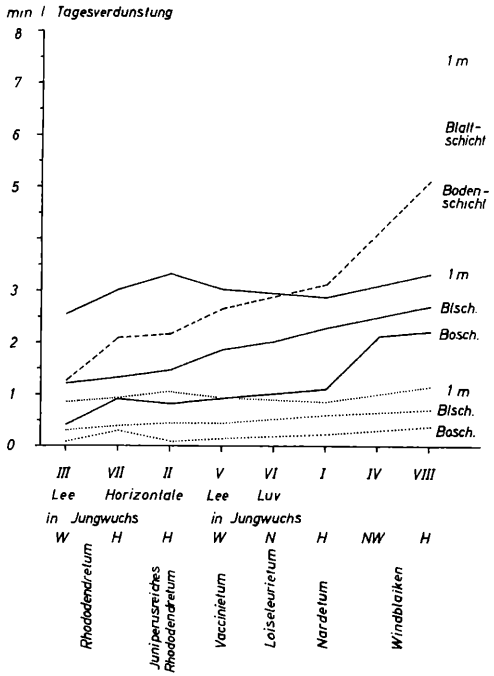
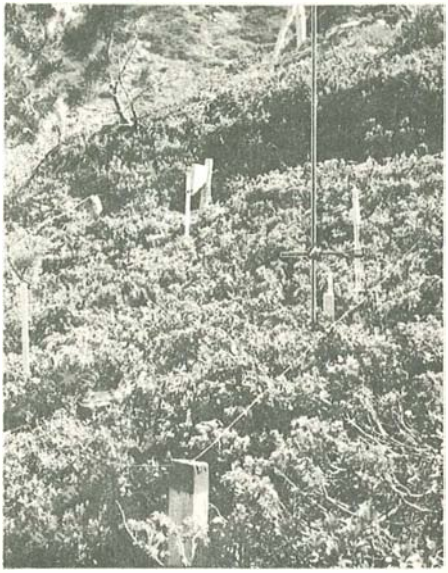


Abb. 78:
Mittlere Tagesverdunstung auf verschiedenen Standorten an Strahlungstagen (31. Aug.-2. Sept. 1954, strichliert), während einer dreiwöchigen Beobachtungsreihe (vom 13. Aug. bis 2. Sept. 1954, ausgezogen) und bei Schlechtwetter (21. - 23. Aug. 1954, punktiert). Drei verschiedene Bodenabstände

den zwischen 3.3 mm/Tag und 4.2 mm/Tag bei denselben Standorten (gemittelt aus 21 Tagen). In der Bodenschichte ergibt sich demnach zwischen den mittleren Tagessummen der Verdunstung beider Extremstandorte ein Unterschied von 2.3 mm, in 1 m Höhe ein solcher von 0.9 mm. Der Bereich, in den sich die Verdunstungswerte einfügen, ist also in der Bodenschicht 2 1/2-mal so groß wie in 1 m Höhe über dem Boden. Wenn wir einen ähnlichen Vergleich im Geländeniveau unternehmen und die Bereiche bestimmen, in denen sich die Verdunstungswerte im Profil A und im Profil C bewegen, so erhalten wir für das Profil A (Vergleich von Standort 3 und 5) einen Unterschied von 1.2 mm/Tag, für C (Standort 17 und 15) 0.95 mm/Tag. Wir sehen, daß die Verdunstungswerte auf 100 m

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at





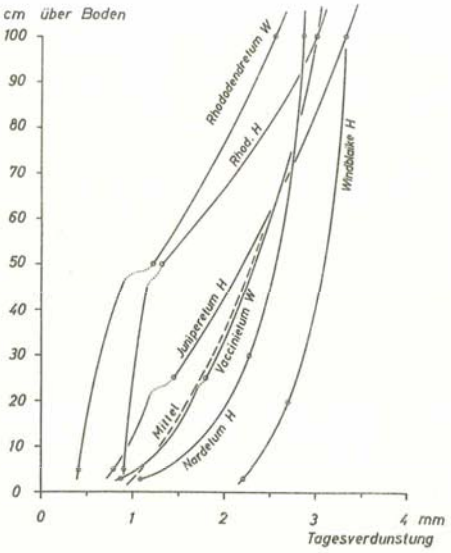


Abb. 79: Links oben:
Verdunstungsmeßstelle Rhododendretum West (Station Obergurgl-Poschach)

Abb. 80: Links unten:
Die Abhängigkeit der Verdunstung vom Bodenabstand (schematisierter Verdunstungsgradient) auf verschiedenen Standorten (Mittelwerte vom 13. August bis 2. September)

Abb. 81: Oben:
Verdunstungsmeßstelle Vaccinietum (Station Obergurgl-Poschach)

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
Höhenunterschied (zwischen A und C) im Gelände um genau die Hälfte weniger streuen als auf 1 m über der Bodenoberfläche.

Auf den einzelnen Standorten ergeben sich sehr verschiedene Höhengradienten (siehe Abb.80). Diese kann man deutlich in zwei Gruppen teilen, je nachdem die Verdunstung in der Feldschicht oder darüber bis 1 m relativ rascher zunimmt. So heben sich die beiden Rhododendreten-Standorte mit ihrem kleinen Verdunstungsgradienten bis zur Blattschichte von allen übrigen ab. Das andere Extrem zeigen die Windblaike und das Nardetum, deren Gradient über der Blattschicht ausgeprägt klein ist.

(Der Meßpunkt "Blattschicht" wurde über dem Nardetum in 30 cm und über der Windblaike in 20 cm Höhe über dem Boden angenommen).

Die Verdunstung im Vaccinietum und junip. reichen Rhodod. liegt mit leichter Tendenz zum Gradienttypus der Blaike dazwischen. Die Verdunstung im junip. reichen Rhodod. nimmt gegenüber jener aller anderen Standorte nach oben hin am gleichmäßigsten zu.

Unter dichter Vegetation ist die Verdunstung erwartungsgemäß wesentlich geringer als in Bodennähe auf einer fast vegetationslosen Stelle (Windblaike). Ist die Vegetation relativ hoch (Rhododendretum) und bildet sich oben eine mehr oder weniger geschlossene Blattschichte, in die der Wind und die Strahlung nur schlecht eindringen können (siehe Abb. 79), so bleibt die Verdunstung auch in dieser Schicht noch äußerst gering, der Anstieg von der Bodenoberfläche bis zu dieser Blattschichte ist kaum ausgebildet. Hier werden aufkommende Jungpflanzen lange Zeit nur schwach transpirieren. Ist die Vegetation niedrig und nach oben zu locker beblättert (Vaccinietum und Nardetum, Abb. 81), so nimmt schon in der Blattschichte die Verdunstung stark zu. Jungpflanzen werden also bald in eine Zone höheren Verdunstungsanreizes hineinwachsen. Auf Blaikenstandorten sind die Jungpflanzen sofort oder doch sehr bald den gleichen Verdunstungsbedingungen ausgesetzt wie später in 1 m Höhe. In dieser Höhe werden die Unterschiede, die in der Blattschichte noch ausgeprägt waren, bedeutend geringer. Dies besagt, daß die Verdunstungsunterschiede nicht nur durch das Relief, sondern auch durch die lokale Windschwächung in der Blattschichte, also durch deren vegetationsspezifische Ausbildung, hervorgerufen werden. Daher konnte auch keine besondere deutliche Zunahme der Verdunstung mit der Seehöhe gefunden werden. Die starke Windzunahme in der Kampfzone wirkt sich in der Blattschichte der Vegetation nur mehr in stark geschwächter Form aus.

Zusammenfassung

Die Verdunstung ist im wesentlichen vom Wind und von der Einstrahlung abhängig. Sie nimmt mit der Windstärke zu und zwar bei geringeren Windstärken relativ rascher als bei höheren Windgeschwindigkeiten.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Verdunstung, Wind und Niederschlag sind streng nach dem Relief verteilt: Am stark profilierten Beobachtungshang zwischen Wald- und Baumgrenze finden wir daher auf windausgesetzten Rippen doppelt so große Verdunstungswerte als in den Rinnen. Auf windzugekehrten Schattenhängen ergeben sich bis zu 20 % größere Verdunstungswerte als auf Lee-Sonnenhängen. Da sich die Niederschlagsverteilung umgekehrt verhält, sind die Rippen und die Luvhänge am schlechtesten, die Leehänge und die Rinnen am besten mit Wasser versorgt. Die natürliche Jungwuchsverteilung im Relief (siehe Abschnitt I F 1) dürfte demnach nicht vom sommerlichen Wasserhaushalt bestimmt werden.

Die für eine bestimmte Pflanzengesellschaft spezifischen Verdunstungswerte erhält man durch Messungen in der Blattschichte.

Innerhalb der ökologischen Vegetationszonen steigt die Verdunstung vom Rhododendretum über das Vaccinietum und Loiseleurietum zum Alectorietum eindeutig an.

Die Verdunstungswerte an den Grenzen der Vegetationszonen weichen stark von den Mittelwerten, die in diesen Vegetationszonen selber gelten, ab: Die Verdunstung ist also nicht entscheidend für den Umschlag einer Dominante zur benachbarten Dominante und damit auch nicht für die genauere Lage einer dieser Soziationen im Gelände. Dafür wird ja der Faktor Schneedeckenandauer herangezogen. Wohl aber finden wir trotzdem innerhalb einer Vegetationszone (Vegetationseinheit) die mittleren Verdunstungssummen in einer für sie höchst kennzeichnenden Größe.

Die auffallend gleichen mittleren Verdunstungswerte der Vegetationszonen an allen untersuchten Stellen deuten darauf hin, daß zwischen der räumlichen Verteilung der Verdunstung und der Schneebedeckungsdauer ein gesetzmäßiger Zusammenhang besteht: Für beide spielt der Wind die ausschlaggebende Rolle. Die Mittelwerte sind auch deshalb gleich, weil die vegetationsspezifische Ausbildung der Blattschichte auf die Verdunstung maßgebenden Einfluß hat.

Die Streuung der Verdunstungswerte an den Grenzen einer bestimmten Vegetationszone wird vom Rhododendretum gegen das Alectorietum kleiner, u.a. weil die Standorte, die sie im Gelände einnehmen, immer einheitlicher werden.

Mit zunehmender Entfernung von der Waldgrenze werden die absoluten Verdunstungswerte etwas größer. Die Verdunstungsunterschiede innerhalb der Vegetationseinheiten nehmen mit der Höhe ab. Da auch die Niederschläge im untersuchten Höhenprofil Wald- und Baumgrenze praktisch identisch sind, ist auch der sommerliche Wasserhaushalt an der Auflösung des Waldes nicht ursächlich beteiligt.

Der Verdunstungsgradient ist bei den einzelnen Pflanzengesellschaften verschieden. Im Rhododendretum ist er in der Feldschicht klein, in allen anderen Gesellschaften vor allem über nur spär-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

lich bewachsenen Standorten ist der Gradient schon bald über der Bodenoberfläche relativ groß.

Die größeren Unterschiede zwischen den Verdunstungswerten in den einzelnen Gesellschaften erhalten wir unter den Blättern nahe dem Boden; in 1 m Höhe über dieser Vegetation sind die Unterschiede nahezu ausgeglichen.

Der Jungwuchs unserer Holzpflanzen ist also verschiedenen Verdunstungsbedingungen ausgesetzt, je nachdem er sich noch innerhalb der Begleitvegetation befindet oder bereits über diese mehr oder weniger weit hinausragt.

Literatur

AULITZKY H. 1953: Forstmeteorologische Untersuchungen an der Wald- und Baumgrenze in den Zentralalpen (Archiv f. Met., Geophys. u. Bioklimat., Serie B, Bd. IV, 3., S. 294-310).

BARTELS J. 1933: Verdunstung, Bodenfeuchtigkeit und Sickerwasser unter natürlichen Verhältnissen (Zs. f. Forst-und Jagdwesen, 65, S. 204-219).

BOSS G. 1952: Die Brauchbarkeit des PICHE-Evaporimeters bei Verdunstungsmessungen (Ber. d. Dtsch. Wetterdienstes i. d. US-Zone Nr. 35, 194).

BOSS G. 1953: Verdunstungs- und Taumessungen in Afrika (Ber. d. Dtsch. Wetterdienstes Nr. 5, Bad Kissingen).

BURGER H. 1937: Boden, Vegetation und Verdunstung (Gerl. Beitr. z. Geophys. Bd. 50, H. 2/3, S. 137-142).

EGGLER J. 1942: Kleinklimatische Untersuchungen in den Flaumeichenbeständen bei Graz (Bioklimat. Beibl. Bd. 9, H. 3, S. 94-110).

FABIJANOWSKI J. 1950: Untersuchungen über die Zusammenhänge zwischen Exposition, Relief, Mikroklima und Vegetation in der Fallätsche (Beitr. z. Geobot. Landesaufnahme der Schweiz, H. 29, Bern).

FRIEDEL H. 1952: Gesetze der Niederschlagsverteilung im Hochgebirge (Wetter und Leben, Jg. 4, H. 5-7).

HEINRICH F. 1950: Zur Wirkung einer Bodendecke auf den Verdunstungsvorgang (Fw. Z. Bl. 69. Jg., S. 369-373).

HUBER B. 1956: Die Evaporation (Handbuch der Pflanzenphysiologie, hsg. v. W. Ruhland, Bd. III, Heidelberg).

LEICK E. 1939: Bestimmung der Transpiration und Evaporation mit Rücksicht auf die Bedürfnisse der Ökologie (Abderhaldens Handbuch d. biologischen Arbeitsmethoden, XI, T. 4, II. Hälfte, Berlin, S. 1573-1766).

LEISTNER W. 1952: Ergebnisse vergleichender Verdunstungsbeobachtungen (Ber. d. Dtsch. Wetterdienstes i. d. US-Zone, Nr. 35, Bad Kissingen, S. 202-210).

LÜDI W. 1948: Die Pflanzengesellschaften der Schinigeplatte bei Interlaken und ihre Beziehungen zur Umwelt (Veröff. d. Geobot. Inst. Rübel, Zürich, 23. H. Bern).

MICHAELIS P. 1934: Ökologische Studien an der alpinen Waldgrenze, II. (Beihefte z. Bot. Zentr. bl. Bd. III, Abt. B, Prag).

PALLMANN H. und HAFTER P. 1933: Pflanzensoziologische und bodenkundliche Untersuchungen im Oberengadin (Ber. d. Schweiz. Bot. Ges. Bd 42/2, S. 357-466).

PISEK A. und CARTELLIERI E. 1941: Der Wasserverbrauch einiger Pflanzenvereine (Jahrb. wiss. Bot., 90, S. 257-291).

SCHUBACH K. 1952: Wasserhaushaltsuntersuchungen an verschiedenen Bodenarten unter besonderer Berücksichtigung der Verdunstung (Ber. d. Dtsch. Wetterdienstes i. d. US-Zone, Nr. 40, Bad Kissingen).

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

WALTER H. 1928: Verdunstungsmessungen auf kleinstem Raume in verschiedenen Pflanzengesellschaften (Jber. f. wiss. Bot. Bd. 68, S. 233-288).

WALTER H. 1950: Einführung in die Phytologie. Bd. I, Grundlagen des Pflanzenlebens. Ludwigsburg, 3. Aufl.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

7. Bodenfeuchtemessungen

von I. Neuwinger-Raschendorfer

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Bodenfeuchtemessungen im Stationsgebiet Obergurgl

Die Bodenfeuchte beeinflußt über den Wärmehaushalt der Pflanze auch deren CO_2-Aufnahme, daher auch ihre Stoffproduktion.

Zum vollen Verständnis der Assimilationskurven ist es also notwendig, Kenntnis zu haben von der Menge nutzbaren Bodenwassers, die einer Pflanzenart unter bestimmten ökologischen Bedingungen zur Verfügung steht.

Das Problem "Bodenwasser" ist äußerst vielschichtig, da die Wasseraufnahme der Pflanze nicht nur von der Saugspannung des Bodens abhängt, sondern auch vom Zustand der Pflanze. Bekanntlich kann die Pflanze nur dann Wasser aus dem Boden aufnehmen, wenn die Saugkraft ihrer Wurzeln größer ist als die Gesamtheit der wasserspeichernden Kräfte im Boden, d.s. Hygroskopizität der Bodenteilchen, Kapillarität in den Poren und osmotischer Druck (Wert) der Bodenlösung. Man nennt diese Kräfte in ihrer Gesamtheit die totale Bodenfeuchtespannung.

Bis vor kurzer Zeit nahm man an, daß bei einer Spannung von 15 atü das Aufnahmevermögen aller Kulturpflanzen erschöpft sei und nannte diesen Punkt den permanenten Welkepunkt. Heute weiß man, daß der Welkepunkt schon früher als bei 15 atü erreicht werden, unter bestimmten Witterungsbedingungen aber auch weit überschritten werden kann (LAATSCH W 1957, dort auch nähere Literaturangaben).

Um dem Problem näher zu kommen, entwickelt H. FRIEDEL derzeit ein Verfahren zur Freilandmessung der Bodenwasser-Saugmengen (FRIEDEL 1958), das noch nicht abgeschlossen ist.

Um für Aufforstungen in verschieden exponierten Lagen im Hochgebirge erste Anhaltspunkte bezüglich des Wasserhaltevermögens der Pflanzbetterden geben zu können, wurden auf einigen typischen Stellen des Versuchsgeländes bei Obergurgl von Juni bis September 1954 Feuchtemessungen durch Wägen von Bodenproben durchgeführt. Es wurde darauf geachtet, daß im Probestück die Lagerung des Bodens erhalten blieb. Die Proben wurden mit Stahlzylindern ausgestochen und der Gewichtsverlust nach Trocknen bei 105°C festgestellt. Der Gewichtsverlust stellt den Wassergehalt der Probe einschließlich des nicht nutzbaren, toten Wassers dar und wird in Volum % ausgedrückt. Das tote Wasser wurde nicht berücksichtigt, da seine Menge bei gleichartigen Böden als konstant angenommen werden kann und außerdem so klein ist, daß sie auch bei dem Vergleich zwischen Humus- und Mineralböden vernachlässigt werden kann, ohne die relativen Ergebnisse zu beeinträchtigen.

Es wurden vormittags und nachmittags je zwei Proben aus 0 - 5 und 5 10 cm Bodentiefe entnommen.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

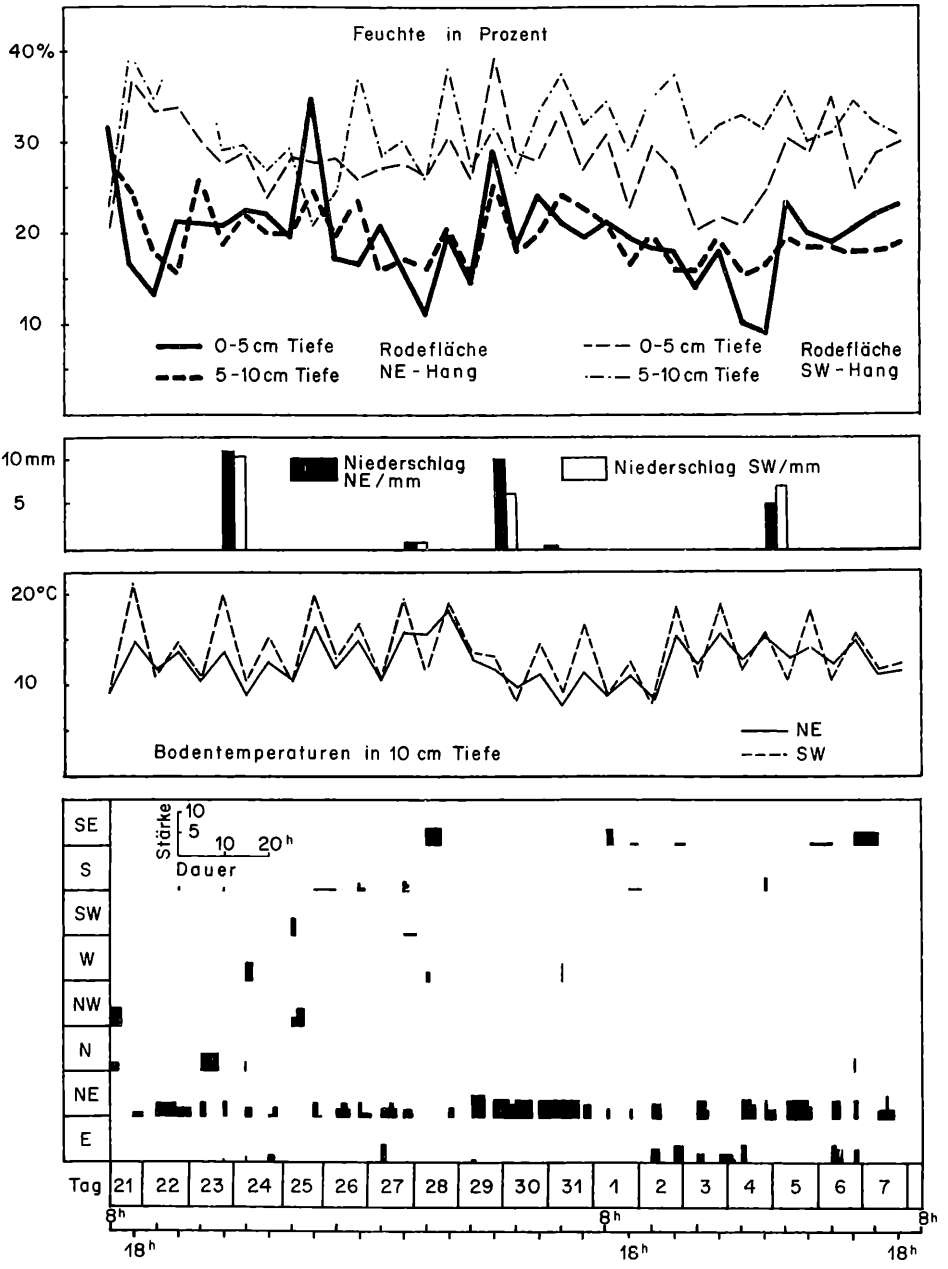


Abb. 82: Darstellung der Bodenfeuchte in einer nordost- und südwestexponierten Rodefläche in Beziehung zu Niederschlag, Bodentemperatur und Wind (Windstärke in Beaufort; Winddauer in Stunden). Zeitraum: 21. Juli 7. August

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Es kam bei den Messungen darauf an, die Unterschiede in der Bodenfeuchte herauszufinden, die durch die verschiedenen Expositionen der Probestellen bedingt sind.

Die Probestellen waren:

1) ein horizontal gelegener Bürstlingrasen.
   Die Probenahme aus 0 5 cm Tiefe traf den stark verdichteten Humushorizont A_H, aus 5 10 cm Tiefe den Bleichhorizont und zu einem geringen Teil den B-Horizont, also die mineralischen Horizonte;
2) ein geschälter Bürstlingrasen. Die Proben bestanden aus dem gleichen Material wie von der Probestelle 1;
3) ein Zwergwacholderbestand; die Proben aus 0 - 5 cm Tiefe enthielten Streu und lockeren Grobmoder (A_L und A_F-Horizont), die Proben aus 5 10 cm Tiefe mineralreichen Feinmoder des A_H-Horizontes und einen geringen Anteil vom Bleichhorizont;
4) eine Rodestelle am NE-Hang mit 55 % Neigung.
   Vegetation der Umgebung: Loiseleuria procumbens und flechtenreiche Vaccinienvereine;
5) eine Rodestelle am SW-Hang mit 55 % Neigung.
   Vegetation der Umgebung: Alpenrosen-Beerenheide mit Barflekken.

Bei den Meßstellen 4 und 5 war die natürliche Lagerung des Bodens durch die Rodung gestört. Das Probenmaterial bestand dort vorwiegend aus dem lehmigen Sand des B-Horizontes und einem geringen Humusanteil aus dem A-Horizont. Bei Aufforstungen stellt auch das Pflanzbett im Falle der Lochpflanzung eine ähnliche Rodefläche dar und die Pflanzbetterde wird dann in ähnlicher Weise durchmischt, wie dies bei den Meßstellen 4 und 5 der Fall war. Man kann daher aus den vorliegenden Beobachtungen vor allem auf den Feuchtehaushalt von ähnlich exponierten Pflanzbetterden schließen, wenn dort die ursprüngliche Vegetation entfernt wurde.

Bei den Messungen ergab sich überraschenderweise, daß die nordöstlich exponierte Rodefläche (Nr. 4) nahezu während der ganzen Versuchsperiode um ein deutliches trockener blieb als die sonnseitig exponierte Rodefläche am SW-Hang (Nr. 5)(siehe Abb. 82). Dieses Ergebnis läßt sich nur aus der stärkeren Windwirksamkeit auf der nordöstlich exponierten Luv-Fläche erklären und deckt sich auch mit der stärkeren Verdunstung auf der Luvseite (siehe Seite 238 und Abb. 77). Die gleichzeitig festgestellten Unterschiede im Niederschlagsabsatz reichen nicht aus, um von dieser Seite her dieses Ergebnis erklären zu können (Messung durch hangparallele

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

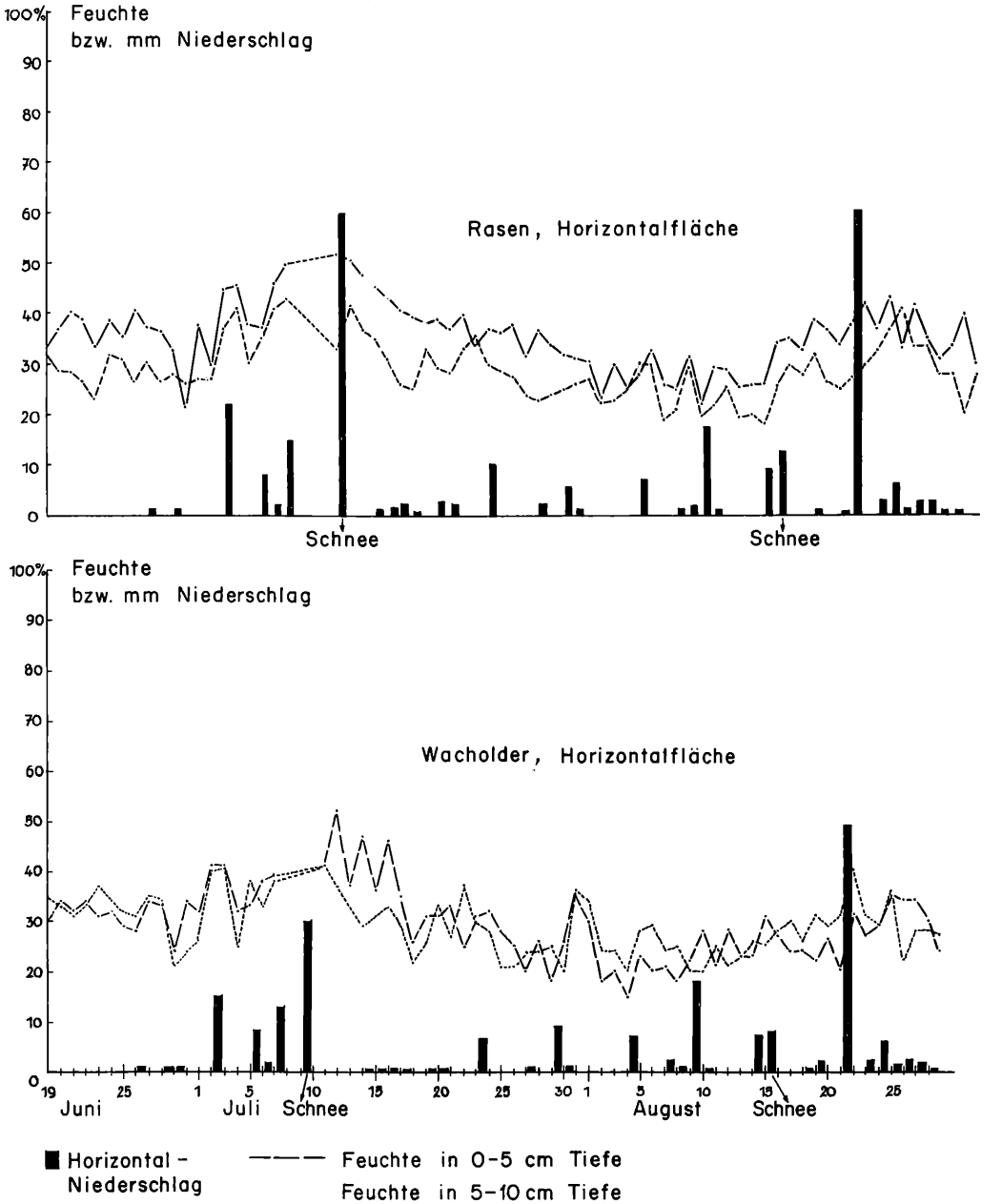


Abb. 83: Tagesmittel der Bodenfeuchte und Niederschlagsmenge während einer Vegetationsperiode

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Kleinregenmesser von 100 cm^2 Auffangfläche).

Auch auf den horizontal gelegenen Meßstellen wurden vor- und nachmittags je eine Probe entnommen und die Mittelwerte zeigten unter dem Wacholderbestand eine etwas geringere Feuchtigkeit als an den geschälten bzw. ungeschälten Rasenflächen (siehe Abb. 83).

Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

Die Loiseleuria- und flechtenreichen Vaccinienvereine in der Umgebung der NE-Rodefläche sind für die windausgesetzten Standorte des Versuchsgebietes charakteristisch und die Rodefläche hier wies auch die geringste Durchschnittsfeuchte sowie die größte Austrocknung (bis zu 4,5 Volumsprozent) auf. Die Alpenrosen-Beerenheide nächst der SW-Rodung entsprach den Lee-Standorten auf den Sonnseiten der Rippen und hier fanden sich trotz höherer Durchschnitts- und Maximaltemperaturen (siehe Abb. 82) höhere Feuchtewerte als Folge geringerer Ventilation im Vergleich zur NE-Rodung. Bei den Rasenstellen sind die Feuchtewerte der oberen Schicht (0 5 cm) meist höher als die der darunterliegenden (5 10 cm). Dies kommt dadurch zustande, daß der Humushorizont des Rasens, der durch Wurzeln stark verfilzt und durch Weidetritt verdichtet ist, mehr Wasser speichern kann als die darunter liegenden Mineralhorizonte.

Eine Zunahme der Bodenfeuchte ohne Regen, wie sie aus dem Verlauf der Feuchtekurve Abb. 82 zu entnehmen ist, nennt H. FRIEDEL "bodeninneren Tau". Diese Erscheinung, die nach kühlen Strahlungsnächten bei Bodenanschnitten an Wegrändern zu beobachten ist, beruht auf der Kondensation von Wasserdampf im Bodeninneren. Es ist zu erwarten, daß an Südhängen mit stärkeren Temperaturextremen der bodeninnere Tau stärker auftritt als an Schattenhängen. Er stellt eine Bereicherung des nutzbaren Wassers für die Pflanze dar.

Vorliegende Bodenfeuchtemessungen bestätigen die für die Aufforstung bedeutsame, schon durch Vegetationsbeobachtungen gewonnene Erkenntnis, daß der Feuchteverlust des Bodens durch Wind größer ist als der Feuchteverlust durch Wärmeeinstrahlung.

Es ergeben sich demnach Anhaltspunkte für die Kenntnis des Feuchtehaushaltes in Pflanzbetterden: Die Austrocknungsgefahr für die Jungpflanzen ist auf Sonnenhängen im Windschatten weniger groß als auf Schattenhängen in extremen Windlagen.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Verwendete Literatur

ALBRECHT Fr. 1932-37: Meteorolog. Zeitschrift. 49/1932, 45/1937; Zeitschr. f. a. Meteorolog. 54/1937.

BAIER W. 1952 a: Ergebnisse von Bodenfeuchteuntersuchungen in Stuttgart-Hohenheim. Berichte des Deutschen Wetterdienstes in der US-Zone, Nr. 37.

BAIER W. 1952 b: Elektrische Methoden zur Messung der Bodenfeuchte. Ebenda Nr. 32.

BELCHER D. J., T. R. CUYKENDALL and H. S. SACK 1950: The Measurement of Soil Moisture and Density by Neutron and Gamma-Ray Scattering. Technichal Development Report No. 127 of the Civil Aeronautics Administration, Technical Development and Evaluation Center, Indianopolis, Indiana.

BELCHER D. J., T. R. CUYKENDALL and H. S. SACK 1952: Nuclear Meters for Measuring Soil Density and Moisture in Thin Surface Layers. Ebenda, Report No. 161.

BELCHER D. J., T. R. CUYKENDALL and H. S. SACK 1953: Modifications and Tests of Radioactive Probes for Measuring Soil Moisture and Density. Ebenda Report o. 194.

BELCHER D. J. 1953: Use of Radioactive Material to Measure Soil Moisture and Density. Special Technical Publication publ., by the American Society for Testing Materials.

BOUYOUCOS G. J. and MICK A. H. 1940: An electrical resistance method for the continuous measurement of soil moisture under field conditions. Mich. Agr. Exp. Sta. Techn. Bul. 172.

COLMAN E. A. 1947: Manual of instruction for use of the Fiberglas Soil Moisture Instrument. Berkeley Scientific C., Richmond, Calif.

FRIEDEL H. 1958: Entwicklung eines Verfahrens zur Freilandmessung der Bodenwasser-Saugmengen. Vortrag, gehalten auf der Tagung für Bodenfeuchtemessung in Stuttgart-Hohenheim, 16. und 17. Oktober 1958. Rundschreiben Nr. 6 des Arbeitskreises für Bodenfeuchtemessung, Hohenpeißenberg, Obb., Meteorol. Observatorium.

GARDNER W. and DON KIRKHAM 1952: Determination of Soil Moisture by Neutron Scattering. Soil Science Vol 73, No. 5.

KELLEY O. J., A. S. HUNTER, H. R. HAISSE and C. H. HOBBS: Amer. Soc. Agron 38.

KÖHN M. and PERSON H. 1950: Abhandlungen des Badischen Landeswetterdienstes 1.

KRAMER P. J. 1949: Plant and Soil Water Relationships. Mc Graw-Hill book Company, Inc., New York, Toronto, London.

LAATSCH W. 1957: Dynamik der mitteleuropäischen Mineralböden, Steinkopff, Dresden und Leipzig.

NEDAVIA BETHLAHMY 1951: An Aliment Chart for Use with the Fiberglas Soil-Moisture Instrument, Soil Science Vol. 71, No. 5.

NEUWINGER I. und A. CZELL 1959: Standortsuntersuchungen in subalpinen Aufforstungsgebieten I. Teil: Böden in den Tiroler Zentralalpen, Forstwiss. Cbl. 78., (11/12), 327-372.

RAMSAUER B. 1949: Boden, Bodenfeuchte und Kleinklima als Grundlage für Bewässerungen. Österr. Wasserwirtschaft 1.

UHLIG S. 1951: Die regionale Betrachtung der Bodenfeuchte. Berichte des Deutschen Wetterdienstes in der US-Zone, Nr. 30.

WEAVER H. A. and V. C. JAMISON 1951: Limitations in the use of electrical resistance of soil moisture units. Agron. Journal 43.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

8. Die Niederschlags- und Schneeverhältnisse

von H. Turner

Inhalt

		Seite
I.	Das Ötztal im Rahmen des alpinen Niederschlagsklimas	267
II.	Die biologische Bedeutung der regional verschiedenen Niederschlagsverteilung	271
III.	Die Niederschlags- und Schneedeckenverhältnisse im Untersuchungsgebiet Lichtung (Zirben-Lärchenwald	273
	A. Die Ergebnisse der Regenmessungen	274
	1. Lichtung-Mitte	274
	2. Niederschlagsprofil durch das Untersuchungsgebiet Lichtung	276
	B. Schneemessungen	279
IV.	Die Niederschlags- und Schneehöhenmessungen an der Basisstation Waldgrenze 2072 m	280
V.	Die Schneedeckenverhältnisse im Untersuchungsgebiet Kampfzone	290
Zusammenfassung		311
Literaturverzeichnis		313

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

I. Das Ötztal im Rahmen des alpinen Niederschlagsklimas

Gegenüber den Alpenrandzonen sind die inneren Alpentäler infolge der "Kulissenwirkung" der vorgelagerten Bergketten bekanntlich wesentlich niederschlagsärmer. Unter allen inneralpinen Tälern zeichnet sich aber das obere Inntal mit seinen Nebentälern von Imst aufwärts durch ganz besonders große Abgeschlossenheit gegen die niederschlagsbringenden Winde aus, die, von NW kommend, hier als niedrigstes Hindernis den 1800 m hohen Arlbergpaß überwinden müssen.

In den Genuß der relativ trockenen Leeatmosphäre kommen in den Ötztaler Alpen vor allem jene Höhenlagen, die unter der des Arlbergpasses bleiben. Oberhalb von 1800 2000 m läßt sich auch in den Ötztaler Alpen eine deutliche Zunahme, wenngleich nicht so stark wie etwa in den Hohen Tauern, erkennen (HOINKES 1954). Die Talsohle jedoch ist bis in die hintersten Talgründe niederschlagsarm; mit auffallender Konstanz zeigen die Talstationen Jahresmengen, die um 700 mm schwanken. Das ist ein 2-3-mal kleinerer Wert als in gleicher Höhe in der nördlichen Alpenrandzone (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Jahressummen des Niederschlages in der nördlichen Außenzone der Alpen und in den Inneralpen (Mittelwerte 1901 1950 in "Beiträge zur Hydrographie Österreichs", H. 26, Hydrogr. Dienst in Österreich, Wien 1952.

Alpen Außenseite:

	Seehöhe (m)	Niederschlagsnormalzahl (mm)
Höfen	869	1457
Vorderhornbach	954	1379
Tannheim	1094	1565
Langen am Arlberg	1220	1989
Schröcken	1260	2080
Namlos	1263	1446
Mittelberg	1270	1922
Damüls	1428	2030

Oberes Inntal und Nebentäler:

	Seehöhe (m)	Niederschlagsnormalzahl (mm)
Imst	826	750
Rietzenried im Pitztal	1080	734
Zams	772	752
Ried im Oberinntal	877	603
Ötz	775	693
Längenfeld	1179	736
Sölden	1377	731
Vent	1892	706
Obergurgl	1927	830

Ein Beispiel mag den Luv- und Lee-Effekt des Arlbergpasses deutlich unterstreichen: eine Gegenüberstellung der gleich hohen Stationen Schoppernau (835 m) im Tal der Bregenzer Ache und Landeck (818 m) im Inntal, in Luftlinie ca. 50 km voneinander entfernt (siehe Tabelle 2).

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Tabelle 2: Gegenüberstellung der Klimawerte in einer der Westluft frei ausgesetzten Lage (Schoppernau im Bregenzer Wald 835 m) und in einem geschützten Alpental (Landeck im oberen Inntal 818 m). Mittelwerte 1948 - 1954.

	Schoppernau	Landeck
Jährliche Niederschlagsmenge (mm)	1850	782
Zahl der Tage mit Bewölkung 2/10	67	64
Zahl der Tage mit Bewölkung 8/10	140	108
Temperatur-Jahresmittel (°C)	5.9	8.2
mittl. Max.	11.8	14.2
mittl. Min.	1.4	3.6
Anzahl der Frosttage	144	114
Anzahl der Eistage	31	26
Anzahl der Sommertage (>25°C)	24	54
Anzahl der Tropentage (>30°C)	2	12
Anzahl der Tage mit Schneedecke		
1 15 cm	140	74
15 30 cm	120	28
30 cm	101	12
Mittl. Schneehöhenmaximum (cm)	107	26

Der Klimagegensatz kommt besonders im gewaltigen Unterschied der jährlichen Niederschlagsmenge (Differenz 1068 mm bei einem Verhältnis 1 2.4) zum Ausdruck, was Hand in Hand geht mit einer starken thermischen Bevorzugung der Leelage (Anzahl der Sommertage 1 2.2) infolge stärkerer Besonnung und wohl auch der Wärmewirkung absteigender Luftmassen nach dem Föhnprinzip. Da die Schneedecke bekanntermaßen auf Klimaunterschiede besonders empfindlich reagiert, treten in der Schneelage die auffallendsten Unterschiede hervor: in Landeck kann man nur 12 Tage mit einer Schneedecke von 30 cm rechnen, in Schoppernau dagegen 100 Tage.

In Abb. 84 ist für größere Teilgebiete der Alpen, und zwar für das innere Ötztal, das obere Inntal, das Zillertal, das Achenseegebiet und das Allgäu mit Bregenzerwald, die durchschnittliche Abhängigkeit des Jahresniederschlages von der Seehöhe kurvenmäßig dargestellt. Zum Vergleich sind auch die Mittelwerte für die gesamten Nordostalpen (nach F. HADER 1954), wozu die Werte von 320 Stationen verwertet wurden, beigefügt.

In der Reihung der Kurven von rechts nach links kommt der zunehmende Schutz gegen Niederschlagswinde zum Ausdruck; Bodensee und Allgäu stehen demgemäß am Anfang, das innere Ötztal am Ende der Skala. Im inneren Ötztal tritt erst oberhalb 2000 m eine deutliche Zunahme der Jahresmenge mit der Seehöhe auf, was in der zur Ordinate konkaven Form der Kurve zum Ausdruck kommt. Diese Kurvenform ist für Leegebiete typisch und trifft auch für das obere Inn- und äußere Ötztal sowie auch noch für das Zillertal zu. Im Zillertal empfangen schon die unteren Lagen infolge der tiefen Achenseesenke mehr Niederschlag als das obere Inntal. Im Achenseebereich, einem Durchzugsgebiet zwischen Luv- und Leelage, verläuft die Zunahme des Niederschlages mit der Höhe erwartungsgemäß linear. Im ausgesprochenen Luvgebiet des Bregenzerwaldes und des Allgäus wird die Höhenabhängigkeitskurve konvex zur Ordinate, da hier bereits in tiefen Lagen der Niederschlag rasch mit der Höhe zunimmt und sich diese Zunahme erst in größerer Höhe normalisiert.

Das Defizit des Ötztales gegenüber der nordostalpinen Durchschnittsmenge ist relativ am größten in der Höhe von etwa 1700 - 2000 m; hier beträgt die Jahresmenge weniger als die Hälfte des nordostalpinen Durchschnittes.

Der Jahresgang des Niederschlages zeigt im ganzen Ötztal einen Sommerregentyp mit geringer Jahresamplitude. Das sommerliche Maximum ist breit und erstreckt sich mit Monatsmengen von je ca. 100 mm auf alle drei Sommermonate Juni, Juli und August. Das Minimum von ca. 35 mm Monatsmenge fällt auf den Februar (EKHART 1939).

Südlich des Alpenhauptkammes herrscht nach KNOCH und REICHEL (1930) der Äquinoktientyp mit zwei annähernd gleichen Maxima im Mai und Oktober. Das innerste Ötztal zeigt bereits leichte Anklänge an diesen Typ, da die Schlechtwetterperioden im Frühling und Herbst südlich der Alpen zeitweise über den Hauptkamm nach Norden greifen.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Die gegen feuchte Meeresluftmassen geschützte Lage der Ötztaler Alpen macht sich nicht nur in regionaler, sondern auch in zeitlicher Ausgeglichenheit des Niederschlagsklimas geltend. Die größte bisher bekannte Jahresmenge des Niederschlages in Vent war 1054 mm im Jahre 1935, die kleinste im Jahre 1943 mit 532 mm. Die größten Tagesmaxima ereigneten sich in Vent am 18.7.1908 mit 73 mm, in Obergurgl am 31.10.1914 mit 83 mm. Diese Extreme in der Variationsbreite sind sehr bescheiden im Vergleich zu den Werten in Alpenrandgebieten.

Die mittlere Anzahl der Tage mit Niederschlag $\geq$ 0.1 mm beträgt nach

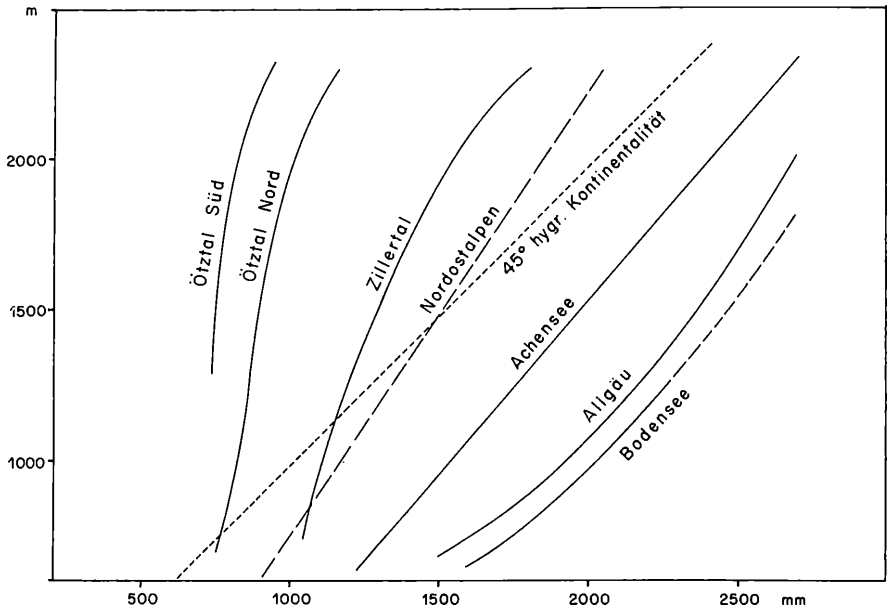


Abb. 84: Abhängigkeit des Jahresniederschlages von der Seehöhe in verschiedenen Teilgebieten der Ostalpen sowie Durchschnittswerte der Norstostalpen (nach F. Hader, 1954)

E. EKHART (1939) in Vent 152; 50 Tage, also ein Drittel davon, bringen einen Niederschlag von 5.0 mm oder mehr.

Hagelfälle sind nach E. EKHART (1939) im inneren Ötztal so gut wie unbekannt. Das steht in Zusammenhang mit der außerordentlichen Gewitterarmut: in Vent werden durchschnittlich jährlich nur 2 3 Gewittertage (Tage an denen Donner gehört wird) gezählt.

Nebeltage gibt es im ganzen Ötztal insgesamt kaum ein halbes Monat (EKHART 1939) gegenüber beispielsweise 42 Nebeltagen in einem anderen Alpenquertal, in Bad Gastein. Als "nebelreichster" Monat erscheint der Oktober mit über 5 Tagen; die übrigen Monate haben keine ganzen 2 Nebeltage. Ein bedeutungsvoller Gewinn für den pflanzlichen Wasserhaushalt durch Nebelniederschlag ist demnach nicht gegeben, auch wenn Nebelniederschlag an sich ökologisch wichtig wäre.

Ein umstrittenes Gebiet des Wasserhaushaltes ist auch der Tau. LÜDI (1948) für ein alpines Gebiet in 2000 m Höhe und WALTER (1951) in seiner umfassenden

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Schau kommen übereinstimmend zum Ergebnis einer geringen ökologischen Bedeutung des Taufalls, in dem Sinne, daß er vor allem geeignet sei, die Wirkung von Trockenperioden abzumildern und den Pflanzen das Ausharren am Trockenstandort zu erleichtern. Pflanzen unter Schirm, z.B. unter dichten Baumkronen, kommen in diesen Genuß jedoch nicht. Tau und überhaupt alle gering ergiebigen Niederschläge, die den Boden gar nicht durchfeuchten, können von den Pflanzen bekanntlich direkt durch die Cuticula der Blätter aufgenommen werden, wenn ihr Plasma ein Wasserdefizit aufweist.

Um ein Bild über die Tauhäufigkeit, über die noch keine vergleichende Untersuchung im Alpengebiet existiert, zu gewinnen, wurden die Beobachtungen der Station Vent in den Jahren 1946 1954 verwertet (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Anzahl der Tage mit Tau in Vent (1946 1954).

	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Jahr
Mittel	0	8	11	14	17	12	1	63
Maximum	2	16	14	21	22	15	2	
Minimum	0	5	6	10	13	6	0	

Das Auftreten von Tau ist erstmals im Mai nennenswert, also mit Beginn der Aperzeit an der Waldgrenze. Seine Häufigkeit erreicht im August mit einem Mittel von 17 und mindestens 13 Tagen den Höchstwert, um im Oktober bereits wieder auf knapp 1 Tautag abzusinken. Nach vielen übereinstimmenden Untersuchungen (WALTER 1951, HOFMANN 1956) fallen pro Taunacht höchstens 0.7 mm Tau. Das ergäbe für die 63 Tautage jährlich in Vent einen Tauzuschlag zur Niederschlagsmenge von höchstens 45 mm.

Als Vergleich dazu kann die Tauhäufigkeit an einem Ort im mitteleuropäischen Flachland dienen: nach GEIGER (1956) werden in Potsdam jährlich 140 Taufälle gezählt, mit einem Maximum im September (23 Taunächte) und einem im Mai (15 Taunächte).

Das Niederschlagsklima im Gebirge ist, je höher man steigt, umso mehr, vom Schnee bestimmt. Einen Durchschnitt der ostalpinen Schneeverhältnisse zeigt Tab. 4. Die gesetzmäßige Änderung der Schneeverteilung mit der Höhe kommt darin klar zum Ausdruck. Die Zahlen bedürfen keiner näheren Erläuterung.

Tabelle 4: Niederschlagsklima der Ostalpen, aus GEIGER (1956).
(mittlere Jahresniederschläge nach HADER 1954, Schneeverhältnisse nach EKHART 1940).

Seehöhe m	Jahresniederschlag mm	Zahl der Schneefalltage pro Jahr	jährliche Neuschneehöhensumme cm	Zahl d. Tage mit Schneedecke	mittl. maximale Schneehöhe cm	Schneehäufigkeit 1) Sommer	Winter	Mittl. Ergiebigkeit eines Schneefalles cm je Schneefallstag
200	615	27	51	38	23	0	49	4.6
400	750	32	116	55	36	0	61	5.2
600	885	38	182	81	50	0	70	5.8
800	1025	45	247	109	66	0	79	6.4
1000	1160	53	313	127	83	0	85	7.0
1200	1295	62	379	138	100	1	90	7.6
1400	1430	73	444	152	120	2	93	8.2
1600	1570	85	510	169	142	5	96	8.8
1800	1700	98	575	189	168	10	97	9.4
2000	1835	113	641	212	199	16	98	10.0
2200	1970	128	707	239	242	24	99	
2400		143		270	296	34	100	

1) Schneehäufigkeit Zahl der Schneefalltage Zahl der Niederschlagstage in %.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Zum Vergleich dazu sind in Tabelle 5 einige Standardwerte aus den inneren Ötztaler Alpen (Stationen Vent 1892 m und Obergurgl-Pirchitt 1927 m) angeführt.

Tabelle 5: Die Schneeverhältnisse in Vent (1940/41 - 49/50 und Obergurgl 1930/31 49/50) [2]

	Zahl der Schneefalltage pro Jahr	Zahl der Tage mit Schneedecke	mittl. max. Schneehöhe	absolut. Max. d. Schneehöhe	kleinstes Max. d. Schneehöhe
Vent 1892 m	59	162	174	250	75
Obergurgl 1927 m	64	174	103	224	54

2) Hydrograph. Dienst in Österreich, Beiträge zur Hydrographie Österreichs, H. 25 "Die Schneeverhältnisse in Österreich im Zeitraum 1901 - 1950", Teil I. Wien 1952.

Danach schneit es im inneren Ötztal jährlich nur an 62 Tagen, während dies im ostalpinen Querschnitt in dieser Höhe (1900 m) an 106 Tagen der Fall ist.

Betrachtet man die Zahl der Tage mit Schneedecke, so fällt auf, daß das innere Ötztal gegenüber dem ostalpinen Querschnitt dieser Höhe eine um einen Monat kürzere Schneedeckendauer hat.

Auch die Schneehöhen sind im zentralen Ötztaler Gebiet deutlich reduziert. Der Mittelwert maximaler Schneehöhen für die Seehöhe 1900 m lautet nach EKHART (1940) 184 cm für den Durchschnitt der Ostalpen. STEINHAUSER (1949) kommt auf einen höheren Wert; aus seinen Angaben (S. 70) läßt sich auf ca. 205 cm als Näherungswert der mittleren maximalen Schneehöhe für das Hochgebirge von 1900 m schließen. Für das innerste Ötztal in dieser Höhe ist mit einem etwa nur halb so großen Wert zu rechnen. In Vent wurden 174 cm, in Obergurgl nur 103 cm mittlere maximale Schneehöhe gemessen (siehe Tabelle 5).

Zur Interpretation dieser Werte ist zu bemerken, daß in Vent die Schneehöhen sicherlich an ungünstiger Stelle gemessen wurden. Sie dürften wesentlich zu hoch angegeben und für ein größeres Gebiet nicht repräsentativ sein. Denn bei einem Vergleich von Winter-Niederschlagsmenge und Wasserwert der Schneedecke durch LAUSCHER (1956) kommt zutage, daß sogar in Obergurgl mit dem geringen mittleren Maximum von 103 cm noch zu große Schneehöhen erfaßt worden sein dürften:

	Winterniederschlag (X - III)	Wasservorrat der Schneedecke am 1. IV.
Obergurgl 1927 m	333 mm	374 mm

Natürlich ist nicht ganz auszuschließen, daß die Diskrepanz wenigstens teilweise durch Mängel der Niederschlagsmessung verursacht ist.

II. Die biologische Bedeutung der regional verschiedenen Niederschlagsverteilung

Wurden bei Behandlung der Grundzüge des Niederschlagsklima ganz bedeutende Unterschiede in verschiedenen Gebieten der Alpen festgestellt, so erhebt sich sofort die Frage nach der Auswirkung dieser Unterschiede vor allem auf das Pflanzenleben.

Diese regionale Fragestellung würde allein eine gesonderte Bearbeitung großen Stils verdienen, es existiert auch bereits ein umfangreiches Schrifttum darüber und kann hier nur angedeutet werden.

Vor allem zwei pflanzengeographische Erscheinungen der subalpinen Stufe springen ins Auge:

1) die sehr unterschiedliche Höhe der oberen Vegetationsgrenzen, insbesondere der klimatischen Wald- und Baumgrenze,

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

2) die Unterschiede der Holzartenverbreitung und die offenbar unzufällige Gebundenheit verschiedener Pflanzenarten auf bestimmte Areale.

Daß beide Erscheinungen vor allem klimatische Ursachen haben, wird von niemandem bezweifelt. Immer wieder wird die "große Massenerhebung" der inneren Ötztaler Alpen u.a. mit ihrer angeblichen thermischen Begünstigung als Argument angeführt, wobei oft mystische Vorstellungen von einer Wirkung größerer Erdwärme mitspielen. Tatsächlich hat jedoch TOLLNER (1949), der die Lufttemperaturen in den Alpen mit denen der freien Atmosphäre in gleichen Höhen an Hand des 7-Uhr-Termins verglich, festgestellt, daß die inneren Alpen 1 2 °C kälter sind als gleiche Höhen über dem Alpenvorland. Auch ein Temperaturvergleich zwischen den Innerötztaler Stationen und dem gleich hohen Nebelhorn im ozeanischen Alpenrandbereich zeigt, daß erstere wegen winterlicher Kaltluftansammlungen in den Tälern im Jahresmittel kälter sind. Wenn man die Mittagstemperaturen zum Vergleich heranzieht (FLOHN 1953) erscheint das zentrale Alpengebiet, wohl hauptsächlich auf Grund der gehobenen Heizfläche beim Strahlungsumsatz, geringfügig (1 2 °C) wärmer als gleiche Höhen über dem Alpenvorland.

Viel entscheidender für unsere Fragestellung müssen andere Klimafaktoren sein. Der für das Leben im Hochgebirge entscheidende Faktorenkomplex Strahlung-Wind wirkt sich am sichtbarsten in der Schneedeckenandauer aus. Die Andauer der Schneedecke beträgt in rund 2000 m Höhe:

Inneres Ötztal [1]	Durchschnitt der Ostalpen [2]	Nordalpen [3] (z. B. Allgäu)
182 Tage	212 Tage	280 Tage

1) nach eigenen Messungen (siehe Tabelle 17)
2) nach EKHART 1940 (siehe Tabelle 4)
3) nach STEINHAUSER 1949, S. 66.

Demnach haben die Nordalpen in 2000 m Höhe eine um mindestens 3 Monate längere Schneedeckenandauer als unser Untersuchungsgebiet.

Die mittlere Schneedeckenandauer von 182 Tagen, wie sie für den rechten Hang des Gurgler Tales an der Waldgrenze in 2070 m erschlossen wurde, ist in den Nordalpen nach STEINHAUSER (1949, S. 66) bereits in ca. 1300 m Höhe gegeben.

Dieser Unterschied von 700 - 800 Höhenmetern kehrt in auffallender Übereinstimmung wieder im Unterschied der Höhenlage von klimatischer Wald- und Baumgrenze zwischen beiden betrachteten Bereichen der Alpen (Baumgrenze: Nordalpen 1700 m, innere Ötztaler Alpen 2400 m).

Es kann kein Zweifel darüber bestehen, daß die hohe Lage der oberen Vegetationsgrenzen (neben Schneegrenze, oberer Siedlungsgrenze usw.) in den Ötztaler Alpen im wesentlichen eine Folge der hier viel günstigeren Schneedeckenverhältnisse, d.h. Verlängerung der Vegetationszeit, ist, wenn man bedenkt, wie empfindlich gerade auch die Holzpflanzen auf Einengung der ihnen zur Verfügung stehenden produktiven Jahreszeit reagieren (PISEK und WINKLER 1958, TRANQUILLINI 1959).

Diese günstigeren Schneedeckenverhältnisse wiederum sind, wie aus dem schon Gesagten hervorgeht, in erster Linie eine Folge der abschirmenden Wirkung der in Luvrichtung vorgelagerten hohen Bergketten, die eine relativ trockene Leeatmosphäre mit

1) geringerem Niederschlagsabsatz,
2) eine raschere Schneeschmelze wegen größerer Strahlungsmengen bewirkt. Im übrigen sind noch viele andere Faktoren, wie sie bei TOLLNER (1949) zusammengefaßt sind, für das Zustandekommen dieses pflanzengeographischen Effektes verantwortlich (Holzart, die die Baumgrenze bildet; Beanspruchung durch Wind; mechanische Schneeschäden; geologische und geomorpholigische Gegebenheiten; Bodenentwicklung u.a.m.).

Zur Frage der Pflanzenareale ist nochmals auf Abb. 84 zu verweisen. Sie hat gezeigt, daß das alpine Hygroklima umso maritimer ist, je rascher die Niederschläge mit der Meereshöhe zunehmen, und umso kontinentaler, je langsamer dies der Fall ist. Diese regional sehr verschiedene Höhenabhängigkeit der Niederschlagsmenge macht GAMS (1931/32) zur Grundlage seiner klimatischen Begrenzung von Pflan-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

zenarealen mit Hilfe der Isepiren (Linien gleicher hygrischer Kontinentalität).

Der Grad der Hygrischen Kontinentalität sei gegeben durch einen Winkel, der durch die Funktion

$$\text{tg}\,\frac{H}{N} \qquad \text{bzw. ctg}\,\frac{N}{H}$$

definiert ist, wobei H gleich ist der Höhe über Meer in m, N der jährlichen Niederschlagsmenge in mm.

Das zentrale Ötztaler Gebiet fällt demnach in die Stufe der größten hygrischen Kontinentalität der ganzen Alpen: Rofen 2100 m mit einem Kontinentalitätswinkel von 70°, Vent 69°, Basisstation Waldgrenze-Obergurgl 65.5°, dagegen Langen am Arlberg 31.5°, Schoppernau a.d. Bregenzer Ache 24°.

GAMS kommt auf Grund der in der Natur vorkommenden Häufigkeiten von Holzarten zu folgender Faustregel: Buche und Tanne gedeihen überall dort gut, wo die Jahresmenge des Niederschlags in mm größer ist als die Meereshöhe in m (also in Gebieten mit einem Kontinentalitätswinkel kleiner als 45° bzw. $\text{tg}\,\frac{H}{N}<1$), die Zirbe und Lärche dagegen dort, wo der Jahresniederschlag in mm kleiner ist als die Meereshöhe in m (Kontinentalitätswinkel größer als 45°, $\text{tg}\,\frac{H}{N}>1$).

Die Durchschnittskurve der Niederschlags-Höhenabhängigkeit für die NE-Alpen in Abb. 84 verhält sich so, daß die Höhenlagen unterhalb 1500 m schwach ozeanisch erscheinen ($\text{tg}\,\frac{H}{N}<1$), die Höhen über 1500 m leicht kontinental ($\text{tg}\,\frac{H}{N}>1$). Das äußere Ötztal und obere Inntal sind nur in den untersten Lagen in diesem Übergangsbereich zwischen ozeanisch und kontinental. Das Zillertal liegt oberhalb 1200 m in leicht kontinentalem Bereich. Das Achenseegebiet dagegen ist bereits zur Gänze (bis in die obersten Lagen) ozeanisch getönt ($\text{tg}\,\frac{H}{N}<1$), umso mehr natürlich die Allgäuer Alpen.

Mit Hilfe der Isepiren lassen sich nicht nur Holzarten, sondern auch andere Pflanzen und Pflanzengesellschaften abgrenzen (GAMS 1931/32, KIELHAUSER 1953).

Es ist von Interesse, daß auch in deutschen Mittelgebirgen eine deutliche Abhängigkeit des Wachstums von Nadelbäumen vom Grad der Kontinentalität gegeben ist. Nach H.G. KOCH (1958) verschiebt sich die Zone maximalen Durchmesserzuwachses beispielsweise der Fichte mit zunehmender Kontinentalität von 600 m nach oben, in Gebirgen mit ozeanischerem Klima nach unten.

III. Die Niederschlags- und Schneedeckenverhältnisse im Untersuchungsgebiet Lichtung (Zirben-Lärchen-Wald)

Die Aufgabe der Untersuchungen im Gebiet Lichtung-Poschach 1920 m war, die Wirkung von Bestandesrändern auf die Niederschlagsverteilung festzustellen, die Durchlässigkeit des Kronendaches von Zirben- und Lärchenbeständen für Niederschlag zu prüfen und die Variationen der Schneedecke unter den Einflüssen von Wind, Strahlung und Vegetation zu erfassen.

Zu diesem Zweck wurde von Anfang Juni bis Ende Oktober 1953 mittels 5 Gebirgsregenmessern (GRM), Auffangfläche 500 cm^2, und 2 Regen-Schnee-Schreibern (RS I und II) ein Nord-Süd-Querschnitt durch die Lichtung und die angrenzenden Waldbestände gelegt. Die Lage der Meßstellen kann der Abb. 8 entnommen werden. (Die Wetterhütten bezeichnen auch die Niederschlagsmeßstellen).

Von Mitte September bis Ende Oktober waren auf einer Rodungsfläche auch 4 Kleinregenmesser an der Bodenoberfläche in verschiedener Entfernung vom südlichen Lichtungsrand verlegt, um die Randwirkung genauer zu erfassen.

Die Ergebnisse der Messungen zur Niederschlagsverteilung unter einer einzelstehenden Zirbe mittels 12 Kleinregenmessern können in dieser Arbeit noch nicht vorgelegt werden.

Im folgenden Jahr wurden die Regenmessungen an den beiden Lichtungsrändern und in der Mitte der Lichtung während der Monate VI IX (X) fortgesetzt.

Die Schneehöhen wurden an ungefähr denselben Meßstellen wie in dem im folgenden darge-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

stellten Nord-Süd-Querschnitt seit dem Winter 1953/54 an einer wechselnden Zahl von Schneepegeln durchschnittlich wöchentlich abgelesen.

Regenmesser Meßstellen:

1) Zirben-Lärchenwald im Norden des Untersuchungsgebietes (GRM).
Kronendeckungsgrad 60 70 %. In einer Entfernung von 1 2 m vom GRM liegt der Bestandesrand gegen Nord.
Meßzeitraum: 1.9. 31.10.1953.
2) Lärchenwald (GRM).
Kronendeckungsgrad 60 %.
Meßzeitraum: 1.IX 31.X.1953.
3) Lichtung-Nordrand (GRM).
5 m von nächsten höheren Bäumen der nördlichen Lichtungsumrahmung entfernt.
Meßzeitraum: 1.IX. 31.X.1953, 1.VI. 1.X.1954.
4) Lichtung-Mitte (RS I und GRM).
Meßzeitraum: 1.VI. 31.X.1953, 1.VI. 31.X.1954.
5) Lichtung-Südrand (GRM).
3 m vom südlichen Lichtungsrand entfernt.
Meßzeitraum: 1.VI. 31.X.1953, 1.VI. 31.X.1954.
6) Zirbenhorst südlich der Lichtung (GRM).
Lückenstandort, hangabwärts(gegen W) offen, Durchmesser der Kronenlücke 4 m.
Meßzeitraum: 1.VI. - 31.VIII.1953.
7) Schneise (GRM) in Fallrichtung des WNW-exponierten Hanges.
In 4 m Entfernung nach N Zirbenhorstrand, 4 m S lockerer Zirbenwaldrand, im Umkreis von 10 m Durchmesser sind weniger als 10 % der Fläche von Baumkronen gedeckt.
Meßzeitraum: 1.VI. 31.VIII.1953.
8) Dichter Zirbenwald (GRM).
In 1.20 m Abstand GRM umgeben von 3 tiefbeasteten 60-jährigen, 8 10 m hohen Zirben (2 davon sind Doppelzirben).
Umkreis mit 2 m Durchmesser 90 % Deckungsgrad.
Umkreis mit 4 m Durchmesser 60 % Deckungsgrad.
Meßzeitraum: 1.VI. 31.VIII.1953.
9) Zirbenwaldlücke (RS II).
Durchmesser der Lücke 3 m, gegen S offen.
Meßzeitraum: 23.VII. 31.X.1953.

Zur Übersicht über die Standortsverhältnisse, insbesondere die Kronendeckung, ist am besten die Waldbestandskarte des Lichtungsgebietes heranzuziehen (siehe Abb. 8).

Die Exposition der Meßstellen war bei 1 und 8 NW, die der übrigen WNW rund 30°.

A. Die Ergebnisse der Regenmessungen

1. Lichtung-Mitte

In der Mitte der Lichtung wurden in der Vegetationsperiode 1953 (VI - X) 523 mm aufgefangen, 1954 (VI X) 509 mm, d.s. 106.5 % der in der gleichen Zeit an der Station Waldgrenze gemessenen Werte, doch ist diese Bevorzugung nicht bei jedem Niederschlag gegeben. Nicht einmal die einzelnen Monatssummen verhalten sich in dieser Hinsicht gleichsinnig. Die Monate Juli, August und Oktober 1954 brachten auf der Lichtung (maximal 23 %) mehr Niederschlag, die Monate Juni und September 1954 dagegen (bis zu 7 %) weniger. (Die Monatssummen sind in Tabelle 8 angeführt).

Ab 15.VII.1953 wurde auf der Lichtung in 10 m Höhe neben der Windgeschwindigkeit auch die Windrichtung registriert, sodaß es möglich war, ab diesem Zeitpunkt die Niederschlagstätigkeit in Beziehung zum Wind auszuwerten. Für die vom Regenschreiberdiagramm abgelesenen Niederschlagszeiten wurden dazu aus der Windregistrierung die entsprechenden Windrichtungen und mittleren Geschwindigkei-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

ten herausgesucht.

Es ergab sich für den Zeitraum 23.VII. 31.X.1953, daß 53 % des Niederschlags bei Winden aus S-SE, 38 % des Niederschlags bei Winden aus N-NE und 10 % des Niederschlags bei drehendem Wind fielen (siehe Tabelle 6)

Tabelle 6 Verteilung der Niederschläge auf die Richtungen der Niederschlagswinde (23.VII. - 31.X.1953) in der Mitte der Lichtung (RS I) und in der Zirbenwaldlücke (RS II).

	RS I (Lichtung-Mitte)					RS II (ZW-Lücke)	
	Anzahl d. Niederschläge	Anzahl d. Niederschlagstage	Dauer (Std.)	Stärke (mm/h)	Menge (mm)	Stärke (mm/h)	Menge (mm)
N-NE	22	15	85	1.39	118	0.88	74
S-SE	20	16	154	1.08	165	0.98	155
drehend	12	11	18	1.68	30	1.68	30
alle Richtg.	54	42	257	1.22	313	1.01	259

Die Aufteilung des Niederschlages auf die Windrichtungen war in den Monaten August bis Oktober folgendermaßen:

Lichtung-Mitte	VIII	IX	X
monatl. Niederschlagsmenge (mm)	107	50	134
davon bei Wind aus N-NE (%)	70	26	3
davon bei Wind aus S-SE (%)	25	8	97
davon bei drehendem Wind (%)	5	73	0

Von Interesse sind besonders die Monate August und Oktober: im August fielen 3/4 des Niederschlages bei Nordwind (wie es normalerweise im mehrjährigen Mittel z.B. auf dem Sonnblick der Fall ist, STEINHAUSER 1949), im Oktober dagegen brachte bei anhaltender Föhnlage fast die gesamte Niederschlagssumme eine Luftströmung aus S-SE (überwiegend SE): die 130 mm bei SE-Wind fielen an 11 Tagen während der 2. Oktoberhälfte.

Die ausgesprochenen Starkregenfälle ereigneten sich (siehe Tabelle 6) vorwiegend bei unentschiedener Windrichtung.

Zieht man nur die Windgeschwindigkeit in Betracht, wie in Tabelle 7, Zeile a1), so erkennt man, daß fast die Hälfte der Niederschlagsmenge über 2.5 m/s fiel. Bei schwachem Wind bis 1.5 m/s dagegen fielen nur 16 % der Gesamtsumme des betrachteten Zeitraumes.

Daß die meisten Regenmengen bei relativ großen Windgeschwindigkeiten fielen, trifft vor allem die Winde aus N und die Winde aus rasch wechselnder, unentschiedener Richtung. (Die Verhältnisse bei wechselnden Richtungen wurden nicht extra angeschrieben, sind aber in Zeile a1 mit enthalten). Von den Regenmengen bei Winden aus N-NE fiel nur ein verschwindend kleiner Bruchteil (2 %) bei Geschwindigkeiten unter 1.5 m/s; bei der SE-Strömung ist dieser Prozentsatz auf 20 erhöht.

Tabelle 7: Vergleich der Regenmengen auf der Lichtung (RS I) und in der Zirbenwaldlücke (RS II) bei verschiedener Geschwindigkeit der Niederschlagswinde
a) für alle Richtungen
b) bei Winden aus dem Nordhalbkreis (vorwiegend NNE)
c) bei Winden aus dem Südhalbkreis (vorwiegend SE-SSE)

a) alle Richtungen:	Windgeschwindigkeit m/s				
	0 1.5	1.6 2.5	> 2.5	Summe
Lichtung (RS I)	54.0 mm	124.4 mm	134.9 mm	313.3 mm
Zi-Wald-Lücke (RS II)	55.8 mm	109.5 mm	93.4 mm	259.1 mm
% der Lichtung	103 %	88 %	70 %	83 %

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

b) W-N-ENE

	Windgeschwindigkeit m/s				
	0	1.5	1.6 2.5	>2.5	Summe
Lichtung (RS I)	2.6 mm		58.2 mm	50.9 mm	111.7 mm
Zi-Wald-Lücke (RS II)	3.2 mm		43.0 mm	22.6 mm	68.7 mm
% der Lichtung	121 %		74 %	44 %	62 %

c) SE-S-WSW

	Windgeschwindigkeit m/s				
	0	1.5	1.6 - 2.5	> 2.5	Summe
Lichtung (RS I)	35.2 mm		89.3 mm	35.8 mm	160.3 mm
Zi-Wald-Lücke (RS II)	36.2 mm		83.7	31.9 mm	151.8 mm
% der Lichtung	103 %		94 %	91 %	95 %

2. Niederschlagsprofil durch das Untersuchungsgebiet Lichtung

Tabelle 8 und Abb. 88 enthalten die Hauptergebnisse der Untersuchungen mit Gebirgsregenmessern entlang eines Nord-Süd-Querschnittes durch das Lichtungsgebiet.

Im Zirben-Lärchenwald ist ein ganz entscheidender Einfluß der Konfiguration des Kronendaches gegen die niederschlagsbringenden Winde zu bemerken. Im Durchschnitt der Monate September Oktober sind nur 23 % der Freilandmengen durch das Kronendach bis zum Boden gelangt, im September allein jedoch 42 %, im Oktober nur 15 %.

Dieser Unterschied wird klarer, wenn man die Windrichtungen während der Niederschlagszeiten in Betracht zieht. Wir wissen, daß fast die Gesamtmenge des Oktober bei SE-Wind fiel; gerade in dieser Richtung ist der Meßplatz gut durch mächtige Bäume abgeschirmt, während der nur 1 2 m vom GRM gegen N entfernte Bestandesrand eine Bevorzugung des Niederschlagsabsatzes bei Wind aus dieser Richtung bewirkt. Dazu kommt, daß an einem Tag (29. IX.) mit starkem Nebeltreiben bei Nordlage hier als dem einzigen Meßplatz des Profils ein bedeutender Nebelzuschlag erzielt wurde: die Niederschlagsmenge dieses Tages war hier mit 5.65 mm 3.2-mal so groß als in Lichtung-Mitte. Als "Nebelfänger" wirkte der gegen N gerichtete Bestandesrand.

Eine genauere Analyse der Niederschlags-Wind-Nebelverhältnisse ergibt:

Zirben-Lärchenwald	Windrichtungen			
IX X 1953	SE-S	N-NE und drehend, ohne Nebeltrauf	N-NE und drehend, mit Nebeltrauf	alle, mit Nebeltrauf
Zahl der Tage mit Niederschlag	14	8	8	22
Niederschlagssumme (mm)	20.4	15.6	21.4	41.8
% der Freilandmenge	15	32	42	23

Diese Zahlen erhellen, daß wir es an diesem Standort niederschlagsmäßig mit einer ausgesprochenen Randerscheinung zu tun haben. Bei den südöstlichen Niederschlagswinden kommt nur halb soviel Regen am Boden an als bei den anderen, vorwiegend nördlichen Niederschlagswinden. Tage mit Nebeltreiben aus N können einen erheblichen Niederschlagsgewinn bringen.

Infolge der kurzen Meßzeit von 2 Monaten und der stark mit der Windrichtung schwankenden Niederschlagszurückhaltung durch die Baumkronen ist es schwer abzuschätzen, wieviel Niederschlag dieser Standort über längere Zeit wirklich erhalten wird. Dazu müßte man wissen, wieviel Niederschlag im langjährigen Mittel bei N- und wieviel bei S-Winden fallen. Ist das Verhältnis das gleiche wie am Sonn-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

blick, nämlich N : S 3 1, so erhält der Boden an diesem Standort im Zirben-Lärchenwald ca. 28 % der Freilandmenge.

Der Lärchenwald hat im Mittel der Monate September und Oktober 1953 69 % der Freilandmenge durchgelassen. Bei den südöstlichen Niederschlagswinden betrug die Niederschlagszurückhaltung durch das Kronendach (Interception) nur 25 %, bei den nördlichen 47 %. Am 29. IX. (bei Nebeltreiben aus N) erhielt die Lärchenwaldstation mit 1.78 mm genau die gleiche Menge wie Lichtung-Mitte.

Der durchschnittliche Niederschlagsgenuß am Lärchenwaldboden dürfte sich nach vorsichtigen Schätzungen auf 60 65 % belaufen, d.h. etwa 620 mm Niederschlag gelangen jährlich auf den Boden. Wieviel davon noch durch die dem Boden aufliegende Nadelstreu absorbiert wird und ungenutzt wieder verdunstet, ist unbekannt. STALFELT (1944) hat für Fichtennadelstreu eine Interception von 15 20 % festgestellt. Bei Zugrundelegung dieser Werte dürfte dem Lärchenwald etwa eine jährliche Menge von 500 mm wirklich zur Verfügung stehen. Eine noch ungelöste Frage ist auch, wieviel davon die Lärche für Transpiration verbraucht und wieviel zum Abfluß gelangt.

Tabelle 8: Die monatlichen Niederschlagsmengen (mm) im Nord-Süd-Querschnitt des Untersuchungsgebietes Lichtung-Poschach. Messungen mit GRM, in der Zirbenwald-Lücke mit RS.

						%		%		%	
1953	VI	VII	VIII	IX	X	VI	VIII	IX	X	VIII	X
Zi-Lä-Wald				21.3	20.5			23.0			
Lä-Wald				26.4	101.0			69.0			
Li-NR				49.6	132.3			98.5			
Li-Mitte	106.8	124.9	106.7	50.3	134.0	100.0		100.0			
Li-SR	107.1	124.8	108.5	50.3	131.5	101.0		98.5			
Horst	103.2	112.2	97.5			92.5					
Schneise	104.9	115.8	110.3			98.0					
Zi-Wald (dicht)	28.2	34.3	31.8			27.8					
Zi-Wald-Lücke			79.8	39.0	122.4			88.7		82.8	

1954	VI	VII	VIII	IX	X	VI - IX
Li-Nordrand	101.9	125.5	141.8	82.6		97.5
Li-Mitte	96.4	148.5	137.5	80.9	45.3	100.0
Li-Südrand	104.9	116.9	142.0	84.4		96.8

Die beiden Lichtungsränder, zumindest an jenen Stellen, wo gemessen wurde, also 3 5 m von den nächsten Bäumen der Lichtungsränder entfernt, sind niederschlagsmäßig gegen die Lichtung-Mitte kaum benachteiligt. (Der Nordrand erhielt an 3 Tagen mit ausgesprochener Nordströmung (10. und 29. IX., 4. X.), also in Leesituation, mit 14.45 mm 92.5 % der Freilandmenge. Während der anhaltenden SE-Strömung der ganzen 2. Oktoberhälfte, als an 11 Tagen 130 mm Niederschlag fielen, erhielt der Nordrand praktisch gleich viel (99 %) Niederschlag wie die Mitte der Lichtung. Dazu ist zu bemerken, daß an dem ungefähr ESE WNW verlaufenden Lichtungsrand bei der in diesem Zeitraum gegebenen Anströmungsrichtung aus SE-SSE keine Luvsituation herrscht. Die Strömung folgt vielmehr ziemlich dem Verlauf des Randes und es sind daher von vorneherein keine Ergebnisse zu erwarten, die deutlich von denen in Lichtung-Mitte abweichen. Dadurch daß in den beiden Meßmonaten überwiegend Niederschläge bei dieser SE-Strömung fielen, liegt auch das Gesamtmittel beider Monate sehr hoch (98.5 %).

Der Südrand der Lichtung, an dem durch 5 Monate des Jahres 1953 gemessen wurde, zeigt gleichfalls nur eine schwache Randwirkung. Bei den von 23. VII. bis 31. X. 1953 aufgetretenen nördlichen Niederschlagswinden (also in Luvsituation, was an 12 Tagen in ausgeprägter Weise der Fall war), fielen 103 % der Regenmenge in Lichtung-Mitte. Während der süd- bis südöstlichen Niederschlagswinde, die an 16 Tagen dieses Zeitraumes auftraten, fielen 97 % der Regenmenge in Lichtung-Mitte. Im Mittel über 5 Monate wurden hier 101 % der Freilandmengen gemessen.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Während der Vegetationsperiode 1954, in der beide Lichtungsränder und die Mitte der Lichtung weiter parallel beobachtet wurden, ist ein merkwürdiger Effekt aufgetreten. In den einzelnen Monaten erhielten beide Ränder gleichsinnig entweder immer mehr oder immer weniger Niederschlag als die Mitte der Lichtung (Tabelle 8). Während in den Monaten Juni, August und September an beiden Rändern ein klein wenig mehr Niederschlag fiel, fällt der Juli durch beträchtliche Mindereinnahmen an beiden Rändern aus der Reihe. Bei Nachprüfung ergibt sich, daß dies vom ergiebigen Schneefall am 7./8. Juli herrührt, bei dem in Lichtung-Mitte (RS I) 52.3 mm Wasserwert, am Nordrand 35.0 mm und am Südrand nur 17.0 mm gemessen wurden. Da an den Rändern Gebirgsregenmesser mit Trichter, die sich zur Erfassung des Schneeniederschlages nicht eignen, aufgestellt waren, ist zu vermuten, daß hier fälschlich viel zu wenig Niederschlag gemessen wurde. Die Juliwerte an beiden Rändern in Tabelle 8 dürften also nicht reell sein.

Die beiden Lichtungsränder haben im Durchschnitt der Vegetationsperiode daher auch nicht weniger, sondern sicherlich mehr Niederschlag als die Lichtung-Mitte erhalten.

Zirbenhorst und Schneise südlich der Lichtung zeigen keinen besonderen Windeinfluß. Ersterer Meßplatz, in einer Bestandeslücke gelegen, erhielt im Durchschnitt der Monate VI VIII 92.5 %, die Schneise 98 % der Freilandmengen.

Im Zirbenwald-Süd waren 2 Meßstellen eingerichtet, um die beiden Extreme des Kronendeckungsgrades in etwa zu erfassen: die eine unter dichten Zirbenkronen (Umkreis von 2 m Durchmesser 90 % Deckungsgrad), die andere unter einer talein wärts, also gegen Süd offenen Lücke im Kronendach.

Im dichten Zirbenwald blieben 72 % der Niederschlagsmenge der Monate VI VIII im Kronendach hängen, also nur rund 1/4 der Freilandmenge kam am Boden an. In der Literatur, die bei DELFS (1955) gut zusammengefaßt ist, scheint nirgends ein so hoher Interceptionswert auf. Als Höchstwert erwähnt DELFS (S.33), daß in einem Kiefernbestand mit Tannenjungwuchs nur 37 % vom Niederschlag der Freifläche den Boden erreichten.

In der Zirbenwaldlücke gelangten von 1. VIII. bis 31. X. 83 % der entsprechenden Freilandmenge in das Meßgefäß. Es ist ein deutlicher Einfluß der Windtätigkeit gegeben. Die Tabellen 6 und 7 enthalten alles Wissenswerte. Bei S-SE-Wind wurde fast gleich viel Niederschlag wie auf der Lichtung gemessen (94 %), bei N-Wind dagegen nur 2/3 (63 %). Je größer die Windgeschwindigkeit, desto weniger Niederschlag, insbesondere bei N-Wind, gelangt in die Waldlücke, desto mehr wird wohl darüber hinweggeweht (siehe Tabelle 7).

Im dichten Zirbenwald ist keine deutliche Windbeeinflussung der Niederschlagsdurchlässigkeit des Kronendaches festzustellen. Jeder Niederschlag, der nicht mehr als 3 mm bringt, bleibt zur Gänze im Kronendach hängen, außer wenn dieses durch einen kurz vorhergegangenen Regen noch benetzt ist. Daher lassen sich von der Anzahl der Niederschläge nur 65 % innerhalb des Bestandes nachweisen, d.h. durchschnittlich jeder 3. Regen wird zur Gänze vom Kronendach absorbiert.

Für den Wasserhaushalt des Unterwuchses ist die große Niederschlagszurückhaltung dichter Zirbenbestände außerordentlich ungünstig. Wenn man den in 3 Monaten Meßzeit ermittelten Wert verallgemeinern darf, verdunsten 3/4 des Sommerniederschlages wieder ungenutzt von den Kronen der Altbäume (bis auf jenen Betrag, der bei Wasserdefizit direkt durch die Cuticula der Nadeln aufgenommen wird).

Weit ausgedehnt sind Zirbenbestände solch großer Dichte und Kronenschlusses allerdings nicht; durch Lücken dringt, wie gezeigt, viel Niederschlag bis zum Boden durch. Vor allem ist dichter Zirbenwald nicht der Typus des subalpin-kontinentalen Bergwaldes, der gerade durch seine große Auflockerung gekennzeichnet ist. Die dichte Zirbenwaldstelle kann aber gut das eine Extrem der Bestokkung markieren.

Den Zirbenwald als solchen wasserhaushaltsmäßig zu charakterisieren, stößt wegen der großen Dichteunterschiede auf erhebliche Schwierigkeiten. Es ist im Bergwald nahe seiner oberen Gren-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
ze immer sehr die einzelne Baumindividualität, die in Wechselwirkung mit der Umwelt steht.

Wenn man für eine erste Orientierung einen Mittelwert zwischen dichtem Bestand und Lücke nimmt, so kann man annehmen, daß nur etwa 30 % der sommerlichen Niederschläge der Freifläche in den Boden gelangen. Denn es ist zu berücksichtigen, daß Bodenvegetation in den Waldlücken und Nadelstreu unter dichten Kronen auch noch ca. 20 % absorbieren. Schnee gelangt mehr in den Bestand (siehe unten, ca. 80 % der Freilandwerte). Rund 400 mm jährlich stehen dann dem Zirbenwald für seine Transpiration oder allgemein Wasserverbrauch zur Verfügung. Diese dürfte er fast zur Gänze für sich benötigen. Es ist daher nicht verwunderlich, daß in einigermaßen geschlossenen Zirbenbeständen Jungwuchs weithin fehlt; die Altbäume dursten den Nachwuchs förmlich aus. Das steht im Einklang mit der empirischen Feststellung von der allgemein großen Trockenheit der Waldböden. Noch dazu herrscht Lichtmangel, der am Untersuchungsort auch bei ausreichender Wasserversorgung höchstens einen schlechtwüchsigen Jungwuchs ermöglichen würde (TURNER 1958).

B. Schneemessungen

7 Schneepegel waren zur Erfassung der Schneedeckenverhältnisse an folgenden Plätzen aufgestellt:

1) Lärchenwald, seit 1954 (auf einer flachen, stärker windbeeinflußten Rippe).
2) Zirben-Lärchenwald in N-Exposition, seit 1954.
3) Lichtung-Nordrand, seit 1953.
4) Lichtung-Mitte, seit 1953.
5) Lichtung-Südrand, seit 1953.
6) Schneise, von 1953 bis 1956.
7) Zirbenwald, von 1953 bis 1956.

Alle Schneepegel, außer Nr. 2, waren WNW exponiert.

Aus dem Zahlenmaterial über die Schneedeckenverhältnisse nach den durchschnittlich wöchentlichen Ablesungen dieser Schneepegel von Nov 1953 bis Juni 1958 können hier nur einige ausgewählte Daten wiedergegeben werden.

Der Höchststand der Schneedecke wird einheitlich an allen Meßstellen im März erreicht (in der Kampfzone 2200 m durchschnittlich erst im April), die Abbauperiode beginnt also auf der Lichtung rund ein Monat früher als in der Kampfzone.

Im ganzen ist eine sehr ausgeglichene Schneeverteilung festzustellen:

Mittlere Schneehöhen (cm) März 1954/55 1957/58

Lä-Wald	Zi-Lä-Wald	Li-NR	Li-Mitte	Li-SR	Schneise	Zi-Wald
74 %	115 %	83 %	100 %	98 %	100 %	83 %
			118 cm			

An keiner Meßstelle wurden je über 2 m Schnee gemessen und auch am schneeärmsten Standort (Lärchenwald) wurden im Hochwinter durchschnittlich mindestens 1/2 m Schnee angetroffen. Es fällt auf, daß der Zirbenwald trotz dichterem Kronendach größere Schneemengen aufweist als der Lärchenwald, dessen Schneedecke sicherlich zum Teil windverfrachtet wird (Rippenstandort!).

Im Vergleich zur Basisstation Waldgrenze erreichen die Schneehöhen in Lichtung-Mitte höhere Werte (durchschnittlich 111 %). Erst in der Abbauperiode, im April und Mai, sinken die Schneehöhen auf der Lichtung unter jene an der Waldgrenze

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

150 m höher.

Einschneien:

Außer am beschatteten Südrand der Lichtung sind keine nennenswerten Unterschiede im Datum des Beginns der bleibenden Winter-Schneedecke zu erkennen, dort aber bleibt der Schnee im Mittel von 5 Jahren 17 Tage früher liegen als in der Mitte der Lichtung.

Ausaperung:

5-jährige Mittel des Aperdatums:

Lä-Wald	Zi-Lä-Wald	Li-NR	Li-Mitte	Li-SR	Schneise	Zi-Wald
24.IV.	19.V.	30.IV.	14.V.	28.V.	21.V.	24.V.

Vorstehende kleine Tabelle zeigt, daß Lärchenwald und Lichtung-Nordrand (besonnt) rund 1 Monat früher ausapern als die am längsten schneebedeckt bleibenden Stellen (Lichtung-Südrand, Zirbenwald). Der Grund dafür liegt darin, daß an ersteren Stellen keine so großen Schneehöhen erreicht werden und daß diese Schneemengen ab Beginn der Ablationsperiode auch rascher abschmelzen. Während am beschatteten Südrand der Lichtung ab Mitte April nur 2.35 cm pro Tag, im Zirbenwald gar nur 2.18 cm pro Tag geschmolzen werden, beträgt die tägliche Abschmelzrate (natürlich immer die gelegentlichen Neuschneefälle einbezogen) am besonnten Lichtungsrand 3.2 cm (Durchschnitt von 5 Jahren). Das ist ein Unterschied von 30 %.

Der Strahlungseinfluß bringt die Schneemengen am besonnten Lichtungsrand um 1/3 rascher zum Schmelzen als am beschatteten Rand.

Ausaperungskartierungen im Zirben-Lärchenwald zeigen als wesentliches Merkmal weiterhin, daß vor allem die Kleinlichtungen und größeren Lücken als ausgesprochene Schneelöcher zu bezeichnen sind, wo infolge großen Schneeauftrages und langsamen Abtrages der Schnee bis weit in den Juni hinein liegen bleibt.

An solchen Standorten ist der Zirbenjungwuchs durch Pilzbefall außerordentlich gefährdet (siehe S. 310 f.).

IV. Die Niederschlags- und Schneehöhenmessungen an der Waldgrenze 2072 m

Die im folgenden Abschnitt mitgeteilten Meßergebnisse von der Station Waldgrenze können das bisher behandelte Niederschlagsklima der inneren Ötztaler Alpen teilweise ergänzen, insbesondere was den Unterschied zwischen den Talstationen Vent und Obergurgl und unserer Hangstation betrifft, vor allem aber bilden sie den Anschluß an das Großklimanetz für die eigentlichen bioklimatischen Niederschlagsuntersuchungen auf der Lichtung im Zirben-Lärchenwald und in der Kampfzone des Baumwuchses.

An der Basisstation Waldgrenze 2070 m wird seit Juni 1954 durchlaufend der flüssige und feste Niederschlag mit einem Regen-Schnee-Schreiber, System Hellmann (Auffangfläche 500 cm^2 3 m über Boden, mit Nipher-Windschutzring) registriert (siehe Abb. 85).

Die Aufstellung von Regen-Schnee-Schreiber und Schneepegel auf einer Verebnung soll möglichst ausgeglichene aerodynamische Verhältnisse und damit Messungen gewährleisten, die für das allgemeine Niederschlagsangebot des Untersuchungsgebietes repräsentativ sind.

Die Ergebnisse der Auswertung des 5-jährigen Registriermaterials (Juni 1954 bis Mai 1959) sind in den Tabellen 9 15 niedergelegt.

Als mittlere Jahresmenge der 5-jährigen Meßperiode ergab sich 1015 mm (in Obergurgl 1927 m 894 mm, in Vent 1892 m 694 mm).

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Zur Reduktion (nach der Quotientenmethode) auf eine langjährige Reihe wurde die am nächsten gelegene Station des Hydrographischen Dienstes in Obergurgl-Pirchitt 1927 m verwendet, von welcher eine 40-jährige Meßreihe 1911-1950 vorliegt (Hydrogr. Dienst in Österr. 1952).



Abb. 85: Die Basisstation Waldgrenze 2070 m im Winter. Blick vom 10-m-Windgerüst auf englische Wetterhütte, links Regen-Schnee-Schreiber, rechts Strahlungsstation und Basis-Schneepegel

Diese Station zeigte im Durchschnitt der Jahre 1954 - 1959 in bezug auf die 40-jährige Reihe um 7.5 % mehr Niederschlag, bzw. der langjährige Durchschnitt der Niederschlagsmenge lag um 7.0 % unter dem der 5-jährigen Meßreihe. Mit Hilfe dieses Reduktionsfaktors ergibt sich für unsere Station eine mittlere Jahresmenge 1911 - 1950 von 944 mm.

Nach der Höhenabhängigkeitskurve des Niederschlags (siehe Abb. 84) wäre ein geringerer Wert (ca. 875 mm) zu erwarten gewesen, wenn man das nur 143 m tiefer gelegene Obergurgl mit dem Normalwert 831 mm als Ausgangsbasis heranzieht.

In Tabelle 9 sind alle Monatsmengen der 5 Meßjahre angeführt.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Tabelle 9: Monatliche, halbjährliche und jährliche Niederschlagsmengen (mm) an der Basisstation Waldgrenze-Obergurgl (2070 m) in den hydrologischen Jahren 1954/55 bis 1958/59, sowie Mittelwerte der Periode 1911 bis 1950 [1]

	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Wi-Hj.	So-Hj.	Jahr
1953/54									98	121	134	87		(636)	
1954/55	38	32	197	52	139	55	143	87	68	77	56	100	513	531	1044
1955/56	43	36	34	55	29	73	65	83	159	100	109	135	270	651	921
1956/57	139	63	19	38	94	36	76	116	135	145	122	65	389	659	1048
1957/58	25	75	36	53	117	58	134	64	114	99	88	52	364	551	915
1958/59	146	76	137	42	22	87	93	103					510		
Mittel	78	56	85	48	80	62	102	91	115	108	102	88	409	606	1015
Mittel [1] 1911-50	77	71	63	55	73	53	83	87	92	105	103	80	392	551	944

1) Reduktionsbasis: Obergurgl 1930 m, Station des Hydrographischen Dienstes. 40-jährige Mittelwerte veröffentlicht in "Die Niederschlagsverhältnisse in Österreich im Zeitraum 1901 1950". Teil I. Hydrograph. Zentralbüro Wien 1952.

Das Maximum im reduzierten Jahresgang fällt mit 103-105 mm auf die Monate Juli-August, das Minimum mit 53 mm auf den März. In den Sommer- und Wintermonaten (mit Ausnahme Februar) sind die monatlichen Mengen gegenüber Obergurgl (siehe Tabelle 10) nicht sonderlich erhöht, recht beträchtlich dagegen in den Frühlings- und Herbstmonaten (IV-V, X-XI). Das legt die Vermutung nahe, daß die in diesen Monaten südlich des Alpenhauptkammes vorherrschende Niederschlagstätigkeit über das Königsjoch auf unsere Station übergreift und die Mehreinnahme bewirkt. (Eine Niederschlagsauswertung nach Windrichtungen, die diese Frage wird klären können, ist beabsichtigt, kann hier aber noch nicht eingebaut werden).

Am variabelsten in der Niederschlagsmenge erwies sich der Dezember. 1954 brachte dieser Monat mit 197 mm die Rekordmenge der monatlichen Niederschläge aller 5 Jahre, 1956 dagegen mit nur 19 mm die geringste Monatsmenge. (In Obergurgl brachte der Feber 1948 mit 357 mm das absolute Monatsmaximum der 40-jährigen Reihe).

Tabelle 10: Monatliche, halbjährliche und jährliche Niederschlagsmengen (mm) an der Station Obergurgl 1930 m (Hydrogr. Dienst) in den hydrologischen Jahren 1954/55 bis 1958/59 sowie Mittelwerte der Periode 1911 bis 1950.

	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Wi-Hj.	So-Hj.	Jahr
1953/54									87	107	123	81		(568)	
1954/55	31	25	175	38	64	44	43	41	62	69	53	83	376	351	727
1955/56	29	29	47	60	23	39	60	80	131	95	103	125	277	594	871
1956/57	114	59	20	42	90	25	68	95	136	131	122	67	350	619	969
1957/58	26	79	25	76	100	50	96	66	123	112	96	61	356	554	910
1958/59	110	48	129	41	28	73	81	89					428		
Mittel	62	48	79	51	61	56	70	74	108	103	99	83	357	537	894
Mittel 1911-50	61	61	58	58	56	48	57	71	86	100	100	75	342	489	831

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Von der Jahresmenge entfallen im Durchschnitt 59 % auf das Sommerhalbjahr (siehe Tabelle 11). Ziemlich genau die Hälfte der Jahresmengen (also rund 500 mm) fällt in die Vegetationszeit an der Waldgrenze, die hier von Mitte Mai bis Ende Oktober reicht.

Tabelle 11: Niederschlagsverteilung auf das Winter- und Sommerhalbjahr in den fünf Jahren VI. 1954 bis V. 1959 sowie Mittelwerte 1911-50 [1]

		Obergurgl-Waldgrenze 2070 m			Obergurgl-Hydrograph. D. 1930 m			Obergurgl-Sportheim 1950 m			Vent 1900 m		
		mm	% der Jahresmenge	% der Normalmenge (1911-50)	mm	% der Jahresmenge	% der Normalmenge (1911-50)	mm	% der Jahresmenge	% der Normalmenge (1911-50)	mm	% der Jahresmenge	% der Normalmenge (1911-50)
1954	Sommerhalbjahr [2]	636		115	568		116	577		120	541		128
1954/55	Winterhalbjahr	513	49	131	376	52	110	262	40	87	258	39	97
	Sommerhalbjahr	531	51	96	351	48	72	390	60	81	409	61	96
	Jahr	1044		111	727		88	652		84	667		97
1955/56	Winterhalbjahr	270	29	69	277	32	81	236	27	79	148	22	56
	Sommerhalbjahr	651	71	118	594	68	121	627	73	131	519	78	122
	Jahr	921		98	871		105	863		111	667		97
1956/57	Winterhalbjahr	389		99	350	36	102	297	34	99	202	27	76
	Sommerhalbjahr	659	83	120	619	64	126	581	66	121	542	73	128
	Jahr	1048		111	969		117	878		113	745		108
1957/58	Winterhalbjahr	364	40	93	356	39	104	336	42	112	178	31	67
	Sommerhalbjahr	551	60	100	554	61	113	456	58	95	404	69	95
	Jahr	915		97	910		110	791		101	582		84
1958/1959	Winterhalbjahr	510		130	428		125	436		145	270		102
Mittel VI.54-V.59	Winterhalbjahr	409	40	104	357	40	104	313	37	104	211	30	
	Sommerhalbjahr	606	60	110	537	60	110	526	63	110	483	70	114
	Jahr	1015		108	894		108	839		108	694		101
Mittel 1911-50	Winterhalbjahr	392	41	100	342	41	100	300	38	100	266	39	100
	Sommerhalbjahr	551	59	100	489	59	100	480	62	100	424	61	100
	Jahr	944		100	831		100	780		100	690		100

1) Mittelwerte 1911-50 für Obergurgl (HD) und Vent aus Hydrogr D. 1952, für Obergurgl-Waldgrenze und Obergurgl-Sportheim reduziert nach Obergurgl-HD.
2) Monate VI IX 1954 und IV V 1959.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Nicht nur wie viel Niederschlag, sondern auch in welcher Verteilung er fällt, ist wichtig. Die Verteilung in der Zeit, über die hier vor allem berichtet werden kann, ist gut ausgeglichen. Die Tabellen 12 15 bringen eine Übersicht darüber.

Tabelle 12 zeigt die Andauern der längsten Trockenperioden pro Monat. Greift eine solche Periode von einem Monat auf den nächsten über, so wurde sie immer dem Monat zugezählt, dem der größere Teil der Periode angehört. Bemerkenswert ist, daß in den Sommermonaten (Juni bis August) nie eine Trockenperiode auftrat, die länger als 8 Tage dauerte. Die längsten Trockenperioden mit durchschnittlich 12 Tagen Dauer waren erst im November anzutreffen, also bereits außerhalb der Vegetationszeit. Das Maximum von 20 hintereinanderfolgenden niederschlagsfreien Tagen fiel in den Februar 1959.

Tabelle 12: Maximale Andauer der Trockenperioden in Tagen (größte ununterbrochene Folgen von niederschlagsfreien Tagen) an der Basisstation Waldgrenze-Obergurgl 2070 m

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
1954	-					2	3	4	4	12	9	5	
1955	13	2	5	7	3	4	4	3	6	6	10	18	18
1956	8	7	4	7	3	3	5	3	11	10	10	8	11
1957	8	8	7	3	4	4	5	8	7	13	19	12	19
1958	13	8	8	4	14	5	4	5	8	8	13	9	14
1959	6	20	10	6	5	5							(20)
Mittel	9.6	9.0	6.8	5.4	5.8	3.8	4.2	4.6	7.2	9.8	12.2	10.4	
Max.	13	20	10	7	14	5	5	8	11	13	19	18	

Nach einer Zusammenstellung von STEINHAUSER (1936) sind in der 40-jährigen Beobachtungsperiode 1891 1930 in verschiedenen Gebieten der Ostalpen im Sommer Trockenperioden von maximal 17 Tagen Andauer aufgetreten. Trockenperioden, die länger als 10 Tage währen, sind unter gewissen Umständen, vor allem, wenn sie mit hoher Temperatur, geringem Dampfdruck der Atmosphäre und starker Bewindung gekoppelt sind, für viele Pflanzen bereits gefährlich.

Die Übersicht über die Zahl der Niederschlagstage (Tabellen 13 und 14) lehrt, daß im Sommer jeder 2. Tag ein Niederschlagstag war, und noch durchschnittlich jeder 4. Tag brachte eine Niederschlagsmenge von 5.0 mm oder mehr, also solche Mengen, die auch dem Wurzelraum der Pflanze zugute kommen. Die Monate mit größter Niederschlagsfrequenz sind Juni und Juli; sie haben durchschnittlich 19 Niederschlagstage. Die geringste Frequenz haben November und Jänner mit je 10 Niederschlagstagen.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Tabelle 13: Zahl der Tage mit Niederschlag ≧ 0.1 mm an der Basisstation Waldgrenze-Obergurgl 2070 m.

	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Wi-Hj.	So-Hj.	Jahr
1953/54		-							18	19	19	19		(101)	
1954/55	12	11	15	9	19	12	14	19	20	23	18	15	76	109	185
1955/56	15	9	12	12	10	15	18	18	23	15	19	11	72	104	176
1956/57	12	13	10	13	13	11	16	18	19	18	18	11	57	100	157
1957/58	4	7	9	12	10	16	21	11	19	18	14	11	82	94	176
1958/59	16	9	19	13	2	9	10	16					68		
Mittel	12	10	13	10	11	13	16	16	19	19	18	13	71	102	173

Tabelle 14: Zahl der Tage mit Niederschlag ≧ 5.0 mm an der Basisstation Waldgrenze-Obergurgl 2070 m.

	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Wi-Hj.	So-Hj.	Jahr
1953/54					-				7	8	6	8		(41)	
1954/55	3	2	8	3	8	4	8	7	7	6	4	7	28	39	67
1955/56	2	1	4	7	4	10	7	10	10	8	7	5	28	47	75
1956/57	8	5	1	2	5	3	6	9	10	10	9	4	24	48	72
1957/58	2	4	3	4	7	5	9	6	9	9	8	3	25	44	69
1958/59	9	5	7	3	1	6	6	6							
Mittel	4.8	3.4	4.6	3.4	5.0	5.6	7.2	7.6	8.6	8.2	6.8	5.4	27.2	43.8	71.0

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Die mittlere Ergiebigkeit der Niederschläge (siehe Tabelle 15) weist keinen ausgeprägten Jahresgang auf. Im Mittel bringt jeder Niederschlagstag 6 mm.

Tabelle 15: Mittlere Ergiebigkeit der Niederschläge (Niederschlagsmenge pro Tag mit Niederschlag ≧ 0.1 mm) an der Basisstation Waldgrenze-Obergurgl 2070 m.

	X	XI	XIII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Wi-Hj.	So-Hj.	Jahr
1953-54									5	6	7	5		(6.3)	
1954-55	3	3	13	6	7	5	10	5	3	3	3	7	6.8	4.9	5.6
1955-56	3	4	3	5	3	5	4	5	7	7	6	12	3.8	6.3	5.2
1956-57	12	5	2	3	7	3	5	6	7	8	7	6	6.8	6.6	6.7
1957-58	6	11	4	4	12	4	6	6	6	6	6	5	4.4	5.9	5.2
1958-59	9	9	7	3	11	10	9	6	6				7.5		
Mittel	6.6	6.2	5.8	4.2	8.0	5.2	6.9	5.6	5.8	6.0	5.8	6.8	5.8	5.9	5.9

Die Schneeverhältnisse an der horizontalen Basisstation sind in Tabelle 16 zusammengefaßt. Im Mittel von 5 Jahren begann die bleibende Winter-Schneedecke am 7. November und endete am 17. Mai, dauerte somit 192 Tage = 53 % des Jahres. Das ist, wenn man sie auf eine langjährige Reihe reduziert (siehe Tabelle 17), wie bereits erwähnt, eine um einen ganzen Monat kürzere Andauer, als die im Durchschnitt der Ostalpen gegeben ist.

Der Schneereichtum der einzelnen Winter wird am besten ausgedrückt durch die Summe der täglichen Schneehöhen und durch die mittlere Schneehöhe (= Summe der täglichen Schneehöhen dividiert durch Andauer der Schneedecke); in dieser Beziehung stehen die Jahre 1954/55 und 1958/59 mit 86 bzw. 87 cm mittlerer Schneehöhe oben an. Der Winter 1953/54 war mit 54 cm mittl. Schneehöhe ausgesprochen schneearm (siehe Abb. 86). 48 % des Jahresniederschlages fallen in die Schneedeckenzeit.

Tabelle 17: Reduktion der Schneedeckenverhältnisse an der Basisstation Waldgrenze 2070 m (Periode 1954/55 1957/58) auf die 20-jährige Reihe 1930/31 1949/50 von Obergurgl-Pirchitt 1927 m

Obergurgl HD 1927 m	Beginn der Winterdecke	Ende der Winterdecke	Zahl der Tage mit Schneedecke	Zahl der Tage mit Winterdecke	Größte Schneehöhe (cm)
1954/55-1957/58	12. XI.	7. V.	194	177	163
1930/31-1949/50	23. XI.	1. V.	174	160	103
Basis Waldgrenze					
1954/55-1957/58	12. XI.	16. V.		186	130
1930/31-1949/50	23. XI.	12. V.	182	171	92

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Tabelle 16: Die (bleibende) Winter-Schneedecke an der horizontalen Basis-Station Obergurgl-Waldgrenze 2070 m in den Jahren 1953/54 bis 1958/59.

	W				S h e e d e		e
	Beginn	Ende	Andauer Tage	% des Jahres	Summe der täglichen Schneehöhen (cm)	Mittlere Schneehöhe (cm)	Größte Schneehöhe (cm)	iederschlagsmenge (mm)	% der Jahres-menge
1953/54	20. XII.								
1954/55	7. XII.								
1955/56	10. XI.								
1956/57	26. X.								
1957/58	7. XI.								
1958/59	16. X.								
Mittel 1954/55-1957/58									
Mittel 1954/55-1958/59	7. XI.								
Mittel 1953/54-1958/59									

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

In Tabelle 17 wurde versucht, die Schneedeckenverhältnisse auf die 20-jährige Reihe 1930/31 1949/50 von Obergurgl-Pirchitt 1927 m (Hydrograph. Dienst) zu reduzieren. Es ist dies jedoch ein problematisches Unterfangen, da die Zahl der an unserer Station für den Vergleich zur Verfügung stehenden Jahre noch nicht ausreicht, um eine einwandfreie Reduktion durchführen zu können. Die Schneedecke reagiert ja bekanntlich auf lokale Einflüsse und säkulare Klimaänderungen, die im betrachteten Zeitraum sicher mitspielen, besonders empfindlich. Die in Tabelle 17, Zeile 4 genannten Werte dürfen also nicht ohne weiteres als verbindlich betrachtet werden.

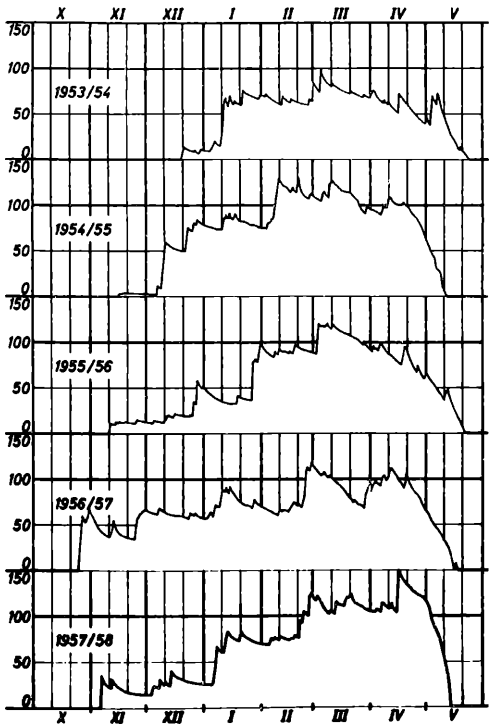


Abb. 86: Die Schneedeckenentwicklung in den Wintern 1953/54 bis 1957/58 an der Basisstation Waldgrenze 2070 m

In Ergänzung zu Tabelle 16 sind in Abb. 86 die Schneedeckenentwicklungen der einzelnen Winter 1953/54 bis 1957/58 graphisch dargestellt. Es ist ersichtlich, daß der Auf- und Abbau der Schneedecke sich in den einzelnen Wintern sehr unterschiedlich vollzieht. Jeder einzelne Winter hat seine eigene Schneedeckencharakteristik.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

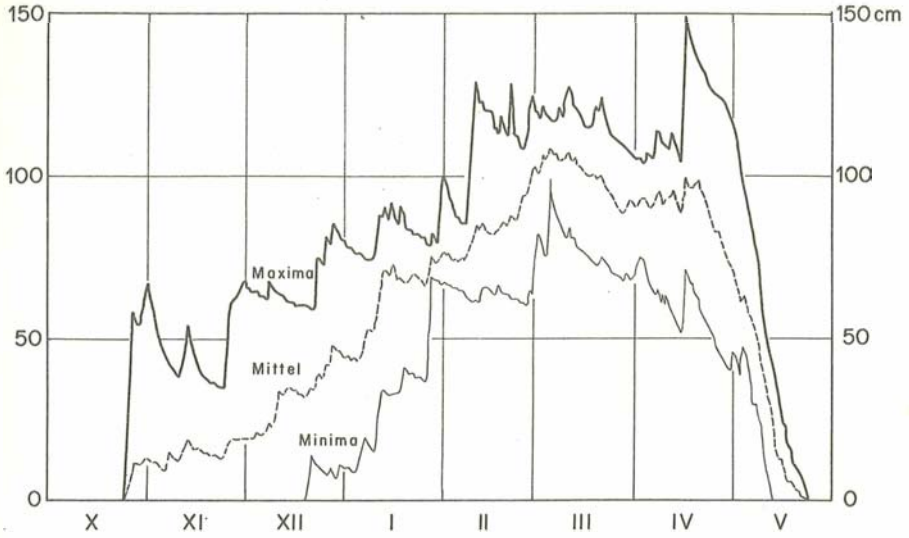


Abb. 87: Maximale und minimale Schneehöhen sowie tägliche Mittelwerte 1953 / 54 bis 1957 / 58 an der Basisstation Waldgrenze 2070 m

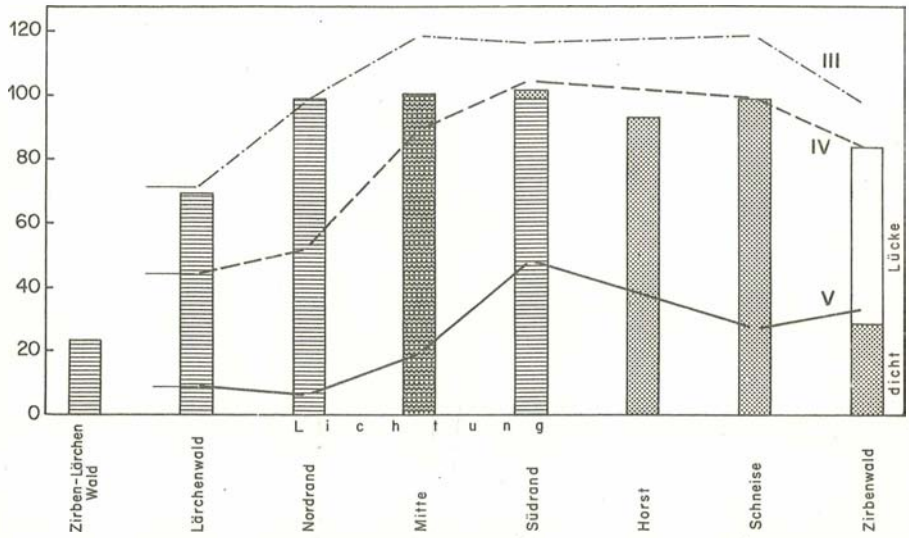


Abb. 88: Relative Niederschlagsmengen (% der Freifläche in Lichtungsmitte; punktierte Säulen: Monate VI-VIII; schraffierte Säulen: Monate IX-X 1953) und mittlere Schneehöhen (cm, Monate III-V 1954-1958) im Untersuchungsgebiet Lichtung-Poschach

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Durch extrem spätes Einschneien (20. XII.) und Schneearmut (maximal 1 m, mittl. Schneehöhe 54 cm) ist der Winter 1953/54 gekennzeichnet. Ergiebige Neuschneefälle und kühle Witterung im April und Mai zögern jedoch das Ausapern am weitesten von allen 5 Jahren (bis 23. Mai) hinaus.

Den Typus des kurzen, aber schneereichen Winters (Schneedeckenandauer 157 Tage, mittlere Schneehöhe 86 cm) verkörpert der folgende von 1954/55.

Am meisten dem durchschnittlichen Verhalten entspricht der Winter 1955/56 (mittleres Einschneidatum und mittlere Schneedeckenandauer, Maximum der Schneehöhe in der ersten Märzhälfte), jedoch ist er mit nur 60 cm mittl. Schneehöhe als schneearm zu bezeichnen. Die ergiebigen Neuschneefälle am 26. I. führten zu verbreiteten Lawinenstürzen, auch in der Beerrinne.

Einen auffallend gleichmäßigen Verlauf der Schneehöhen brachte der folgende Winter 1956/57, als schon Ende Oktober über 1/2 m Schnee lag und die Maxima im Hochwinter nur ganz wenig über 1 m hinausgingen.

Der Winter 1957/58 ist durch sein spätes, erst Mitte April sich einstellendes Schneehöhenmaximum (mit 150 cm das größte aller 6 Winter 1953 1959) sowie durch abnorm rasches Abschmelzen der Schneedecke gekennzeichnet: innerhalb von 14 Tagen ab 1. Mai schmelzen 120 cm Schnee ab, innerhalb von 4 Tagen ab 10. Mai 60 cm Schnee!

Der nicht mehr abgebildete Winter 1958/59 brachte mit 219 Tagen die längste Schneedeckenandauer, welche die kürzeste Andauer 1953/54 fast um die Hälfte überragt, und mit 87 cm mittlerer Schneehöhe den größten Schneereichtum.

Die maximalen, minimalen sowie mittleren Schneehöhen für alle Tage der 5 Winter 1953/54 bis 1957/58 zeigt Abb. 87. Die Kurve der täglichen Mittelwerte ist wegen der geringen Anzahl von Jahren natürlich noch nicht ausgeglichen. Die Akkumulationsperiode dauert durchschnittlich bis zum mittleren Maximum (110 cm) in der ersten Märzhälfte. Die zweite Märzhälfte stellt eine Abbauperiode dar und Mitte April folgt ein sekundäres Maximum (100 cm). Ab Mitte April datiert der eigentliche Abbau der Schneedecke, der sich innerhalb eines Monats vollzieht.

Normalerweise (im Durchschnitt der Ostalpen) wird das Maximum der Schneehöhe bis ca. 1200 m im Februar, von 1300 bis 1800 m im März, von 1900 bis 2500 m im April und darüber im Mai und Anfang Juni erreicht (STEINHAUSER 1949, S. 67).

Angaben über mittlere monatliche Schneehöhen u. a. für die Basisstation Waldgrenze liegen in Form von Tabellen vor, die jedoch in diesem Rahmen nicht abgedruckt werden können.

V. Die Schneedeckenverhältnisse im Untersuchungsgebiet Kampfzone

Vom Talboden in 1800 m Höhe bis zur Daunmoräne in 2230 m Höhe stehen rund 60 Schneepegel, die seit 1954 jeden Winter durchschnittlich wöchentlich abgelesen werden. Im ersten Beobachtungswinter 1954/55 geschah dies fast täglich (Situation siehe Abb. 89).

Die Schneepegel wurden aufgestellt mit der besonderen Absicht, vor allem die bekannte Wind-Schnee-Abhängigkeit des Auftretens der verschiedenen Pflanzengesellschaften und Holzarten (FRIEDEL 1952, 1953, 1956) quantitativ zu erfassen.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

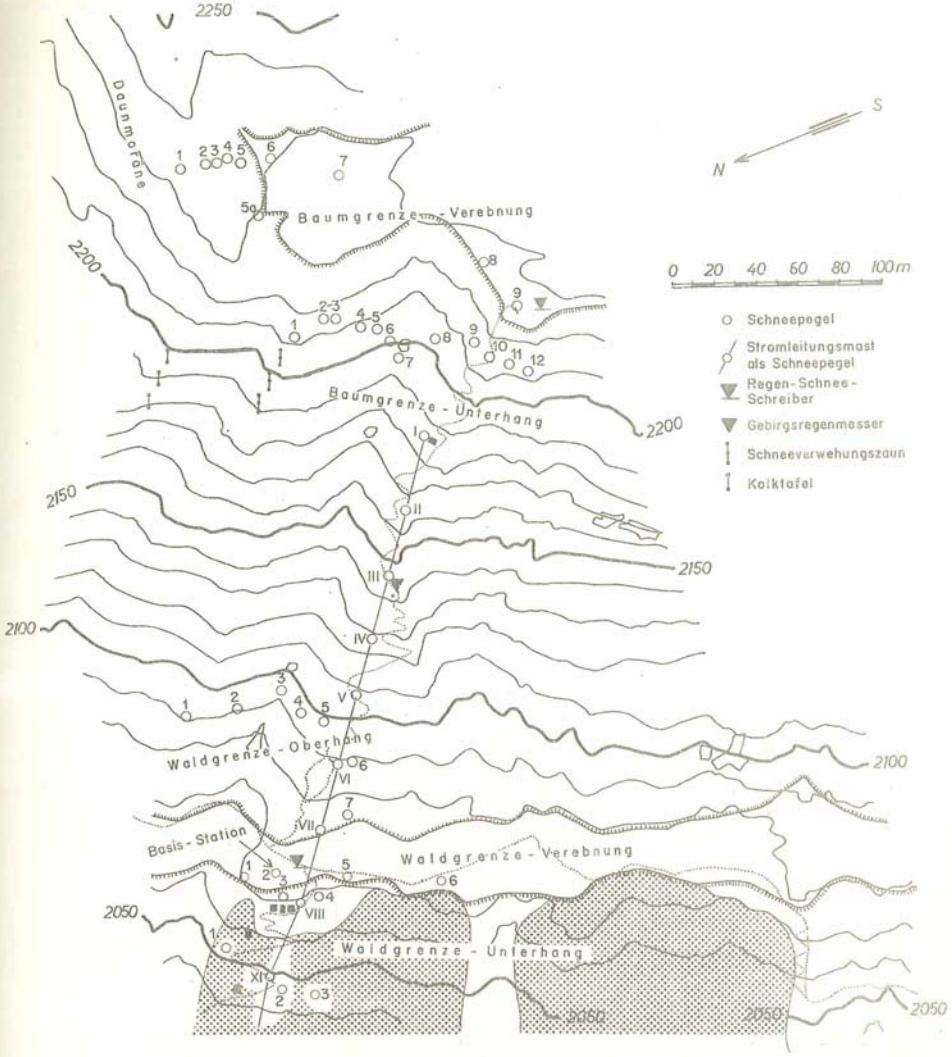


Abb. 89: Karte des Untersuchungsgebietes Kampfzone mit eingezeichneten Niederschlagsmeßstellen und Schneepegeln

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Für vorliegende Arbeit wurden die Ablesungen an allen Schneepegeln mit Ausnahme derer am ostexponierten Gegenhang in den 4 Wintern 1954/55 bis 1957/58 ausgewertet. Rund 12.000, oft in sehr ungleichen Zeitabständen erfolgte Ablesungen mußten verwertet, d.h. verifiziert und zur Gewinnung brauchbarer Mittelwerte nach der Basisstation Waldgrenze, von der fast tägliche Ablesungen vorliegen, reduziert werden. In tabellarischer Form existieren für jede Meßstelle Daten über:

1) Monatsmittel der Schneehöhen von November bis Juli.
2) Maxima und Minima der monatlichen Schneehöhen.
3) Schneedeckenwahrscheinlichkeit für jeden Monat.
4) Beginn, Ende sowie Andauer der Schneedecke.

Damit sind zum erstenmal mehrjährige genaue quantitative Daten über die Schneeverhältnisse für die verschiedenen Pflanzengesellschaften der subalpinen Stufe erstellt.

Außerdem wird der Anschluß an die Kartierung der Ausaperung gewonnen und aus den gewonnenen Beziehungen zwischen Schneehöhe und Aperdatum kann die Karte der Ausaperung ohne weiteres in eine Karte der Schneehöhen verwandelt werden. Mit Hilfe einiger Schneedichtemessungen in den verschiedenen Reliefsituationen wäre auch leicht eine Karte der Schneemengen zu zeichnen.

In den folgenden Tabellen 18 – 20 sind die Schneepegelplätze beschrieben.

Tabelle 18: Standortsbeschreibung der Schneepegel Daunmoräne Baumgrenze-Verebnung 2230 m

SP Nr.	Exposition	Geländesituation	Vegetation
1	27° N	Luvhang der Daunmoräne	Grenze Vaccinietum ulig./Loiseleurietum (Al 3, Lois. 2, Vacc. ul. 2, Emp. 1, Cetr. niv. 3, Clad. silv. 2)
2	horizontal	Scheitel der Daunmoräne	Loiseleurietum alectoriosum (Lois. 3, Al. 3, Vacc. ul. 2, Cetr. isl. 2, Cetr. niv. 2, Stereoc. 2)
3	18° S	Leehang der Daunmoräne, 4.5 m südl. von 2	Grenze Vaccinietum ulig./Juniperetum nanae (Vacc. ul. 2., Junip. 2, Stereoc. 3, Nard. 2, Clad. silv. 1)
4	19° S	Leehang der Daunmoräne, 12 m südl. von 2	Festucum Halleri (Fest. Hall. 3, Vacc. ul. 2, Nard. 2)
5	21° S	Leehang der Daunmoräne, 16.5 m südl. von 2	Nardetum strictae mit Vaccinium uliginosum (Nard. 3, Vacc. ul. 2, Fest. Hall. 2)
5a	horizontal	Verebnung im Lee südl. der Daunmoräne, Mulde zwischen Daunmoräne und Haupthügel	Nardetum strictae
6	horizontal	Verebnung am Südfuß der Daunmoräne, 27 m S 2	Nardetum strictae
7	horizontal	Verebnung südlich der Daunmoräne, 43 m südl. von 2	Nardetum strictae (Hügelrasen)
8	9° N	Hügel am Rand der Verebnung-Baumgrenze gegen Beerrinne	Loiseleurietum alectoriosum (Lois. 4, Al. 3, Vacc. ul. 3, Cetr. crispa 2, Cetr. niv. 1, Luz. 1, Clad. silv. 1)
9	15° NW	Luvhang der Verebnung-Baum-	Vaccinietum uliginosi

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Tabelle 19: Standortbeschreibung der
Schneepegel Baumgrenze-Unterhang 2200 m

SP Nr.	Exposition	Geländesituation	Vegetation
1	27° NW	Scheitel der Hauptrippe	Alectorietum Loiseleuriosum (Al 3, Lois. 3, Vacc. ul. 3, Car. curv. 2, Cetr. crispa 2, Cetr. niv. 2)
2	35° WSW	Leehang der Hauptrippe	Vaccinietum myrtilli (Vacc. myrt. 3, Vacc. ul. 3, Emp. 2, Rhod. 2, Lois. 1)
3	31° WSW	Leehang der Hauptrippe	Rhododendretum ferruginei mit Empetrum hermaphroditum, Vaccinium myrtillus, Loiseleuria procumbens
4	38° WSW	Leehang der Hauptrippe, Wächtenbereich	Rhododendretum ferruginei mit Empetrum, Vacc. ulig. et myrt., Loiseleuria
5	30° WSW	Leehang der Hauptrippe, Bereich der Wächtenstirn	Rhododendretum ferruginei Empetrum, Vacc. ulig., Loisel.
6	32° WSW	Leehang der Hauptrippe	Rhododendretum ferruginei mit Nardus stricta, Empetrum, Vacc. ulig. et. myrt., Gräser
7	30° WNW	Grund der Beerrinne	Vergraste Zwergstrauchheide (Nard. 3, Lig. mut. 2, Cirs. spin. 2, Sibb. proc. 1, Chrysanth. alp. 1, Rhod. +)
8	32° N	Luvhang der Wegrippe, nahe der Beerrinne	Rhododendretum ferruginei nahe der Grenze zum Vaccinietum uliginosi (Rhod. 3, Vacc. ul. 3, Vacc. myrt. 3, Emp. 2, Clad. silv. 3, Cetr. isl. 2)
9	34° N	Luvhang der Wegrippe	Vaccinietum uliginosi (Vacc. ul. 4, Emp. 3, Lois. 3, Clad. silv. 2, Al 2, Salix serp. 2)
10	25° WNW	Scheitel der Wegrippe	erodiertes Alectorietum Obergrenze des Rhododendretum ferr. gegen Vaccinietum uliginosi
11	39° WNW	flache Hangnische im Lee der Wegrippe	Obergrenze des Rhododendretum ferr. gegen Vaccinietum uliginosi
12	40° WNW	schwache Rippe südlich der Wegrippe	Loiseleurietum proc. (Lois. 5, Vacc. ul. 3, Cetr. niv. 1, Al 1)

Tabelle 20: Standortsbeschreibung der
Schneepegel Waldgrenze-Oberhang 2100 m

SP Nr.	Exposition	Geländesituation	Vegetation
1	29° NW	1,5 m im Lee der Windkante der Hauptrippe	Vaccinietum myrtilli (Vacc. myrt. 3, Vacc. vitis-id. 3, Vacc. ul. 3, Lois 2, Clad. silv. 2, Pinus cembra juv.)
2	35° WSW	Leehang der Hauptrippe	Rhododendretum ferruginei (Rhod. 4, Vacc. myrt. 4, Junip. 2, Vacc. ul. 2, Vacc. vitis-id. 2, Deschamps flex. 2, Clad. silv. 2, Dicr. 2)
3	32° NW	Grund der Beerrinne	Vergraste Zwergstrauchheide (Rhod. 2, Vacc. ul. 2, Nard. 2, Poa alp. 2, Anthox. od. 1, Vacc. myrt. 2, Homog. alp. 2, Ligust. mut. 2, Alchem. vulg.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Fortsetzung Tabelle 20:

SP Nr.	Exposition	Geländesituation	Vegetation
4	42° N	Luvhang der Wegrippe	Vaccinietum uliginosi (Vacc. ul. 5, Emp. 2, Lois. 2, Clad. silv. 2, Hyl. alsk. 2, Polytr. junip. 2)
5	33° NW	Wegrippe	Loiseleurietum auf kleiner Kuppe innerhalb des Rhododendretum ferruginei
6	32° WNW	oberer Teil einer flachen Mulde südl. der Wegrippe	Rhododendretum ferruginei (Rhod. 3, Vacc. myrt. 3, Vacc. ul. 1, Emp. 1, Deschamp. flex. 1, Homog. alp. 1, Polytr. junip. 2, Pleuroz. Schreb. 2, Dicr. 2)
7	24° WNW	unterer Teil der Mulde südlich der Wegrippe	Rhododendretum ferruginei

Schneepegel Waldgrenze-Verebnung 2070 m

SP Nr.	Exposition	Geländesituation	Vegetation
1	30° NNE	Luvhang des Basishügels	Loiseleurietum (Lois. 4, Emp. 3, Vacc. vitis-id. 1, Clad. silv. 2, Cetr. isl. 1, Stereoc. alp. 1)
2	horizontal	Verebnung des Basishügels	gerodetes Juniperetum nanae
3	23° W	Westhang des Basishügels	Vaccinietum myrtilli (Vacc. myrt. 3, Vacc. ul. 2, Junip. 2)
4	27° SW	Südwesthang des Basishügels	Rhododendretum ferruginei (Rhod. 3, Nard. 2, Junip. 1, Vacc. ul. 1)

Als schneebedeckt gilt bei allen Angaben über Schneedekkenandauer ein Standort dann, wenn die Meßstelle eine Schneedekke von mindestens 5 cm Höhe aufweist.

Eine erste Übersicht darüber, wie der Schnee und durch ihn z. T. bedingt die Pflanzengesellschaften in zwei verschiedenen Reliefsituationen der baumlosen Kampfzone verteilt sind, bieten Abb. 90 und 91.

In Abb. 90 ist ein Profil durch den obersten Teil des linken Einhanges zum Kinigtal und die nach S anschließende Verebnung gezeichnet. Am Übergang vom Hang zur Verebnung ist hier während des "Daun"-Rückzugsstadiums des eiszeitlichen Kinigtalgletschers eine ausgeprägte, in Abb. 90 im Querschnitt dargestellte Seitenmoräne abgelagert worden, die in E-W-Richtung parallel zum Kinigtal verläuft. Die Hauptwindrichtung, bei welcher der Schnee ins Relief verteilt wird, ist N-NE. Dieser Wind überquert, bevor er die Nordflanke der Daun-Moräne erreicht, das an dieser Stelle 550 m breite und 150 m tief eingeschnittene Kinigtal und kommt mit einer beträchtlichen Aufwärtstendenz an. Die Entwicklung der Schneedecke während des Winters 1955/56 ist in Abb. 90 durch Einzeichnung der mittleren Schneehöhen der Monate Dezember, Februar, März, Mai und Juni angedeutet. Die Schneeverteilung zeigt deutlich, daß der Moränenscheitel nicht der am meisten windbestrichene Teil ist, vielmehr liegen die extremen Windböden 3 8 m nördlich im Luv des Moränenscheitels. Die Form der Schneewächte, die sich alljährlich über dem Scheitel und im Lee der Moräne aufbaut, läßt die Vertikalkomponente des vorherrschenden N-Windes erkennen, denn die Wächte baut sich nicht nur nach S vor, sondern auch nach oben; sie überragt in ihren obersten Teilen den Moränenscheitel um 1 2 m. Die Stirn der Wächte reichte zeitweise (April 1955) 16 m vom Moränenscheitel nach S.

Die Vegetationseinheiten ordnen sich so ein, daß die Windflechtenheide (Alectorietum) die schneeärmsten Böden im Luv der Moräne einnimmt. Am schon besser schneegeschützten Scheitel der Moräne ist ein Loiseleurietum und Vaccinietum uliginosi angesie-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

delt. An jener Stelle im Lee, wo normalerweise die ersten herbstlichen Neuschneewächten liegen bleiben und von wo ab noch im Juni der Wächtenrest liegt, zieht sich ein Streifen mit Zwergwacholder (Juniperus nana) entlang. An dieses Juniperetum schließen sich auf den am längsten schneebedeckten, S-exponierten, im Sommer überhitzten Böden eine schmale Zone mit vorwiegend Stereocaulon alpina und ein Festucetum Halleri an. Das letzte Glied in dieser Reihe bildet auf den flachen, schneereichen, verdichteten Böden ein Bürstling-Höckerrasen (Nardetum strictae).

Die Schneedeckenverhältnisse über den Pflanzengesellschaften der geschilderten Reihe sind in Tabelle 21 durch einige charakteristische Zahlen dargestellt. (Die Angaben für die Schneepegel 1 und 2 beziehen sich dabei auf die 2-jährige Periode 1954/55 1955/56, jene für die Schneepegel 3, 4 und 7 auf die 4-jährige Periode 1954/55 1957/58).

Tabelle 21: Die Schneedecke im Profil Daunmoräne - Baumgrenze-Verebnung 2030 m.

	Alectorietum/ Vaccinietum ul. (SP 1)	Alectorietum Loiseleurioosum (SP 2)	Vaccinietum ul./ Juniperetum nanae (SP 3)	Festucetum Halleri (SP 4)	Nardetum strictae (SP 7)
mittl. Schneehöhe (cm)					
Dezember	7	38	69	57	39
Februar	5	56	115	188	97
April	2	55	182	388	121
Juni	2	3	18	65	13
Max. Schneehöhe (cm)	40	119	280	450	200
Zahl der Tage mit Schneedecke	78	170	218	245	207
Andauer der bleibenden Winterschneedecke (Tage)	36	141	213	240	202
Ausaperung am	30. XII.	14. III.	5. VI.	10. VII.	3. VI.

Ergänzend zu den hier mitgeteilten Daten, welche die extremen Unterschiede zwischen der luvseitigen Windflechtenheide und dem leeseitigen Schwingelrasen zeigen, ist zu betonen, daß an beiden Meßstellen der Windflechtenheide (SP 1 und 2) schon in zwei Beobachtungsjahren sich kein einziger Monat als völlig schneedekkensicher erwies, vielmehr können diese Flächen in jedem Wintermonat zeitweise schneefrei sein, wie Tabelle 22 genauer belegt. Die nach dem herbstlichen Einschneien am längsten anhaltende Schneedecke fand im luvseitigen Alectorietum durchschnitt-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

lich schon nach 36 Tagen, Ende Dezember, durch Windabblasung ihr Ende. Neuerliche Schneebedeckungen zu späteren Zeitpunkten waren alle noch weniger lange anhaltend. In einzelnen Jahren kann es allerdings vorkommen, daß Teile der Windflechtenheide den ganzen Winter über schneebedeckt bleiben, wie es z.B. am Scheitel der Daunmoräne im Winter 1954/55 der Fall war. Im Lee der Moräne und auf der Verebnung waren alle Meßstellen in den Monaten Dezember bis einschließlich April aller Beobachtungsjahre dauernd schneebedeckt.

Tabelle 22: Anzahl der Tage pro Monat mit Schneedecke über der Windflechtenheide (Alectorietum) der Daunmoräne 2230 m

		XI	XII	I	II	III	IV	V	VI
SP 1	1954/55	0	16	4	4	7	3	1	0
	1955/56	21	31	22	23	9	5	3	6
SP 2	1954/55	30	31	31	28	31	30	31	6
	1955/56	21	19	13	8	9	16	4	6

Das Gebiet der Daunmoräne ist deswegen von besonderem Interesse, weil hier die lokale Obergrenze des Zirbenjungwuchses gefunden wurde. Es ist bezeichnend, daß diese, allerdings nur wenige Jahre alten Jungbäume weder in den im Winter häufig schneefreien noch in den am längsten schneebedeckten Pflanzengesellschaften vorkommen, sondern ausschließlich in der Rauschbeerenheide (Vaccinietum uliginosi) mit ausreichender winterlicher Schneedekkensicherheit und mittlerem Ausaperungszeitpunkt. Ein typisches Vaccinietum uliginosi wurde im Bereich der Daunmoräne durch Schneepegelmessungen leider nicht erfaßt, wohl aber die Grenze zum Alectorietum (SP 1) und die Grenze zum Juniperetum nanae (SP 3). Über die Schneeverhältnisse an beiden Stellen unterrichten die Tabellen 21 und 22. Die Grenze des Vaccinietum uliginosi gegen das Juniperetum, knapp im Lee des Moränenscheitels, war im vierjährigen Mittel genau 7 Monate, vom 5.November bis 5.Juni, ununterbrochen schneebedeckt.

Durchschnittlich noch gut um einen Monat länger (bis 10.Juli) blieb Schnee dort liegen, wo die Wächte maximal entwickelt ist (SP 4: Festucetum Halleri); mit 240 Tagen ununterbrochener Andauer im Mittel von 4 Jahren ist dies der Höchstwert unter allen Meßstellen des Untersuchungsgebietes.

Die Verhältnisse über einem typischen Vaccinietum uliginosi der Baumgrenze wurden durch den Schneepegel 9 in der Nähe der Basisstation Baumgrenze erfaßt. Die Meßwerte sind zusammen mit denen für ein alectoriareiches Loiseleurietum (SP 8) in Tabelle 23 wiedergegeben, wofür bei Pegel 8 die Meßwerte aus den Wintern 1954/55 - 1955/56 und 1957/58, bei Pegel 9 jene aus den Wintern 1954/55 1955/56 zur Verfügung standen.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

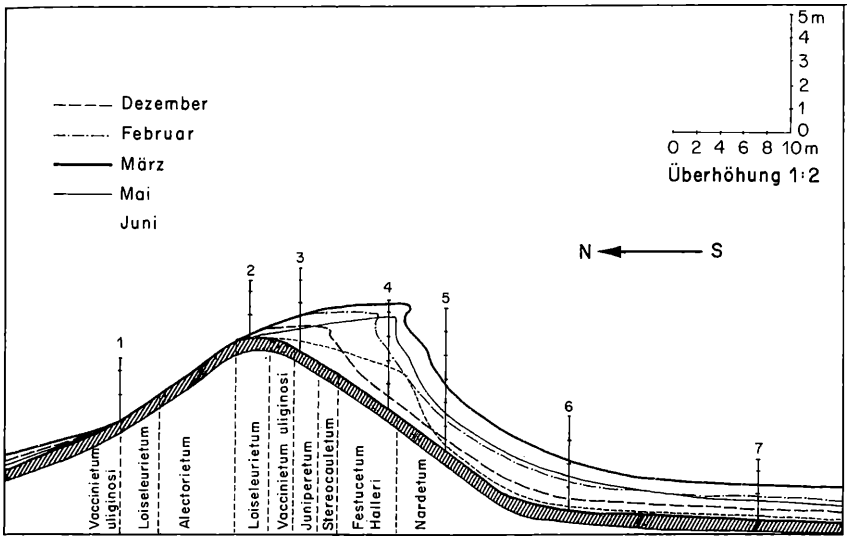


Abb. 90: Nord-Süd-Profil durch die Daunmoräne (Überhöhung 1:2) mit eingezeichneten Pflanzengesellschaften und Monatsmitteln der Schneehöhe von Dezember 1955 bis Juni 1956

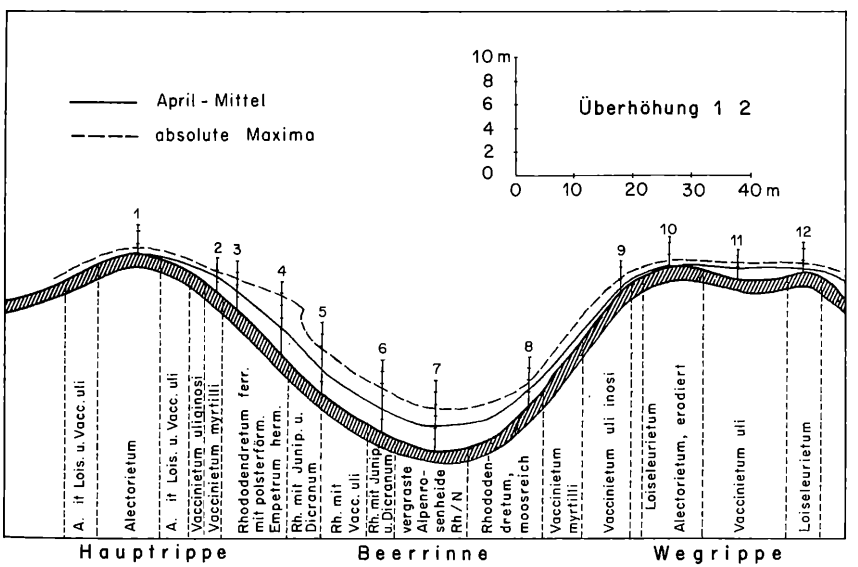


Abb. 91: Querprofil durch Hauptrippe, Beerrinne und Wegrippe (Baumgrenze-Unterhang 2200 m) mit eingezeichneten Pflanzengesellschaften sowie absoluten Maxima und Aprilmittel der Schneehöhen.
Periode 1954/55 1957/58

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Tabelle 23: Die Schneedecke über der Rauschbeerenheide (Vaccinietum uliginosi) und der Gemsheide (Loiseleurietum alectoriosum) im Untersuchungsgebiet Baumgrenze-Verebnung 2230 m.

	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	X - VII
Vaccinietum uliginosi (SP 9)									
mittlere Schneehöhe (cm)	7	27	55	71	82	80	34	6	
maximale Schneehöhe (cm)	15	70	90	128	130	132	100	70	
minimale Schneehöhe (cm)	0	0	22	27	40	35	0	0	
mittl. Zahl der Tage mit Schneedecke	20	25	31	28	31	30	23	7	195
mittlere Andauer der ununterbrochenen Schneedecke (Tage).									161
mittl. Einschneien am									15. XII.
mittl. Ausapern am									24. V.
Loiseleurietum alectoriosum (SP 8)									
mittlere Schneehöhe (cm)	11	7	6	9	11	12	2	2	
maximale Schneehöhe (cm	45	25	15	40	40	60	50	30	
minimale Schneehöhe (cm)	0	0	0	0	0	0	0	0	
mittl. Zahl der Tage mit Schneedecke	16	21	14	16	20	16	4	3	
mittlere Andauer der ununterbrochenen Schneedecke (Tage). .									113
mittl. Einschneien am . .									10. XII.
mittl. Ausapern am									5. III.

Die Rauschbeerenheide, in der Zirbenjungwuchs gefunden wird, weist im Hochwinter durchschnittliche Schneehöhen von 50 80 cm auf und wird in der zweiten Maihälfte schneefrei, während die windflechtenreiche Gemsheide, in der keine Jungzirben überdauern, durchschnittlich nur mit einem Dezimeter Schnee bedeckt ist, keinen Monat völlig schneedeckensicher ist und die Schneedecke (im Mittel) bereits Anfang März abgebaut wird. In einem Winter (1957/58) allerdings blieb die Meßstelle in der Gemsheide in den Monaten Dezember bis April dauernd schneebedeckt.

Abb. 91 stellt die Schnee- und Vegetationsverhältnisse in einer anderen Reliefsituation dar: im Querschnitt durch zwei Geländerippen und die dazwischenliegende Rinne im 30° geneigten Unterhang der Baumgrenze.

Das mit 12 Schneepegeln besetzte Profil verläuft in einer durchschnittlichen Höhe von 2200 m in Richtung N S, 30 m unterhalb der Kante der Verebnung-Baumgrenze. Die Schneehöhen wurden durch Mittel- und Maximalwerte der 4-jährigen Periode 1954/55 1957/58 dargestellt. Das Aprilmittel wurde gewählt, weil in diesem Monat hier die größten Schneehöhen erreicht werden und weil die Schneehöhen zu Beginn der Schmelzperiode die biologisch wichtigsten sind. Als gestrichelte Kurve wurde der Höchstwert, der in den 4 Wintern, gleichgültig zu welcher Zeit, bei den einzelnen Meßstellen verzeichnet wurde, dargestellt.

Die Schneeverteilung im Relief läßt erkennen, daß der Wind am stärksten an den Rippenscheiteln angreift. Diese Abweichung von den Verhältnissen auf der Daunmoräne läßt sich daraus erklären, daß hier eine stärkere Vertikalkomponente des Windes nicht an-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

zunehmen ist, weil der Hang mit seinen relativ niedrigen Rippen und seichten Rinnen direkt in der Strömungsrichtung des Hauptniederschlagswindes aus N verläuft. Die größten Schneemengen werden bei den gegebenen Dimensionen des Beerrinnenreliefs nicht nur auf der Leeseite der Rippen, sondern auch noch in der Rinne abgelagert. Es sind dies 2 2 1/2-mal übernormale Schneehöhen, wie der Vergleich mit Messungen auf den Verebnungen der Wald- und Baumgrenze zeigt. SP 8 in der rinnennahen Hälfte des luvseitigen Einhanges bezeichnet ungefähr jene Stelle, wo die für die Höhenlage normalen Schneehöhen gemessen wurden. Die oberen zwei Drittel des Luvhanges, die Rippenscheitel und die obersten Teile der Leehänge haben unternormale Schneehöhen.

Ferner ist in Abb. 91 zu erkennen, daß die Pflanzengesellschaften jeweils ganz bestimmten mittleren April-Schneehöhen zugeordnet sind. Nach unseren Kenntnissen (siehe Abschnitt I E 9) ist für die Anordnung der meisten Pflanzengesellschaften im Gelände das Aperdatum wesentlich mitentscheidend. Dieser Zeitpunkt der Ausaperung hängt aber von der Schneemenge zu Beginn der Schmelzperiode ab. Im ersten Überblick ergeben sich für den Unterhang der Baumgrenze folgende Korrelationen zwischen den (nach Dominanz gefaßten) Pflanzengesellschaften und der mittleren Aprilschneehöhe:

Windflechtenheide (Alectorietum ochroleucae) .	5	10 cm
Gemsheide (Loiseleurietum procumbentis) .	10	30 cm
Rauschbeerheide (Vaccinietum uliginosi) . .	30	80 cm
Rostrote Alpenrosenheide (Rhododendretum ferruginei) einschl. Heidelbeere (Vaccinietum Myrtilli)	80	200 cm

Eine detaillierte Aufzählung auch der Maximal- und Minimalschneehöhen, der Schneedeckenandauer, des Einschnei- und Ausaperungszeitpunktes an den einzelnen Meßstellen, bringt Tabelle 24.

Tabelle 24: Die Schneedecke über den Pflanzengesellschaften der baumlosen Kampfzone (Baumgrenze-Unterhang 2200 m). Periode 1954/55 1957/58.

	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	X	VII
Alectorietum, erodiert (SP 10)										
mittl. Schneehöhe (cm)	5	6	3	3	10	9	1	0		
maximale Schneehöhe (cm)	20	25	15	15	35	55	20			
minimale Schneehöhe (cm)	0	0	0	0	0	0	0	0		
mittl. Zahl der Tage mit Schneedecke	10	8	6	6	14	8	1	0		55
mittlere ununterbrochene Andauer der Schneedecke (Tage).										17
mittl. Einschneien am									2. I.	
mittl. Ausapern am									18. I.	

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Fortsetzung Tabelle 24	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	X - VII
Alectorietum Loiseleuriosum (SP 1)									
mittl. Schneehöhe (cm)	15	13	5	10	10	6	1	0	
maximale Schneehöhe (cm)	35	60	31	35	26	45	15	0	
minimale Schneehöhe (cm)	0	0	0	0	0	0	0	0	
mittl. Zahl der Tage mit Schneedecke	21	17	10	11	17	11	1	0	90
mittlere ununterbrochene Andauer der Schneedecke (Tage)									38
mittl. Einschneien am									27. XII.
mittl. Ausapern am									2. II.
Loiseleurietum (SP 12)									
mittl. Schneehöhe (cm)	10	11	11	14	19	24	4	0	
maximale Schneehöhe (cm)	20	60	20	32	49	78	35	25	
minimale Schneehöhe (cm)	0	0	0	0	0	0	0	0	
mittl. Zahl der Tage mit Schneedecke	21	22	15	18	29	24	3	2	135
mittlere ununterbrochene Andauer der Schneedecke (Tage)									90
mittl. Einschneien am									24. I.
mittl. Ausapern am									22. IV.
Vaccinietum uliginosi (SP 9)									
mittl. Schneehöhe (cm)	18	27	22	22	25	28	5	1	
maximale Schneehöhe (cm)	43	105	53	45	48	60	40	30	
minimale Schneehöhe (cm)	0	0	0	0	0	0	0	0	
mittl. Zahl der Tage mit Schneedecke	23	30	28	24	30	28	9	2	177
mittl. ununterbrochene Andauer der Schneedecke (Tage)									142
Mittl. Einschneien am									18. XI.
mittl. Ausapern am									8. IV.
Grenze des Vaccinietum uliginosi gegen das Rhododendretum ferruginei (SP 11)									
mittl. Schneehöhe (cm)	27	50	56	59	86	82	28	3	
maximale Schneehöhe (cm)	50	110	95	130	125	140	130	75	
minimale Schneehöhe (cm)	0	25	21	20	65	52	0	0	
mittl. Zahl der Tage mit Schneedecke	24	31	31	28	31	30	21	4	205
mittl. ununterbrochene Andauer der Schneedecke (Tage)									199
mittl. Einschneien am									2. XI.
mittl. Ausapern am									19. V.
Vaccinietum Myrtilli (SP 2)									
mittlere Schneehöhe (cm)	26	60	87	111	125	133	73	7	
maximale Schneehöhe (cm)	45	110	116	155	160	190	160	80	
minimale Schneehöhe (cm)	0	20	60	75	95	95	0	0	
mittl. Zahl der Tage mit Schneedecke	23	31	31	28	31	30	29	4	210
mittl. ununterbrochene Andauer der Schneedecke (Tage)									208
mittl. Einschneien am									7. XI.
mittl. Ausapern am									2. VI.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Fortsetzung Tabelle 24:	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	X - VII
Rhododendretum ferruginei (SP 3 8)									
mittl. Schneehöhe (cm)	31	72	113	147	167	186	116	23	
maximale Schneehöhe (cm)	100	265	260	290	450	480	450	265	
minimale Schneehöhe (cm)	0	15	20	25	70	73	0	0	
mittl. Zahl der Tage mit Schneedecke	25	31	31	28	31	30	27	10	219
mittlere ununterbrochene Andauer der Schneedecke (Tage).									217
mittleres Einschneien am									2. XI.
mittleres Ausapern am									6. VI.

In dieser Aufstellung sind die Vegetationseinheiten nach dem Grade der Schneebedeckung gereiht. Am weitesten im Gebiet verbreitet ist die Alpenrosenheide, innerhalb der die Schneebedeckung sehr verschieden groß sein kann, worauf schon die sehr unterschiedliche Höhe der Strauchschicht hinweist. Um aber auch für diese Pflanzengesellschaft typische Vergleichszahlen zu erhalten, wurden die Meßergebnisse von sechs Schneepegeln (Nr. 3 8) zusammengefaßt: die mittleren Schneehöhen und die Andauerwerte der 6 Pegel, die in ungefähr gleichen Abständen durch den ganzen Alpenrosenbereich des Profils verteilt sind, wurden gemittelt, die angegebenen Extremwerte dagegen sind Absolutwerte von einzelnen Meßstellen (Maxima von Pegel 4, 5 oder 7, Minima von Pegel 8). Auch die Meßstelle mit dem geringsten Grad der Schneebedeckung innerhalb der Alpenrosenheide (Schneepegel 8) zeigt höhere Werte als die Meßstelle an der Grenze zur Rauschbeerenheide (SP 11).

Wenn man die mittleren monatlichen Schneehöhen über den einzelnen Pflanzengesellschaften miteinander vergleicht, sieht man, daß nicht erst im April, wenn der Akkumulationsvorgang beendet ist und der eigentliche Abbau beginnt, die charakteristische Zunahme der Schneedeckenmächtigkeit von der Windflechtenheide über Gemsheide, Rauschbeerheide bis zum Heidelbeer- und Alpenrosenbestand auftritt, sondern auch in den übrigen Monaten (insbesondere ab Jänner), nur sind die Unterschiede zu diesen Zeiten weniger groß. (In den Monaten November und Dezember entsprechen die Meßwerte bei den beiden schneeärmsten Gesellschaften Alectorietum und Loiseleurietum noch nicht eindeutig jener Reihung).

In ähnlicher Weise zeigen auch die Maximalwerte eine Zunahme vom Alectorietum zum Rhododendretum. Außerhalb der Alpenrosen- und Heidelbeerzone ging die Schneehöhe nie über 1 1/2 m hinaus. In dem mit Alpenrosen bewachsenen Wächtenbereich erreichte die Schneehöhe maximal 480 cm, in der Beerrinne 350 cm. Dagegen wurden über der Windflechtenheide höchstens 60 cm ge-

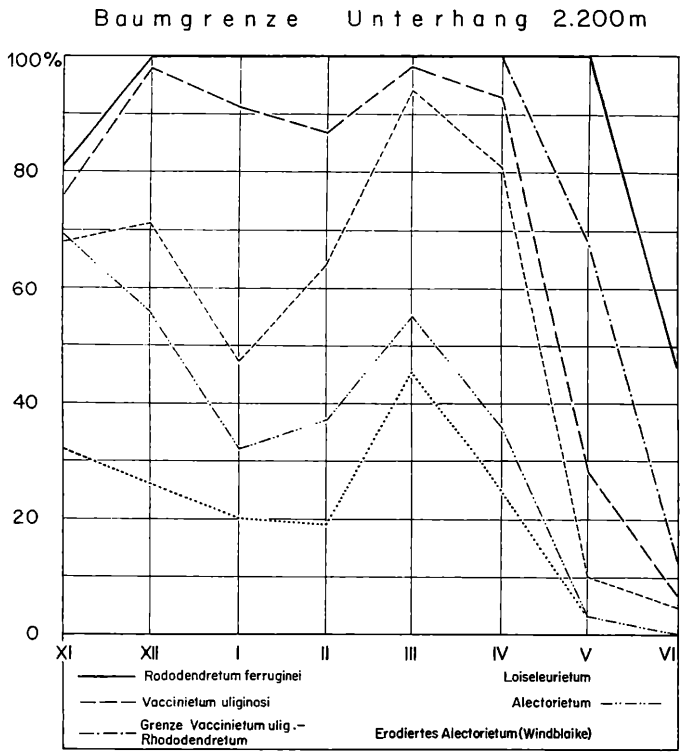


Abb. 92 a: Baumgrenze-Unterhang 2200 m

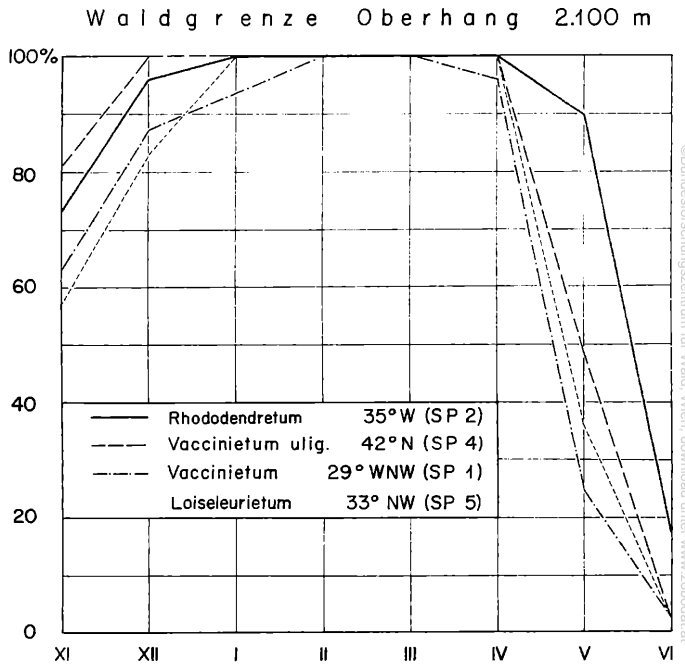


Abb. 92 b: Waldgrenze-Oberhang 2100 m

Schneedeckensicherheit (Anzahl der Tage pro Monat mit Schneedecke, ausgedrückt in Prozent der ganzen Monate) für die Pflanzengesellschaften der Kampfzone

(Mittelwerte der Periode 1954/55-1957/58)

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

messen und dies auch nur in windschwachen Wetterperioden bei einer Temperatur nahe 0°C. Im Jänner und Februar betrug der Schneehöhenrekord über der Windflechtenheide nur 35 cm.

Die Minimalwerte lassen erkennen, daß die Windflechtenheide, Gemsheide und Rauschbeerheide in jedem Monat auch des Hochwinters zumindest einmal schneefrei waren. Erst die Grenze von der Rauschbeerheide zur Alpenrosenheide war in den Monaten Dezember bis April aller 4 Beobachtungstage durchgehend schneebedeckt. Auch an der schneeärmsten Stelle innerhalb des Alpenrosenbestandes (SP 8) war die Schneedecke in den kältesten Monaten Jänner und Februar nie geringer mächtig als 20 bzw. 25 cm.

In der mittleren Zahl der Tage mit Schneedecke (siehe auch Abb. 92a) kommt die über den Windböden immer wieder durch Windeinfluß unterbrochene Schneebedeckung noch deutlicher zum Ausdruck. Den geringsten Schneeschutz genießt die winderodierte Windflechtenheide auf der Wegrippe (SP 10), wo durchschnittlich nur an 8 Tagen jedes Wintermonats eine Schneedecke angetroffen wurde, während dies über derselben, aber unversehrten Pflanzengesellschaft (SP 1) an durchschnittlich 14 Tagen der Fall war. Die Gemsheidegesellschaft erwies sich zu etwa 1/3 des Winters als schneefrei, während die Rauschbeerheide im Mittel nur an 3 Tagen der Wintermonate (XII IV) ohne Schneedecke war. Die Dauerhaftigkeit der Schneedecke über diesen Vegetationseinheiten der Windböden zeigt ein erstes Maximum im November und Dezember, den ersten beiden Monaten nach den ersten größeren Schneefällen. In den kältesten Monaten Jänner und Februar wird der Schnee von den Windböden offensichtlich am leichtesten verfrachtet. Die Monate März und April zeigen ein zweites, noch deutlicheres Maximum der Schneedeckendauer über den Windböden, vermutlich eine Wirkung der höheren Temperatur, welche die Schneedecke verfirnt und für äolische Abtragung weniger anfällig macht. Im Mai und Juni sind die Pflanzengesellschaften der Windböden praktisch schneefrei. Auf den Schneeböden dagegen war die Alpenrosenheide (einschließlich der mit ihr in enger Beziehung stehenden Rasengesellschaft und der Grenze gegen die Rauschbeerheide) als einzige Vegetationseinheit der untersuchten Reihe an allen Tagen der Monate Dezember bis April sicher schneebedeckt. Abb. 92a zeigt als Rhododendretum die Verhältnisse bei SP 7, wo die Schneedecke am längsten unter allen Meßstellen des Profils anhielt; der ganze Mai und 14 Tage des Juni hatten hier noch eine Schneedekke, während die Grenze zum Vaccinietum uliginosi durchschnittlich schon an 10 Tagen des Mai schneefrei war.

Tabelle 24 enthält auch Angaben darüber, wann die Pflanzengesellschaften des Profils Baumgrenze-Unterhang im Durchschnitt endgültig einschneien, wann sie nach der winterlichen Schneebedeckung zum erstenmal ausapern (ohne Rücksicht darauf, ob sie später nochmals unter Schnee kommen) und wieviel Tage die Schnee-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

decke ununterbrochen anhält. In Abb. 93 sind die Werte auch graphisch dargestellt.

Für die extremen Windböden (Alectorietum und Loiseleurietum), wo die Schneedecke im Laufe des Winters wiederholt zerstört und aufgebaut wird, ist für jeden Winter die am längsten andauernde Schneedecke herangezogen worden. Diese fällt hier in manchen Jahren in die Monate November bis Dezember, in anderen Jahren in die Monate März bis April, entsprechend den beiden, in Abb. 92a zum Ausdruck kommenden, Maxima der Schneedeckensicherheit. Das Mittel des Einschnei- und des Ausaperungsdatums über mehrere Jahre ergibt für diese beiden Pflanzengesellschaften daher

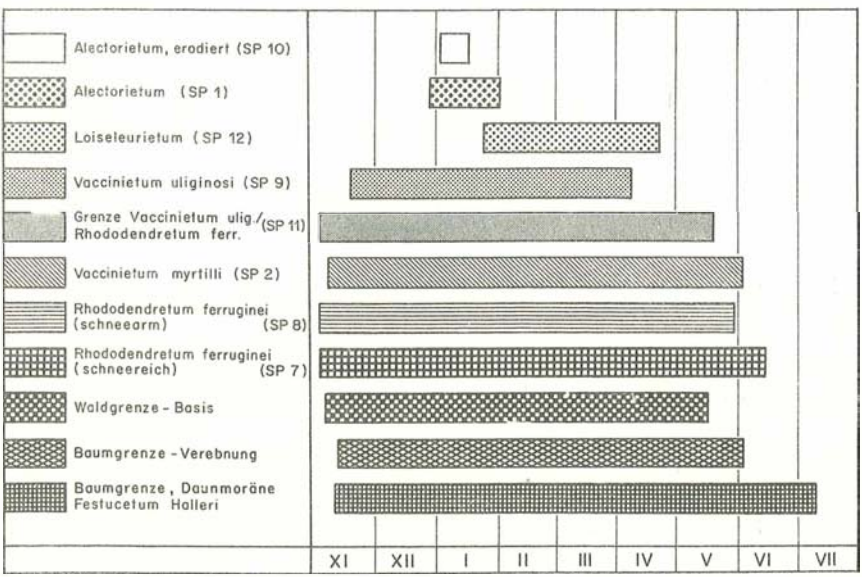


Abb. 93: Mittlere ununterbrochene Andauer der Schneedecke über den Pflanzengesellschaften im Profil Baumgrenze-Unterhang 2200 m sowie zum Vergleich über den Verebnungen der Wald- und Baumgrenze und im Lee der Daun-Moräne. Periode 1954/55 - 1957/58

kein wirklichkeitsgemäßes Schema, wohl aber kann die mittlere ununterbrochene Andauer dem Vergleich mit den übrigen Pflanzengesellschaften dienen, wobei sich wieder die gesetzmäßige Zunahme des Schneeschutzes von der Windflechtenheide über Gemsheide, Rauschbeere und Heidelbeere bis zur Alpenrose zeigt. Das für die Zirbenverjüngung wichtige Vaccinietum uliginosi (SP 9) apert mit 8. April um 1 1/2 bis 2 Monate früher aus als die verschiedenen Stellen des Rhododendretums. Die Ausaperung dieser Alpenrosenheide selbst erstreckt sich über einen Zeitraum von fast einem Monat: vom 19. Mai (SP 8) bis zum 13. Juni (SP 7).

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Die mittlere ununterbrochene Andauer der Schneedecke beträgt:

über der Windflechtenheide (SP 10 und 1)	2 bzw. 5 Wochen
über der Gemsheide (SP 12)	3 Monate
über der Rauschbeerheide (SP 9)	4 1/2 Monate
über der Alpenrosenheide (SP 2 8)	6 1/2 bis fast 7 1/2 Monate.

Zum Unterschied von den Schneeverhältnissen in dem bisher behandelten Teil der Kampfzone, in welchem der Typus "Baum" fehlt, ist rund 100 m tiefer der Oberhang der Waldgrenze wesentlich besser schneegeschützt, vor allem die Geländerippen, die hier einen zahlreichen und kräftigen Jungwuchs tragen. Ein Vergleich beider Kampfzonenbereiche in Abb. 92 zeigt dies eindrucksvoll. Die Schneedeckensicherheit beträgt im Profil Waldgrenze-Oberhang nicht nur für die Alpenrose, sondern auch für die Gemsheiden- und Rauschbeergesellschaft in den Monaten Jänner bis April 100 %, im Gegensatz zur Baumgrenze, wo dies allein für den Alpenrosenbereich zutrifft. Eine Windbodenvegetation, in der die Windflechte (Alectoria ochroleuca) dominiert, ist im Bereich des Profils Waldgrenze-Oberhang nicht entwickelt; die Windkanten der Rippen werden vielmehr von einer Pflanzengesellschaft mit vorwiegend Gemsheide (Loiseleuria procumbens) besiedelt (z. B. SP 5). Ein Rippenstandort ist auch SP 1, jedoch 1.5 m im Lee der Windkante, sodaß hier bereits Rauschbeere, Heidelbeere und Preißelbeere in ungefähr gleichem Mengenanteil vorkommen (sog. "Vaccinietum" in Abb. 92b und Tabelle 25).

Tabelle 25: Die Schneedecke über den Pflanzengesellschaften der Kampfzone im Profil Waldgrenze-Oberhang 2100 m. Periode 1954/55 1957/58.

	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	X	VII
"Vaccinietum" (Vacc. ulig., V. myrt. V. vit. id.) (SP 1)										
mittl. Schneehöhe (cm)	16	28	21	26	36	34	6	1		
maximale Schneehöhe (cm)	55	75	35	60	60	75	60			
minimale Schneehöhe (cm)	0	0	0	10	21	0	0	0		
mittl. Zahl der Tage mit Schneedecke	19	27	29	28	31	29	8	1		173
mittl. ununterbrochene Andauer der Schneedecke (Tage)										155
mittleres Einschneidatum . .										30. XI.
mittleres Ausaperungsdatum										4. V.
Loiseleurietum (SP 5)										
mittl. Schneehöhe (cm)	14	26	35	43	51	50	9	0		
maximale Schneehöhe (cm)	55	95	65	80	88	110	80			
minimale Schneehöhe (cm)	0	0	10	7	25	22	0	0		
mittl. Zahl der Tage mit Schneedecke	17	26	31	28	31	30	11	1		178
mittl. ununterbrochene Andauer der Schneedecke (Tage) .										158
mittleres Einschneidatum										4. XII.
mittleres Ausaperungsdatum . .										10. V.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Fortsetzung Tabelle 25:

Vaccinietum uliginosi (SP 4)	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	X	VII
mittl. Schneehöhe (cm)	32	43	52	55	76	82	25	1		
maximale Schneehöhe (cm)	80	110	85	100	130	165	130			
minimale Schneehöhe (cm)	0	10	25	26	45	47	0	0		
mittl. Zahl der Tage mit Schneedecke	24	31	31	28	31	30	15	1		196
mittl. ununterbrochene Andauer der Schneedecke (Tage) . .										194
mittleres Einschneidatum.										2. XI.
mittleres Ausaperungsdatum										14. V.
Rhododendretum ferruginei, moosarm (SP 2)										
mittl. Schneehöhe (cm)	34	71	121	137	180	192	103	14		
maximale Schneehöhe (cm)	92	230	190	255	260	310	260	100		
minimale Schneehöhe (cm)	0	0	75	42	70	70	0	0		
mittl. Zahl der Tage mit Schneedecke	22	29	31	28	31	30	27	5		209
mittl. ununterbrochene Andauer der Schneedecke (Tage)										202
mittleres Einschneidatum										12. XI.
mittleres Ausaperungsdatum. .										1. VI.
Rhododendretum ferruginei, moosreich (SP 6)										
mittl. Schneehöhe (cm)	38	85	150	201	241	243	150	21		
maximale Schneehöhe (cm)	110	310	252	295	290	297	240	125		
minimale Schneehöhe (cm)	0	20	75	135	190	180	0	0		
mittl. Zahl der Tage mit Schneedecke	23	31	31	28	31	30	31	10		219
mittl. ununterbrochene Andauer der Schneedecke (Tage)										216
mittleres Einschneidatum.										7. XI.
mittleres Ausaperungsdatum										10. VI.

Ein Vergleich zwischen Tabelle 24 und 25 zeigt, daß die Vegetation des Waldgrenzen-Oberhanges gegenüber jener der baumlosen Kampfzone nicht nur bezüglich der Schneedeckensicherheit begünstigt ist, sondern auch hinsichtlich der Schneehöhen und der Schneedeckenandauer. Loiseleurietum und Vaccinietum uliginosi haben an der Waldgrenze doppelt bis fast dreimal so große Aprilschneehöhen als dieselben Pflanzengesellschaften (gleicher Exposition) an der Baumgrenze. Dementsprechend apert das Loiseleurietum der Waldgrenze durchschnittlich um fast 3 Wochen später aus als das Loiseleurietum der Baumgrenze; das Vaccinietum uliginosi der Waldgrenze wird erst um 5 Wochen später schneefrei als dieselbe Vegetationseinheit der Baumgrenze. Diese Erscheinung hängt vermutlich damit zusammen, daß die Pflanzengesellschaften der Waldgrenze durch das Aufkommen des Jungwuchses windgeschützter und schneereicher wurden, sich infolge eines gewissen Beharrungsvermögens den neuen Verhältnissen aber noch nicht voll angepaßt haben.

Abb. 94, in der die Abhängigkeit des Aperdatums von der durch-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

schnittlichen Schneehöhe am 15. April, dem Datum des Beginnes der Ablationsperiode, aufgetragen ist, bringt zum Ausdruck:

Gleiche Schneehöhen schmelzen je nach Standort in sehr unterschiedlichen Zeiträumen ab,

a) am raschesten am besonnten Lichtungsrand und in besonnten Waldlücken gleich unterhalb der Waldgrenze (SP 3 Waldgrenze-Unterhang),

b) am langsamsten am Luv-Schatt-Hang der Baumgrenze und unter dichten Zirben an der Waldgrenze (SP 8 und 9 Baumgrenze-Unterhang und SP 1 Waldgrenze-Unterhang).

Alle anderen Expositionen und Standorte liegen zwischen diesen beiden Extremen, schön gestuft nach Strahlungs-, Windeinfluß und Höhenlage. Eine deutliche Beziehung würde sich auch nach Schneedichte ergeben.

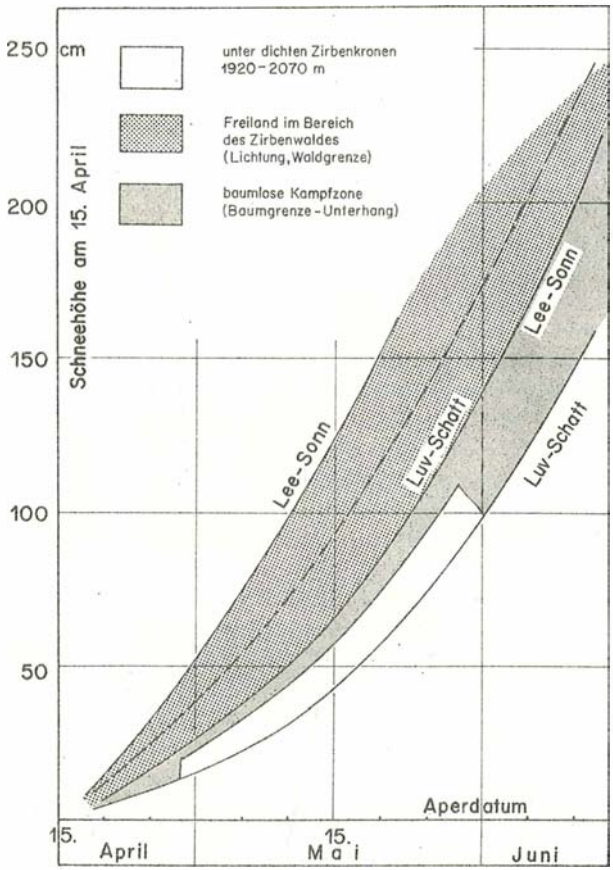


Abb. 94: Abhängigkeit des Aperdatums von der Schneehöhe am 15. April an verschiedenen Standorten (4 jähriges Mittel)

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Als gestrichelte Kurve wurde die "Normalgeschwindigkeit der Schneeschmelze" in der Waldzone dargestellt. Diese Kurve ergibt sich, wenn man die Punkte für Talboden, Lichtung-Mitte und Waldgrenze-Verebnung miteinander verbindet. Diese drei Basis-Meßstellen apern - bezogen auf gleiche Aprilschneehöhen - gleich schnell aus, nämlich bei einer mittleren Aprilschneehöhe von 100 cm am 17. Mai. In der baumlosen Kampfzone dagegen ist die Ausaperungsgeschwindigkeit deutlich verlangsamt: Baumgrenze-Verebnung (SP 7, 2430 m) apert - bei angenommenerweise gleich großer Aprilschneehöhe von 100 cm - erst am 30. Mai aus, also um 13 Tage später.

Die Bereiche des Zirbenwaldes (wozu auch noch der Obergang der Waldgrenze gerechnet ist) und der Kampfzone überlappen sich in der Darstellung von Abb. 94 nicht, sondern schließen aneinander an, das heißt, bei gleicher Aprilschneehöhe beginnen die leeseitigen Sonnenhänge der Baumgrenze erst auszuapern, wenn die luvseitigen Schatthänge der Waldzone und Waldgrenze gerade schneefrei werden. Unter dichten Zirbenkronen liegende Schneedecken der Waldgrenze schmelzen gerade ebenso langsam ab wie die am meisten benachteiligten Luv-Schatt-Hänge der Baumgrenze 100 200 m höher; im Lichtungsbereich schmilzt die Schneedecke unter dichten Zirbenkronen um 5 6 Tage früher als an der Waldgrenze (in Abb. 94 bedeutet die linke Begrenzungslinie des Bereiches für Zirbenkronen das Gebiet der Lichtung).

Die Berechnung des Abschmelzbetrages pro Monat ergibt, daß an sonnigen und windgeschützten Plätzen im ersten Monat ab Beginn der Abbauperiode 130 cm, in schattigen Luvlagen nur 44 cm abgeschmolzen werden.

14 Tage später, also Ende Mai, hat die Schneeschmelze auch an den Schatthängen etwas nachgeholt: an sonnigen windgeschützten Meßstellen sind 200 cm, an schattigen Luvstellen 100 cm abgeschmolzen.

Ab Beginn der Schmelzperiode (Mitte April) wird 1 m Schnee an den strahlungsbegünstigten Plätzen in 25 Tagen abgeschmolzen, an den am stärksten beschatteten und bewindeten dagegen erst in 47 Tagen.

Das Zusammenspiel von Wind und Strahlung in der Ausaperung ist gegeneinander folgendermaßen abgegrenzt:

> Der Strahlungseinfluß ist so groß, daß er an den sonnigen und windgeschützten Stellen rund doppelt so große Schneemengen zum Abschmelzen bringt wie an den benachteiligten Luv-Schatt-Hängen. Würde daher die windbestimmte Schneeablagerung an den Leehängen nur doppelt so große Schneemengen anhäufen wie an den Luvseiten, so würden beide Hänge gleichzeitig ausapern, d.h. die relieforientierte Schneeanhäufung während des Winters käme im Aperdatum nicht zum Ausdruck. In Wirklichkeit erreichen die Leeablagerungen jedoch durchschnittlich das Vier- bis Fünffache der Schneemengen auf den Luvseiten, daher ist die Aus-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

aperung in der Kampfzone trotz bedeutendem Strahlungseinfluß windfiguriert.

An den Schädigungen, die gesetzte Jungpflanzen auf den verschiedenen Standorten der Kampfzone erleiden, und aus den Erhebungen über die Verbreitung des spontanen forstlichen Jungwuchses können wir mit aller Deutlichkeit entnehmen, daß unter allen Faktoren, die das Leben der Jungbäume beeinflussen, die Schneebedeckung sozusagen das letzte Wort darüber spricht, ob der junge Baum auf einem Standort den Lebenskampf bestehen kann oder nicht. Kurz zusammengefaßt hat die Schneedecke für die Vegetation, insbesondere der subalpinen Stufe, im wesentlichen folgende biologische Bedeutung:

1) Günstige Wirkungen:
   a) Schutz gegen die austrocknende Wirkung des Windes, wenn infolge gefrorenen Bodens der Wasserhaushalt blockiert ist.
   b) Schutz gegen Strahlungsschäden (Frostwechselschäden, Chlorophyllzerstörungen).
   c) Wasservorrat für die Zeit der Schneeschmelze (Sättigung des Bodens mit Wasser bei Beginn der Vegetationszeit).
2) Ungünstige Wirkungen:
   a) Verkürzung der möglichen Vegetationszeit durch spätes Ausapern.
   b) Biotische Schäden, vor allem durch Befall von parasitischen Pilzen.
   c) Mechanische Schäden durch Schneedruck, Schneekriechen und Schneegleiten.

Das Verhalten insbesondere der Zirbe zeigt, daß sowohl die schneeärmsten Standorte (Windflechtenheide, Gemsheide) durch weitgehenden Wegfall der günstigen, schützenden Wirkungen, als auch die schneereichsten Standorte (ein Großteil der Alpenrosenheide) durch Überwiegen der ungünstigen Wirkungen, dem Aufkommen von Baumwuchs ausgesprochen feindlich sind.

Die im Winter nur selten schneefreie, sonst mäßig schneebedeckte Rauschbeerheide erscheint unter allen Pflanzengesellschaften als diejenige, bei der sich die günstigen und ungünstigen Wirkungen der Schneedecke gerade die Waage halten und dem Leben der Jungbäume die geringsten Hemmungen entgegenwirken.

Da nun unter den jungwuchsfeindlichen Standorten die schneearmen nur verhältnismäßig kleine Flächen einnehmen und durch Schneeverwehungsbauten einen ausreichenden Schneeschutz erhalten können, und da weiters flächenmäßig die schneereichen Standorte im Vordergrund stehen (siehe Vegetations- und Ausaperungskarte), verdienen letztere unser besonderes Augenmerk.

Bei obiger Aufzählung der Wirkungen der Schneedecke wäre zu Punkt 2a eingehend die Frage zu prüfen, ob nicht die starke Hochgebirgsstrahlung besser ausgenützt werden könnte, um die Schneedecke über den zu lange schneebedeckten Arealen durch Vergröße-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

rung ihrer Albedo rascher zum Schmelzen zu bringen. Ohne hier näher auf die Strahlungsverhältnisse der Schneedecke eingehen zu können, läßt sich aus den bisherigen Ergebnissen anderenorts (MILLER 1955) abschätzen, daß durch Aufstreuen schwarzer Substanzen nach größeren Schneefällen, auch wenn die Wärmebilanz der Schneeoberfläche normalerweise noch negativ ist, die Ausaperungsgeschwindigkeit so erhöht werden könnte, daß die lange schneebedeckten Standorte mehrere Wochen früher ausapern als bei normaler Reflexion. Theoretische Untersuchungen und praktische Versuche in dieser Richtung sollten in Angriff genommen werden.

Zu Punkt 2b (biotische Schäden, Pilzbefall) kann auf die einschlägigen Untersuchungen durch GÄUMANN und Mitarbeiter 1934 und BJÖRKMAN 1946 hingewiesen werden. Danach haben die auf Pinus-Arten schädlich bis letal auftretenden Pilze, vor allem Pha-

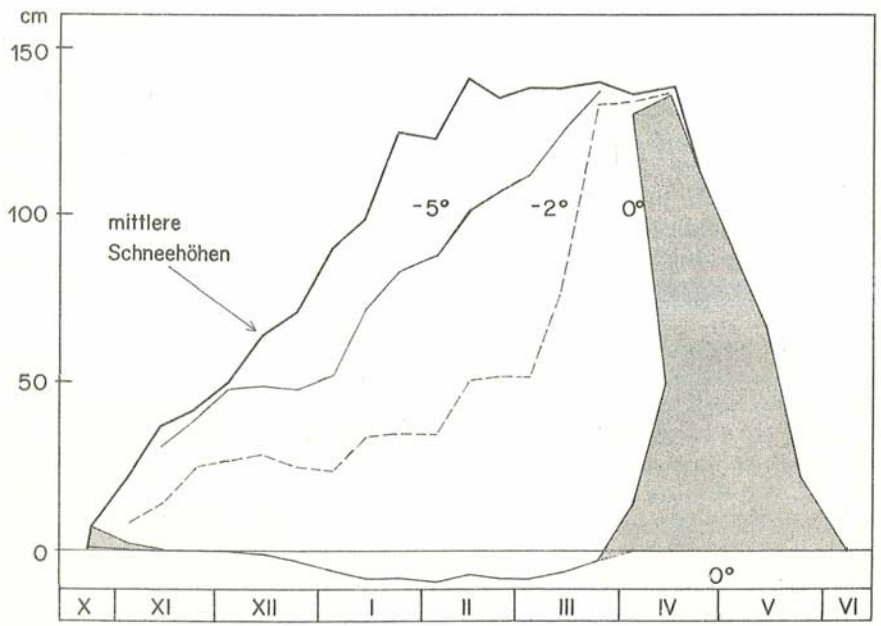


Abb. 95: Mittlere Schneehöhen und mittlere Lage der Isothermen -5, -2 und 0° C in der Schneedecke. (Horizontales Versuchsfeld Wattener Lizum 2000 m. 10-Tagesmittel 1949/50 - 1952/53)

cidium infestans, Lophodermium pinicolum und Herpotrichia nigra einen stark temperatur- und feuchteabhängigen Lebensbereich. Diese Pilze haben zwar bei ca. 15°C ihr Temperaturoptimum, können bei wasserdampfgesättigter Luft aber noch bei 0°C reichlich gedeihen, ja sogar bis minus 4 und 5°C zeigt sich Wachstum. Als

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
Illustration dazu können die mehrjährigen Messungen der Temperatur in der Schneedecke dienen, die an der Forschungsstelle Wattener Lizum (2000 m) durch S. BERNARD, A. FUCHS und H. WOPFNER ausgeführt wurden. In Abb. 95 sind die gemittelten Ergebnisse aus den 4 Wintern 1949/50 1952/53 wiedergegeben. Die Temperaturen in der Schneedecke, auf der Bodenoberfläche und im Boden (10 und 30 cm Tiefe) der horizontalen Versuchsfläche wurden mittels Cu-Konstantan-Thermoelementen in Verbindung mit einem Lichtmarkengalvanometer (max. Empfindlichkeit 4.10^{-8} Amp./Skalenteil) 2-3-mal täglich gemessen. Es ist ersichtlich, daß sich die Schneedecke wintersüber nur in den obersten Schichten stärker abkühlt. 40 cm unter der Oberfläche ist die Schneedecke auch im Hochwinter wärmer als minus 5°C. Die obersten Bodenschichten kühlen sich nur wenige Zehntelgrade unter den Gefrierpunkt des Wassers ab. Seit Mitte April, kurz nach Beginn des Schmelzwasserablaufs, ist die ganze Schneedecke durchgehend isotherm 0°C und meist wassergesättigt. In dieser Abbauperiode herrschen für das Pilzwachstum auf befallenen Zweigen unter der Schneeoberfläche besonders günstige Bedingungen.

Nach GÄUMANN 1934 können bei dieser Temperatur Kiefernadeln in 2 3 Tagen z.B. von Herpotrichia nigra durchwachsen werden. In Wirklichkeit stehen dem Pilz, wie man aus Abb. 95 entnehmen kann, ca. 2 Monate dieser für ihn besonders vorteilhaften Periode auf Plätzen normaler Ausaperung zur Verfügung.

Zusammenfassung

Das Niederschlagsklima des inneren Ötztales ist charakterisiert durch weniger als halb so große Niederschlagsmengen und durch eine um ein Monat kürzere Schneedeckendauer als im Durchschnitt der Nordostalpen gleicher Höhenlage; letzteres wirkt sich u.a. in der hohen Lage der Vegetationsgrenzen aus.

Für die Station Obergurgl-Waldgrenze (2070 m) wurde eine mittlere Jahresniederschlagsmenge von 944 mm ermittelt, die Hälfte davon fällt in die Schneedeckenzeit von 182 Tagen Dauer. Die mittleren maximalen Monatsmengen (ca. 100 mm) fallen in den Monaten Juli und August, das Minimum im mittleren Jahresgang (ca. 50 mm monatlich) wird im März erreicht. Im Sommer bringt durchschnittlich jeder 2. Tag einen meßbaren Niederschlag und jeder 4. Tag einen Niederschlag von 5 mm oder mehr. Die mittlere Ergiebigkeit der Niederschläge beträgt 6 mm pro Niederschlagstag, die maximale Ergiebigkeit pro Tag ist nach langjährigen Messungen mit ca. 80 mm gegeben. Für die Pflanzen in der Vegetationszeit gefährliche Trockenperioden von mehr als 10 Tagen Dauer sind

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
selten. Die relativ trockene Leeatmosphäre der Station kommt auch durch die geringe Anzahl von Nebeltagen (jährlich 14) und Tagen mit Tau (jährlich 63) zum Ausdruck, das ist etwa 1/3 des Normalwertes in humideren Gebieten. Das mittlere Maximum der Schneehöhe von 110 cm fällt in die erste Märzhälfte und beträgt knapp die Hälfte des ostalpinen Durchschnittes der gleichen Höhenlage (ca. 200 cm). Als mittleres Einschnei- und Ausaperungsdatum von 5 Jahren ergaben sich der 7. November und der 17. Mai. Im inneren Ötztal schneit es jährlich nur an 62 Tagen, im Durchschnitt der Ostalpen gleicher Höhenlage dagegen an 106 Tagen.

Im Untersuchungsgebiet Lichtung wurde die Niederschlagsdurchlässigkeit verschiedener Waldkronen untersucht. Im Lärchenwald gelangten 60 - 65 %, im Zirben-Lärchenwald ca. 30 %, im dichten Zirbenwald 28 % der Freilandmengen bis zum Boden. Im dichten Bestand wird durchschnittlich jeder 3. Regen vom Kronendach absorbiert, wodurch die Wasserversorgung für den Jungwuchs unter Schirm unzureichend wird. Die Lichtungsränder sind in 3 5 m Entfernung vom Bestand niederschlagsmäßig nicht nennenswert benachteiligt. In Beständen ergibt sich bei unsymmetrischer Kronenform gegen die Hauptrichtungen der Niederschlagswinde eine deutliche Abhängigkeit der Meßergebnisse von Windrichtung und -stärke. Die Schneeverteilung auf der Lichtung und im Bestand ist wesentlich besser ausgeglichen als die des flüssigen Niederschlages. Der beschattete Lichtungsrand schneit im Durchschnitt von 5 Jahren um 17 Tage früher ein und apert um rund 1 Monat später aus als die Mitte der Lichtung. Durch den Strahlungseinfluß schmilzt die Schneedecke am besonnten Lichtungsrand um 1/3 rascher als am beschatteten Rand. Die Abbauperiode beginnt in der Waldzone um einen Monat früher als in der baumlosen Kampfzone, vermutlich wegen der Strahlungsabsorption durch die Baumkronen.

In der Kampfzone des Baumwuchses wurde die Schneeverteilung auf die Pflanzengesellschaften während der 4 Winter 1954/55 - 1957/58 untersucht. Es ergab sich eine deutliche Zunahme der Schneedeckenmächtigkeit und als Folge davon eine Verspätung des Aperdatums in der Reihenfolge: Windflechtenheide (Alectorietum ochroleuca) - Gemsheide (Loiseleurietum) - Rauschbeerheide (Vaccinietum uliginosi) - Heidelbeerheide (Vaccinietum myrtilli) - Rostrote Alpenrosenheide (Rhododendretum ferruginei). In der baumlosen Kampfzone (Baumgrenze-Unterhang 2200 m) beträgt die mittlere Aprilschneehöhe (zu Beginn der Ablationsperiode) über der Windflechtenheide 5 10 cm, über der Gemsheide 10 30 cm, über der Rauschbeerheide 30 80 cm und über der Alpenrosenheide 80 bis über 200 cm. Die mittlere ununterbrochene Schneedeckenandauer beträgt über der Windflechtenheide nur wenige Wochen, über der Gemsheide 3 Monate, über der Rauschbeerheide 4.5 Monate und über der Alpenrosenheide 6.5 bis 7.5 Monate. Die ausgesprochenen Windböden (Windflechte- und Gemsheide) können

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

in jedem Monat auch des Hochwinters schneefrei sein und zwar wurde die Windflechtenheide, wo sie unversehrt ist, durchschnittlich an 14 Tagen jeden Wintermonats schneefrei angetroffen, die Gemsheide erwies sich zu etwa 1/3 des Winters als schneefrei. Die Rauschbeerheide ist im Winter nur sehr selten schneefrei und apert durchschnittlich am 8. April aus. Die weit verbreitete Alpenrosenheide ist in den Monaten Dezember bis April dauernd schneebedeckt und apert im Durchschnitt zwischen dem 19. Mai und dem 13. Juni aus. Am spätesten unter allen untersuchten Pflanzengesellschaften apert der Haller'sche Schwingelrasen im Lee der Daunmoräne 2230 m aus (10. Juli). Im Oberhang der Waldgrenze, wo die Geländerippen mit zahlreichem und kräftigem Jungwuchs bewachsen sind, liegt über den Pflanzengesellschaften der Windböden eine etwa doppelt so mächtige Schneedecke wie an der Baumgrenze und von Jänner bis April waren alle Meßstellen dauernd schneebedeckt.

Gleiche Schneehöhen schmelzen je nach Standort in sehr unterschiedlichen Zeiträumen ab: der Strahlungseinfluß ist so groß, daß an den sonnigen und windgeschützten Plätzen der Waldzone und des baumlosen Reliefs rund doppelt so große Schneemengen in gleichen Zeiten geschmolzen werden als an den Luv-Schatt-Hängen.

An Hand einer Darstellung der Temperaturen in der Schneedekke wird auf die Schädigung der Jungzirben an lange schneebedeckten Standorten durch parasitische Pilze hingewiesen.

Benützte Literatur

BJÖRKMAN E. 1948: Studier över snöskyttesvampens (Phacidium infestans Karst.) biologi samt metoder för snöskyttets bekämpande. (Studies on the biology of the Phacidium-blight and its prevention). Meddelanden fran statens skogsforskningsinstitut 37, Nr. 2, Stockholm.

BURGER H. 1954: Einfluß des Waldes auf den Wasserhaushalt. Mitt. Arb. Kreis "Wald und Wasser" Nr. 1, Koblenz.

CONRAD V. 1934: Die Schneedeckenzeit, ihr Anfangs- und Enddatum in den Ostalpen. Gerl. Beitr. Geoph. 43, 225.

DELFS J. 1955: Die Niederschlagszurückhaltung im Walde (Interception). Mitt. Arb. kreis "Wald und Wasser" Nr. 2, Koblenz.

EKHART E. 1939: Die klimatischen Verhältnisse des Venter Tales. In "Das Ventertal", Festgabe Zweig Mark Brandenburg Dtsch. Alpenverein z. 40-jähr. Bestehen. Bruckmann München.

EKHART E. 1940: Zur Kenntnis der Schneeverhältnisse der Ostalpen. Gerl. Beitr. Geophys. 56, 321.

FLOHN H. 1953: Hochgebirge und allgemeine Zirkulation. II. Gebirge als Wärmequellen. - Arch. Met. Geoph. Biokl., A, 5, 265.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

FRIEDEL H. 1952: Gesetze der Niederschlagsverteilung im Hochgebirge. Wetter und Leben 4,73.

FRIEDEL H. 1953: Wirkungen der Schneeverteilung im Pasterzengebiet. - Carinthia II, Mitt. d. Nat. wiss. Ver. f. Kärnten 142,16.

FRIEDEL H. 1956: Die alpine Vegetation des obersten Mölltales (Hohe Tauern). Erläuterung zur Vegetationskarte der Umgebung der Pasterze (Großglockner). Wiss. Alpenver. hefte 16, Wagner Innsbruck.

GAMS H. 1931-32: Die klimatische Begrenzung von Pflanzenarealen und die Verteilung der hygrischen Kontinentalität in den Alpen. Zschr. Ges. Erdk. Berlin.

GÄUMANN E., ROTH C. und ANLIKER J. 1934: Über die Biologie der Herpotrichia nigra Hartig. Ztschr. f. Pfl. krankh. (Pfl. pathologie) u. Pfl. schutz 44,97.

GEIGER R. 1956: Das Wasser in der Atmosphäre als Nebel und Niederschlag. Handbuch der Pfl. physiologie Bd. III, Springer Berlin.

GRUNOW J. 1955: Der Niederschlag im Bergwald. Niederschlagszurückhaltung und Nebelzuschlag. Forstwiss. Cbl. 74, 21.

GRUNOW J. 1956: Probleme der Niederschlagserfassung und ihre Bedeutung für die Wirtschaft. Met. Rundschau 9, 62.

GRUNOW J. 1957: Erfassung des winterlichen Niederschlags im Gebirge. La Météorologie 4, 117.

HADER F. 1954: Nordostalpine Seehöhenmittel der Niederschlagsmenge (1851 1950). Arch. Met. Geoph. Biokl., B,5, 331.

HOFMANN G. 1956: Verdunstung und Tau als Glieder des Wärmehaushalts. Planta 47, 303-322.

HOINKES H. 1954: Neue Niederschlagszahlen aus den zentralen Ötztaler Alpen. 49. 50. Jber. Sonnblick-Ver. f. d. Jahre 1951-52. 19.

HUBER B. 1954: Was wissen wir vom Wasserverbrauch des Waldes? Mitt. Arb. kreis "Wald und Wasser" Nr. 1, Koblenz.

HYDROGRAPHISCHER DIENST IN ÖSTERREICH 1952: Die Niederschlagsverhältnisse in Österreich im Zeitraum 1901 1950. Teil I. Beiträge zur Hydrographie Österreichs, H. 26, Wien.

KIELHAUSER G. E. 1953: Die Vegetation des Kaunerberges als Ausdruck des dortigen extremen Klimas. Wetter und Leben 5, 43.

KNOCH K. und REICHEL E. 1930: Verteilung und jährlicher Gang der Niederschläge in den Alpen. Veröff. Preuß. Meteorol. Inst., Abh. IX, Nr. 6, Berlin.

KOCH H. G. 1958: Der Holzzuwachs der Waldbäume in verschiedenen Höhenlagen Thüringens in Abhängigkeit von Niederschlag und Temperatur. Arch. f. Forstwesen 7,27.

LARCHER W. 1957: Frosttrocknis an der Waldgrenze und in der alpinen Zwergstrauchheide auf dem Patscherkofel bei Innsbruck. Veröff. Museum Ferdinandeum Innsbruck 37, 49.

LAUSCHER F. 1956: Der Halbjahresniederschlag in Österreich mit und ohne Berücksichtigung des Wasservorrats der Schneedecke. Beiträge zum Österreichischen Wasserkraftkataster, H. 2, Teil 1, 8-22. BMfHuW., Wien.

LÜDI W. 1948: Die Pflanzengesellschaften der Schinigeplatte bei Interlaken und ihre Beziehungen zum Standort. Veröff. Geobot. Inst. Rübel Zürich, H. 23.

MICHAELIS P. 1932: (I.) Ökologische Studien an der alpinen Baumgrenze. Das Klima und die Temperaturverhältnisse der Vegetationsorgane im Hochwinter (Vorläuf. Mitt.) Ber. Dtsch. Bot. Ges. 50, 31-42.

MICHAELIS P. 1934: II. Die Schichtung der Windgeschwindigkeit, Lufttemperatur und Evaporation über einer Schneefläche. III. Über die winterlichen Temperaturen der pflanzlichen Organe, insbesondere der Fichte. Beih. z. Bot. Cbl. 52, Abt. B, 310-377.

IV. Zur Kenntnis des winterlichen Wasserhaushaltes. V. Die Verteilung des osmotischen Wertes und des Wassergehaltes in verschiedener Meereshöhe. Jb. wiss. Bot. 80, 109, 137.

MILLER D. H. 1955: Snow Cover and Climate in the Sierra Nevada California. University of California Publications in Geography, Vol. 11.

MILLER D. H. 1959: Transmission of Insolation through Pine Forest Canopy, as it Affects the Melting of Snow. - Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchswesen 35,57.

MOSER M. 1958: Der Einfluß tiefer Temperaturen auf das Wachstum und die Lebenstätigkeit höherer Pilze mit spezieller Berücksichtigung von Mykorrhizapilzen. Sydowia XII, 386.

PALLMANN H. und FREI B. 1943: Beiträge zur Kenntnis der Lokalklimate einiger kennzeichnender Waldgesellschaften des Schweizer Nationalparkes (Fuorn). Erg. wiss. Unters. Schweiz. Nat. Park. I/10, Aarau.

PISEK A. und WINKLER E. 1958: Assimilationsvermögen und Respiration der Fichte (Picea excelsa LINK) in verschiedener Höhenlage und der Zirbe (Pinus cembra L.) an der alpinen Waldgrenze. Planta 51, 518.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

POLLACK V. 1891: Über den Schnee im Gebirge, Temperaturen in und Bodentemperaturen unter demselben, die Dichtemessungen und größten Mengen desselben, Schneeablagerungen und Bewegungen. Wochenschrift des österr. Ingenieur- und Architekten-Vereines Jg. 1891, Nr. 8, 66-69, Nr. 11, 99-102, Nr. 12, 108-111.

POORE M. E. D. and McVEAN D. N. 1957: A New Approach to Scottish Mountain Vegetation. Journal of Ecology 45, 401.

SAUBERER F. 1947 a: Kleinklimatische Niederschlagsuntersuchungen im Lunzer Gebiet. Umwelt. Ztschr. biol. Stat. Wilhelminenberg 1, 410.

SAUBERER F 1947 b: Über die Schneedeckenverhältnisse Niederösterreichs und das Mikroklima im Schnee. Zbl. f. d. ges. Forst-u. Holzwirtschaft 70, 138.

STALFELT M. G. 1944: Granens Vattenförbrukning och dess inverkan pa vattenomsättningen i marken. (Der Wasserverbrauch der Fichte.) Kungl. Lantbruksakademiens Tidskrift, Arg. LXXXIII, 1-83.

STEINHAUSER F. 1949: Die Schneehöhen in den Ostalpen und die Bedeutung der winterlichen Temperaturinversion. Arch. Met. Geoph. Biokl., B, 1, 63.

STEINHAUSER F. 1936: Niederschlags- und Trockenperioden in den Ostalpen. Met. Z., H. 3, 97.

TOLLNER H. 1949: Der Einfluß großer Massenerhebungen auf die Lufttemperatur und die Ursachen der Hebung der Vegetationsgrenzen in den inneren Ostalpen. Arch. Met. Geoph. Biokl., B, 1, 347.

TRANQUILLINI W. 1959: Die Stoffproduktion der Zirbe (Pinus cembra L.) an der Waldgrenze während eines Jahres. I. Standortsklima und CO_2-Assimilation. II. Zuwachs und CO_2-Bilanz. Planta 54, 107, 130.

TURNER H. 1958: Über das Licht- und Strahlungsklima einer Hanglage der Ötztaler Alpen bei Obergurgl und seine Auswirkung auf das Mikroklima und auf die Vegetation. - Arch. Met. Geoph. Biokl., B. 8, 273-325.

UTTINGER H. 1951: Zur Höhenabhängigkeit der Niederschlagsmenge in den Alpen. Arch. Met. Geoph. Biokl., B, II, 360-382.

WALTER H. 1951: Grundlagen der Pflanzenverbreitung. I. Teil: Standortslehre. Eugen Ulmer, Stuttgart-Ludwigsburg.

ZINGG Th. 1954: Die Bestimmung der klimatischen Schneegrenze auf klimatologischer Grundlage. Angew. Pfl. soziologie. Veröff. Inst. f. angew. Pfl. soziologie des Landes Kärnten, Festschrift Aichinger 2, 848.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

9. Schneedeckendauer und Vegetationsverteilung im Gelände

von H. Friedel

Inhalt

		Seite
I.	Das Relief und seine Wirkung auf das Klima .	319
II.	Die Verteilung der Schneedeckenandauer im Relief	325
	A. Die Schneebedeckung der Beerrinne .	325
	B. Schneeverteilung in weiteren Mulden des oberen Hanges . .	329
	C. Schneeverteilung an der unteren Verebnung	331
	D. Schneeverteilung im Bereiche der Lichtung	334
III.	Gliederung der Vegetation	337
IV.	Die Verteilung der Vegetationseinheiten im Relief	340
	A. Vegetationsverteilung in der Beerrinne	340
	B. Die Vegetationsverteilung in den kleinen Rinnen des oberen Hanges . . .	346
	C. Vegetationsverteilung an der unteren Verebnung	350
	D. Die Vegetationsverteilung im Bereiche der Lichtung	352
V.	Die räumliche Korrelation zwischen Vegetations- und Aperlinien	353
VI.	Diskussion der Ergebnisse .	363
Literatur		369

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

VORBEMERKUNG

Vorliegende Untersuchung darüber, wie sich die Schneemassen und mit ihnen der durchschnittliche Ausaperungstermin im Gelände verteilt, d.h. also die Untersuchung des Isochionenfeldes im Gelände, soll vor allem zur Beantwortung der praktisch wichtigen Frage dienen, ob und unter welchen Umständen es einem Fachmann möglich wäre, die ohne Zweifel für Forstpflanzen lebensentscheidende Schneeverteilung tatsachengerecht ins Gelände hineinzukonstruieren, ohne daß man, wie wir es mußten, den Ausaperungsablauf kartenmäßig aufnimmt. Hiezu ist vor allem zu klären, welche Faktoren und Anzeichen wesentlich sind und welche vernachlässigt werden dürfen.

I. Das Relief und seine Wirkung auf das Klima

Es ist ein günstiger Umstand, daß die Flanken der Alpenketten in der Regel nicht in gleichmäßigem Abschwung, sondern eher stufenförmig zu Tal fallen, sich also in mehr oder weniger ausgeprägte Versteilungen und Verflachungen gliedern, die sich mit Unterbrechungen oft vom Talabschluß bis zum Talauslauf beiderseits verfolgen lassen. Es sind vor allem die Steilstrecken, soweit sie unter der klimatischen Baumgrenze liegen, welche für Waldwirtschaft und Aufforstung in Betracht kommen und uns daher hier vorzüglich bis zur jeweiligen herabgedrückten Waldgrenze interessieren, während ja die Sanftflächen i. allg. der Land- und Almwirtschaft vorbehalten bleiben sollen. Unsere Untersuchungen konzentrieren sich deshalb auf die jähen Hänge der subalpinen Stufe.

Steilflanken sind durch Erosion, der Fallrichtung parallel, mehr oder weniger stark in Rinnen und Rippen gegliedert, während Flachstufen meist ein weniger ausgerichtetes Kleinrelief von Kuppen und Mulden tragen, wobei freilich tiefere Rinnen schmälere Hangleisten ohne besondere Unterbrechung durchschneiden. Das genannte Kleinrelief hat an seinen Teilflächen ein umso unterschiedlicheres Kleinklima, je weniger baum- und strauchbestanden es ist und in je größerer Meereshöhe es liegt. Die gerichteten Faktoren der Strahlung und des Windes, damit auch die des windgerichteten Niederschlages und besonders des windverfrachteten Schnees bedingen mit zunehmender Höhe an diesen Teilflächen eine zunehmende Differenzierung der bodennahen Luftschichte, der abgelagerten Schneedecke und mit ihnen auch des aufliegenden Bodens.

Täler wirken bekanntlich als Führungsrinnen des Windes, sodaß sich die Gradientwindrichtungen der freien Atmosphäre am Talboden, aber auch an den Talhängen in einigem Abstand vom Kamm nur noch darin bemerkbar machen, daß gerade ein Talein- oder Talauswind bläst. Dies natürlich abgesehen von geringmächtigen Hangauf- und Hangabwinden, die nicht von den Gradientwinden her-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

stammen. Rechts und links (und auch gegenüber) von Seitental-Einmündungen ist allerdings die Variation der Windrichtung bedeutend verstärkt ("Windecken").

Unsere Station am rechten Hang des SSW-NNE-gerichteten Gurglertales hat weitaus vorherrschenden Nordwind, bei föhnigen Wetterlagen aber Südwind. Doch macht sich die Windecken-Wirkung des nahe nördlich von ihr einmündenden Königstales bereits ziemlich bemerkbar.

Die beiden Flanken von Hochgebirgstälern entwickeln ein umso mehr verschiedenartiges klima- und kulturbedingtes Gesicht, je mehr ihr Verlauf von der Mittagsrichtung der Einstrahlung abweicht. Doch bewirkt schon die geringe Ostwärts-Wendung des Gurglertales von etwa 15° im Bereiche der Station, daß unser Hang im Ganzen den Charakter einer Schattseite, der Gegenhang den stark gegensätzlichen einer Sonnseite annimmt.

Am Rinnen-Rippen-Kleinrelief der Hänge differenziert sich das Kleinklima samt seinen Weiterungen in solchen N-S-Tälern besonders stark, weil die Talflanken nicht nur von der vorherrschenden Wind-, sondern mehr oder weniger auch von der vorherrschenden Strahlenrichtung gerade gestreift werden. In solchen Tälern kann ebenso der Fall eintreten, daß die zur Wind- und Lichtrichtung quer oder doch schräg verlaufenden Rinnen und Rippen des Hang-Kleinreliefs an ihren Luvseiten zugleich Schattseiten und an ihren Leeseiten Sonnseiten darstellen, wie auch der umgekehrte Fall, daß die Sonnseiten in Luv, die Schattseiten in Lee zu liegen kommen, je nachdem Wind und Hauptsonnenschein mehr aus entgegengesetzter oder gleicher Richtung kommen. Im ersten Falle wirken die beiden Einfallsrichtungen auf eine räumlich ausgeglichenere Stärke und Dauer der Schneedecke hin, weil der schwächere luvseitige Auftrag mit dem schwächeren schattseitigen Abtrag durch Strahlung zusammenfällt und auch an der Gegenseite der stärkere Auftrag vom stärkeren Abtrag beeinträchtigt wird. Im zweiten Falle verstärken sie sich dagegen zu größerer Unterschiedlichkeit zwischen beiden Seiten jeder Rippe oder Rinne.

Da im Gurglertal der Wind, vor allem auch Niederschlagswind, vorherrschend aus dem Norden weht, liegt im Stationsbereich also der Fall gegenseitiger Abschwächung in der Schneedifferenzierung des Kleinreliefs vor. (Wegen der leichten Ostwendung des Tales noch etwas ausgeprägter am Gegenhang, dort freilich an einer viel geringeren Kleinrelief-Gliederung).

Trotz dieses in unserem Falle ausgleichenden Effektes im Sonnen-Wind-Zusammenspiel zeigt sich das Schneeklima im untersuchten Kleinrelief in erstaunlichem Maße unterschiedlich, und zwar haben die Lee-Sonnseiten der Rinnen und Rippen auch im Stationsgelände, soweit sie oberhalb des Waldes liegen, eine bedeutend mächtigere und andauerndere Schneedecke als die Luv-Schattseiten. Umso größer muß dieser Unterschied zwischen Lee-Schattseiten

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

und Luv-Sonnseiten herauskommen. Man kann also annehmen, daß die Auftragseffekte des Windes die Schneeverteilung ins Kleinrelief über die ganze Zeit der geschlossenen Schneelage viel entscheidender bestimmen als die Abtragseffekte der Sonne. Außerdem war zu beobachten, daß diese Verteilungen, wenn auch zu verschiedenen Zeitpunkten im Jahr, so doch in fast genau gleicher Ausformung alljährlich wiederkehren. Auch in dieser Hinsicht kann sich die Gesetzmäßigkeit der Schneeverteilung im entgegengesetzten Falle nicht abschwächen. Die Geltung dieser beiden Gesetze wurde vom Verfasser bereits vor Jahren für die alpine und nivale Stufe nachgewiesen (FRIEDEL 1956). Sie gelten nach den im folgenden vorgebrachten Messungen auch für die uns wichtige subalpine Stufe in nur wenig abgeschwächter Schärfe wenigstens bis herunter zur tatsächlichen Waldgrenze.

Der Hang, an dem unsere Station liegt (der "Kinigsrain", d.i. der W-Auslauf des Grates zum Kinigskogel) zieht sich von einer oberen Verebnung ("Innere Haide", unterer Rand 2225 m, hier die klimatische Baumgrenze) steil abwärts zu einer schmalen unteren Verebnungs-Leiste (2075 m, Basis der heutigen Station, knapp darunter die heutige Waldgrenze und von hier ab weniger steil als Lärchen-Zirben-bewaldeter Hang (darin das anfängliche Stationsbereich, "Lichtung" in 1900 1940 m) hinunter bis zum Rande des Talbodens (Poschach 1840 m).

Der obere Hang (Kampfzone des Baumwuchses) wird im Stationsgelände gegliedert u.a. durch drei eng benachbarte Rinnen (von N nach S "Nordrinne", "Beerrinne" und "Blaikenrinne") und durch die zwei zwischen ihnen sich erhebenden Rippen ("Hauptrippe" und "Wegrippe"). Am Auslauf dieser Rippen sowie weiter südlich befinden sich weniger ausgeprägte und nicht so weit hinaufziehende Hangeintiefungen ("Hauptmulde", "Pegelmulde", "Felsenmulde"). Unter der Verebnung setzen sich die großen Rinnen in schwächerer Ausbildung fort und wiederholen sich auch die dazwischenliegenden Eintiefungen. Auch weiter talwärts, auf der "Lichtung", die zwischen den Fortsetzungen der Beer- und Blaikenrinne liegt, verlaufen mit einiger Unterbrechung und Verzweigung schmale, meist flache Kleinrinnen, etwa 8 an der Zahl, und entsprechende Rippen dazwischen .

Im vorliegenden Falle besteht die Aufgabe in ökologischer Auswertung von kartographisch aufgenommenen Linienscharen, welche dreierlei darstellen: Relief, Schneebedeckungsdauer und Vegetationseinheiten. Die Zusammenhänge zwischen ihnen sind sowohl qualitativ wie quantitativ richtig zu erfassen. Jede Kartographie (wie ja auch jede Messung) schematisiert die Wirklichkeit bis zu einem angebbaren Grade. Um in der Aufnahme enthaltene Gesetzlichkeiten besser sichtbar und meßbar zu machen, ist es oft vorteilhaft, schrittweise noch in bestimmter Weise weiterzuschematisieren. Dies scheint der Willkür breiten Raum zu gewähren. Wenn man dabei jedoch streng zweckgerichtet vorgeht, wird der Vorgang durchaus eindeutig. Um z.B. die Beziehungen zum Relief herauszuarbeiten, muß die Schematisierung erstens flächen-, längen- oder winkeltreu und zweitens unter Ausrichtung nach Relieflinien (Höhen-, Tiefenlinien u.a.) vor sich gehen. In analoger Weise kann man auch Reliefbereiche, die sich im untersuchten Gelände einigermaßen nach Form und Größe ähneln, mit Zirkel und Lineal un-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
tereinander graphisch mitteln, indem man sie paarweise auf dem Paustisch übereinander legt, die Zwischenlage analoger Linien konstruiert und so in mehreren Schritten bis zur umfassenden Mittelbildung vordringt.

Die beigefügten Abbildungen sind auf solche Weise ausgearbeitet, die beigebrachten Maßzahlen zur gegenseitigen Kontrolle jedoch großenteils sowohl direkt aus der Originalaufnahme gemessen und verrechnet als auch im angegebenen verkürzten graphischen Verfahren erstellt. Ihre leider immer noch relativ beträchtliche Fehlerbreite liegt jedoch nach diesen Kontrollen nicht in der einen oder anderen Methode, vielmehr in der leider ziemlich ungenauen tachymetrischen Feldaufnahme des Geländes begründet. Außer der "Lichtung" wurden hauptsächlich die scharf eingeschnittene und regelmäßig ausgeformte Beerrinne, daneben noch die Nordrinne und weitere Mulden herangezogen, wogegen sich die Blaikenrinne nicht vergleichen ließ, weil sie großenteils von Vegetation und Boden entblößt ist.

Bekanntlich verläuft je höher, desto mehr der winterliche Aufbau der Schneedecke weit langsamer als ihr Abbau, liegt also der Aufstieg der Schneemächtigkeitskurve weniger steil, als der Kurvenast ihrer nachherigen Abnahme und Aufzehrung abfällt. Dies ließe erwarten, daß der Beginn der Schneebedeckung zeitlich viel stärker variiert als ihre Beendigung. Allein das Gegenteil ist der Fall. Der Vorgang des Einschneiens vollzieht sich im Hochgebirge ja in ganz anderer Weise als der des Ausaperns. Die bleibende Schneelage greift im Herbst im Laufe kurzer Zeit in mehreren Sprüngen von den Hochlagen bis in die Täler hinunter, ohne daß darin wesentliche standörtliche Unterschiede auftreten. Die Vorstoßfronten bleiben vielmehr den Schichtlinien parallel. Dagegen verhalten sich die Mächtigkeit der Schneedecke, die Eintrittszeit ihres Maximums und mit ihnen auch das Ausaperungsdatum außerordentlich unterschiedlich, je nach Meereshöhe, Reliefsituation und Unterlage. Die Rückzugsfront zergliedert sich zur sog. "Zebralandschaft". Durch Vergleich mit Schneepegel-Meßreihen wird ersichtlich, daß sogar an exponierten Stellen Aperflecken bereits beträchtlich anwachsen, während in den Mulden die Schneedecke noch gar nicht ihren vollen Aufbau erreicht hat, ein Effekt, der auf die überragende Bedeutung des schneeverfrachtenden Windes hinweist.

Die Schneedeckendauer und mit ihr die mögliche Länge der Vegetationszeit hängt an den verschiedenen Standorten somit wesentlich vom Ausaperungsdatum ab. Das Einschneien geschieht außerdem erst zu einer Zeit, da normalerweise die Vegetationsperiode bereits abgeschlossen ist, wogegen das Erwachen des pflanzlichen Lebens an den meisten Standorten der subalpinen und alpinen Stufe schon viel eher möglich wäre, als es der Zeitpunkt, an dem der Schnee endlich weichen will, tatsächlich zuläßt. Diese Sach-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
verhalte ermöglichen es, uns in vorliegender Studie auf Betrachtung des Ausaperns zu beschränken und das Einschneien vorläufig zu übergehen.

Die kartographische Aufnahme sollte also den ökologisch wichtigen Ablauf festhalten, in dem sich die Grenzlinien der Schneedecke (oder Rand-Isochionen) von den ersten Aperstellen bis hin zu den letzten Schneeflecken über das Gelände fortbewegen.

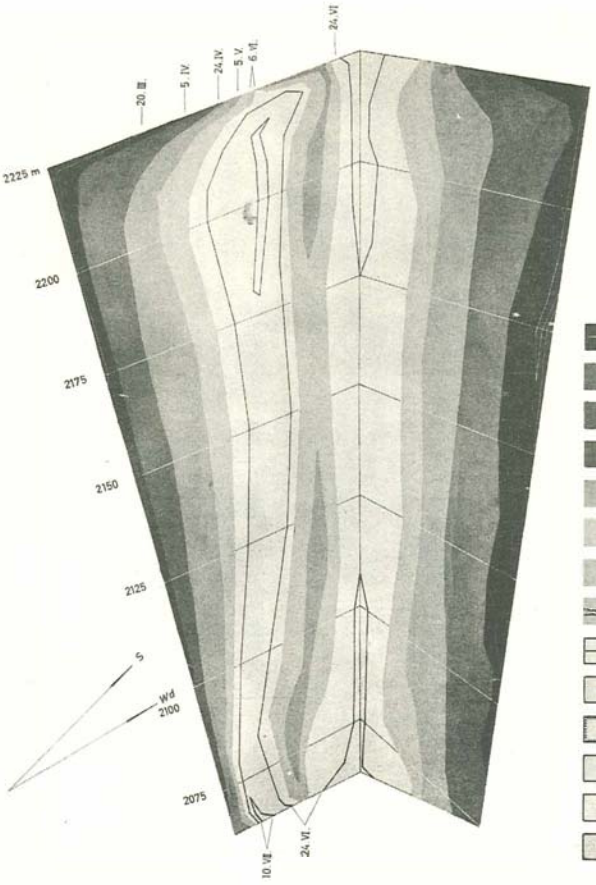
Diese Aufnahme konnte bisher leider nur in dem einzigen Jahre 1955 vorgenommen werden. In kleinem Bereiche wurden einzelne Schneestände auf der oberen Station allerdings auch 1956 und auf der "Lichtung" 1954 festgehalten.

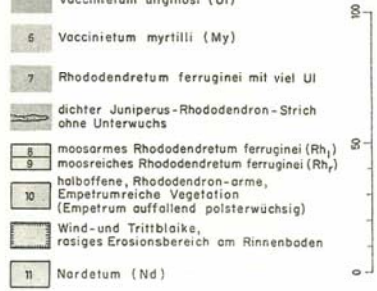
Die Kartierung geschah so, daß einzelne Punkte der aufgenommenen Schneelinien in einigem Abstande voneinander durch nachher eingemessene Pflöcke markiert und die Linienzüge dazwischen als Skizze festgehalten wurden. Die Auswahl der Aufnahmetermine erfolgte in der Weise, daß jeweils solange zugewartet wurde, bis eine kartierenswert beträchtliche Verkleinerung der schneebedeckten Flächen bemerkbar war. Im einzelnen geschah dies am

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
20.III.	5.IV.	24.IV.	5.V.	6.VI.	24.VI.	und 10.VII.1955

(teilweise unter Mitheranziehung der Vor- und Nachtage). Die Aufnahmen lagen also durchschnittlich 16 Tage auseinander. Dies allerdings mit Ausnahme der Zeit vom 5.V. zum 6.VI. Zwischen diesen Aufnahmeterminen blieben infolge ungünstiger Wetterverhältnisse trotz des Zeitabstandes von einem ganzen Monat die erhobenen Schneelinien einander immer noch relativ nahe.

Gewöhnlich geht die Ausbreitung des schneefreien Flächenanteiles gerade anfangs an den ersten exponierten Aperflecken und abschließend an den letzten geschützten Schneeflecken relativ langsam, in der Mitte zwischen diesen Zeiten aber am schnellsten vor sich. Das Aufnahmejahr wich in dieser Hinsicht also vom Durchschnitt erheblich ab, wenngleich die Konfiguration der einzelnen Schneelinien, wie nachher festgestellt werden konnte, und wie es ihrer allgemeinen Gesetzmäßigkeit entspricht, eine durchaus normale gewesen ist. Um aus dem aufgenommenen Material also klimatologisch brauchbare Angaben über mittlere Ausaperungszeiten der Standorte ableiten zu können, bedürften die Meßwerte noch einer Reduktion auf mittlere Verhältnisse, etwa durch Heranziehung langjähriger Schneepegel-Meßreihen. Wegen dieses Übelstandes müssen wir uns vorläufig auf eine Betrachtung der relativen Verhältnisse unserer Schneelinienschar zu den Relief- und Vegetationslinien beschränken. Doch behält der 4. verwendete Termin, also erste Hälfte Mai, immerhin darin seine für die subalpine Stufe kennzeichnende Stellung, daß er ungefähr in der Mitte und am Höhepunkt des Ausaperungsvorganges liegt.





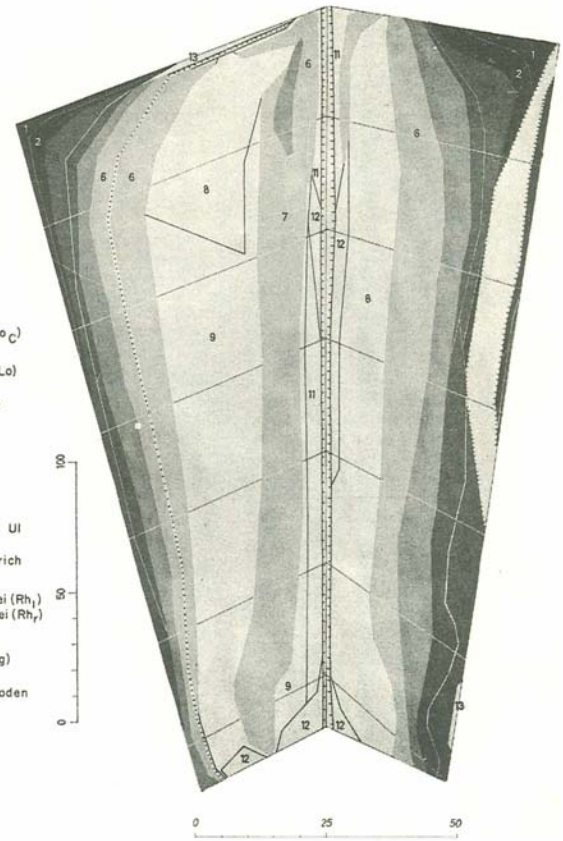


Abb. 96a: Verteilung der Schneedecken-Andauer in der Beerrinne. Flächentreu schematisiert, in der Längsrichtung verkürzt

Abb. 96b: Vegetationsverteilung in der Beerrinne. Graphisch flächentreu schematisiert

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

II. Die Verteilung der Schneedecken-Andauer im Relief

A. Die Schneebedeckung der Beerrinne

Die Beerrinne ist in den Hang so eingekerbt, daß sie an ihrem schmalen unteren Ende mit einer dreieckförmig zurückspringenden Geländekehle auf der unteren Verebnung aufsitzt und an ihrem oberen breiten Ende gegen die obere Verebnung ziemlich horizontal mit einer ebenso dreieckig zurückweichenden Geländekante abschneidet, die sich aus verwaschenen Ufermoränen des Gurglergletschers der Daunzeit aufbaut.

Für diese Reliefgestalt, die in ihrer Ausformung unserer Untersuchung sehr günstig ist, und deren Ausmaße in der Tab. 1 zusammengestellt sind, gibt Abb. 96 a die Apergrenzenverteilung in einem flächentreu konstruierten Geländeschema.

Tabelle 1: Ausmaße der Beerrinne
(gemessen und errechnet aus der verwendeten flächentreuen Schematisierung)

	Nördl. Einhang (Lee-Sonnseite) u. Hauptrippe	Südl. Einhang (Luv-Schattseite) u. Wegrippe	Tiefenlinie im Ganzen		Tiefenlinie im Mittel
Strecken					
Länge horizontal (in der Projektion)	255.0 m	280.0 m	272.5 m		269.0 m
Höhe	160.0 m	150.0 m	160.0 m		157.0 m
wahre Länge (schräg)	301.0 m	317.0 m	316.0 m		311.0 m
	parallel zur Schichtlinie	parallel zur Schichtlinie		senkrecht zur Tiefenlinie	
Breite, größte (ob. Rd.)	74.0 m	48.0 m		103.0 m	
Breite, kleinste (unt. Rd.)	34.0 m	33.0 m		47.0 m	
Breite, mittlere	54.0 m	40.5 m		75.0 m	
Tiefe, größte	73.0 m	56.0 m			64.5 m
Tiefe, kleinste	29.0 m	35.0 m			32.0 m
Tiefe, mittlere	51.0 m	45.5 m			48.5 m
Winkel					
Richtung gg. N. der Kante	N49.0°W	N36.5°W	N41.5°W		N42.0°W
der Fläche	N85.5°W	N 1.5°W			N43.5°W
Neigung gg. Horiz. der Kante	31.0°(64.9%)	28.0°(53.6%)	30.0°(58.7%)		29.7°(58.7%)
der Fläche	35.0°(69.6%)	37.0°(70.5%)			36.0°(72.6%)
Querschnittwinkel horizontal	49.0°	51.0°		100.0°	
vertikal	63.5°	64.0°		127.5°	
schräg	66.5°	67.0°		133.5°	
Flächen					
Horizontalprojektion	1.152 ha	0.938 ha		2.090 ha	
schräg (wahrs)	1.406 ha	1.172 ha		2.578 ha	

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Die beiden Einhänge überdecken sich nur teilweise. Das links vorragende Dreieck ist der nördlich gelegene Einhang, der gegen Süden abfällt (Sonnen-Leeseite). Das rechts höhere Dreieck ist der südlich gelegene Einhang gegen Norden (Schatten-Luvseite).
Die Schneelinien des überdeckten Teiles des Leehanges sind strichliert gezeichnet. Die rinneninneren Zonierungen des Leehanges wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit weggelassen. Die gezahnten Linien bedeuten die Hangfortsetzung zur oberen und unteren Verebnung.

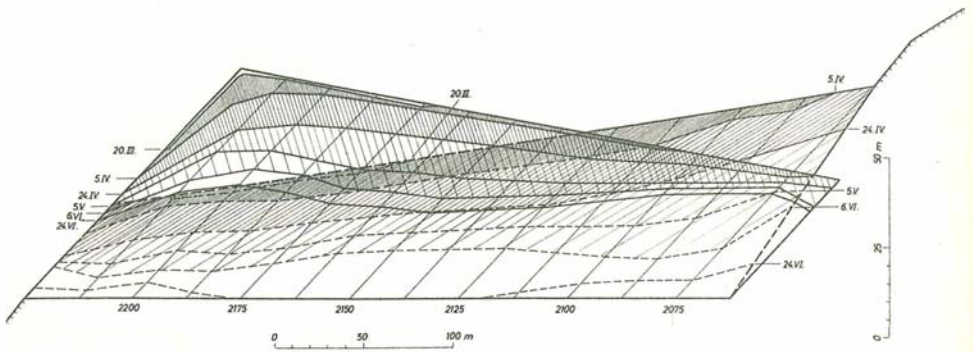


Abb. 97a: Verteilung der Schnee-Andauer im schematisierten Aufriß der Beerrinne (von Norden her gesehen). Überhöht und um 30 Grad gedreht, so daß der Rinnenboden waagrecht liegt

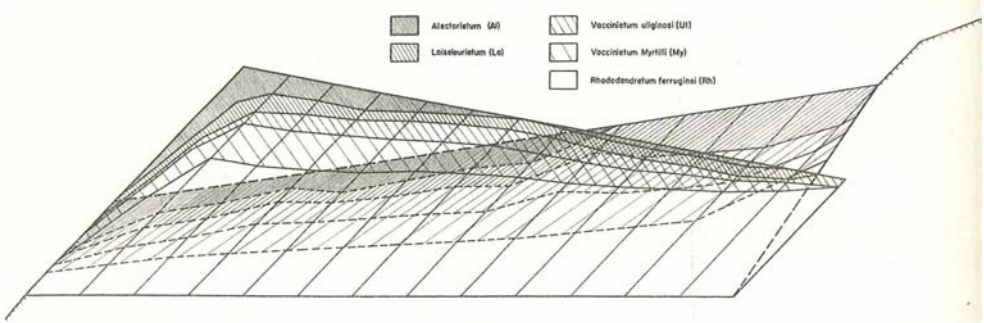


Abb. 97b: Vegetationsverteilung im schematisierten Aufriß der Beerrinne. Zeichnung wie Abb. 97 a

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Die eingezeichneten Schneelinien rechts und links der Achse ziehen, abgesehen vom Ober- und Unterrand, zwischen der Tiefenlinie und den beiden Höhenlinien entlang. Das bedeutet, die Ausaperung schreitet von den Rippen in die Rinne vor. Doch folgen sie nicht so sehr der zunehmenden Verschmälerung der Rinne nach unten, sondern zeigen eher die Neigung, sich der Achse gegen innen zunehmend parallel zu richten. Dies wiederum besagt, die Ausaperung dringt nicht nur von außen gegen innen, sondern auch von oben nach unten vor. Am Ober- und Unterrand ist der Verlauf der Linie stark abgeändert und zwar oben in dem Sinne, daß innen die schneereicheren Strecken, besonders aber außen die schneearmen im Vergleich zur übrigen Rinne zunehmen, wogegen unten umgekehrt weniger die windgefegten, sehr aber die schneeangereicherten sich vermehren. D.h. die Oberkante verhält sich wie eine abfallende Höhenlinie, die Unterkehle wie eine sich vertiefende Tiefenlinie.

Da die aufgenommenen Schneelinien in ihrer Zeitstellung noch nicht auf eine längere Klimareihe reduziert, ihre klimatologisch wahre Einordnung in den Jahreslauf also noch nicht fixiert ist, hätte es noch wenig Wert, die zwischen ihnen liegenden Flächenanteile hier einzeln näher zu behandeln. Doch kann man sie sehrwohl schon zu Vergleichen verschiedener Reliefeinheiten und deren Teilflächen verwenden, hier also vor allem zum Vergleich der Lee-Sonnseite (Einhang von der Hauptrippe) mit der Luv-Schattseite (Einhang von der Wegrippe) der Beerrinne. Dabei springt ja die Verschiedenartigkeit des Isochionenfeldes sogleich in die Augen.

Besondere Bedeutung kommt der 4. Schneelinie zu, von der wir feststellten, daß ihr Datum (der 5.V.) die Zeiterstreckung des Ausaperungsvorganges gerade ungefähr halbiert. Jener Teil-Linienzug dieser 4. Isochione, welcher beiderseits auf die 3. Isochione gegen innen folgt, stimmt nämlich am genauesten mit jener Vegetationslinie überein, welche die schneeliebenden (chionophilen) Pflanzengesellschaften von den schneemeidenden (chimonophilen) trennt. Der Flächenanteil von ihr zur Höhenlinie ("Windboden") macht auf der Leeseite (in der Abb. links) 27.5 %, auf der Luvseite 60.0 % aus, der Anteil von dieser Grenze bis zur Tiefenlinie ("Schneeboden" i.w.S.) somit 72.5 % im Lee und 40.0 % im Luv. (Dabei wurde je ein schmaler Streifen am Ober- und Unterrand, weil nicht vergleichbar, außer Rechnung gelassen). Wir sehen also: Der Unterschied zwischen beiden Einhängen ist sehr bedeutend und im Ganzen der Anteil des Windbodens überraschend groß. Gewöhnlich werden die Flächen nahe an den Höhenlinien (Konvexflächen) gegen jene an den Tiefenlinien (Konkavflächen) unterschätzt, weil sie im Gelände allgemein stark verkürzt gesehen werden. Wenn man das Ausaperungsdatum (mit Einschluß der Randstreifen) gemäß dem Gewicht der zugehörigen Flächenanteile mittelt, erhält man für die Leeseite als durchschnittliches Datum des

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
Aperwerdens den 8. VI., für die Luvseite den 8. V., also einen ganzen Monat Unterschied. Doch ist diese Angabe aus schon genannten Gründen noch unsicher.

Während die Luvseite (in der Abb. rechts) rinnen-einwärts ein stetiges Ansteigen der Schneebedeckungsdauer zeigt, ist der Anstieg auf der Leeseite unstetig ausgebildet. Die gleichmäßige Zunahme der Schneemassen nach innen ist hier in einer breiten Zone unterbrochen, was sich daran bemerkbar macht, daß die Schneelinien 4, 5 und 6 innenzu wiederkehren. Dies ist die Wirkung der leeseitigen Wächtenablagerung. Sehr mächtige wächtenartige Schneeaufbauten gibt es ja durchaus nicht nur an scharfkantigen Graten und steilflächigen Kämmen. Sie bilden sich (hinreichende Windstärken vorausgesetzt) auch schon an leichten Gefällsknicken und sanften Hangwölbungen. Sie fallen dort nur nicht so auf, weil sich ihre Rückenfläche dem leeseitigen Hangabfall mehr anschmiegt und ihre Stirnfläche nicht so scharf profiliert sein braucht. Dafür wandern sie mit ihrer Frontlinie im Laufe des Winters viel weiter von der Höhenlinie abwärts in die Leefläche vor. Die Front der Hangwächte schiebt sich im oberen Teil der Beerrinne viel weiter als im unteren vor, im Durchschnitt 56 % des Hanges. Bei der Ausaperung bleiben Schneereste des weitest vorgewanderten, mächtisten Teiles der Wächte lange liegen. Dieser Wächtenfuß bildet die ganze Rinne entlang eine weiße Zone, wenn das übrige Rinnengelände schon aper liegt. Das Plus an Schnee dieser Wächtenzone steht einem Minus in einer innenzu anschließenden Vorzone gegenüber, die dem Wächtenfuß entlang ebenfalls die Rinne durchzieht und umgekehrt als dunkler Streifen in ihr sichtbar wird, wenn noch ihr größter Teil zugeschneit liegt. Diese beiden kennzeichnenden Leezonen lassen sich sehr gut durch unsere Schneelinie 5 (vom 6. VI.) umgrenzen. Die Wächtenfußzone nimmt 31 %, die Wächvorzone 19 % der Leeseite ein. Außerhalb von ihr liegen 36.5 %. Einwärts folgen noch 13.5 % des Hanges. Würde man die Linie 5 als Grenze zwischen Wind- und Schneeboden (i. w. S) nehmen, so erhielte man im Lee 40.8 + 19.0 59.8 %, in Luv sogar 75.5 % Windboden.

Um das Verhältnis zwischen Luv und Lee einer Rinne richtig zu werten, muß man berücksichtigen, wie sehr sich die Leeseite der Luvseite im Windfelde tatsächlich gegenüberstellt. Zu diesem Zwecke ist dem in Abb. 96a gegebenen Grundriß der Beerrinne der ebenso schematisierte Aufriß Abb. 97 a beigegeben. Die Aufrißzeichnung ist in der Erstreckung der Schichtlinien gegen Abb. 96 a verdoppelt gezeichnet und aus ihrer Neigung der Tiefenlinie der Beerrinne von 30° in die Waagrechte gedreht. Da die Windströmung für unsere Zwecke als annähernd horizontal am Hange entlang streichend angenommen werden kann, würde eine solche Drehung um diese Richtung in die Horizontale an der Windwirkung tatsächlich nichts ändern. Wie man sieht, überragt der Leehang

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
die Luvseite im oberen Teil der Rinne sehr stark, wogegen in einem kleineren unteren Teil umgekehrt die Luvseite den Leehang überragt. Wie sich die Besonnung einer Reliefffläche nicht nur danach richtet, unter welchem Winkel die Strahlen einfallen, sondern auch danach, welche Hindernisse sich schon vorher in den Strahlenweg stellen, so auch ihre Bewindung nach dem Windeinfallswinkel und danach, welche Windhindernisse vorher wirksam werden. (Der vom Lee überdeckte Teil des Luv ist in Abb. 97a gestrichelt gezeichnet). Nach diesen Verhältnissen könnte sich der starke Luv-Lee-Unterschied in der Ausaperung der Beerrinne, wenn diese vollsymmetrisch gebaut wäre, nur vergrößern, nicht verkleinern. Durch die Aufrißzeichnung wird auch deutlich, daß sich der vordere Rand der oberen und unteren Verebnung dem Wind als Höhenlinie, der untere Rand unserer Reliefeinheit als Tiefenlinie darbieten muß.

B. Schneeverteilung in weiteren Mulden des oberen Hanges

Zum Vergleich seien die drei schon genannten, weniger breiten und tiefen Rinnen herangezogen, die Haupt-, Pegel- und Felsenmulde. Sie unterscheiden sich von der Beerrinne vor allem auch dadurch, daß sie nicht den ganzen oberen Hang durchziehen, nicht nach oben offen ausmünden, sondern nach oben sich abschwächend auskeilen. Da in ihren geringeren Ausmaßen die Fehlerbreite der Karte stärker zur Auswirkung kommt, mußten sie in einer Durchschnittskonstruktion zusammengezogen werden. Ihre Ausaperungsweise gibt Abb. 98a . Die Mulden sind im Mittel 0.53 ha groß und (ohne den oberen Auslauf) 38 m breit, 6.5 m tief, 34° steil und N 53° W gerichtet.

Die Ausaperung dieser schwachen Hangeintiefungen beansprucht ebensolange Zeit wie die des vorher behandelten Großeinschnittes. Sie reicht ebenso von frühesten Aperflecken in der äußeren (besonders oberen) Umrandung bis zu den spätesten Schneeflecken in den Tiefenlinien (besonders der unteren Randkehle). Diese einer Höhenlage zugehörige Ausaperungsspanne bleibt auch in immer noch kleineren Reliefformen möglich, mindestens so lange sie nicht im Laufe des Winters einfach durch den Schnee zu einer stabileren Gleichgewichtsfläche ausgeglichen werden können. Auch hier tritt uns der Unterschied zwischen Lee und Luv entgegen. Auch hier beansprucht der früh ausapernde Windboden große Flächenanteile und zwar gerade in dem sanfteren Lee weit mehr als in der Beerrinne (dort 27.5 %, hier 53.2 %), aber auch im sanfteren Luv mehr als in jener (dort 60.0 %, hier 68.1 %). Auch in diesem schwächeren Relief bildet sich eine, wenngleich weniger deutliche Hangwächte, deren Stirn in den schmäleren verfügbaren Bereich

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

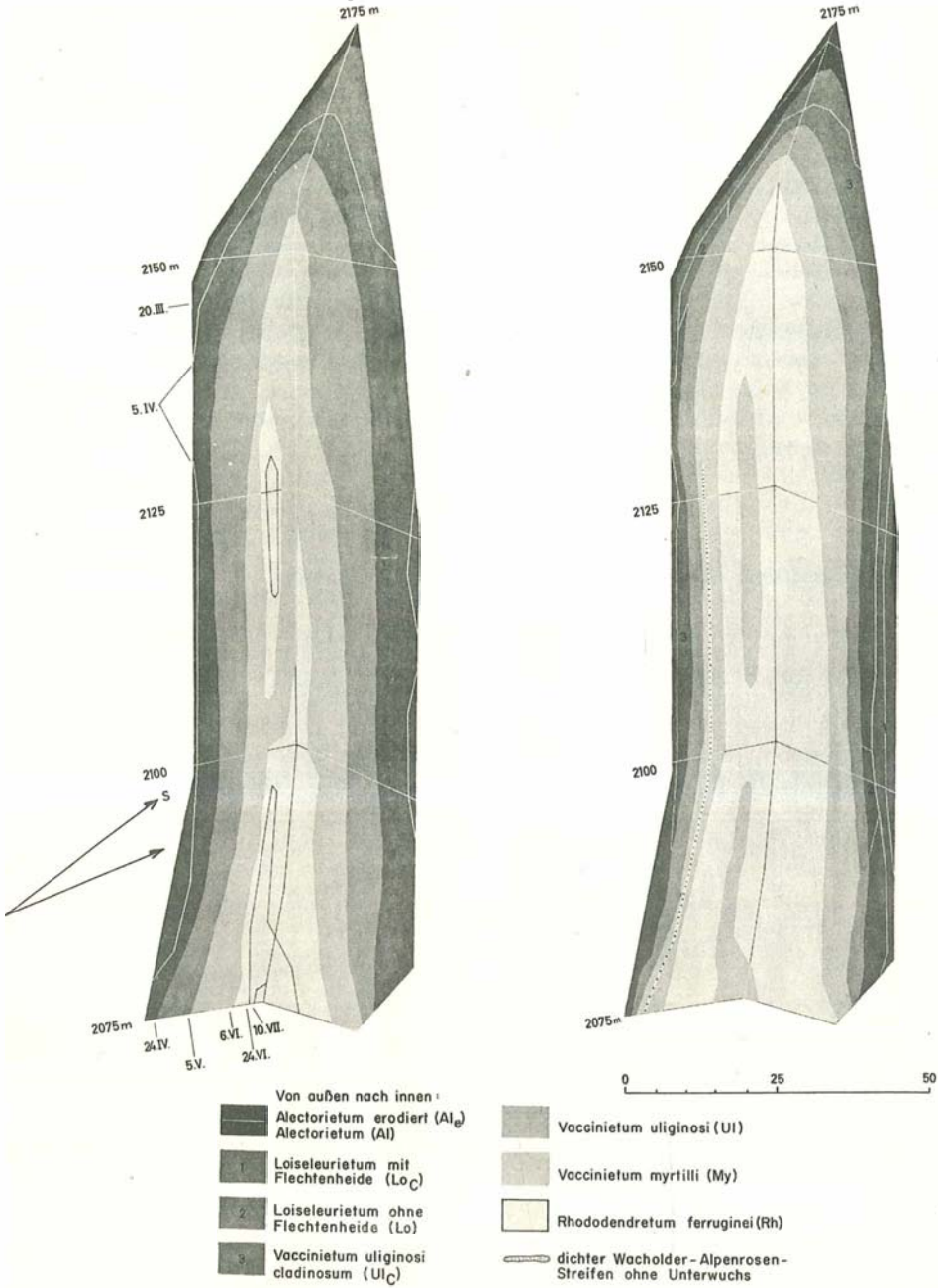


Abb. 98 a: Schneebedeckung der drei Nebenrinnen (Haupt-, Pegel- und Felsenmulde). Flächentreu schematisierte, graphische Mittelung

Abb. 98 b: Vegetationsverteilung in den drei Nebenrinnen

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

weiter gegen die Tiefenlinie vordringt (hier 14.5 m oder 80.5 %, in der Beerrinne 30.2 m oder 56 %), sodaß sich die sonst typische Wächtenvorzone nicht mehr bilden kann. Sobald die Hangwächtenstirn des Gesamtwinters in noch kleineren Hohlformen des Hanges bis in den Muldengrund vordringen und dort am Ansatz des Luv-Hanges verstreichen kann, wird die Luv-Lee-Asymmetrie, soweit sie Wächten-Unstetigkeit ist, verschwinden. Aber auch dann wäre noch Luv-Lee-Asymmetrie vorhanden. Sie würde, wie gesagt, erst dann verschwinden, wenn im Verlaufe des Winters der Schnee bis zur vollen Ausgleichsfläche anwachsen könnte.

Dazu tritt aber doch stets noch eine gewisse Abhängigkeit von der Höhenlage zwischen Talboden und Kamm. Das Hochgebirge bietet Naturphänomene, deren Isolinienführung sich vorwiegend nach der Meereshöhe richtet (Niveaueffekte), die sich also mehr an die Isohypsen anhalten, wie etwa die Nebelhäufigkeit oder das Einschneien, und andere, die sich mehr nach dem Relief ausrichten (Reliefeffekte), deren Isolinien also in kuppigem Gelände Schlingen ziehen und am Hang sich so stark auf und ab bewegen, daß die Höhenabhängigkeit nur massenstatistisch erfaßt werden kann, wie etwa die Bewindung in der bodennahen Luftschicht und das Ausapern. Unsere reliefgeformten Rand-Isochionen der Aperflächen werden sich (genügende winterliche Windstärken wieder vorausgesetzt) selbst dann am Hange stark auf- und abbewegen, wenn dieser dem Auge eine ganz ungegliederte Fläche zu sein scheint. Die Tendenz, die von der Schneeverteilung angestrebte stabile Ausgleichsfläche zu bilden, wird dann eben erst über größere Bereiche hin auf jene Reliefunterschiede stoßen, die im Laufe eines Winters nicht mehr ausgeglichen werden können.

C. Schneeverteilung an der unteren Verebnung

Wenn man zwischen den Rinnen und Mulden des oberen Hanges die Höhenlinien, welche diese voneinander trennen, mit den entsprechenden des unteren Hanges verbindet, wird auch die dazwischen liegende Verebnungsleiste in zugehörige Abschnitte eingeteilt. Diese gerade so einzuteilen, erscheint durch hügelartige Aufwölbungen in ihr begründet, von denen die Rippen des unteren Hanges auslaufen. Von 6 so begrenzten Geländestreifen des Stationsbereiches wurde zwecks besserer Durchsicht die Mittelkonstruktion durchgeführt. In Abb. 99a ist sie mit dem durchschnittlichen Ausaperungsgang dieser 6 Abschnitte wiedergegeben.

Der gesetzmäßige Aufbau springt wieder ins Auge. An den herangezogenen untersten Rippenteilen der Rinnen des oberen Hanges folgt im Mittel (in der Abb. von links nach rechts) auf eine schmale Windbodenzone des Lees eine Wächtenfußzone, dann die Wächtenvorzone, beide hier durch die Schneelinie 5 umgrenzt, hierauf

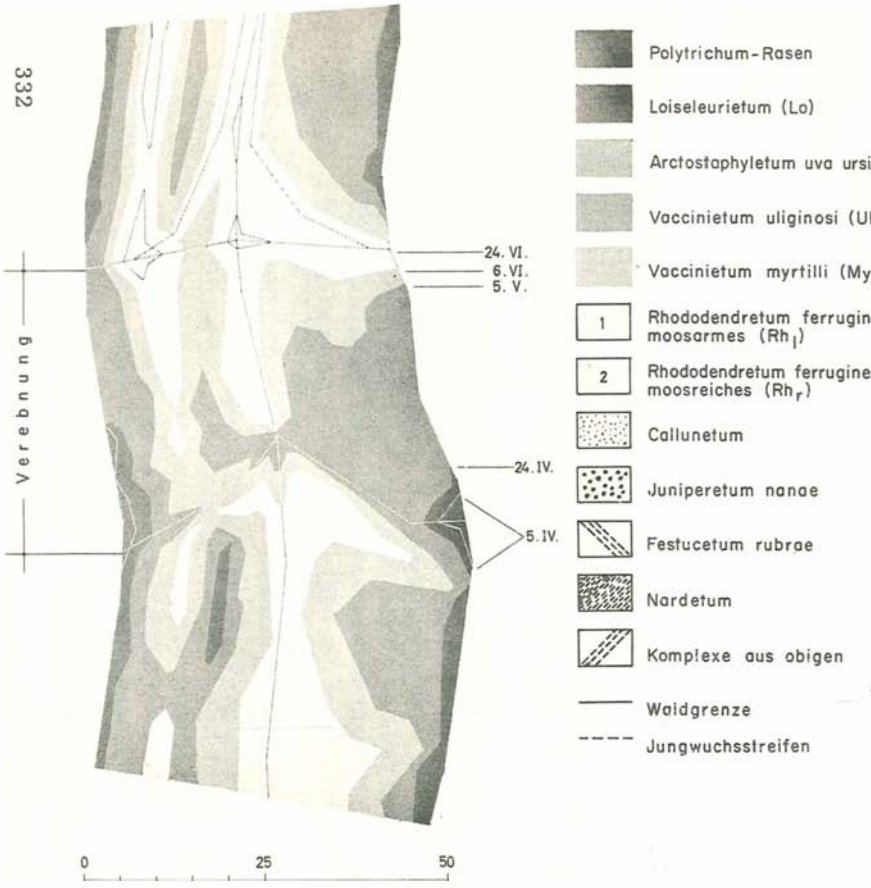


Abb. 99 a: Schneebedeckung in vier kleineren Rinnen an der unteren Verebnung, graphisch gemittelt (siehe Text)

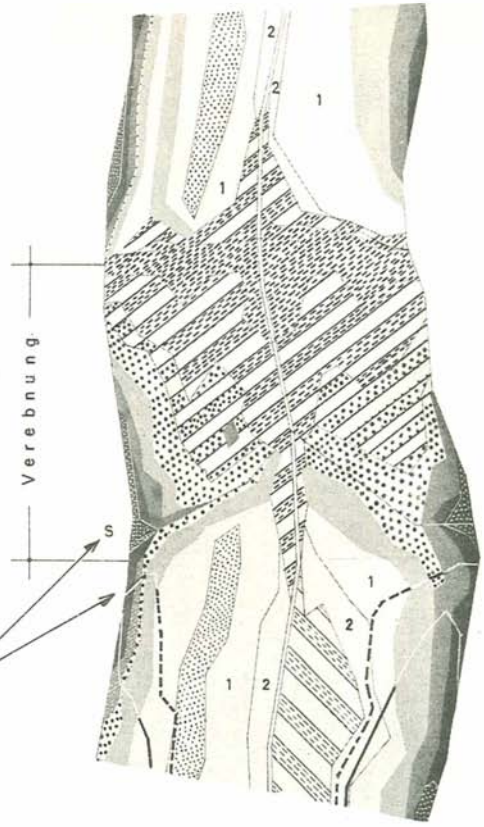


Abb. 99 b: Vegetationsverteilung an der unteren Verebnung (dieselbe Fläche wie Abb. 99 a)

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

die Schneehäufung des Rinnengrundes, gefolgt zuletzt von der ausgedehnten Schneemangelzone im Luv. Die Wächtenvorzone setzt sich auf dem Schuttkegel nach einer Unterbrechung (in der Kehle seines Ansatzes) fort. Die Prozentanteile dieser genannten 5 Zonen (unter Ausschluß der unteren Kehle) sind:

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
Lee	23.2	24.7	26.9	25.1 %
Luv	74.2			26.8 %

Auf dem Verebnungsabschnitt setzen sich die beiden schneereichen Zonen, die der Hangwächte und jene der Rinnentiefe, wenigstens ein Stück weit fort. Die Kehle am Fuße des oberen Hanges hat wieder ihre typische Schneehäufung, die Vorderkante der Verebnung dagegen wieder ihre typische Abblasung, eine stärkere solche vor allem auf den Grenzhügeln rechts und links. Die entsprechenden (hier jedoch statistisch nicht sehr fundierten) Zahlen sind:

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
Lee	31.2	11.0	34.2	15.8 %
Luv	88.5	-	-	11.5 %

Im Unterhang-Mittel folgt nach dem windgefegten Gefällsknick am Vorderrand der Verebnung eine querliegende Wächtenzone, die besonders innenzu entwickelt ist. (Die Einknickung ihrer Schneelinien in der Tiefenlinie wird durch Schmelzwasser hervorgerufen). Nun schließt nach unten wieder ein Bereich typischer Rinnen-Längszonierung an, hier aber offensichtlich abgeschwächt: 1. die Windzone der Leekante in Fortsetzung des entsprechenden Grenzhügels, 2. dann der Wächtenfuß und 3. seine Vorzone, hier nur durch Schneelinie 4 umgrenzt, hierauf wieder 4. die innere Schneehäufung und zuletzt 5. die stetige luvseitige Schneeverarmung bis zur Luvkante, der Fortsetzung des entsprechenden Grenzhügels. Nach unten zu bemerkt man eine allmähliche Verwischung der Längszonierung, was eine Folge der beginnenden Bewaldung der Rippen ist, sodaß die windverursachten Asymmetrien rinnenabwärts immer mehr ausgeglichen werden. Die entsprechenden (auch hier etwas vagen) Zahlen sind:

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
Lee	25.5	24.2	18.2	32.1 %
Luv	66.4		-	33.2 %

Der gesamte obere Hang herunter bis zu seiner Randkehle einschließlich hat eine Variationsbreite des Ausaperungsdatums von mehr als 3 1/2 Monaten (20.III. bis 10.VII.), wenn man von kleinsten Inseln mit weniger als einem Flächenprozent absieht. Der übrige Teil der Verebnungsleiste und der wenig ausgedehnte untere Hang bis zur Waldgrenze sowie auch noch eine schmale Randzone des Waldes selbst haben dagegen nur noch eine solche von zwei Monaten (5.IV. bis 6.VI.).

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

D. Schneeverteilung im Bereiche der Lichtung

Das Stationsgelände an der Lichtung, etwa 150 m tiefer als das der oberen Station gelegen, ist 36° (46.8 %) geneigt, N 52° W gerichtet und etwa 0.82 ha groß. Die Reliefwirkung auf die Schneeverteilung läßt sich mit jener oberhalb der Waldgrenze nicht wohl vergleichen, einerseits weil die Baumbestockung ganz andere Verhältnisse schafft, andererseits weil die Geländeformen von einer anderen Größenordnung sind. Wenn man die besprochenen Eintiefungen als Kleinrelief bezeichnet, so gehören die Rinnen der Lichtung einem Kleinstrelief an. Sie sind im Durchschnitt 9.0 m breit und (vertikal gemessen) 2.3 m tief, ziemlich symmetrisch gebaut und an manchen Stellen ganz undeutlich ausgebildet. Nur die südlichste Rinne ist etwas stärker entwickelt, 7.9 m breit, 4.7 m tief. Abb.100a gibt eine schematische Skizze dieser Reliefsituation. (Die strichlierten Linien geben die Tiefenlinien der Rinnen, die ausgezogenen ihren seitlichen Rand).

Die Ausaperungskonturen halten sich nur teilweise an dieses schwache Relief. Soweit dies aber geschieht, ist nicht mehr wie im oberen Stationsbereich die Leeseite, sondern die Schattseite der Rinnen schneebegünstigt. Die Aperkontur vom 21.V. 1955 ist neben jener vom 19.V.1954 die für diese Feststellung geeignetste. An der Lee-Sonnseite erreicht sie im Mittel nur 2.1 m, d.i. 46.6 % der verfügbaren Breite von 4.5 m, an der Luv-Schattseite dagegen 3.6 m, von den 4.5 m gerade 80 %. Dazu ist freilich zu bemerken, daß so kleine Reliefformen auch am oberen Hang keine Schneebegünstigung und Aperverzögerung an ihrer Lee-Sonnseite zeigen würden, weil der Wind sie dort oben im Laufe des Winters mit Schnee einebnen würde. Hier herunten werden die kleinen Rinnen zwar nicht aufgefüllt, aber viel gleichmäßiger mit Schnee bedeckt.

1955 wurden die Schneeflecken des Lichtungsgeländes u.a. am 21.V. kartiert. Sie bedeckten damals 46.4 % der Fläche. Zwei Tage früher, am 19.V., waren sie auch 1954 aufgenommen worden. Die Flecken von 1954 blieben einerseits um 15 % der Gesamtfläche gegen jene von 1955 zurück, reichten über dieselben aber an anderen Stellen um 5 % hinaus. Hätte man 1954 etwas früher kartiert, sodaß das Zurückbleiben nur 9.5 % betragen hätte, so wäre dafür an anderen Stellen das Überlappen auf ebenfalls 9.5 % angestiegen. ± 9.5 % ist also die Schwankungsbreite der Schneelinien 1954 gegen 1955. Sie beruht wohl gleichermaßen auf Kartierungsungenauigkeit wie auf wirklicher Inkonstanz der Fleckenkonturen. Wenn man beiden Abweichungsarten je 4.8 % zuteilt, so ist das gewiß ein geringer Betrag. Man darf annehmen, daß oberhalb der Waldgrenze die Schneekonturen zwischen den verschiedenen Jahren in ihrer räumlichen Figuration weniger variieren als auf der Lichtung, weil dort einerseits die Windarbeit exakter geschieht, andererseits das Relief schärfer entwickelt ist.

Dagegen ergaben sich große Unterschiede in der Ausaperung zwischen den beiden Rändern der Lichtung. Der besonnte N-Rand wurde um 1/3 rascher schneefrei als der beschattete S-Rand (siehe Seite 279 f.).

Wir können nun unsere Untersuchungsergebnisse über die Ausaperungszeiten im Stationsgelände zusammenfassend in einen weiteren Betrachtungsrahmen stellen.

Während sich die verschiedenen Klimafaktoren in flacheren Gebieten der Erdoberfläche über relativ weite Bereiche hin zu klimatischen Zonen abstufen, die Isolinien des Variationsfeldes einzelner Faktoren also weit auseinander liegen und standörtliche Exklaven relativ wenig vom Zonendurchschnitt abweichen, ändern sich diese Verhältnisse in Gebirgslandschaften, d.h. in Bereichen mit

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
größeren Niveauunterschieden radikal. Hier scharen sich die klimatischen Isolinien auf geringe Distanzen zusammen und die Standortskunde hat es auf engerem Raume mit viel größeren Unterschieden zu tun, was sich im Hochgebirge mit zunehmendem Abstand vom Meeresniveau immer mehr steigert.

Mit den Wirkungen von eng zusammengedrängten Niveaudifferenzen verbinden sich jene des nach oben immer mehr verschärften Reliefs. Die Standortskunde hat es mit einer fast unbeschränkten Mannigfaltigkeit von Faktoren (und Faktorenkombinationen) zu tun. Die Einschränkung auf Wesentliches wird nach ihrer Erkundung sehr wichtig werden. Unter ihnen ist andererseits zwischen den vorwiegend nach dem Niveau und den vor allem nach dem Relief orientierten Faktoren zu unterscheiden. Gerade bei letzteren erreichen die Verschiedenheiten auf Entfernungen von nur wenigen Metern Ausmaße, wie sie im Flachlande höchstens auf viele Kilometer hin auftreten können. Für die relieforientierten Faktoren hat uns die Ausaperungszeit als Paradigma gedient. Hier kann eine ernstzunehmende Standortskunde niemals mit qualitativ beschreibenden Schätzwerten auskommen und ebenso wenig mit zahlenmäßiger Kennzeichnung durch wenige Einzelmeßpunkte. Man muß die Angaben unbedingt in Form von abstufenden Isolinien in ihrem Verlaufe im Gelände festlegen. Selbst bei höchstmöglichem Schematisierungsgrad der Standortsverhältnisse wird man in der Gliederung der Unterschiede, die in der betreffenden Höhenstufe auftreten, kaum unter drei solcher Grenzlinien heruntergehen können. Dies gilt ohne Zweifel auch schon für die uns hier interessierende subalpine Stufe, soweit sie außerhalb der ausgleichend wirkenden Bewaldung liegt.

Betreffs der Ausaperung - für andere reliefbestimmte Faktoren liegt es gewiß nicht anders - konnten wir sehen: Wenn man von kleineren Flecken, die nur wenige Flächenprozent einnehmen, absieht, so ergeben sich immer noch Ausaperungsunterschiede von 4 Monaten, wovon mindestens 2 3 in die (den anderen Faktoren nach) schon mögliche Vegetationszeit hineinfallen. Die durchschnittliche Gesamtvegetationszeit beträgt ja hier kaum mehr als 6 Monate. Damit sind diese Unterschiede u. a. für Gedeihen und Zuwachs von Jungholz schlechthin daseinsentscheidend. Ebenso lebenswesentlich wie die Verhältnisse auf der Schneebodenseite der Ausaperungsvariation sind die in den nur ganz wenig kleineren Windbodenbereichen Bodentemperatur- und Verdunstungsunterschiede haben sich bereits als nicht weniger kraß differenziert erwiesen.

Man kann also mit absoluter Sicherheit folgendes feststellen: Will man Wiederaufforstungen u. a. geländetechnische Maßnahmen in der subalpinen Stufe auf solide wissenschaftliche Grundlagen stellen, so wird man für die wichtigsten reliefbestimmten Standortsfaktoren hier um die Erhebung von schematischen, aber doch

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

verläßlichen, mindestens dreistufigen Isolinienfeldern nicht herumkommen.

Damit kehren wir zu unserer anfangs gestellten, nun aber etwas erweiterten Frage zurück. Wird es entsprechenden Fachleuten möglich sein, dem Praktiker für wichtigste reliefbestimmte Faktoren solche mindesterforderliche Isolinienfelder tatsachengerecht in geeignete Kartengrundlagen hinein zu konstruieren, ohne daß man sie, so wie es die Forschung zunächst sicherlich tun muß, in zahlreichen, d.h. flächenintensiv gestreuten Meßpunkten aufnimmt? Denn die für unseren Untersuchungszweck gewählten Schneelinien könnte der Praktiker notfalls selber aufnehmen, die anderer reliefbestimmter Faktoren aber keinesfalls.

Es handelt sich um die Aufgabe, zu zwei gegebenen Kurvenscharen, nämlich den Niveaulinien (Schichtlinien, Isohypsen) und den Relieflinien (Höhen- und Tiefenlinien, allgemeiner Konvex- und Konkavachsen), welche in der Geländekarte vorliegen, eine andere Schar von Kurven, welche Punkte gleicher Faktorenstärken verbinden, nach Lage und Verlauf richtig zu orientieren. Dabei werden sich die Isolinien niveaubestimmter Faktoren mehr nach den Niveaulinien, diejenigen reliefbestimmter Faktoren mehr nach den Relieflinien ausrichten, immer aber eine gewisse Zwischenlage zwischen beiden einnehmen, in sicherlich äußerst gesetzmäßiger Weise.

Man weiß trotzdem mit Sicherheit, daß diese grundlegende Aufgabe für reliefbestimmte Faktoren praktisch gänzlich unlösbar bleibt, wenn nicht noch weitere, hier bisher unbesprochene Hilfsmittel zur Verfügung stehen, es sei denn, man nimmt Fehler in Kauf, welche den Aussagewert der Konstruktion völlig zudecken. Schon rein geometrisch zeigt sich, daß drei wesentliche Zuordnungsmomente gegeben sein müßten. Man muß für die Isolinien des Faktors kennen:

1) den Grad ihrer Anschmiegung an die Relieflinien oder ihrer Abweichung zu den Niveaulinien,
   ihre "Abschrägung";
2) den Grad ihrer symmetrischen Zuordnung oder ihrer unsymmetrischen Verschiebung rechts und links der Relieflinien (also an Luv-, Lee-, Sonn-, Schattseite),
   ihre "Versetzung";
3) das Lageverhältnis der einzelnen Isolinien eines Faktors zueinander, also der Abstand zwischen ihnen bei gleichem Unterschied im Wert der Intensität, d.h. ihr relatives Gefälle im Gelände, wobei noch gar nicht ihr absoluter Wert mitgegeben ist,
   ihre "Abstufung".

Diese drei geometrischen Bezüge ergeben miteinander das, was man die Konfiguration des Isolinienfeldes nennen könnte, im Gegensatz zu seinem Absolutwert-Gefälle. Da jede dieser geometrischen Bezüge unabhängig voneinander und für jede einzelne Isolinie des Faktors anders, nach Exposition, Inklination, Höhenlage und Regionalstellung, ja das Kleinrelief nach Lage im Mittelrelief, das Mittelrelief nach Lage im Großrelief variiert, wäre die Beschaffung des notwendigen Zahlenmaterials sowie der Arbeitsaufwand der Konstruktion allein schon völlig unrentabel, aber außerdem unverläßlich. Man kann diese Tatsache aus der vorgelegten Besprechung des Isochionenverlaufes beispielsmäßig entnehmen. Man wäre auf alle Fälle gezwungen, in jedem Einzelbereich neuerdings ein ganzes Netz von Meßstellen über ein Jahr zu errichten, wobei immer noch der Schluß vom Einzeljahr auf das klimatische Mittel gänzlich offenbliebe.

Ganz anders nimmt sich die Sache aus, wenn es möglich wäre, im Gelände Anhaltspunkte zu finden, welche es ermöglichen,

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
bestimmte Isolinien streckenweise festzulegen, sodaß dann die weitere Ausführung des Isolinienfeldes nur noch eine Angelegenheit der Inter- und Extrapolation bliebe sowie allenfalls einzelner Testmessungen. Solche bleibende Kennstellen im Gebiete sind nur zu erwarten in irgendwelchen Anzeichen auf der Geländeoberfläche, der daraufsitzenden Pflanzendecke und dem darunterliegenden Boden. Am aussichtsreichsten stellt sich in dieser Hinsicht natürlich die Vegetation dar. Wir wollen nun die Verteilungserscheinungen der Vegetation im Stationsbereich sowie, um beim Beispiel des Isochionenfeldes zu bleiben, den möglichen Zusammenhang mit der Schneebedeckungsdauer betrachten.

Sobald sich einmal zu dem bisher am besten erforschten Isochionenfeld ein weiteres lebenswichtiges Isolinienfeld andersartiger, ähnlicher oder fast gleicher Konfiguration auch nur in Umrissen abzeichnen wird, muß sich zeigen, daß die Erforschung aller weiteren außerordentlich erleichtert ist. Immer wird die Vorgangsweise am besten in einer gewissen sachgemäßen Reihenfolge vorgetrieben werden können, nämlich:

1) Erforschung der Konfiguration,
2) Suche nach zugehörigen Vegetationsanhalten,
3) Bestimmung des Absolutgefälles.

III. Gliederung der Vegetation

Soweit es sich um natürliche und geschlossene Vegetation handelt, pflegen Pflanzen, welche benachbarte Flächen decken, in ihrer Dominanz nicht allmählich ineinander überzugehen, sondern an Linien, die erstaunlich scharf ins Gelände gezeichnet sind, umzuschlagen. Das gilt besonders in der subalpinen und in höheren Gebirgsstufen. Man kann diese Grenzen meist mindestens auf halbe Meter genau kartographisch festlegen. Es ist die Konkurrenzkraft einer Art, die gerade an diesen Umschlagpunkten aus irgendeinem Grunde von jener der benachbarten übertroffen wird. Diese Grenzlagen im Gelände müssen gerade deshalb ökologisch genau festgelegt sein. Sie müssen von der Schwellenüberschreitung irgendeines Umweltfaktors, der hier von Standort zu Standort variiert und nun plötzlich dafür bestimmend wird, ausgelöst sein. Man darf hienach aber die Dominanzgrenzen gegenüber verschiedenerlei Nachbardominanten natürlich nicht miteinander gleich setzen.

Es ist naheliegend, in solchen Vegetationslinien die gesuchten Anhaltspunkte für Isolinien ökologisch wichtiger Faktoren zu sehen. Es läuft aber nun auf dasselbe hinaus, ob wir sagen, wir wollen äußere, in die Natur sichtbar eingeschriebene Anzeichen von Isolinien ökologischer Faktoren suchen, indem wir sie aus den vorgefundenen Vegetationsgrenzen erschließen, oder ob wir sagen, wir

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
wollen die im Gelände vorhandenen Vegetationsgrenzen aufsuchen und sie aus ihrer Lage im ökologischen Gefälle erklären.

Wir stellen uns also die ganz spezielle Aufgabe, Hangflächen vegetationsmäßig möglichst scharf und sichtbar zu untergliedern, um daraus ökologische Abstufungen des Geländes ableiten zu können. Wenn der Aussagewert der leichtest sichtbaren Vegetationsgrenzen nicht ausreicht, können wir nach weiteren deutlichen Merkmalen untergliedern (d. h. etwa nach Subdominanten sowie weiteren vorhandenen Konstanten, oder auch nach den Dominanten und Subdominanten einer zugeordneten weiteren Vegetationsschicht oder Synusie). Dies ist nun aber genau die Vorgangsweise der Vegetationsforscher nordischer Schule. Es drängt sich m. a. W. die Geländegliederung in Konsoziationen, Soziationen und Sozietäten auf. Die Endung etum - bedeutet im weiteren also das äußere konkrete Merkmal einer tatsächlich am Standort vorhandenen Dominanz bestimmter Art. Natürlich könnte dem Vorhandensein oder Nichtvorhandensein einzelner Begleitpflanzenarten noch mehr Aussagewert zukommen und die abstrakte, floristisch vollständige Artengarnitur einer Assoziation oder Subassoziation eine noch engere ökologische Amplitude besitzen. Für unsere Zwecke der Geländeuntergliederung ist solche Vorgangsweise der westlichen vegetationskundlichen Schule wenigstens hier in der subalpinen Stufe nicht so angemessen, daher nur notfalls heranzuziehen.

Freilich gibt es gleichmäßig über starke Umweltunterschiede hin gedeihende(euryözische) und andere, nur an ganz speziellen Standorten auftretende (stenözische) Pflanzengesellschaften und Gesellschaftsvarianten. Wenn man aber von rein wirtschaftsbedingter, künstlicher Vegetation absieht, darf man mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit annehmen: Wo die Natur im Bewuchse eines Geländes keinen sichtbaren Unterschied mehr macht, dürfte i. allg. auch der forstliche Praktiker und Geländetechniker keinen besonders dringenden Anlaß finden, in seinen Maßnahmen noch weiter zu differenzieren. Gewöhnlich verhält sich die Pflanzenwelt so, daß sie sich umsomehr in Sonderausbildungen gliedert, je extremer die Umweltsverhältnisse werden, und umsoweniger, je mehr sich diese dem regionalen Durchschnitt nähern.

Wie die Standortsverhältnisse unter den bald dichteren, bald lichteren, immer aber etwas aufgelockerten Baumkronen des subalpinen Waldes weit ausgeglichener sind als im Freiland, so auch die Vegetation ihrer Feld- und Bodenschichte. Wir haben es eben mit der weiträumig ausgebreiteten Vegetationseinheit des Lärchen-Zirben-Alpenrosen-Waldes zu tun. Bei näherem Zusehen kann man jedoch auch hier z. B. Zonierungen um alte Baumstämme herum und andere gesetzmäßige Unterschiede bemerken, darunter auch solche nach dem Bodenrelief. Viel krassere Vegetationsausgliederungen treten natürlich im Freiland oberhalb der herabgedrückten Waldgrenze auf. Es handelt sich einerseits um Pflanzengesellschaften, die nach der Entwaldung von selber dorthin

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

von oben herab (seltener von unten hinauf) vorgedrungen sind, andererseits um solche, die sich erst durch die Bewirtschaftung gebildet bzw. ausgebreitet haben. Ohne in dieser Weise einteilen zu wollen, fallen an der Sonnseite des Gurglertales eine größere Ausbreitung von Rasengesellschaften sowie unter den Zwergstrauchheiden große Bestände von Besenheide (Calluna vulgaris) und Bärentraube (Arctostaphylos uva ursi) auf. An der Schattseite findet man auf den Verebnungen Bürstlingrasen (Nardus stricta) und vom Zwergwacholder (Juniperus nana) beherrschte Flächen, am Hang weithin die alpine und subalpine Zwergstrauchheide, vorwiegend jene der Alpenrose (Rhododendron ferrugineum) und dieser Heide gesetzmäßig zugeordnete, zonenweise entwickelte Windbodenausbildung der Zwergstrauchheide.

Allgemein unterscheidet die Vegetationskunde in der Zwergstrauchheide zunächst drei Zonen, die sich in der unteren alpinen (und in entwaldeter subalpiner) Stufe der Zentralalpen gesetzmäßig von den Eintiefungen gegen die Erhebungen hin ablösen, die der

Alpenrose (Rhododendron ferrugineum)
Rauschbeere (Vaccinium uliginosum)
Gemsenheide (Loiseleuria procumbens).

Meist läßt sich noch eine extremere Variante der Gemsenheidenzone unterscheiden, die durch Beimischung der hellgrünen Windbartflechte (Alectoria ochroleuca) gekennzeichnet ist. Wenigstens in ozeanischeren Gebirgsgruppen der Alpen, etwa den Zillertalern, folgt muldeneinwärts auf das Rhododendretum von Natur aus regelmäßig ein schmaler Streifen von Bürstling (Nardus stricta) und darauf ein sumpfiger Innenteil von Haarbinse (Trichophorum caespitosum). Die eigentliche Schneebodenvegetation der Krautweide (Salix herbacea) und vom Schneewiderton (Polytrichum sexangulare) ist in voller Gesetzmäßigkeit nur in der alpinen Stufe entwickelt. Wo hier in der subalpinen etwa Lawinenschnee regelmäßig entsprechend lange liegen bliebe wie in diesem Polytrichetum, würde einfach ein vegetationsfreier Fleck zu finden sein. In großer Regelmäßigkeit tritt im Rhododendretum die Heidelbeere als Subdominante auf, weshalb von der westlichen Schule dieses in seiner vollen Artengarnitur als Assoziation Rhodoreto-Vaccinietum geführt wird. Diese Heidelbeere greift nun aber in unserem Gebiet und anderwärts regelmäßig über das Rhododendretum hinaus, sodaß sie sich in einer breiten Dominanzzone außen anschließt, ehe die Rauschbeerzone folgt.

Dazu kommen noch flechtenreiche Varianten der Windboden-Gesellschaften, die mindestens im Untersuchungsgebiet sehr gut unterscheidbar sind, so daß diese Bereiche von weitem an ihrem Grauton kenntlich werden. Das Bereich der Alectoria läßt sich in eine Zone gliedern, in der sie mit Loiseleuria zusammen herrscht, und darüber eine weitere, wo sie allein herrscht, sowie eine noch höhere, in der durchgehend Erosionswirkungen des Win-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

des bemerkbar sind. Die an die Alectoria-Zone nach unten und innen anschließende Flechtenzone ist durch Cetrarien gekennzeichnet und zwar dominiert dort Cetraria nivalis. Dann folgt abwärts eine Cladonia-Zone, durch Cladonia silvatica beherrscht. Gewöhnlich fällt die Cetrariazone ins Loiseleurietum und die Cladoniazone ins Vaccinietum uliginosi. Nach unten anschließend folgen dann moosbestimmte Bereiche.

So ergibt sich folgende Zonation von innen nach außen: (mit hier verwendeten Abkürzungen)

1.	Nd	Nardetum strictae
2.	Rh	Rhododendretum ferruginei
3.	My	Vaccinietum myrtilli
4.	Ul	Vaccinietum uliginosi
4.b	Ul_C	Vaccinietum uliginosi cladinosum
5.	Lo	Loiseleurietum
5.b	Lo_C	Loiseleurietum cetrariosum
6.	Al_L	Loiseleurietum alectoriosum (Alectorietum Loiseleuriosum)
6.b	Al	Alectorietum
6.c	Al_e	Alectorietum erodiert.

(Die die Gemsenheide stets noch begleitende Rauschbeere kann aus Al gerade noch herausragen, während die Gemsenheide schon vollständig von der Flechte überwuchert ist. Auch in diesem Falle wird diese Vegetation hier noch zu Al_L gerechnet).

IV. Die Verteilung der Vegetationseinheiten im Relief

A. Vegetationsverteilung in der Beerrinne

Bis zu einem gewissen notwendigen Grad ist mit dem Bisherigen die Einordnung der Vegetationsverhältnisse unseres Stationsgebietes in ihre weiteren Beziehungen umrissen. Ohne eine Überschau kommt keine pflanzengeographische Arbeit aus. Wir werden nun untersuchen können, wie sich unsere subalpine Reiserheide in ihrer Zonation speziell zu dem relieforientierten Lebensfaktor "Schneedecken-Andauer" verhält und wie sich in diesem Zusammenhang die Zuordnung anderer Faktoren herausarbeiten ließe. Zuerst betrachten wir die Verteilung der Vegetation im Relief getrennt für sich.

Eine flächentreu und reliefgerichtet durchgeführte Schematisierung der Vegetation der Beerrinne wird in ihrem Grundriß durch Abb. 96 b, die zugehörige Aufrißkonstruktion durch Abb. 97b gegeben.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Die gezahnten Linien in der Grundrißzeichnung (Abb. 96 b) rechts auf der Wegrippe umgrenzen das Bereich einer Blaike, die durch Winderosion entstanden ist und durch Menschen- und Viehvertritt unregelmäßig erweitert wurde. Sie ist von Pioniervegetation verschiedenen Entwicklungsgrades schütter bewachsen, in der u.a. die Quendelweide (Salix serpyllifolia) eine Rolle spielt. Entlang der Tiefenlinie der Rinne ist ebenfalls ein Erosionsbereich ausgeschieden, der, verschieden stark vegetationsbedeckt, z.T von bald mehr, bald weniger deckender Luzula spadicea bewachsen ist. Im oberen Teil wird dieser Innenstreifen rechts und links von Bürstling Nd begleitet, in den darunter folgenden Geländestreifen rechts und links komplexartig mit Alpenrosen gemischt, ebenso in den dreieckigen Flächen am Unterrand und etwas weiter rechts.

Mit kleinen Ausnahmen ist der übrige Teil der Flächen mit der oben angegebenen zonierten Heidevegetation bewachsen. Schwarz ist der Alectoria-beherrschte Teil rechts und links oben entlang des Randes, je der äußere Teil Al_e + Al, der innere Al_L. Dunkelgrau außen Lo_C, innen Lo. In der Mitte ist die dunkelgrau wiedergegebene Zone querbegrenzt. Unterhalb bedeutet die äußere Zone links Lo_C, die innere Ul_C, rechts die äußere Lo_C + Lo, die innere wieder Ul_C. (Diese Verschiedenheit ergab sich, weil die flächentreu-relieforientierte Schematisierung nicht immer eindeutig durchführbar war). Die Zone Ul ist mittelgrau gehalten, hellgrau die Zone My (links mit dem später zu erklärenden punktierten Streifen), weiß Rh (einschließlich der schraffierten Fläche und weiteren darin befindlichen Trennungen, die ebenfalls noch zu besprechen sind). Als restliche Flächen bleiben noch kleine Geländestrecken am Rand der Rinne rechts unter und am oberen Rand links, nämlich Rasenflächen, die ebenfalls erst weiter unten zu kennzeichnen sind.

Vielleicht erscheint diese Gliederung der Beerrinnen-Vegetation etwas verwickelt. Aber es stünde schlecht mit unserem Unternehmen, im Gelände Anhaltspunkte für Isolinienfelder nicht nur der Schneebedeckung, sondern auch anderer lebenswichtiger Faktoren zu finden, wenn es nicht möglich wäre, die Vegetation soweit als nötig zu differenzieren. Erst nun können wir diejenigen Vegetationslinien herausgreifen, die dafür in Frage kommen, daß sie in genügender Anlehnung unsere Schneelinien widerspiegeln. Wir haben also unsere Aufmerksamkeit zunächst auf die Zonation der zuletzt besprochenen Reihe der Reisergesellschaften und in dieser daneben auch auf die in den Moos- und Flechtensynusien zu richten.

Beim Vergleich zwischen diesen Vegetationslinien mit den Schneelinien muß man natürlich bedenken, daß zwar erstere ganz bestimmte von der Natur im Gelände festgelegte Linien darstellen, letztere dagegen einige wenige, aus den unbegrenzt vielen Isochionen des tatsächlichen Ausaperungsfeldes willkürlich herausgegriffene. Diese müssen also nicht gerade jene unter ihnen sein, welche mit den Vegetationslinien am meisten übereinstimmen. Um den Grad der Ähnlichkeit in Form und Anordnung zwischen beiderlei Linien zu erkennen, muß das Auge des Betrachters also im Isochionenfeld erst sozusagen geometrisch interpolieren.

Wenn wir beim Vergleich in unserer Betrachtung von Abb. 96 a auf diese Weise verfahren und in der Abb. 96 b aus der gegebenen Gliederung der Pflanzendecke gerade jene Vegetationsgrenzen im Auge behalten, die wir präsumptiv für Schneeabhängigkeit in Anspruch genommen haben, springt die Ähnlichkeit mit Schneelinien tatsächlich sogleich ins Auge. Auch hier in Abb. 96b richten sich

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

die Grenzlinien nach innen zunehmend der Achse parallel. Auch hier verhält sich der Oberrand annähernd wie eine Höhen-, der Unterrand wie eine Tiefenlinie. Wenn wir zunächst die Frage zurückstellen, ob und wie sich die nur an der Leeseite auftretende Wächten-Unstetigkeit auch in der Vegetation geltend macht, unseren Blick vielmehr bloß auf die Luv- und jenen Teil der Leeseite richten, der außerhalb des Wächtenbereiches liegt, so finden wir auch in dieser Hinsicht Entsprechung in der Konfiguration von Aperungs- und Vegetationsverteilung, also die gleiche Asymmetrie zwischen Luv und Lee.

Vergleichen wir weiters Abb. 97 a die Aufrißkonstruktion, welche den Schnee, und Abb. 97 bdie Aufrißkonstruktion, welche den Bewuchs darstellt (in ihnen sind der Übersichtlichkeit halber die Differenzierungen nur der vorgenannten Bereiche, nicht aber die der wächtenbeeinflußten Leeanteile eingetragen). Dabei findet man ebenfalls wieder die gleiche Asymmetrie in der Anordnung. Sie kann als solche nicht etwa darin begründet liegen, daß die beiden randlichen Rippen so verschiedenartig aufragen. Die Asymmetrie ist ja auch in jenem Teil, in dem sich die Rippen ungefähr decken, gleich stark ausgeprägt.

In Tab. 2 sind die Vegetationszonen der Beerrinne in ihren Breiten, die zugleich Flächenanteile darstellen, als Prozente der Einhangfläche wiedergegeben. Sie wurden sowohl in der Originalkarte wie in der graphisch gemittelten ausgemessen und der Durchschnitt gezogen. Die Messung geschah entlang der Schichtlinien von 5 m Äquidistanz. Da diese Breiten vom oberen und unteren Rand der Rinne nicht vergleichbar sind (sie müßten hier ja senkrecht auf die Randlinie ermittelt werden), wurden sie nicht einbezogen. Die Zone Rh findet als innerste an der Tiefenlinie eine Begrenzung, die auch mit den übrigen Vegetationsgrenzen nicht gleich behandelt werden kann. (In Rippennähe bliebe ja die Zonation bestehen, auch wenn der Rh-Hang sich nach unten weiter fortsetzen würde). Darum wird Rh in Prozent vom ganzen Einhang, die übrigen Zonen aber in Prozent nach Abzug der Rh vom verbleibenden Hangteil gegeben. Weil sich die auffallenderen Flechtenbegrenzungen in der Kartierung als fehlerärmer ermittelt erwiesen, wurden zuerst durch sie begrenzte Zonen berücksichtigt und diese erst nachträglich untergliedert. Die in der Vegetation selbst begründete Zonenbreite ist nur dort vorhanden, wo sie beiderseits von konkurrierender Nachbarvegetation, nicht von der Rippenlinie begrenzt wird. Darum sind die Zonen, soweit sie beiderseits von Vegetation begleitet werden, in der Tab. 2 auch für sich allein zusammengefaßt.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Tabelle 2: Vegetationszonen der Beerrinne in % des Einhangs

	Rh	My	Ul	Ul_C-Lo_C	Al_L-Al_e
Lee					
2200 m	62.9	53.8	13.8	18.5	13.8
2175 m	66.7	54.2	22.9	14.3	8.6
2150 m	69.2	50.0	26.7	23.3	
2125 m	73.2	45.8	25.0	29.2	
2100 m	80.3	53.3	20.0	26.7	
2075 m	85.0	57.1	42.9		
Zonen im Ganzen	79.8	47.0	22.7	20.2	10.1
davon beidseits vegetationsbegrenzt		51.4	21.4	16.2	(11.0)
Luv					
2200 m	31.8	29.3	24.1	18.9	27.6
2175 m	32.3	38.4	19.2	7.6	34.6
2150 m	32.9	36.0	16.0	18.0	26.0
2125 m	33.2	26.6	28.8	44.4	
2100 m	34.6	29.5	38.6	31.8	
Zonen im Ganzen	58.1	28.0	23.1	22.1	26.8
davon beidseits vegetationsbegrenzt		30.7	25.3	14.8	(29.2)
Lee + Luv					
Zonen im Ganzen	69.0	37.5	22.9	41.1	18.5
davon beidseits vegetationsbegrenzt		41.0	27.8	20.2	(11.0)

Letzteres umgegliedert in	My	Ul	Lo	Al
Lee	51.4	24.4	14.8	9.4
Luv	30.8	28.2	22.6	18.4
Lee + Luv	41.1	26.3	18.7	13.9

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Wenn man, wie üblich, den schneearmen Windbodenbereich der Pflanzendecke mit der Außengrenze der Alpenrosenheide beginnen läßt, so ergibt sich auch in der Vegetations- wie in der Ausaperungskarte ein beträchtlicher, gewöhnlich unterschätzter Windbodenanteil: in Lee zwar nur 20.2 %, im Luv aber 41.9, im Mittel 31.1 %. Wir ersehen weiters, daß die zugehörige, gewöhnlich übersehene Zone My, also das Vaccinietum myrtilli, hier (wie in weiten Bereichen der Alpen) eine zwischen Alpenrosen- und Rauschbeerheide des subalpinen Freilandes breit und gesetzmäßig eingeschaltete Soziation darstellt. Sie ist nicht nur windhärter, sondern greift andererseits auch weiter ins schneereichste Gebiet als die Rh-Soziation, verhält sich also noch euryözischer als diese. Man kann es daran erkennen, daß sie in der Beerrinne das Rh teilweise von oben her umgreift und an der Tiefenlinie abwärts auskeilt.

Die in Tab. 2 bemerkbaren Verschiebungen nach Meereshöhe sind vor allem Zunahme des Rh-Anteiles, also Abnahme des Windboden-Anteiles gegen unten, wobei die Einzelzonen des letzteren nacheinander abwärts auskeilen. Das Verhältnis der Zonenbreiten, zu deren Beschaffung die Tab. 2 dient, ist, wie man sieht, an der Leeseite anders als an der Luvseite. Sie nehmen aber sowohl im Lee wie im Luv von Rh bis Al ab, im Lee langsamer als im Luv.

Wie wirkt sich nun die im Isochionenbild so bedeutsame leeseitige Unstetigkeit der Schneedauer, die durch alljährliche Hangwächtenbildung verursacht wird, in der Vegetation aus? Im Ganzen erstaunlich wenig. Das Rhododendretum geht über sie glatt hinweg. Zwar kann man phänologische Auswirkungen schon von weitem bemerken. Die Alpenrosen haben dort, wo sich der lang liegenbleibende Wächtenfuß vor einiger Zeit durch den Hang hinerstreckt hat, erst braune, geschlossene Knospen, während rechts und links daneben nicht nur die neuen Blätter schon entfaltet sind, sondern bereits die Blüten den Hang rot färben. Nur bei näherer Auszählung kann man Unterschiede auch in der Artenzusammensetzung bemerken: In der Wächten-Vorzone ist deutlich das Vaccinium uliginosum gegen das sonst immer subdominante Vaccinium myrtillus vermehrt. Höher oben kann man deutlich auch richtige Ul-Inseln erkennen. Die so abgewandelte Rh-Zone ist in Abb. 96 b schraffiert. Sie tut sich auch im Herbst kurze Zeit durch etwas andere Verfärbung kund. Noch undeutlicher ist die Wächtenfuß-Zone selber ausgeformt. Sie macht sich artenstatistisch dadurch ein wenig bemerkbar, daß die Alpenrosenbüsche weiter auseinandertreten und die Heidelbeeren dazwischen mehr Platz beanspruchen.

Es besteht also ein Widerspruch zwischen der scharfen Reaktion der Pflanzendecke auf die Schneedeckendauer am äußeren Rand und jener schwachen in der Wächtenzone, die sich selber hier ja nicht weniger scharf ausprägt als die Schneelagen weiter randwärts. Rhododendron geht darüber, wie gesagt, fast ganz hinweg, die Vaccinien reagieren nur unscharf, aber doch für ein geübtes

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Auge sichtbar. Ökologisch ist ohne weiteres die Erklärung zu geben. Sie gilt für diese Reaktion in der Feldschicht genau so wie für viele Erscheinungen im Aufkommen von Holzarten. Unsere Umwelterkundung mittels Vegetationsauswertung muß nämlich eine wesensgemäße Einschränkung erfahren, die der Ökologie fast seit ihrem Bestehen wohlbekannt ist und ohne deren Festhaltung überhaupt keine Umwelt- und Standortskunde möglich ist: Die Reaktionen lebendiger Organismen erfolgen stets nur auf die Umwelt-Ganzheit. Übereinstimmungen zwischen Einzelfaktoren und Vegetationsausbildung können nur insoferne zum Vorschein kommen, als andersartige Isolinien dabei nicht stören, somit insoweit, als die Reaktion auf den untersuchten Faktor nicht aus dem normalen Gefälle der anderen lebenswichtigen Faktoren im Gelände herausspringt. Die Wächtenunstetigkeit ist aber ein solches reines Specificum der Schneeablagerung.

Nur im Rahmen des genannten ökologischen Naturgesetzes kann man sagen, daß unsere Heidezonation eine Schneeandauer-Zonation ist. Darum können Vegetationslinien und Isolinien auch dann nicht vollständig koinzidieren, wenn wirklich gerade die am meisten entsprechende Isolinie aus ihrem Gefälle vorliegt und Beobachtungsfehler sowie Jahresverschiedenheiten gänzlich eliminiert sind. Das kann nicht anders erwartet werden. Dazu reagiert das Leben viel zu empfindlich auf alle Außeneinflüsse in ihrer Gesamtheit. Nur solange die sonstigen Umstände ungefähr gleich bleiben, kann auch der betrachtete Faktor bei bestimmter Stärke gerade zum besonderen Entscheidungsfaktor für irgendeine Erscheinung im Pflanzenreich werden.

Wenn wir aber die vorhandenen Abweichungen kennen und im Auge behalten, besteht kein Hindernis, unter den durch Forschung einzugrenzenden Bedingungen die Indizien der Vegetation - wie ja bedingungslos notwendig - zur richtigen Zeichnung von Isolinienfeldern für den Praktiker heranzuziehen. Wenn man für ein praktisch wichtiges Kennzeichen in der Pflanzendecke die Intensität des zugehörigen Entscheidungsfaktors in einem einzigen Mittelwert angeben wollte, wird dazu auf alle Fälle eine Korrekturtafel nach anderen Faktoren notwendig sein. Um in diesem Sinne endlich für den Praktiker brauchbare Angaben machen zu können, ist die Methodik einer ökologischen Beobachtungsstation soweit zu entwickeln, daß sie dafür überhaupt erst effektiv werden kann. Rein meteorologische, nicht ökologische Methoden reichen dazu nicht hin.

Wir sahen, daß die ganzheitliche Reaktion der Feldschichte auf die Wächte eine völlig andere ist, als die auf das übrige Schneegefälle. Hieher gehört noch eine Geländeerscheinung. In Abb. 96 b ist im Lee ein punktiertes Band eingezeichnet. Es bedeutet einen schmalen Streifen besonders kräftiger Zwergstrauchvegetation. In ihm treten hauptsächlich Juniperus, aber auch Rhododendron und Vaccinium so dicht zusammen, daß die Flechten-Moos-Bodenschicht

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
ausfällt. Dieser Geländestrich ist für ein geübtes Auge mit Unterbrechungen deutlich durch den Hang verfolgbar. Er liegt meist im My, kann aber auch ins Ul oder Rh ausweichen. Beobachtungen ergaben, daß gerade dorthin in vorübergehender Neuschneelage während sommerlicher Aperzeit die Vorderfront der Neuschneewächte fällt, auch jene, mit der das herbstliche Einschneien anfängt. Von hier bis zum Beginn der in der Vegetation angedeuteten Wächtenvorzone wandert also im Laufe eines Winters die Front der Hangwächte vor.

Zur Erklärung von Abb. 96b sind noch zwei Einzelheiten zu besprechen. Die Linie, welche im Leehang gleich links des Rinnenbodens, knapp rechts der Wächtenvorzone entlangzieht, scheidet zwei Varianten der gesamten Vegetation vom Rh bis zum Lo (bis zum Beginn der flechtenreichen Zonen). Rechts von dieser Grenzlinie liegt das Gebiet, in dem die Feldschichte von einer fast ganz geschlossenen Moosschichte unterbaut ist, hauptsächlich Hylocomium splendens v. alascanum und Pleurozium Schreberi. In der Feldschichte fehlt hier Juniperus fast gänzlich. Links von der Grenze ist dagegen die Moosschichte sehr schwach entwickelt, aber viel Dicranum darin enthalten. Es ist zugleich das Bereich, in dessen Feldschichte Juniperus sehr reichlich und die ganze Vegetation etwas lückig ist, also zahlreiche kleine Barflecken eingestreut sind. Hier haben wir offenbar eine Differenzierung, die nicht durch den Unterschied von Luv und Lee, von Apernis und Schneelage hervorgerufen wird, sondern mit Schatt- und Sonnseite, und damit mit thermischen oder hygrischen Faktoren zu tun hat.

Im oberen Teil von Rh der Rinnenleeseite ist eine ungefähr dreieckige Fläche abgegrenzt. In ihr tritt Rh nur noch in wenigen einzelnen Horsten auf, dafür ist hier die Krähbeere (Empetrum) reichlich vorhanden u. zw. in auffallend fleckigem, dichtpolstrigem Wuchse. Außerdem zeigt hier die Oberfläche ein besonders stark von Bodenfluß geformtes Kleinstrelief. Abgeschwächt treten diese Eigenschaften auch noch in weiterer Umgebung der abgegrenzten Fläche auf. Die beiden zuletzt ausgeschiedenen Differenzierungen im Beerrinnengelände wurden von den bodenkundlichen Mitarbeiterinnen als kennzeichnende Begleiterscheinungen für besondere Bodenverhältnisse erkannt. (Seite 385, 393 ff.)

B. Die Vegetationsverteilung in den kleinen Rinnen des oberen Hanges

Die drei einander ähnlichen, in Abb. 98b samt ihrer Vegetationsverteilung miteinander graphisch gemittelten Kleinrinnen (Haupt-, Pegel- und Felsenmulde) zeigen wiederum die auch in der Beerrinne festgestellten Übereinstimmungen zwischen Vegetation und

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
(Abb. 98 a) Schneeandauer. Das Rhododendretum nimmt nach unten an Breite zu und keilt oben, von Windboden umschlossen, aus, weil sich die Rinnenbildung nach oben verläuft. Vegetationszonen des Windbodens sind oben am mächtigsten entwickelt, u. zw. von Al e bis My, und verschmälern sich relativ zur Gesamtbreite nach unten, im Lee mehr als im Luv, wobei die extremeren nach unten an den Höhenlinien auskeilen. Daß sie dies nicht gleichmäßig tun, liegt natürlich in dem von der Mittelbildung nicht zugedeckten, ungleichen Abfall der beiden Höhenlinien rechts und links begründet. Wie im Schneelinienbild, so ist auch im Vegetationsbild an diesen kleineren Reliefformen die Asymmetrie zwischen Luv und Lee gegenüber der Beerrinne stark abgeschwächt, dies unbeschadet der Wächtenzone. Sie kommt hier deutlicher in einem Streifen von Vaccinietum myrtilli, von dem wir schon feststellten, daß es auch größere Schneedauer verträgt als die Alpenrosenheide, zum Ausdruck. Man kann diese Zone in unserem Falle in lokaler Übereinstimmung mit dem Isochionenfeld besser angedeutet finden als die Wächtenvorzone, welche auch in der Vegetation aus Platzmangel nicht mehr zum Vorschein kommen kann. Auch hier haben wir jenen Juniperus-Strich, der die mittlere Lage der Neuschnee-Wächte andeutet. Auch hier gibt also der Abstand zur Wächtenfußzone den winterlichen Wanderweg der Wächtenstirn.

Der Zusammenhang zwischen der herausgestellten Pflanzenzonation und dem Schneedecken-Gefälle kommt natürlich noch anschaulicher und damit überzeugender, wenngleich mit größerer Fehlerbreite zum Ausdruck, wenn man je ein Stück der beiden entsprechenden ungemittelten Originalkartierungen mit allen durch das Kleinrelief bewirkten Aus- und Einbuchtungen nebeneinanderhält. Hiezu ist in Abb. 101a und b je ein gleicher Kartenausschnitt vom Nordrand der "Hauptmulde" wiedergegeben. Noch eindrucksvoller tritt der Zusammenhang unmittelbar im Freien in Erscheinung, wenn im Frühjahr zufällig eine Vegetationsgrenzlinie, die sich über den Hang hinschlängelt, gerade ausgeapert ist. Man kann dann über große Strecken beide Linien knapp nebeneinander herlaufen sehen. Diese weitgehende, aber natürlich nicht volle Übereinstimmung ist aus der alpinen Stufe, wo sie noch strenger ist, ja auch schon seit langem bekannt und anerkannt. In dem kleinen Kartenausschnitt Abb. 101b ist der Raum, in welchem Flechten (Alectoria, Cetraria, Cladonia) in der Bodenschicht dominant oder subdominant erscheinen, schraffiert eingetragen. Außerhalb dieser Fläche tritt an die Stelle der flechtenbeherrschten Bodenschichte eine sehr verschieden dichte, aber immer von Moosen dominierte Bodenschichte auf. Wir sehen, daß sich in der Zwergstrauchheide die Gürtelung der Feld- mit der der Bodenschichte sehr wenig deckt, daß sich m. a. W. die Flechten-Synusien gegen die Reiser-Synusien sehr selbstständig verhalten. Es ist der Grund, weshalb wir unsere Soziati-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

onen danach untergliedert haben. Aus der großen Kombinationsfreiheit folgt, daß es verschiedene Entscheidungsfaktoren sind, die über die Verteilung der einen und der anderen im Gelände bestimmen. Da wir für die Gürtelung der Reiserheide begründetermaßen schon die Variation im Aper-Datum, die Schneeandauer, beanspruchten, kann für die Bodenschichte nicht dieser Faktor den Ausschlag geben. Die Frage, welcher es sei, wollen wir in das Kapitel, in dem wir die Messungen dieser Lagebeziehung behandeln, aufschieben. (Seite 362 f.)

Die Grenze der Flechtenheide reicht von den Höhenlinien verschieden weit, aber nicht weiter herunter als bis zur Grenze My/Ul. Sie muß also besonders das Vaccinietum uliginosi in eine flechtenarme und eine flechtenreiche Abart teilen, dagegen nur an besonderen Stellen auch noch vom flechtenreichen Loiseleurietum gegen unten ein flechtenarmes übrig lassen. Je nachdem, wie weit die Flechtenheide vom konvexen Relief ins konkave herunterreicht, sind in seinem Profil folgende Reihen möglich

1)	Rh	My	Ul	- Ul_C	Lo_C	Al_L	Al
2)	Rh	My	Ul	Lo -	Lo_C	Al_L	Al
3)	Rh	My	Ul	Lo	Al_L	Al	
4)	Rh	My	Ul	Lo	Al		

von denen in den schematisierten Kärtchen nur die zwei ersten Ausbildungen vorkommen. Bei der linienglättenden Mittelung im Zuge der flächentreu relieforientierten Schematisierung muß das flechtenreiche Ul_C über dem flechtenarmen und unter dem überwiegend flechtenreichen Lo_C zu liegen kommen, das flechtenarme Lo daher normalerweise gerade Ul_C ersetzen und damit in dessen Zone geschoben erscheinen. Wenn man Beerrinne (Abb. 96 b) und Nebenmulden (Abb. 98 b) zusammenhält, sieht man, daß Lo beidemale Ul_C an ganz bestimmten Stellen vertritt.

Die quantitativen Verhältnisse in den 3 Kleinrinnen sind in Tab. 3 zusammengestellt. Rh wird wieder in % des ganzen Einhanges, die übrigen Vegetationseinheiten in % der Restfläche gegeben. Um die Gesamtzusammensetzung zu erfassen, wurde der obere Abschluß der Rinnen miteinbezogen. Zum Vergleich mit der Beerrinne muß aber der oberste geschlossene Abschnitt (in Zeile 1) weggelassen werden, da ein solcher Rinnenabschluß dort fehlt. Für eine Berechnung des wahren Verhältnisses der Zonenbreite zueinander kann auch der mit +) bezeichnete Wert nicht dienen, weil hier die Zonenbreite nicht durch Nachbarvegetation abgegrenzt wird. Auch für die Nebenrinnen mußten die schneeärmeren Zonen, um größeren statistischen Fehlern zu entgehen, auf eigentliche Reiserzonen ohne Rücksicht auf Flechten erst nachträglich umgegliedert werden.

Nach der Vegetation beträgt hier der Windbodenanteil im Lee 54.5 %, im Luv sogar 61.7 %, im Mittel also 58.1 % der Einhangfläche (wenn man den oberen Rinnenabschluß mitrechnet). Die

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Altschnee-Wächtenspur in der Vegetation liegt 11.5 % des Leehanges von der Tiefenlinie, die Neuschnee-Wächtenspur 34.6 % von der Höhenlinie entfernt. Der Wanderweg der Wächtenstirn beträgt also 53.9 %, eine Zahl, die aus der Schneekartierung nicht entnehmbar wäre, weil sie eine sommerliche Neuschneekartierung voraussetzen würde. In Tab. 3 ist die (als geschlossener Streifen schematisierte) My-Inselreihe, welche die Wächtenfußzonen andeutet, nicht zu My geschlagen, sondern dem Rh zugerechnet, um die Vergleichbarkeit mit Tab. 2 zu wahren.

Tabelle 3: Vegetation der 3 Nebenrinnen in % des Einhanges

	Rh	My	Ul	Ul_C-Lo_C	Al_L-Al_e
Lee					
2150 m	12.0	24.5	25.2	31.4	19.1
2125 m	46.4	45.3	29.9	22.8	1.9
2100 m	47.1	38.8	25.0	36.1	0.2
2075 m	63.1	40.4	26.3	33.3+)	
Zonen im Ganzen	45.5	36.7	26.2	30.1	1.6
ohne 1. Zeile	52.2	41.9	27.4	30.5	0.8
außerdem ohne +)		43.9	28.6	26.6	0.9
Luv					
2150 m	11.3	20.7	33.3	45.4	0.6
2125 m	32.9	43.5	25.0	27.7	3.6
2100 m	43.3	27.6	19.6	36.6	16.3
2075 m	57.3	42.6	18.3	37.2	2.1
Zonen im Ganzen	38.3	32.7	23.7	35.8	8.1
ohne 1. Zeile	44.5	37.8	21.4	33.2	7.6
Lee + Luv					
Zonen im Ganzen	41.9	34.6	23.1	24.4	5.2
ohne 1. Zeile	48.4	39.5	24.2	31.8	4.5
außerdem ohne +)		39.1	23.8	29.1	4.3
Letzteres umgegliedert in:		My	Ul	Lo	Al
Lee		43.9	38.3	17.0	0.8
Luv		37.8	34.7	21.0	6.5
Lee + Luv		40.9	36.5	19.0	3.7

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

C. Vegetationsverteilung an der unteren Verebnung

Die 6 in Abb. 99 b graphisch gemittelten Geländeabschnitte wurden zusammengefaßt, um zu überschauen, wie sich die Vegetation einerseits in der Unterbrechung des Hanges durch die Verebnungsleiste, andererseits durch die Annäherung an die aktuelle Waldgrenze verändert. Diese letztere zieht sich, wie schon gesagt, knapp unter der Vorderkante entlang und zwar in der Weise, daß der Wald an den Rippen in Zwickeln hochsteigt (an ihren Außenseiten von immer jüngeren Bäumen gebildet), während er sich in den Rinnen erst tiefer unten schließt.

Im Bereiche des Kärtchens spielt Juniperus nana eine bedeutendere Rolle als in den bisher betrachteten Geländeteilen. Wir fanden diesen Zwergstrauch (Zwergwacholder, Jochkranewitten) bisher als eine spezifische Konstante in den Reisersoziationen nur der Lee-Sonnseiten von Rh bis Ul und ebendort (u. zw. im My) zu dem kennzeichnenden Neuschnee-Wächtenstrich verdichtet. Auch jetzt tritt Juniperus in dieser typischen Weise auf, doch bildet diese höchst widerstandsfähige Pflanze hier außerdem eine ausgedehnte Soziation, die offenbar durch den im Flachgelände viel stärkeren Viehvertritt begünstigt wird. Ähnlich verhalten sich die Weiderasen. Das Nardetum würde von Natur aus nur höchstens in den Rinnen und Kehlen in schmalen Streifen die Tiefenlinien begleiten. Der Bürstling bedeckt aber auf der Hangleiste ausgedehnte Flächen, an frischeren, schattigeren Flecken durch den Rotschwingel in einem Festucetum rubrae commutatae ersetzt.

Dazu kommen im betrachteten Geländebereich noch zwei weitere Soziationen, die auf unserer Talseite nur fragmentarisch auftreten, an der Gegenseite aber weithin das Gelände beherrschen. Arc ostaphylos uva ursi, die Beerentraube, auch im Ul und Lo zu finden, vertritt als Arctostyphyletum hier an den Sonnseiten der Kanten teilweise das Ul. Calluna vulgaris, die Besenheide, auch im sonnseitigen Rh eingestreut, tritt, wo die Einstrahlung am stärksten ist, zum Callunetum zusammen. Schließlich ist noch zu vermerken ein schütterer Rasen von Polytrichum piliferum mit Hieracium pilosella, Antennaria dioeca und Vaccinium vitis idaea, seltener Festuca ovina ssp. supina u. a. Dieses Polytrichetum sitzt hier im Bereich der Verebnung regelmäßig auf dem obersten Teil der Kuppen (offenbar aber nicht direkt von der Schneedeckendauer, sondern von korrelierten Faktoren bestimmt). Es findet sich auch an der Beerrinne (Abb. 96 b links oben und rechts unten).

Ein für die Zielrichtung unserer Arbeit übler Umstand tritt auf der Verebnung zu Tage. Wir sehen hier, daß Vegetationsgesellschaften, die durch Weidegang (es gilt auch für Mahd) stark begünstigt werden, hier z. B. Juniperetum und Nardetum, in ihrer

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
Umgrenzung höchst unscharf werden und außerdem untereinander wie auch mit den Resten weideunbegünstigter Vegetation überall wirre Komplexbildung eingehen, außer an irgendwie extremen Standorten. Solche grenzverwischende Trivialisierung kann ja unter Umständen von den Verebnungen auch in die Hänge übergreifen.

Doch zeigen sich bei näherer Untersuchung Restflecken von verschiedenartigen ursprünglichen, also durch Beweidung nicht begünstigten, sondern zurückgedrängten Pflanzengesellschaften unter sich streng orientiert. Wenn also unter solchen ungünstigen Umständen doch noch Stellen zu finden sind, wo gerade diese letzteren unter sich aneinandergrenzen, hat man auch schon örtlich genau bestimmbare Anhaltspunkte. Wir brauchen ja nicht mehr als genügende solche Anhaltestellen, um dann Isolinien, deren Lagebeziehung zu Relief- und Niveaulinien einmal erforscht sind, richtig orientieren zu können. Wo dies allerdings nicht mehr zutrifft, würde nichts übrig bleiben, als die Vegetation in ihrer vollen Artengarnitur zu analysieren und daraus die entsprechenden Schlüsse zu ziehen, die dann kartographisch freilich ziemlich vage bleiben würden.

Der aus den oberen Rinnen gegen die Verebnung angeschüttete Schuttkegel ist in der Abb. 99 gegen die Einhänge durch Linien abgegrenzt. Der Schneeboden im weitesten Sinne an der Fußkehle ist durch Nardetum, der Windboden am entgegengesetzten Gefällsknick, der Vorderkante der Verebnung, durch Juniperetum, die Hangwächte unter letzterem durch Vaccinietum myrtilli gebildet. Daß die hier gemittelten oberen und unteren Rinnenabschnitte im Durchschnitt viel tiefer eingeschnitten und daher an ihrem leeseitigen Einhang der Sonne mehr zugewendet, an ihrem luvseitigen mehr schattig sind als jene von Abb. 98, kommt in der engeren Vegetationszonierung und im Auftreten des Callunetums zum Ausdruck. Wieder finden wir die moosreichen von den moosarmen Varianten durch eine Linie knapp links von der Rinnentiefe begrenzt. Im übrigen finden wir wieder die normale Reiserzonation, nur tritt die Flechtenheide bloß in kleinsten Fragmenten auf, welche quantitativ vernachlässigt werden können. Ein winziges Alectorietum findet sich noch an der Waldgrenze selbst in 2075 m.

Die Flächenanteile werden durch Tab. 4 gegeben. Nach den Vegetationsverhältnissen bemessen liegt am Oberhang die Neuschneewächte (Juniperus-Strich) 11.3 % von der Rippe, die Fußzone (gerechnet bis in den oberen Rh-Streifen) 34.7 % des Hanges weiter abwärts, die Vorzone (bis zum Ende des Callunetums) 30.4 % von der Tiefenlinie. Die entsprechenden Zahlen für den Unterhang sind: 9.1, 24.3, 40.9 %. Auf der Verebnung selber finden wir 55.6 % durch Beweidung vermischte Komplexe, also nur 44.4 % deutliche Soziationen u.zw. je 17.5 % Nardetum und Juniperetum, 9.4 % Windbodenvereine (5.6 My, 2.8 Ul, 0.8 Lo, 0.2 % Polytrichetum).

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Tab. 4

Vegetationszonen nahe der Verebnung in % der Rinneneinhänge

	Rh	My	Ul	Lo
Oberhang				
Lee	81.7	38.2	24.7	37.1
Luv	68.2	57.2	29.9.	12.9
Lee + Luv	75.0	47.7	27.3	25.0
Unterhang				
Lee	89.9	47.5	34.7	17.8
Luv	56.3	58.4	24.3	17.3
Lee + Luv	73.1	53.0	29.5	17.5

D. Die Vegetationsverteilung im Bereiche der Lichtung

Im subalpinen Waldland, speziell in unserem Stationsbereich "Lichtung", zeigt sich die Feldschicht-Vegetation gegenüber dem Freiland schon auf den ersten Blick als weniger differenziert. Die Besonderungen, die man dort antrifft, hängen in erster Linie von der Kronendichte ab. Wenn man von Lichtstellungsunterschieden und von Zonierungen um alte Baumkronen und -stämme absieht, bleiben aber immerhin auch noch Unterschiede, die sich nach dem Kleinrelief ordnen. Nur sie sind hier daraufhin zu betrachten, ob dabei nicht Verschiedenheiten im Ausaperungsdatum mitspielen. Die Stämme stehen aber in unserem Hange, dem Kinigsrain, fast nur auf den Kleinrippen, wogegen sie die Rinnensenkungen meiden. Die Bestockung richtet sich somit selber nach dem Kleinrelief aus. Dies wirkt gewissenmaßen wie eine Verstärkung (Überhöhung) des Reliefs.

In Abb. 100 b sind die relieforientierten Vegetationslinien der Feldschichte in einem skizzenhaften Auszug aus der Vegetationsaufnahme der "Lichtung" wiedergegeben. Die Bogenlinien grenzen rechts und links ein Gebiet aus, wo unter dichterem Kronendach das Licht nahe ans ökologische Minimum gerät und dadurch also zum Differenzierungsfaktor wird. Weißgelassen ist in dem Kärtchen das normale Rhododendretum des Lärchen-Zirben-Alpenrosen-Waldes. Die grau getönten Flächen bedeuten Vaccinietum myrtilli, soweit es sich nach Rinnen ausrichtet. Schraffiert sind die dichten Hylocomium-Pleurozium-Decken der Bodenschicht an den Schattseiten, punktiert jene Flächen an den Sonnseiten, in denen viel Juniperus, Calluna und Barflecken kennzeichnend sind und die schüttere Moosschichte relativ viel Dicranum enthält. Diese nach zwei entgegengesetzten Seiten auseinandergehende Bodenschicht-Differenzierung haben wir auch im Freiland oberhalb der Waldgrenze angetroffen. Sie ist offensichtlich nicht von der Schneelage her, vielmehr sicherlich thermisch und hygrisch bedingt.

Relieforientierte Vegetationslinien sind also auf der "Lichtung" durchaus genügend scharf entwickelt. In ihnen ist trotzdem keine eindeutige Auswirkung der Variation im Ausaperungsdatum zu erkennen. Man findet keine Spur von Windbodenvegetation, es sei denn, der hier auftretende Unterschied von Rh und My gehöre

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

hieher. Gerade er ist aber ökologisch mehrdeutig. Wir haben schon festgestellt, daß die Heidelbeere an schneeärmeren, daneben aber auch an schneereicheren Standorten als die Alpenrose dominieren kann. Sie dringt auch weiter als diese in den Waldesschatten, hat also eine allgemein weitere ökologische Amplitude als diese. Hier nun besetzt My gerade die Rinnenböden. Dies und die Art, wie es sich gerade gegen die Schattseite hin verzahnt, spricht dafür, daß es sich um Bodenstriche handelt, wo oberflächliches Schwemmwasser auftritt, was vom Rh gemieden wird.

Daß auf der Lichtung keine nach Schneedauer geordnete Vegetationssonderung vorliegt, bedeutet, daß die entsprechenden Unterschiede für die Pflanzen im untersuchten Raum nicht mehr lebenswichtig sind. Dies ist auch begreiflich. Abgesehen von vernächlässigbar kleinen Flecken unter 1 % dauert hier die Ausaperung nur 1 1/2 Monate (20.IV. bis 4.VI.), gegen 2 Monate im Gelände zwischen Waldgrenze und Verebnungsleiste und mehr als 3 1/2 Monate am Steilhang darüber. Sicherlich waren die Schneebedeckungsunterschiede hier zu jener Zeit, als der heutige verhältnismäßig junge Wald des Kinigsrain aufkam, größer und bedeutsamer.

Die heutigen reliefgeordneten Sonderungen im Bewuchse sind als Sonn-Schattseiten-Unterschiede, nicht als Luv-Lee-Unterschiede anzusprechen. Wie schon berichtet, ist hier die Sonnseite der Kleinrinnen schon mehr als zur Hälfte aper, wenn die Schattseite noch zu 80 % schneebedeckt ist. Auch liegen die ersten Aperflecken hier nicht mehr an den Höhenlinien der Rippen, sondern an den Sonnseiten und die letzten Schneeflecken nicht mehr an den Leeseiten, sondern an den Tiefenlinien. Das beruht darauf, daß der Baumwuchs das Windfeld gehoben hat. Der Schnee wird in Lee nicht viel mehr abgelagert als in Luv, sodaß die Besonnung für die Ausaperungszeit ausschlaggebender wird als die Anwehung. Wir haben bereits jenes Vorfrühlingsbild der Schnee-Aper-Fleckenlandschaft,wie wir es von den Niederungen kennen.

Allerdings müssen wir uns daran erinnern, daß die kleinen Rippen der Lichtung nicht mit den größeren höher oben gleichzusetzen sind. Es kann jedoch berichtet werden, daß sich die geschilderten Verhältnisse nur wenig ändern, wenn man hier im Waldland größere und oben im Freiland kleinere Reliefformen aufsucht. Ähnlich kleine Rinnen wie die der Lichtung werden oberhalb der Waldgrenze zur Ausgleichsfläche zugeweht, so daß trotzdem größere Aperunterschiede herauskommen, nur eben an ihnen keine Luv-Lee-Asymmetrie der Isochionen mehr zustande kommt.

Mindestens wenn der Waldwuchs in naturgemäßer Weise nach oben ausklingt, muß sich zwischen den Bereich sonnschein-geformter Isochionenfelder und jenen wind-geformter eine Zwischenzone einschieben, in der die Konfiguration nach Wind und Licht sich ungefähr die Waage hält.

V. Die räumliche Korrelation zwischen Vegetations- und Aperlinien

Wir haben nun den Ausaperungsvorgang und die darauf ansprechende Vegetation in ihrer Verteilung im Gelände untersucht. Zwischen den erfaßten Isolinien der Ausaperungszeit liegen Unterschiede von einem Drittel bis einem vollen Monat, also höchst bedeutende Bruchteile der ganzen möglichen subalpinen Vegetationszeit. Dessen ungeachtet drängen sich diese Bereiche höchst verschiedenen Schnee-Kleinklimas von lebenswichtigem Ausmaße je nach Reliefsituation zu schmalen Zonen, oft von wenigen Metern Breite zusammen. Es wäre von größter Wichtigkeit, wenn wir imstande wären, subalpines Freiland wenigstens in grober Annäherung, diese aber in wirklich verläßlicher Weise nach Schneelage und damit nach Vegetationszeit zu untergliedern. Es müßte durch mindestens eine Hauptisolinie und zwei Nebenisolinien geschehen.

Die Art, wie sich der untersuchte, ökologisch grundlegende Faktor im Gelände abstuft, macht es aber praktisch unmöglich, diese Aufgabe ohne Mithilfe weiterer Indizien, vor allem jenen, wel-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

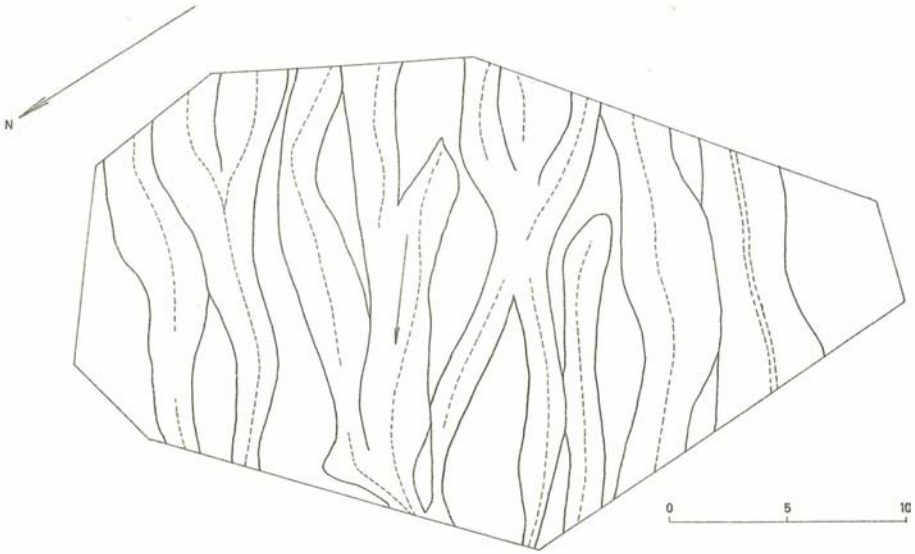


Abb. 100 a: Geländeschema der "Lichtung". Die ausgezogenen Linien umgrenzen die Rinnen, die strichlierten Linien sind deren Tiefenlinien

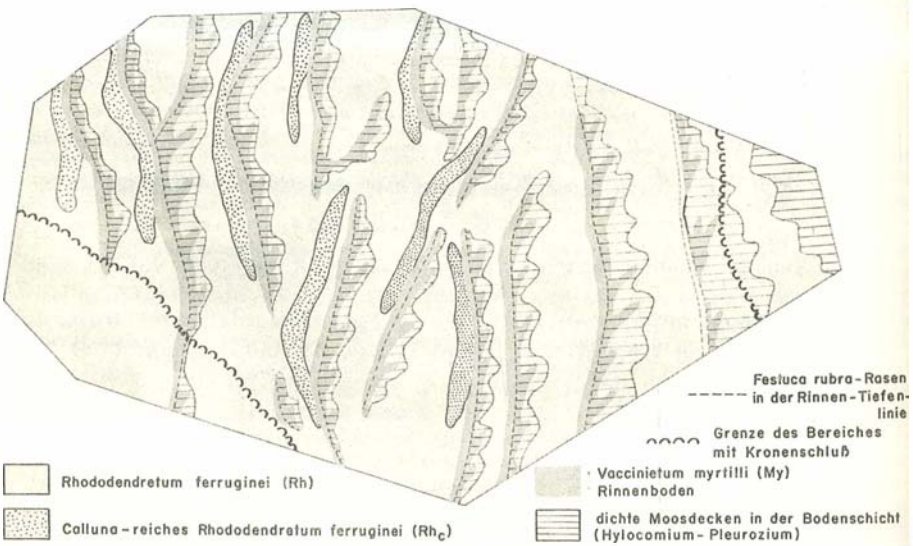
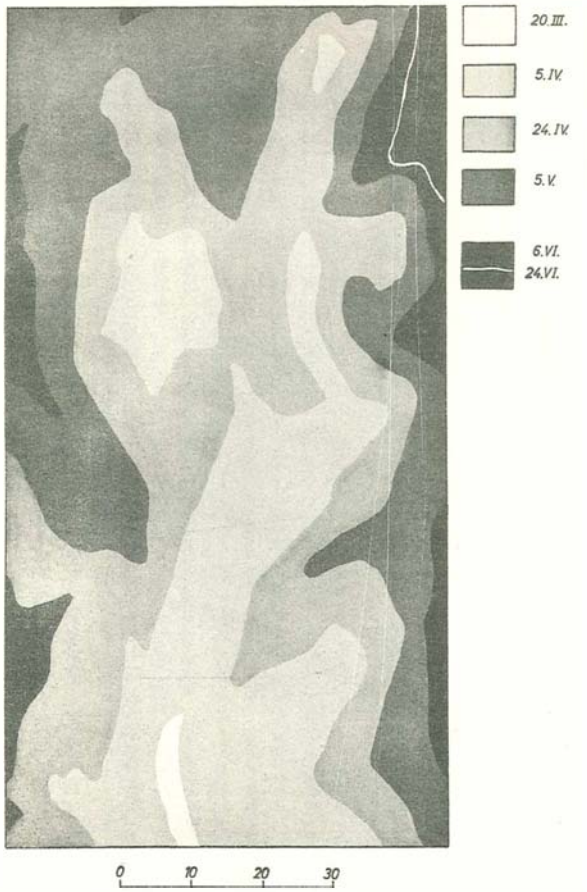


Abb. 100 b: Vegetationsaufnahme der "Lichtung" (schematischer Auszug)

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
che die Vegetation uns bietet, zu lösen. Die gesuchten Isolinienfelder sind statistische Effekte des Wetterverlaufes eines ganzen Winters, in dem u.a. die Windstärken und Windrichtungen während und nach jedem Schneefall in maßgeblicher Weise eingreifen. Der Isochionenverlauf richtet sich nach verwickelten aerodynamischen Vorgängen aus, die sich in ebenso verwickelte aerodynamische Ausgleichsflächen im Relief ordnen. Der Umstand, welcher die Durchsicht für ein bestimmtes Reliefbereich am meisten erschwert, ist der, daß sozusagen der Schnee selber mit seiner Oberfläche das Relief im Laufe des Winters verändert, daß eine andere übergeordnete Reliefform umso stärker wirksam wird, je mehr sich in einer untergeordneten die Schneeverteilung dem Ausgleich nähert.

Dazu ist weiters zu bedenken, daß alle witterungsverursachten Prozesse, also vor allem die klimatischen, nur durch statistische Mittelung über mehrere Jahre erfaßbar sind. Ohne diese können wir nichts Wesentliches darüber aussagen. Wir können auch die Besonderheit eines Einzeljahres gar nicht beurteilen, wenn wir sie nicht an vorgegebener Kenntnis des langjährigen Mittels abheben können. Nur am Durchschnitt ergibt sich Schwankungsbreite und Stellung des Einzelfalles. Wir wissen aber, daß sich gerade die Vegetation in ihrer Geländegliederung außerordentlich konservativ verhält, und die ökologischen Daten, die aus ihr ableitbar sind, unmittelbar Faktorenmaße von langjährigen Durchschnitten liefern. Dieser glückliche Umstand ist umso wertvoller, als gerade die Variation relieforientierter Faktoren Isolinienzonen von besonders großen Unterschieden in den Einzeljahren über das Gelände auf und ab verschieben muß.

Nun ist freilich die Schneebedeckungsdauer in einer Hinsicht ein Sonderfall. Ihre Isolinien sind sichtbar ins Gelände geschrieben, man kann ihre zeitliche Verschiebung und Einordnung im Relief mit Augen beobachten und übersichtlich überschauen. Jemand, der sich darauf spezialisiert, könnte also darin möglicherweise eine solche Erfahrung gewinnen, daß er mit gewissen Einschränkungen ohne allzugroße Flächenfehler über die Schneedeckenverhältnisse eines Reliefbereiches bestimmter geographischer Lage Auskunft geben könnte, auch ohne dazu die Vegetationsdifferenzierung heranzuziehen. Aber wir wissen heute mit hinreichender Sicherheit, daß in höheren Lagen und in wenig eingeschränkter Weise auch schon im Freiland subalpiner Lage der überwiegende Teil der klimatischen Faktoren darunter gerade die kleinklimatischen und gerade die lebenswichtigen - ebenso scharf relieforientiert sind. Diese anderen Faktoren können in ihrer besonderen Relieforientierungsart ebensogut sehr ähnlich wie auch gänzlich anders ins Gelände geordnet sein. Wir wissen darüber fast nichts. Diese anderen Klimafaktoren sind aber als solche alles andere als sichtbar ins Land eingeschrieben. Auch bei größter Spezialisierung könnte ein Fachmann



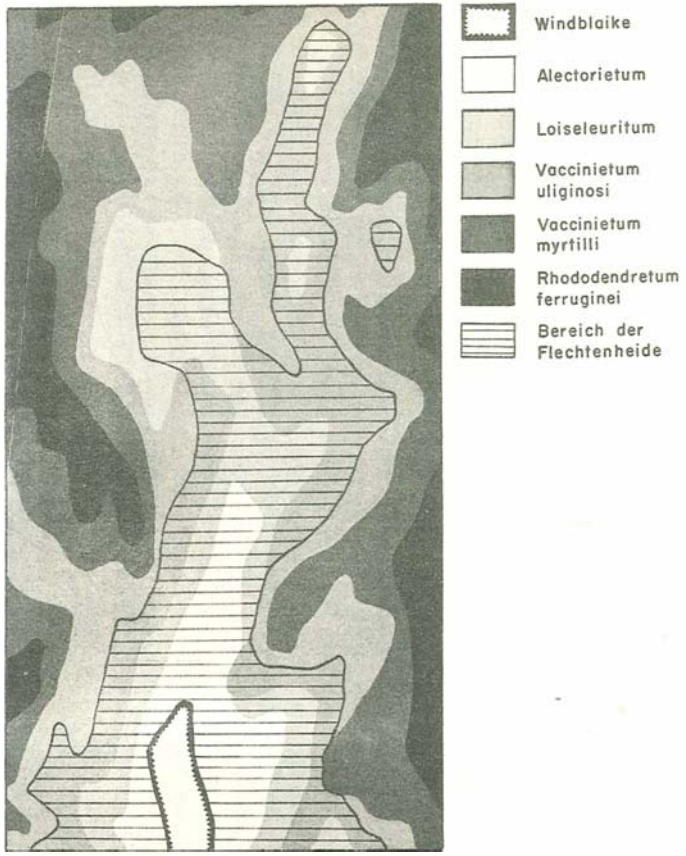


Abb. 101a: Ausschnitt aus der Schneekartierung 1:500 (Hauptrippe in mittlerer Höhe)

Abb. 101b: Gleicher Ausschnitt aus der Vegetationskarte 1:500

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

niemals durch bloße Anschauung die Befähigung gewinnen, ähnlich angemessene Diagnosen zu stellen wie für die Schneebedekkung.

Bevor wir aus den Gesetzen des Isochionenfeldes ableitbare inhaltliche und methodische Folgerungen diskutieren, haben wir noch den Zeigerwert der Vegetationslinien im Falle eben dieses Isochionenfeldes zu überprüfen. Tab. 5 und Tab. 6 sollen einen Überblick über räumliche Variation der Schneelagen-Randlinien in Reliefformen geben und diese zum Vergleich stellen mit räumlich korrelierten Grenzlinien in der Vegetation. Von den untersuchten Rinnen wird über solche Quer-Abschnitte gemittelt, die nach Niveau und Reliefform miteinander unmittelbar vergleichbar sind. Sie variieren aber nach Abstand vom Wald sowie nach Reliefgröße und Reliefstärke. Die drei Nebenrinnen sind ja ungleich schwächer profiliert als die Beerrinne; die gemittelten Rinnenabschnitte an der Verebnung kleiner, aber kaum schwächer. Durch die Tabellen soll aus der vielfältigen Variation der Feldlinien gegen das Relief (Abschrägung, Versetzung, Abstufung, Absolutgefälle) nur eine einzige Seite dargestellt werden, nämlich ihre Asymmetrie (Versetzung) gegenüber den Relieflinien. Tab. 5 gibt die Versetzung der wesentlichsten Grenzlinie, welche von den Kanten rinneneinwärts lee- und luvseitig entlangzieht und Schnee-und Windboden von einander scheidet, Tab. 6 jene Feindifferenzierung, welche durch die nur leeseitig auftretende Hangwächte bewirkt wird. Die erste Grenze ist für jeden Laien leicht im Gelände ersichtlich, die zweite freilich nur für das geübte Auge eines Fachmannes verfolgbar.

Tab. 5

Vergleich des %-Verhältnisses Schneeboden i.w.S./Windboden nach Schnee- und nach Vegetationskartierung errechnet.

	nach 4. Isol. (5.V.1955)				nach Vegetationsl. Rh/My			
	Lee		Luv		Lee		Luv	
	Wind-Boden	Schnee-Boden	Wind-Boden	Schnee Boden	Wind-Boden	Schnee Boden	Wind-Boden	Schnee-Boden
Beerrinne 2225 2075 m	27.8		62.2	37.8	20.2	79.8	41.9	58.1
Beerrinne 2150 2075 m	23.4	76.6	60.9	39.1	23.1	76.9	66.4	33.6
3 Nebenrinnen 2150 2075 m	53.3	46.7	61.2	38.8	52.5	47.5	55.5	44.5
Beerrinne 2100 2075 m	14.5	85.5	59.8	40.2	15.0	85.0	65.4	34.6
3 Nebenrinnen 2100 2075 m	45.6	54.4	41.5	58.5	36.9	63.1	42.7	
Hang ober Verebnung 2100 2075 m	19.1	80.9	48.2	51.8	18.3	81.7	31.8	68.2
Hang unter Verebnung 2050 1950 m	15.4	84.6	49.7	50.3	10.1	89.9	43.7	56.3

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Tabelle 6:

Vergleich der durch Hangwächten verursachten Lee-Unstetigkeit (% der Zonen vom Lee-Einhang), errechnet nach Schnee- und Vegetationskartierung.

	Rest-Windbd.	Fuß-zone	Vor-zone	Rest-Schneebd.	Rest-Windbd.	Fuß-zone	Vor-zone	Rest-Schneebd.
	nach Schnee				nach Vegetation			
Beerrinne 2225 2075 m	27.8	39.9	18.0	14.3	30.3	37.7	18.0	14.0
Beerrinne 2150 2075 m	23.4	37.6	23.2	15.8	24.4	36.5	21.5	17.6
3 Nebenrinnen 2150 - 2075 m	53.3	32.7		14.0	52.4	31.9		15.7
Beerrinne 2100 - 2075 m	14.5	33.8	29.2	22.5	15.1	30.9	27.4	26.6
3 Nebenrinnen 2100 2075 m	45.6	36.8		17.6	36.9	38.2		24.9
Hang ober Verebnung 2100 2o75 m	26.1	23.6	25.6	24.7	28.8	27.1	20.2	23.9
Hang unter Verebnung 2050 1950 m	26.5	21.7	19.5	32.3	19.4	23.0	17.9	39.7

Wir ersehen, wie empfindlich und weitausholend die Isolinien auf Reliefunterschiede reagieren. Eine geringe Verschiebung in ihren Momenten (Inklination, Exposition, Elevation u. a.) und sie liegen wieder ganz anders im Gelände. Eine in sich gleichbleibende Rippen-Rinnen-Ausformung des Kleinreliefs hin oder weg verschoben und es ergeben sich schon ganz andere räumliche Figurationen des Klimafaktors. Es wäre aussichtslos, wollte man hier Mittelwerte angeben, die wenigstens dahin brauchbar sind, daß man sie mittels zusätzlicher Korrekturtafeln auf Einzelfälle anwenden könnte. Dasselbe gilt auch für die Lage der Vegetationslinien im Relief. Das muß ja so sein, wenn sie tatsächlich Klimazeiger sein sollen. Aber diese Geländeindizien stehen wenigstens im Gelände still und bleiben bis zu ihrer Aufsuchung stehen. Sie schwanken nicht mit den Einzeljahren und Witterungen. Auch für ihre Relieflage gibt es zwar keinen brauchbaren Mittelwert und keine Korrekturtafeln. Wir konnten dies schon an dem reliefabhängigen schwankenden Breitenverhältnis ihrer Zonen erkennen. Trotzdem sind sie der einzige mögliche Halt in der Erscheinungen Flucht. Die herausgegriffenen Vegetationslinien machen ja, wie die zwei Tabellen zeigen, alle räumlichen Verschiebungen der klimatischen Isolinien auf und ab im Gelände getreulich mit. Wenn man den zugehörigen Klimawert einmal bestimmt hat, hier also ihre mittlere Lage im Absolutgefälle der Schneebedeckung festgelegt hat, dann gibt es dafür sehr wohl brauchbare Mittelwerte und anwendbare Korrekturtafeln. Nun brauchen

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

diese Geländestriche im Einzelfalle nur aufgesucht, an einigen Punkten in die Karte eingetragen werden und wir haben, was wir brauchen. Mit diesen, wenn auch lückenreichen Anhaltspunkten kann dann der Fachmann das zugehörige Isolinienfeld in jedem beliebigen Schematisierungsgrad (d. h. räumlicher Durchschnittbildung) konstruieren.

Wir wollen die Brauchbarkeit, also den Zeigerwert unserer Naturindizien genauer überprüfen. Dazu müssen wir statt der Beziehung der Schneelinien zum Relief und der Beziehung der Vegetationslinien zum Relief die unmittelbare Beziehung zwischen beiden zueinander untersuchen. Sowohl die Schneelinien als auch die Vegetationslinien ziehen sich, wie wir sahen, in höchst unruhigem Gang durch das Relief. Abgesehen von dieser Unruhe tun sie es nun aber natürlich keineswegs in einem exakt gleichen Gang. Die Linien beider Art pendeln auch gegeneinander. Die Frage kann nur sein, ob sie in ihrem räumlichen Gang wenigstens genügend verwandt, d. h. miteinander genügend korreliert sind, damit ohne allzu große Fehler von den einen auf die anderen geschlossen werden kann. Das Verhältnis der Vegetation zur Schneelage bleibt stets übersichtlich durchschaubar. Wenn man die beiden unabhängig voneinander aufgenommenen Karten auf dem Paustisch übereinanderlegt, fällt dies ins Auge. Obwohl die aufgenommenen Schneelinien ebenso wie die aufgenommenen Vegetationslinien das Gelände in enge Zonen zerteilen, legen sich die Schneezonen über entsprechende Vegetationszonen. Allerdings kann sich da und dort die eine ein Stück weit mehr oder weniger in die Nachbarzone der anderen Art verschieben, ohne sich jedoch in eine unbenachbarte zu verirren.

Das beruht natürlich z. T. auf Kartierungsfehlern. So sicherlich dort, wo die Zonen sich zu kleinen Inseln schließen und diese auf dem Paustisch nicht übereinander, sondern nebeneinander fallen.

Um diese Fehler zu eliminieren, mußte die statistische Masse möglichst groß gehalten werden. Deshalb wurden alle Punkte, wo die auf-und abpendelnden Vegetationslinien eine Schichtlinie schneiden, daraufhin ausgemessen, wo sie prozentuell zwischen benachbarten Schnittpunkten derselben Schichtlinie mit Schneelinien zu liegen kommen. Dies geschah entlang aller Schichtlinien von 5 Meter Äquidistanz. In dieser Weise wurde ein Kartenbereich behandelt, das die Nordrinne einschließlich der zugehörigen Hauptmulde und die Beerrinne einschließlich der benachbarten Pegelmulde umfaßt. Das so erhaltene Messungsmaterial wurde nach den zwei Teilgebieten, nach Luv und Lee sowie nach Höhenzonen von 25 m sortiert. Es enthält mehr als 11.000 Maßelemente, eine statistische Masse, die sich allerdings ziemlich ungleich über das Variationsfeld verteilt.

Das Ergebnis dieser Arbeit ist in Abb. 102 a, b, c zusammengefaßt. Diese Diagramme zeigen uns, wie sich die Vegetationslinien im statistischen Mittel prozentuell zwischen die Schneelinien einordnen, wenn man letztere geradlinig annimmt und in gleichen

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
Abstand voneinander rückt. Die Schneelinien bilden also die Ordinaten, die Schichtlinien die Abszissen der Diagramme. Die Vegetationsgrenzen verlaufen gegen die Schneelinien leicht gekrümmt, ebenso die Schneezonen. Sie weichen in ihrem Verlaufe, wie man sieht, nirgends soweit ab, daß sie in eine unzugehörige Schneezone geraten.

Die starkausgezogenen, gezahnten Linien begrenzen die Zonen der Reiserheide, links außen Al, dann zunehmend schneeliebend (chionophil) Lo, Ul, My, Rh, rechts außen Nd (das Nardetum). Abweichungen von Rh besonders großer Schneebedeckung, vor allem Komplexbildungen mit Nd, sind durch eine Zweiglinie von Rh/Nd zusammengefaßt. Sie deuten an, daß die Rh-Grenze die unsicherste ist, weil Nd durch Beweidung ausgebreitet wird. Die anderen Grenzen werden gegen Al hin immer schärfer. In der Zone Ul findet sich eine weitere stark ausgezogene Linie eingezeichnet. Sie begrenzt das reine Ul rechts gegen das Ul_C links. Entsprechend ist die Zone Lo durch zwei stark ausgezogene ungezahnte Linien in reines Lo, Lo_C und Al_L geteilt, weiters ganz links die Grenze der Erosionserscheinungen im Al angegeben. Abb. 102 a gibt die Verhältnisse im Rinnenlee, Abb. 102 b die im Rinnenluv, Abb. 102 c das Mittel aus beiden. In 102 a und 102 b bedeuten die dünn ausgezogenen Linien jeweils die Grenzlagen in der Nordrinne (+ Hauptmulde), die dünn strichlierte jene in der Beerrinne (+ Pegelmulde). Nur die zu Lo/Ul gehörige entsprechende Trennung wurde in Abb. 102 c verlegt, um a und b für das Auge zu entlasten.

Daß die Vegetationslinien in den Diagrammen nicht einfach gerade Linien darstellen, die in konstantem Abstand zu den Ordinaten verlaufen, führt uns wieder auf die grundlegende Tatsache aller Ökologie: Das Leben reagiert nie auf einen Umwelt Umstand allein. Dazu sind die Lebensphänomene viel zu fein und allseitig ausgewogen. Sie reagieren vielmehr stets auf die Umwelt-Ganzheit. So auch die Konkurrenzgrenze zwischen zwei dominanten Pflanzenarten. Sie anworten zwar artenspezifisch auf einen bestimmten Entscheidungsfaktor, hier die Schneebedeckungsdauer (die für diese Arten, was ihre Konkurrenzkraft anbelangt, hier gerade im Minimum ist). Es kann aber nicht genau bei derselben Ausaperungszeit geschehen, wenn zugleich etwa die Temperatur- oder Belichtungsverhältnisse verschieden sind. Wo sich freilich einmal die Konkurrenzgrenzen ausgebildet haben, bleiben sie sehr konservativ über die Jahresverschiedenheiten hinweg bestehen. Sie zeigen somit das langjährige klimatische Mittel des Entscheidungsfaktors an. Dies ist für unsere besonderen Zwekke ihr größter Vorteil.

Allerdings ist damit auch ein kleinerer Nachteil verbunden. Sie werden sich auch erst langsam nachhinkend verlagern, wenn sich tatsächlich einmal aus irgendeinem Grunde die Umweltverhältnisse umstürzen sollten.

Da, wie schon bemerkt, die Ausaperungsdaten der aufgenom-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

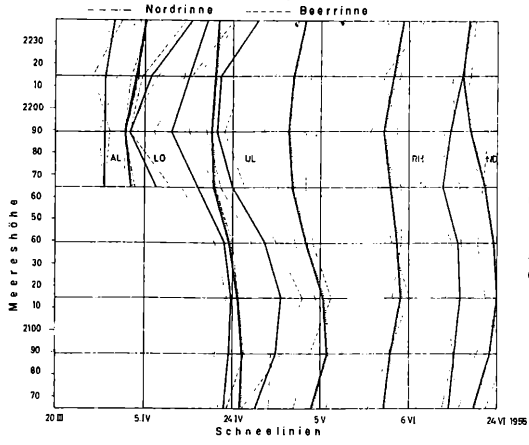


Abb. 102 a:
Räumliche Korrelation der Grenzlinien zwischen Vegetationszonen mit den Linien gleicher Schneedecken-Andauer (Leeseiten)

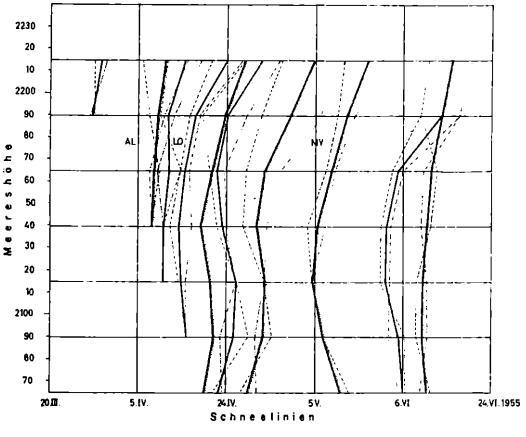


Abb. 102 b:
Räumliche Korrelation wie in Abb. 102 a, aber Luvseiten

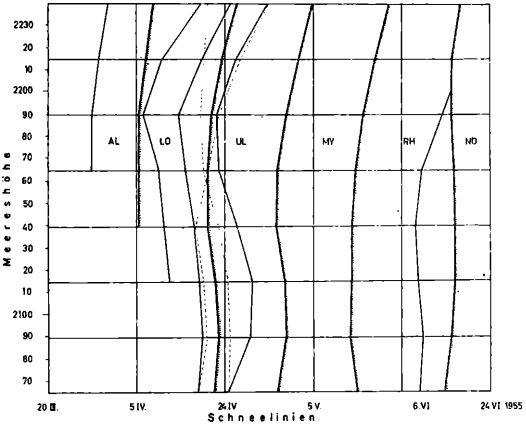


Abb. 102 c:
Räumliche Korrelation zwischen den entsprechenden Vegetations- und Schneelinien, Mittel aus Lee und Luv

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
menen Schneelinien noch nicht auf klimatologische Mittelwerte reduziert sind, können die aufgenommenen Vegetationslinien noch nicht mit einem brauchbaren mittleren Ausaperungsdatum versehen, sondern vorerst nur nach ihrer Lage zwischen den Schneelinien gekennzeichnet werden. Nach den Ergebnissen der Tab. 6 liegt also durchschnittlich in Prozent der betreffenden Schneezone die Grenze Al/Lo 32 % von der Schneelinie 2 gegen die schneereichere Seite, Lo/Ul 11.1 % von Schneelinie 3, Ul/My 33.5 % von Schneelinie 4, My/Rh 55.9 % von Schneelinie 5 und Rh/Nd 44.2 % von Schneelinie 6 entfernt und zwar an der schneeärmeren Seite. Diese Lagen sind mit einer Unsicherheit von bzw. ± 3.9, 1.3, 9.7, 4.9, 5.3 % der entsprechenden Schneezonenbreite behaftet, gewiß niedere Werte, wenn man bedenkt, daß als Fehler für die ganze Skalenbreite 1 bis 6 nur etwa ein Fünftel davon anfällt.

Wie man aus der engeren Scharung der Soziationsgrenzen an der Luvseite ersieht, bedürfen dort die schneeliebenden (chionophilen) Pflanzengesellschaften eines geringeren, die schneemeidenden (chimonophilen) eines größeren Schneeschutzes als in Lee. Sie reagieren dort also empfindlicher als hier, was wohl ein Temperatureffekt ist. Ebenso dürfte die Tatsache, daß die Pflanzenzonen (ausgenommen Nd) mit zunehmender Meereshöhe im Mittel schneebedürftiger werden u. zw. hauptsächlich im Luv, im Wärmehaushalt begründet liegen. Diese Verschiebung mit der Meereshöhe beträgt je 100 m rund 5 % der Skalenbreite. Ebenfalls auf thermische Wirkungen gehen wohl die Unterschiede zwischen den beiden untersuchten Rinnen (mit ihren Nebenrinnen) zurück, die sich in ihrer Exposition gegen die Besonnung doch ziemlich unterscheiden. Alle diese angeführten Differenzen sind jedoch nicht so bedeutend, daß sie nicht leicht in Korrekturtafeln zu den Gesamtmittelwerten untergebracht werden könnten.

Im unteren Teil des Hanges fällt eine Durchbiegung der Pflanzenzonen im Lee besonders von Ul und My gegen länger bedeckte Bereiche, im Luv dagegen wenigstens von Rh und Nd gegen schneeärmere hin auf. In Wirklichkeit handelt es sich wohl um ein konservatives Festbleiben der Vegetation und umgekehrt um ein Schneereicherwerden in Rh und Nd. Dies wieder hängt offenbar mit dem Aufkommen zahlreicher junger Zirben in diesem Höhenbereiche zusammen. Sie haben das Windfeld bereits etwas gehoben und dadurch die Schneedecke bereits etwas ausgeglichen, so daß also die Bodenvegetation hier nicht mehr dem heutigen Kleinklima entspricht.

Von besonderer Wichtigkeit ist uns das Verhalten der stark ausgezogenen, ungezahnten Linien innerhalb Lo und Ul. Sie begrenzen die flechtenreichen Areale gegen das Rinnen-Innere hin. Man ersieht sogleich, daß sich diese Synusien der Flechtenheide in den Diagrammen ganz anders, also ziemlich unabhängig benehmen gegenüber denen der Reiserheide. Sie schmiegen sich in ihrem Verlauf weniger an die als Ordinaten geradegestreckt gezeichneten Schneelinien an, sind somit von einem anderen ökologischen Fak-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
tor bestimmt, d.h. also nicht von der Ausaperungszeit wie die Zwergstrauchgürtel. Andererseits muß dieser Entscheidungsfaktor aber doch klimatologisch verwandt sein, da sich diese Linien qualitativ ähnlich, nur eben ungleich stärker durchbiegen. Dies wieder besagt uns: In dem hier ausschlaggebenden ökologischen Faktor spielt der Wind eine noch stärker meteorologisch-kausale Rolle, als er es im Aufbau der Schneedecke tut. Beobachtungen im Gelände bestätigen dies. Die Flechtenlinien biegen sich an jeder Bodenwelle stärker durch als die Reiserlinien und als die Schneelinien. Es handelt sich hier wahrscheinlich um den ökologischen Entscheidungsfaktor Verdunstung.

VI. Diskussion der Ergebnisse

Wir haben uns zwei sichtbar ins subalpine Gelände eingeschriebene Liniensysteme, nämlich einerseits Abgrenzungen von Varianten der Pflanzendecke und andererseits Randlinien zwischen jeweils noch schneebedecktem und schon ausgeapertem Gelände zum Studium vorgenommen. Wir taten es, um an ihnen zu erkunden, wie man vorgehen müsse, wenn man auf kürzestem Wege sowohl dem physikalisch wie vor allem dem biologisch arbeitenden Geländetechniker für diese Höhenstufe die notwendigen wissenschaftlichen Daten an die Hand geben will, damit er seine Maßnahmen auf exakte Unterlagen gründen kann.

Als wesentliche Erscheinung des untersuchten lebenswichtigen Faktors Schneedecken-Andauer wurde seine äußerst scharfe räumliche Relieforientierung herausgearbeitet. Diese hier so ausgeprägte Eigenheit hat zur Folge, daß Angaben über die Ausaperungszeit, welche im Flachland über mehrere Zehner von Kilometern richtig sein können und in bewaldeten Höhenstufen immer noch über Hundert von Metern Geltung beanspruchen dürfen, oberhalb der Waldgrenze keine brauchbaren Schlüsse mehr zulassen, weil sich der Faktor über wenige Meter radikal verändert und in schmale, höchst verwickelt angeordnete Zonen im Gelände verteilt.

Wir wissen nun aber mit Bestimmtheit, daß diese erschwerende Eigenheit nicht nur für die Schneebedeckung, sondern für die meisten anderen klimatischen Faktoren ebenso gilt, so für die Windstärke, Schneehöhe, Verdunstung, Sonnenscheindauer, Einstrahlungsmenge, ja für den ganzen Wärmehaushalt nahe über und unter der Bodenoberfläche; wahrscheinlich in ähnlicher Stärke auch für den Regenabsatz am Boden, die Bodenfeuchte und damit die den Wurzeln zur Verfügung stehende Wassersaugmenge. Sie alle sind in diesen Höhenlagen nicht in erster Linie niveauorientiert, sondern so sehr relieforientiert im Gelände verteilt, daß die Niveau-Differenzen von diesen Unterschiedlichkeiten fast gänzlich zugedeckt wer-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

den. Es handelt sich also nicht um ein spezielles Problem der Schneedecke, sondern allgemein um das vordringliche Problem für die Kleinklimatologie höherer Lagen überhaupt. So kommt es, daß man hier über ein weiteres Flächenstück nur dann diesen einen verläßlichen Mittelwert angeben könnte, wenn man es mit einem dichten Netz von Meßstellen überzieht, aber auch das wäre an sich nicht sinnvoll, weil diesem räumlichen Mittelwert keine Bedeutung mehr zukommt.

Das Pflanzenwachstum richtet sich, wie wir zeigten, ebenfalls in engen relieforientierten Zonen aus, Genauso gilt dies, wie die Arbeiten von NEUWINGER und CZELL 1959 (Seite 371) in diesem Bereiche beweisen, von der Bodenausbildung. Das ist auch von vorneherein gar nicht anders zu erwarten. Es gilt auch für die Umstände des Gedeihens und Nichtgedeihens von jungen Forstpflanzen (STERN 1956, OSWALD, Abschn.IF 1), ebenso aber für die Anordnung von Schneefestigungs-, Schneeverwehungs-, Erosionsschutz- u.a. Geländemaßnahmen. Sie alle müssen streng relieforientiert gedacht und ausgeführt werden, wenn sie sinnvoll sein sollen, wie z.B. die hier besprochene Anordnung flacher Hangwächtenzonen zeigt und wie es sich eben auch in der Anordnung der natürlichen Vegetation entlang von Hangrippen und -rinnen, -kuppen und -mulden widerspiegelt.

Das Spezifische der höheren Lagen ist somit, daß die räumliche Variation wichtiger, entscheidender, vordringlicher wird als die zeitliche. Die Klimatologie ist nun aber bis auf den heutigen Tag vorwiegend darauf eingestellt, zuerst zeitliche Variationen zu erfassen (den Tages-, Jahres-, Witterungsgang von Faktoren und die Variabilität der verschiedenen Einzeljahre), während sich räumliche Anordnungen nebenbei mitergeben. Oberhalb der Waldgrenze erzwingen die Tatsachen ein gänzliches Umdenken. Die zeitliche Variation ist von der Klimakunde bereits soweit erforscht, daß für die alpine Kleinklimaforschung dieser Beziehung abgekürzte und routinemäßige Verfahren entwickelt werden können, damit das Hauptaugenmerk und die Hauptarbeit auf räumliche Variation umgelenkt werden kann. In unserem Rahmen sind die methodischen und instrumentellen Vorarbeiten dazu schon weitgehend getroffen worden.

Dies ist der erste Hauptgesichtspunkt, der hier herausgestellt werden muß. Ebenso dezidiert ergibt sich aus unserer Untersuchung ein zweiter: Unsere Kleinklimaforschung im subalpinen Freiland hat voll und ganz Ökologie zu sein, erstens weil uns nach der Aufgabenstellung „Aufbringen von Forstpflanzen" ein biologisches Hauptproblem gestellt ist, und sich bei Lösung dieser verwickelten Aufgabe die anderen Fragen mitergeben, zweitens, weil hier die erforderliche raumhafte Klimatologie überhaupt nicht richtig in Angriff genommen werden kann, ohne Vegetation und Boden als Kenn- und Zeigerbereich und Orientierungsanhalt zu nehmen. Um beide Gesichtspunkte, nämlich flächenhafte Kleinklimatographie in ökologischer Problemstellung zusammenzufassen, bezeichnen wir un-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

sere Arbeitsdisziplin als Ökographie.

Auf die Frage, ob die Vegetation tatsächlich ausreichend fein und sichtbar auf die Faktorenvariation im Gelände reagiert, um uns die nötigen Anhalte zu gewähren, konnten wir am Beispiele der Zwergstrauchzonation bereits eine bejahende Antwort geben. Wenn man die ökologischen Gesetze (Ganzheitsgesetz, Minimumgesetz u. a.) beachtet, läßt sich ohne Zweifel genügend scharf von Vegetationsverteilungen auf räumliche quantitative Faktorenvariationen schließen.

Wird es jedoch auch umgekehrt möglich sein, zu weiteren lebenswichtigen Faktoren zugehörige Vegetationsunterschiede zu finden? Auch diese Voraussetzung einer praktisch bedeutsamen Ökographie hat sich in unserem Untersuchungsgelände bereits genügend abgezeichnet. So machen die Arbeiten von NEUWINGER und CZELL 1959 deutlich, wie sich die Bodendifferenzierung vor allem an kontinuierlichen physiognomischen Variationen des Bewuchses widerspiegelt. Die Flechtensynusien geben offenbar weitere Auskünfte über Abstufung und Verteilung eines ökologischen Faktors (wahrscheinlich hygrischer Natur), ebenso die an sie in konkaven Reliefformen nach unten-innen anschließenden Moossynusien.

Nicht anders spiegeln sich die thermischen Faktorenfelder bereits in der Zonation Moosreichtum /Wacholder- /Alpenbärentraube /Besenheide-Reichtum wider. Vor allem zeigt sich das Callunetum im kalkfreien, reiserreichen Gebiet der subalpinen Stufe als Kenn-Soziation für die Linienführung von Isothermen im Gelände.

Wenn sich aber ein Vegetationsfeld natürlicher Pflanzengesellschaften in einer Hinsicht als homogen herausstellt, darf angenommen werden, daß darin auch für die Praxis keine Unterscheidungen zu treffen sind!

Kritischer ist die Frage, ob in allen in Betracht kommenden subalpinen Gebieten die Differenzierungen der Vegetation für unsere Zwecke hinreichend sein werden. Wir sind leider aus verschiedenen Gründen noch nicht soweit in der ökographischen Arbeitsweise vorgedrungen, daß wir uns hierüber ein endgültiges Urteil erlauben könnten. Es darf wohl angenommen werden, daß die Indiziendichte im Kalkgebiet und auf Grashängen natürlicher Gesellschaften ebenso ausreicht, wenn man alle wesentlichen Differenzen und Momente, die in Frage kommen, heranzieht. Zu bezweifeln ist es für Flächen intensivster Beweidung und Mahd. Aber hier sei daran erinnert, daß der Boden, das Kleinstrelief der Bodenoberfläche, die Oberflächenbeschaffenheit aufliegender Steine und Blöcke sowie ihr Flechtenbewuchs u. a. weitere Indizien liefern.

Man wird den praktischen Wert und die Erfolgsaussichten ökographischer Forschungsarbeit besser beurteilen können, wenn wir uns mit der Theorie relieforientierter Faktoren, die ja den Grund aller unserer Schwierigkeiten darstellen, nochmals allgemein auseinandersetzen. Der für uns grundlegende Unterschied zwischen ni-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
veauorientierten und relieforientierten Faktoren ist in Wirklichkeit natürlich eine fließende Skala, weil kein Niveaueffekt ohne leisen Reliefeffekt und umgekehrt feststellbar ist. Nicht einmal die Isobaren bleiben reliefunbeeinflußt. Kennzeichnend für das Hochgebirge ist eben nur, daß hier die wichtigsten Faktoren extrem relieforientiert sind.

Relieforientierung kann rein logisch bloß dadurch zustande kommen, daß es Grundfaktoren gibt, die zu den Reliefflächen eine bestimmte Richtung einnehmen. Solche vektorielle Klimagrößen, welche die Grundursache unseres ganzen besprochenen, so verwickelten Erscheinungsreiches sind, kann es im Grunde nur zwei geben: die Strahlung und den Wind. Je nach dem Einfall dieser beiden auf die Reliefflächen und je nach den Hindernissen, die ihnen vorher in den Weg gestellt wurden, werden sie verschiedene Wirkungen im Relief ausüben. Daraus folgen bereits drei Verteilungsgesetze:

1) Die Relieforientierung von Klimafaktoren wie ihrer Weiterungen in Boden und Vegetation muß sich mit zunehmender Seehöhe immer mehr verschärfen, weil damit die Wirksamkeit von Wind und Strahlung zunehmen.
2) Die Relieforientierung muß sich auch verschärfen, je näher ein Faktor an der Boden- oder Schneeoberfläche gemessen wird. Mit zunehmendem Abstand von der Oberfläche gegen die Atmosphäre oder in den Berg muß dagegen die Niveauorientierung der Luftschichten und Gesteinslagen in den Vordergrund treten.
3) Die Relieforientierung muß sich innerhalb von Vegetationsschichten der Niveauorientierung annähern. Es ist die wesentliche Klimawirkung von Feld-, besonders aber der Waldvegetation, daß sie nicht nur zeitlich, sondern eben auch räumlich ausgleicht.

Weiter kommen wir, wenn wir in der Theorie der Reliefwirkungen dem Verhältnis zeitlicher und räumlicher Variation nachgehen. Bereits vor Dezennien ist dem Verfasser die große Bedeutung einer dem Älpler ziemlich allgemein bekannten Beobachtung aufgefallen. Schon vom Tale aus erkennt man nämlich, daß im Relief der Berge die gleichen Schnee-Aper-Konfigurationen alljährlich wiederkehren, dies jedoch zu verschiedenen Kalenderdaten. Daraus ergibt sich ein unerwartetes, erstaunliches Naturgesetz relieforientierter Faktoren, das geeignet ist, uns in der verwirrenden Vielfalt der Erscheinungen weiterzuhelfen. Es ist das Gesetz von der Unabhängigkeit ihrer Konfiguration gegenüber ihrem Absolutgefälle, oder anders ausgedrückt, ihrer räumlichen Variation gegenüber ihrer zeitlichen, ihrer Land-Ausformung gegenüber ihrer Gang-Ausformung. Dieses Gesetz ist besonders wichtig, weil es die Richtigkeit unserer ökographischen Vorgangsweise unterstreicht.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Schneeniederschlagsmenge und Windverfrachtung bewirken alljährlich eine besondere winterliche Schneeverteilung im Relief. Es ist doch ohne Zweifel so, daß Schneeauftrag und Schneeverzehr im Ganzen gleich starke Wirkung haben, nämlich die, daß die einen beiden Faktoren den ganzen Aufbau, die anderen den ganzen Abbau besorgen, und daß beide dies jeden Winter etwas anders tun müssen als im nächsten und vorherigen. Wie kann es da kommen, daß sich die gleichen Schnee-Aper-Konfigurationen alljährlich in gleicher Gestalt wiederholen, da doch alle Faktoren, die einen in dieser, die anderen in jener Weise schwanken?

Nun, es muß eben so sein, daß die Unterschiede, die das Relief erzwingt, so groß sind, daß die Unterschiede im Auf- und Abbau dagegen nicht aufkommen können, und das Relief ist ja alljährlich das gleiche. Darum liegt räumliche Variation, also die Konfiguration des Isolinienfeldes, als eisernes Gesetz im Gelände eingeschrieben, wie immer die zeitliche Variation der ursächlichen Faktoren (Schneeniederschlagsmenge, Windfracht, Sonnenscheinmenge und Lufttemperatur) auf den Registrierstreifen des Meteorologen auf- und abschwanken mag. Die zeitlichen Variationen kommen nur dadurch zum Ausdruck, daß diese oder jene vorgeschriebene Isolinie nicht in jedem Jahr am selben Tage erreicht wird. Und ebendies dürfen wir nicht nur für die Schnee-Andauer, sondern auch für die anderen relieforientierten Faktoren mit einigen vorsichtigen Einschränkungen annehmen.

Aber damit haben wir das Unabhängigkeitsgesetz noch nicht begriffen. Es arbeiten ja immer zweierlei vektorielle Ursachen zugleich an der Verteilung eines Faktors ins Relief, der Wind und die Strahlung. Gewiß, deren Orientierung zum Relief bleibt ebenfalls konstant. Aber doch nicht das Mengenverhältnis der Bewindung zur Besonnung! Hier erlangt aber eben einer der beiden das Übergewicht, der Wind oder die Sonne, weil das Relief so übermächtig und radikal eingreift und entscheidet. In unserem Beispiel der Isochionen gibt es oberhalb der Waldgrenze dem Wind, unterhalb von ihr der Strahlung den eindeutigen Vorzug. Wir können darum vom Windgesetz der Faktoren Schneeandauer, Schneehöhe und Schneemasse sprechen, wenn wir das Freiland subalpiner Höhen meinen.

Für weitere relieforientierte Faktoren muß freilich vorläufig unsere vorsichtige Einschränkung lauten: Konfiguration zunächst nur als Begriff vieljähriger statistischer Raumeinordnung. Dies aber nur, weil das Wirkverhältnis Wind/Licht nicht von vorneherein auch für weitere relieforientierte Faktoren so einseitig angenommen werden darf wie für die Schneefaktoren. Diese vorläufige Einschränkung tut uns jedoch gar nicht weh. Denn gerade jene vieljährige Durchschnittskonfiguration ist es ja, welche uns von der Vegetation allein nachgezeichnet wird und unter Anhalt an sie erforscht werden muß. Als kleinklimatisches, nicht als meteorologisches Gelände-Gesetz liegt also die Konfiguration der wei-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

teren relieforientierten Faktoren für uns noch geheimnisvoll unsichtbar im subalpinen Gelände. Unsere Hauptaufgabe besteht darin, es auf Isolinienblättern in Erscheinung treten zu lassen.

Noch in eine Richtung können wir das Unabhängigkeitsgesetz präzise gebrauchen: Der zeitliche Gang der einen Faktoren ist mit dem anderen in verschiedenem Grade gesetzlich korreliert oder kontrakorreliert, was bekanntlich über meteorologische Kausalzusammenhänge sehr viel aussagt.

Diese zeitlichen Korrelationen besagen aber nichts über räumliche Korrelation im Relief. Im Gegenteil, zeitlich völlig unkorrelierte Faktoren können räumlich aufs engste zusammengehen und umgekehrt.

Aufgewiesene räumliche Korrelationen besagen aber ebenfalls viel über Kausalzusammenhänge im Relief. Darum können wir verschiedenes in dieser Hinsicht schon theoretisch voraussagen, Zusammenhänge, die für unseren Forschungsweg sehr wichtig und abkürzend sein werden.

Wie wir die Klimafaktoren für unsere Zwecke in vorwiegend niveauorientierte und vorwiegend relieforientierte Faktoren eingeteilt haben, so dürfen wir letztere im voraus auch schon untergliedern in vorwiegend windfigurierte und vorwiegend lichtfigurierte.

Ihre Konfiguration wird zwar nicht ausschließlich durch den Wind oder ausschließlich durch die Strahlung, aber doch sicherlich entweder vorwiegend von jenem oder vorwiegend von dieser ausgeprägt sein. Soweit sie, wie für die überwiegende Mehrzahl erwartet werden darf, mehr nach einer Seite schlagen, also nicht gerade mehr Mitteldinge sind, dürfen wir ihre Isolinien als räumlich enge miteinander korreliert annehmen. So haben wir dies beim Schnee für seine Dauer, Masse und Höhe erschlossen, weil alle drei streng windfiguriert sind.

Nun verstehen wir auch plötzlich die einfache, fast monumentale Gliederung der natürlichen Pflanzengesellschaften, wie wir sie etwa am Beispiel der Beerrinne umrissen haben. Die Vegetation ist nicht zu ärmlich für unsere Anforderungen, sondern unerwartet reich. Sie reagiert eben ganzheitlich und empfindlich gerade auf solche raumkorrelierten Faktorengruppen.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Literatur

AULITZKY H. 1958: "Waldbaulich-ökologische Fragen an der Waldgrenze" (Centralblatt f. d. ges. Forstwesen 1/1958).

GAMS H. 1956: "Exkursionsführer für die XI. Internationale pflanzengeographische Exkursion durch die Ostalpen" (Angew. Pfl. Soz. 16).

GAMS H. 1957: "Fortschritte der Vegetationskartierung in den Ostalpen" (Jahrbuch des Vereins zum Schutze der Alpenpflanzen und -tiere, München).

FRIEDEL H. 1936: "Boden- und Vegetationsentwicklung am Pasterzenufer" (Carinthia II, 123/124, Klagenfurt).

FRIEDEL H. 1952: "Gesetze der Niederschlagsverteilung" (Wetter und Leben, Jg. 4, H. 5-7).

FRIEDEL H. 1956: "Die alpine Vegetation des oberen Mölltales (Hohe Tauern), Erläuterung zur Vegetationskarte der Umgebung der Pasterze (Großglockner)" (Wissensch. Alpenvereinshefte 16, Innsbruck, Wagner).

NEUWINGER I. und CZELL A. 1959: "Standortuntersuchungen in subalpinen Aufforstungsgebieten. 1. Teil: Böden in den Tiroler Zentralalpen." (Forstw. Zentralblatt 78, H. 11/12).

STERN R. 1956: "Untersuchungen über die Eignung der Zirbe für die Hochlagenaufforstung" (Dissertation an der Hochschule für Bodenkultur, Wien).

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

10. Böden in den Tiroler Zentralalpen

von I. Neuwinger-Raschendorfer und A. Czell

Inhalt

		Seite
I.	Typisierung der Bodenformen	373
	A. Vorkommende Bodenformen und ihre Charakterisierung	373
	B. Untersuchungsmethoden.	378
	1. Im Gelände	378
	2. Im Labor	378
	C. Diskussion und Kritik der Methoden.	378
II.	Beziehung Boden-Relief-Vegetation	380
	A. Verteilung der Böden im Relief	380
	B. Gruppen von Bodenformen	383
	C. Finden und Abgrenzen der Böden mit Hilfe der Vegetation	384
	1. Mineralböden	387
	2. Rohhumusböden.	388
	3. Moderböden	393
III.	Ökologische Reihen	400
	A. Die Wärmereihe	400
	B. Die Windreihe	401
	C. Die Schneereihe	403
	D. Die Feuchtereihe.	403
	E. Die Nährstoffreihe	407
Zusammenfassung		407
Literatur.		409

Diese Arbeit ist ein vom Verlag Paul Parey/Hamburg genehmigter, gekürzter Abdruck aus dem Forstwissenschaftlichen Centralblatt 78. Jg. 1959 (11/12), 327 372.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Die Fragestellungen der bodenkundlichen Arbeiten gliedern sich in drei große Gruppen:

I. Fragen zur Typisierung und zur morphologischen und chemischen Charakteristik der vorgefundenen Bodenformen.
II. Fragen zu den Beziehungen Boden-Relief-Vegetation.
III. Fragen über die ökologischen Faktoren, die bestimmend für die Bildung der verschiedenen Bodenformen sind.

I. Typisierung der Bodenformen

A. Vorkommende Böden und ihre Charakterisierung

Welche Böden wurden in den Untersuchungsgebieten bisher gefunden und wie ist ihre Charakterisierung?

Im Stationsgelände Obergurgl konnten eine Anzahl von Bodenformen gefunden werden (siehe Bodenkarte Abb. 103), die als repräsentativ für die Waldkampfzone der inneren Alpentäler bezeichnet werden können (wie Stichprobenuntersuchungen in ähnlichen Lagen des Ötztales außerhalb des Stationsgebietes, ebenso im Pitztal, Zillertal, Paznauntal und auf dem Patscherkofel bei Innsbruck bestätigen):

Eisenpodsol,
Eisenhumus-Podsol, Großform,
Eisenhumus-Podsol, Kleinform,
Podsolige Braunerde, Großform,
Podsolige Braunerde, Kleinform,
Podsolranker, Protoranker und Braune Ranker auf anstehendem Gestein oder Moräne,
Podsolranker, Protoranker und Braune Ranker auf übermurten Bodenresten (auf Sockeln von subfossilen Podsolen),
Rasen-Eisenpodsol,
Rasen-Eisenhumuspodsol, Großform (Kleinform wurde nicht gefunden),
Podsolige Rasenbraunerde, Kleinform,
Rasenranker,
Podsolrestböden, kurz als Restböden bezeichnet.

Die Bezeichnung "Groß- und Kleinformen" wurde von Verf. gewählt. Die wichtigsten Formen wurden in den Tabellen 1 8 beschrieben.

Nun fragt es sich, ob die Kenntnis aller dieser Bodenformen für die Aufforstungspraxis von Bedeutung ist.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Wie auf S.384 ff ausgeführt wird, entsprechen der wider Erwarten beachtlichen Anzahl von Bodenformen Vegetationsformen, die in ihrer Physiognomie deutlich verschieden sind und deutlich auf ökologische Standortsunterschiede hinweisen. Bei den Bodenformen machen sich diese ökologischen Unterschiede in der Humusform und in der Gliederung der A- und B-Horizonte bemerkbar. Da sich die Profilbildung der Böden ebenso wie die Prägung der Vegetationsformen über Jahrhunderte erstreckt, ergibt die Gliederung der Bodenhorizonte mit der Physiognomie der Vegetationsformen ein retrospektives ökologisches Bild, das voraussichtlich auch für die Jugendzeit des künftigen Waldes Gültigkeit haben wird. Noch deutlicher wird dieses Bild, wenn man Zuwachskurven von Baumgruppen in der Waldkampfzone einbezieht (siehe OSWALD, Abschn. I F 1).

Von diesen Gesichtspunkten aus betrachtet, ist die Kenntnis aller Bodenformen für die Aufforstungsmethodik notwendig.

Zur Erfassung dieser Formen wurden an repräsentativen Standorten Profile ausgehoben und morphologische, chemische und physikalische Analysen der Einzelhorizonte gemacht, deren Ergebnisse in den Tabellen 1 bis 8 dargestellt sind. Außer den Böden des Hauptuntersuchungsgebietes in Obergurgl (1850 bis 2300 m) wurden weitere Böden aus folgenden Gebieten für die Analysen herangezogen: Neubergalm bei St. Leonhard im Pitztal, 1900 bis 2200 m, Loassattel und Geolsalm im Einzugsgebiet des Finsingbaches im Zillertal 1700 bis 1900 m und Patscherkofel-Kuppe zwischen 1900 und 2000 m.

Es wurde in sechsfacher Wiederholung gearbeitet und nur die Extremwerte in die Tabellen eingesetzt, um den Schwankungsbereich im gesamten Untersuchungsgebiet zu kennzeichnen.

In den Untersuchungsgebieten in Obergurgl und am Patscherkofel wurde unter den Humushorizonten Holzkohle gefunden, und zwar oberhalb des B-Horizontes, entweder dem B_s oder B_h oder A_E aufgelagert, oder in den A_E eingebettet (s. S. 42 f. und Tab. 1 8). Der Vermerk "Kohle" in den Tabellen gilt demnach nur für Obergurgl und Patscherkofel. Es ist aber zu erwarten, daß Kohle noch an vielen anderen Orten zu finden sein wird.

Vergleichende morphologische Untersuchungen am Profil und Ermittlung physikalischer und chemischer Richtwerte zur Sicherstellung der Geländeuntersuchungen

Die Ergebnisse der morphologischen Untersuchungen am Profil und die physikalischen und chemischen Richtwerte zur Sicherstellung dieser Geländeuntersuchungen lassen sich aus den Tabellen 1 bis 8 entnehmen. Als besonders wichtig sind die Humusformen hervorzuheben:

Die Gruppe der Podsoligen Braunerde zeigt durchwegs stark zersetzten, mineralreichen, krümelnden Humus: mullartigen Moder im A_H-Horizont, während die Gruppe des Eisenhumus-Podsols im A_H-Horizont einen Humus von sehr charakteristischer Konsistenz zeigt: sehr fein aufbereiteten Moder, der

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

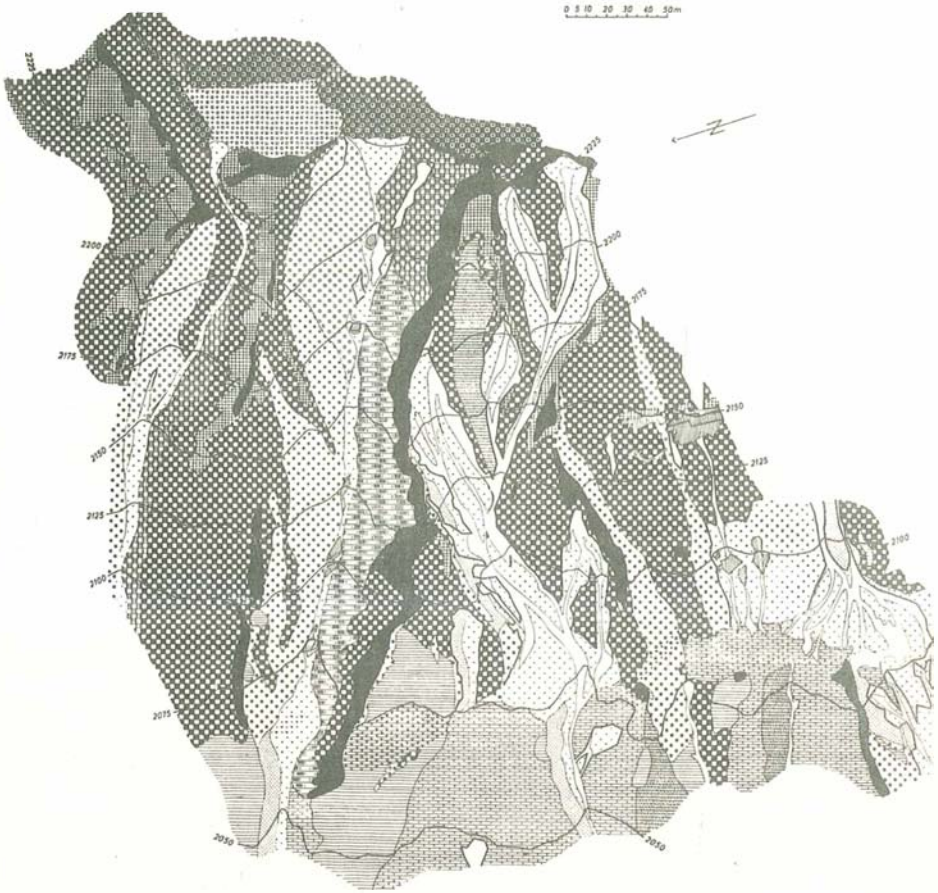


Abb. 103: Bodenkarte des Stationsgeländes Obergurgl

1 Eisenpodsol
2 Eisenhumus-Podsol, Großform
3 Podsolige Braunerde, Großform
4 Podsolige Braunerde, Kleinform
5 Podsolrestboden
6 Eisenhumus-Podsol, Kleinform
7 Protoranker auf Fels und Moräne
8 Protoranker auf Mure
9 Podsolranker auf Fels und Moräne
10 Podsolranker auf Mure
11 Brauner Ranker auf Fels und Moräne
12 Brauner Ranker auf Mure
13 Blaikenrohboden
14 Rasen-Eisenpodsol
15 Rasen-Eisenhumuspodsol
16 Podsolige Rasenbraunerde, Großform
17 Rasenranker
18 Podsolige Rasenbraunerde, Kleinform

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
mineralärmer ist als der Humus im A_H der Podsoligen Braunerde und sich deshalb im frischen Zustand nicht krümelt, sondern schmierig zerreiben läßt; er wurde im folgenden als Rohmoder bezeichnet.

Weiters sind die morphologischen Unterschiede zwischen den Groß- und Kleinformen des Eisenhumus-Podsols und der Podsoligen Braunerde hervorzuheben. Während die Kleinform des Eisenhumus-Podsols von seiner Großform durch das Zurücktreten des A_F- und des A_E-Horizontes sehr deutlich und qualitativ unterschieden ist, besteht zwischen der Groß- und Kleinform der Podsoligen Braunerde infolge der Unterschiede in der Mächtigkeit der A-Horizonte ein mehr quantitativer Unterschied. Dennoch wurde die Kleinform der Podsoligen Braunerde gesondert beschrieben, weil sie bei einer sehr deutlichen Vegetationsgrenze auftritt und daher ökographisch wertvoll ist.

Die physikalische Untersuchung ergab, daß die Mineralhorizonte fast durchwegs aus schwach lehmigen Grobsanden bestehen; stark lehmige oder tonige Böden sind in den Untersuchungsgebieten selten und wurden nicht in die Beschreibung aufgenommen.

Beim Vergleich der Porenvolumina fällt auf, daß die Rasenformen durchaus keinen verdichteten A-Horizont besitzen. Die starke Verfilzung durch die Wurzeln kann allerdings den Eindruck einer Verdichtung hervorrufen.

Der Kohlenstoffgehalt der Horizonte ist bei der Gruppe des Eisenhumus-Podsols am größten, wobei die Großform die Spitze hält. Nur bei den Eisenhumus-Podsolen tritt auch im B_1-Horizont, dem B_h-Horizont, wieder eine stärkere Kohlenstoffanreicherung auf, die sehr charakteristisch ist und die Horizontfarbe bestimmt (LAATSCH W. 1957); es treten dunkle Sepiatöne auf, die zuweilen einen Violettstich aufweisen können.

Relationen der Nährstoffwerte im Einzelprofil und zwischen den vergleichbaren Horizontabschnitten der einzelnen Formen

Die Darstellung des Nährstoffangebotes in den Horizonten der einzelnen Bodenformen ist der rechten Seite der Tabellen 1 bis 8 zu entnehmen; von den ausgeführten Untersuchungen wurden hier nur die Gesamtstickstoff-, Phosphor- und Kaliwerte aufgenommen.

Die Darstellung zeigt, daß jeweils Anreicherungshorizonte mit verarmten Horizonten abwechseln. Das reichste Nährstoffangebot findet sich in den Horizonten A_F und A_H. Die bildliche Darstellung macht den Eindruck von aneinandergereihten Reservoirs und Schleusen, wobei der A_F-Horizont das Hauptreservoir darstellt. Im A_H-Horizont erfolgt die Aufbereitung, worauf die Lösungen durch den A_E in den B_S bzw. B_h geschleust werden, die wiederum je ein kleines Reservoir darstellen (siehe Abb. 104 und 105).

Die beiden Anreicherungshorizonte A_F und A_H sind auch die

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
Hauptwurzelhorizonte, wobei die Masse der Nährwurzeln fast ausschließlich den A_H durchflicht. Im unteren Teil des A-Horizontes, der als A_E ausgebildet ist, sind nur mehr wenige Wurzeln anzutreffen.

Im subalpinen Wald- und Zwergstrauchgürtel bevorzugt besonders die Zirbe den A_H als Wurzelraum, wie man an der Wurzelentwicklung von jungen und alten Bäumen beobachten kann. Die Keimlinge schicken ihre Wurzeln oft bis zu 20 cm durch den A_F in den A_H, wo sie einen deutlichen Knick machen und dann in diesem Horizont verstreichen. Bei älteren Zirben sieht man an den freigelegten Wurzeln ebenfalls, daß die Nährwurzeln fast durchwegs dem A_H angehören. Bei unreifen, mineralischen Böden wird bei Bedarf auch der C-Horizont als Wurzelhorizont herangezogen.

Bei Betrachtung der Einzelwerte in den Tabellen fällt auf, daß die Phosphorsäurewerte im A_F und im A_H relativ hoch sind. Man kann daraus schließen, daß für die Zirbe ein phosphorbetontes Nahrungsmilieu optimal sein dürfte.

Weiters ist in den Tabellen zu entnehmen, daß die Phosphorsäurewerte eine geringere Streuung aufweisen als die Kaliwerte, deren Höhe von den geologischen Gegebenheiten abhängt. Immer aber ist in den A_F- und A_H-Horizonten eine Anreicherung feststellbar, im A_E-Horizont eine Verarmung und eine neuerliche, aber geringere Anreicherung in den B_s- bzw. B_h-Horizonten.

Da Größe des Nährstoffangebotes und Mächtigkeit der A-Horizonte parallel gehen, hat die Großform des Eisenhumus-Podsols das größte Nährstoffangebot aufzuweisen; ihr folgt die Großform der Podsoligen Braunerde, dann die Kleinform des Eisenhumuspodsols und die der Podsoligen Braunerde und die Ranker: Podsolranker und Braune Ranker. Protoranker, Blaikenböden und Restböden haben das geringste Nährstoffangebot. Diese Reihung ist jedoch keineswegs einer Bewertung der Böden gleichzusetzen, da die Bedürfnisse der einzelnen Holzarten sehr verschieden sind und außer dem Nährstoffangebot der pH-Wert, die Humusform und das Bodenleben in ihrer Gesamtwirkung eine spezifische Rolle für die Ernährung der Jungpflanze spielen.

Für die Zirbe dürfte im waldlosen Gürtel die Großform des Eisenhumus-Podsols den Optimalboden darstellen, für die Fichte wahrscheinlich die Großform der Podsoligen Braunerde.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

B. Untersuchungsmethoden

1. Im Gelände

Nach zahlreichen Bohrstichproben Öffnen von Profilgruben an typischen Stellen. Farbige Reproduktion der Profilwände durch Photo. Horizontweise Entnahme von Mischproben für die Laboruntersuchung in Quadern bestimmten Ausmaßes. Entnahme von Zylinderproben in natürlicher Lagerung zur Bestimmung des Poren- und Luftvolumens, der Wasserkapazität sowie des Bodenvolumens in natürlicher Lagerung. Bestimmung der Humusform makroskopisch und mikroskopisch mittels des Geländemikroskops der Firma Reichert, Vergrößerung 40- bis 80-fach. Bestimmen und Festhalten aller makroskopisch erkennbaren Horizont- und Vegetationsmerkmale (Näheres Tab. 1 8).

2. Im Labor

Im Berglabor pH-Untersuchung in n/KCl an naturfeuchten Proben. Transport der im Berglabor vorgetrockneten Böden in gewaschenen und gebügelten Baumwollsäcken; Plastikmaterial wurde vermieden. Nach Lufttrocknung der Böden Aussiebung auf 2 mm für die Nährstoffuntersuchung. Zum Vergleich pH-Untersuchungen in n/KCl an lufttrockenen Proben. Ofentrocknung und Aussiebung auf 0.2 mm nach Durchmischung (Quadratmethode) für die Untersuchungen im Mikroverbrennungsofen auf den C- und N-Gehalt. Untersuchungen auf den Gehalt an P_2O_5, K, NO_3, NH_4, Mg, Mn, Fe und Ca im Natriumazetat-Essigsäurepuffer-Auszug vom pH 3.8 nach MORGAN-BARBIER, M. F. MORGAN 1941, H. A. LUNT, C. W. SWANSON, H. G. M. JACOBSON 1950 (ausgearbeitet von G. C. REDLICH für S. A. S. Laboratoire Agronomique, Gargenville, S. et O. France), mit der Abänderung, daß an Stelle der Ausschüttelung während der Dauer von 2 Stunden eine Durchmixung von 3 Minuten vorgenommen wurde. Zur Kontrolle der Phosphorsäureuntersuchungen wurde die Vanadatmethode von B. KURMIES 1955 herangezogen. Vor dem Mixen wurde allen Proben ein entsprechender Prozentsatz Carbo activatus siccus p.a. zugesetzt. Für sämtliche Analysen wurden Chemikalien pro analysi von Merck oder Riedel de Haen verwendet.

C. Diskussion und Kritik der Methoden

Volums- oder Gewichtseinheit als Berechnungsgrundlage: Die horizontale Entnahme von Bodenquadern hat den Zweck, 1) über den Volumsanteil der Kornfraktionen bei den Mineralböden Aufschluß zu geben und 2) neben der Gewichtseinheit auch die Volumseinheit als Rechnungsgrundlage benützen zu können. Die großen Unterschiede zwischen den spezifischen Gewichten der A-, B- und C-Horizontabschnitte hatten rein empirisch dazu geführt, die Menge der Extraktionsflüssigkeit abweichend von den methodischen Vorschriften je nach Bodenart zu variieren. Es folgte die Überlegung, daß entsprechend dem natürlichen Lebensraum der Pflanzenwurzel die Berechnung des Nährstoffangebotes vom Volumen und nicht vom Gewicht ausgehen müßte. Demnach wurde als richtig angenommen, daß eine bestimmte Volumseinheit Boden immer mit der gleichen Flüssigkeitsmenge zu extrahieren und die Rechnungsgrundlage für die Einwaage das Volumen von einem Liter natürlich gelagerten Bodens sei. Ehe diese Erkenntnis experimentell genügend belegt werden konnte, mußte auf Basis der Gewichtseinheit gearbeitet werden, um Vergleiche mit der vorhandenen Literatur ziehen zu können; die Zahlen der vorliegenden Arbeit sind daher Gewichts-ppm, während in den folgenden Arbeiten auf Basis der Volumseinheit Volums-ppm vorgesehen sind.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

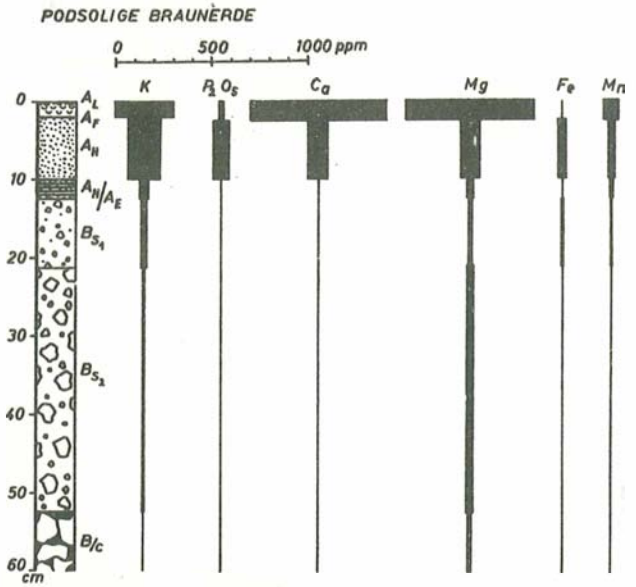


Abb. 104

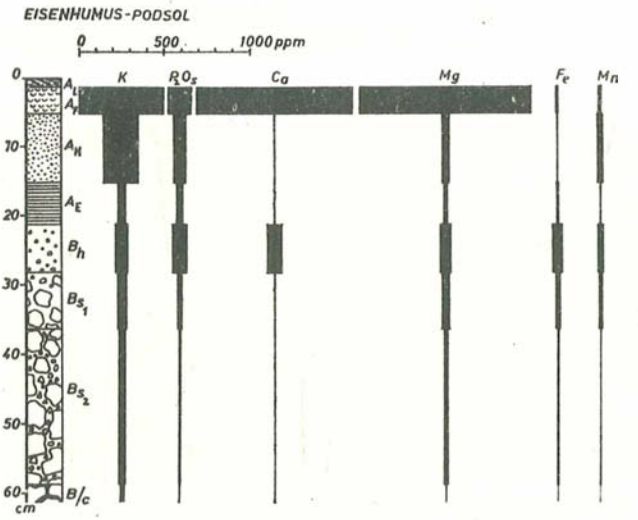


Abb. 105

Nährstoffangebot in den Horizonten einer Podsoligen Braunerde und eines Eisenhumus-Podsols

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Extraktionsmittel

Die Extraktion im Natriumazetat-Essigsäurepuffer erfaßt nach W. LAATSCH (mündlich), gemessen an dem Extraktionsvermögen der Forstpflanzenwurzel, nicht das gesamte Nährstoffangebot; das Extraktionsmittel erscheint demnach als zu schwach. Schon mit diesem schwachen Extraktionsmittel wurden in den Humushorizonten im Vergleich zu den Mineralhorizonten, den Pflanzgärten und Ackerböden unerwartet hohe Nährstoffwerte gefunden, und es kann ein stärkeres Extraktionsmittel die eben erwähnten Unterschiede nur noch verstärken. Schon mit dem schwachen Extraktionsmittel ergeben die Analysen ein deutliches Abheben der Humushorizonte als Nährstoffspeicher gegenüber den anderen Horizonten.

Schwankungsbereich des Nährstoffspiegels

Die Ergebnisse können insoferne als gesichert und nicht als Zufallswerte angesehen werden, als die in Jahrhunderten entstandenen Böden nie bearbeitet wurden und auch der Einfluß durch die Beweidung sehr gering ist. (Die stark beweideten Flächen sind als Rasenböden gesondert zu beurteilen). Eine jahreszeitliche Veränderung des Nährstoffspiegels, mit welchem man bei anderweitig genutzten Böden rechnen muß, fällt hier nicht ins Gewicht.

Kohlezusatz

Zu dem Kohlezusatz ist zu sagen, daß er notwendig war, da die Eigenfarbe der Humusböden bei photometrischen Untersuchungen störte. Die dadurch entstandenen Fehler konnten wegen ihrer Geringfügigkeit vernachlässigt werden.

Mixen anstatt Schütteln

Die allgemein gebräuchliche Extraktion durch mehrstündiges Ausschütteln wurde durch drei Minuten langes Mixen mit dem Ultraturrax (20.000 U/min) ersetzt; hierbei wurde nicht nur sehr viel Zeit erspart, es konnten auch bei Böden mit hohem Gehalt an organischer Substanz reproduzierbare Werte erzielt werden, wenn diese nicht mehr naturfeucht, sondern lufttrokken waren. Wegen ihres hohen Benetzungswiderstandes würden sie untragbar hohe Schüttelzeiten beanspruchen.

S-Wert-Bestimmung

Da sich der Wurzelraum vorwiegend aus sauren Humushorizonten zusammensetzt, konnten die S-Werte als Charakteristikum für das Basenangebot nicht bestimmt werden, weil infolge des hohen Anteils an organischen Säuren die Formel S T H nicht auswertbar ist.

II. Beziehung Boden-Relief-Vegetation

A. Wie sind die Böden im Relief verteilt?

Bei G. SCHRECKENTHAL-SCHMITSCHEK 1934 wird hervorgehoben, daß die Waldkrone von entscheidendem Einfluß auf die Bodenbildung ist und oberhalb der Waldgrenze dem Relief und der Ex-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
position bestimmende Wirkung zukommt. Dies konnte auch im Stationsgebiet Obergurgl und in den anderen Untersuchungsgebieten nachgewiesen werden. Oberhalb der Waldgrenze, wo die klimaausgleichende Wirkung der Baumkronen und die spezifisch biologische Wirkung der Nadelstreu fehlt, rückt der Einfluß des Reliefs so in den Vordergrund, daß bestimmte Gesetzmäßigkeiten erkennbar werden:

Auf den Nordwest-, Nord- und Nordosthängen der Täler hat sich großflächig der Formenkreis des Eisenhumus-Podsols ausgebildet und auf den Südost-, Süd- und Südwesthängen der Formenkreis der Podsoligen Braunerde. Bei differenzierter Reliefgliederung der Hänge wird die großflächige Ausbildung nur einer Form von einer Formenvielfalt abgelöst, und zwar so, daß man die Verhältnisse des Großreliefs auf das Kleinrelief projizieren kann: Die Böden der Hänge, Rippen und Mulden im Großrelief entsprechen den in gleicher Exposition liegenden Böden der Hänge, Rippen und Mulden im Kleinrelief. - Das Stationsgebiet im Gurgler Tal stellt ein Musterbeispiel für diese Beobachtungen dar, denn es sind hier gemäß der außerordentlich reichen Gliederung des Reliefs auf kleinstem Raum Subtypen und Varietäten der Podsolklasse in außerordentlicher Reichhaltigkeit vertreten.

Auf den Nordwest-, Nord- und Nordostflanken des Großhangs, der West-Nordwest exponiert ist, findet sich der Formenkreis des Eisenhumus-Podsols, also Großform und Kleinform sowie Podsolranker; auf den Süd- und Südwestflanken des Großhangs trifft man auf den Formenkreis der Podsoligen Braunerde, also auf Großform, Kleinform und Braunen Ranker (Beispiel siehe Abb. 106). Eisenpodsol tritt im angrenzenden Zirben-Lärchenwald und oberhalb der Waldgrenze in der Kronentraufe von Zirbenhorsten und großen Einzelzirben völlig unabhängig von der Exposition auf; an schütteren Wald- und Horststellen lassen sich manchmal Übergangsformen oder Tendenzen zur Bildung von Eisenhumus-Podsol oder Podsoliger Braunerde feststellen. - Auf den Weideflächen finden sich Rasenabarten fast aller genannten Böden, und zwar im Stationsgebiet nur auf Verebnungen, anderwärts aber auch auf Hängen, wenn diese als Weideflächen oder Mähder genutzt werden, so z. B. großflächig auf den Sonnenhängen des inneren Paznauntals. Je nach Exposition und Höhenlage trifft man auf Weiden und Mähdern die Rasenabarten des zugehörigen Formenkreises: auf den Sonnenhängen Rasenformen der Podsoligen Braunerde-Gruppe und auf den Schattenhängen Rasenformen der Eisenhumus-Podsol-Gruppe. In Waldnähe findet sich sehr häufig Rasen-Eisenpodsol.
Auf ausgesprochen windexponierten Standorten, also auf Rippen und Kuppen, herrschen Podsolrestböden (Erosionsformen) vor. Auf den Murenkegeln und in den Sohlen der Lawinenrinnen und Blaikenmulden findet man Protoranker, auf den Südhängen dieser Rinnen und Mulden Braune Ranker und auf den Nordhängen Podsolranker. Wo

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

der nordexponierte Hang der Blaiken durch den Wind ausgeblasen ist, schließen die Protoranker direkt an den freiliegenden Profilanschnitt der reifen Böden an, also z.B. an Eisenhumus-Podsol oder seine Kleinform.

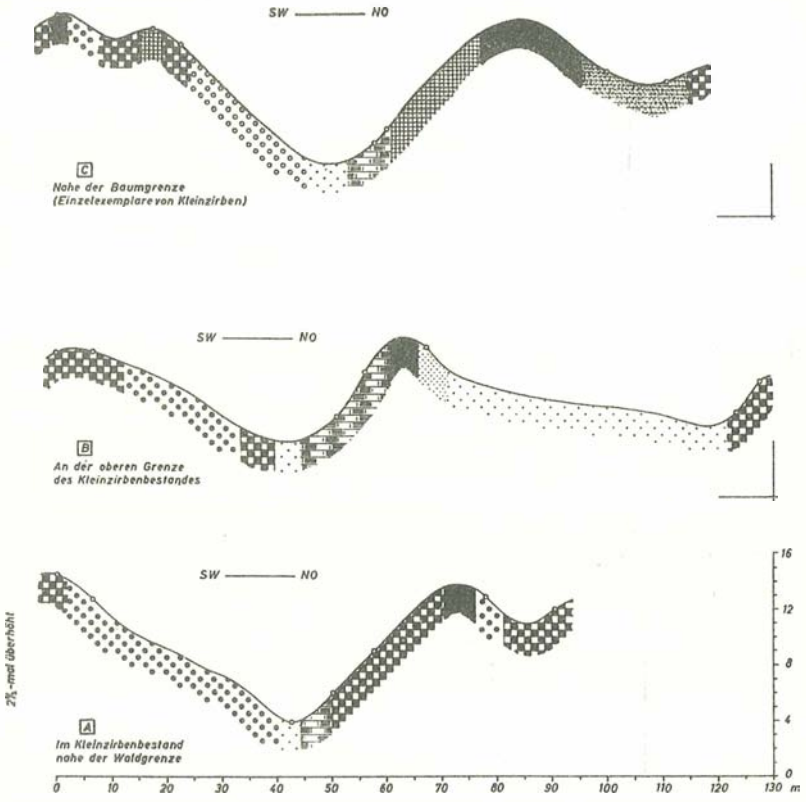


Abb. 106: Verteilung der Böden im Relief in verschiedenen Vegetationsstufen. Signaturen für die Böden siehe Abb. 103

Auf Grund verschiedener Beobachtungen und Untersuchungen (I. NEUWINGER und A. CZELL 1959) kann man schließen, daß die Böden des derzeitigen Zwergstrauchgürtels in den Zentralalpen ehemalige Waldböden sind, die dank ihrer beachtlichen Tiefgründigkeit und ihrer chemisch-physikalischen und biologischen Eigenschaften vom bodenkundlichen Standpunkt aus zur Aufforstung eines Schutzwaldgürtels gut geeignet sind.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

B. Welche große Gruppen von Böden lassen sich innerhalb der Vielfalt von gefundenen Formen unterscheiden?

Die gefundenen Bodenformen lassen sich in drei große Gruppen oder Formenkreise einordnen, wenn man als Einteilungsprinzip die Humusformen und den Mineralanteil in den Hauptwurzelhorizonten wählt. Gestützt auf die Ergebnisse informativer physikalischer Analysen, wie Ermittlung von Porenvolumen, Wasserkapazität und Mineralanteil und vor allem durch makroskopisch-morphologische Unterscheidung, sind die drei Bodengruppen eindeutig zu erkennen und zu definieren.

Schwierig ist jedoch die Benennung, da in der Humusnomenklatur bisher keine Einigung erzielt werden konnte, wie dies F. HARTMANN 1952 nach einer historischen Übersicht beklagt. Es ist offensichtlich, daß die drei großen Formenkreise das Resultat aller ökologischen Faktoren sind, da jedem Kreis ein bestimmter Platz im Relief zukommt. Verf. konnten sich jedoch nicht entschließen, die Benennung dieser Bodenformen im subalpinen Zwergstrauchgürtel nach den biologischen Prinzipien F. HARTMANNS vorzunehmen, ehe die Humusformen in biologischer und chemischer Hinsicht genügend untersucht wurden. Die Arbeiten von E. JAHN (Abschnitt I E 12) und W. GAMS 1959 geben wertvolle Hinweise für die Definition, die in einer künftigen Arbeit noch mit Hilfe von Bodenschliffen und durch weitere biologische und chemische Analysen ergänzt werden sollen. Vorläufig wurden daher möglichst unverbindliche Bezeichnungen für die drei großen Formenkreise und die Humusformen der Einzelhorizonte in den Profilen (siehe Tabelle 1 bis 8) gewählt.

Die drei Formenkreise sind:

1. Mineralböden mit wenig differenziertem Profil und sehr geringem Humusanteil im Hauptwurzelraum. Hierzu gehören Abtragsformen, wie Blaikenböden und Restböden, und unreife Bodenbildungen, wie Protoranker auf Blaiken und übermurten subfossilen Böden wie Rasenranker. Die Mineralböden nehmen ihren Platz auf den jungen Schurf- und Aufschüttungsstellen im Relief ein.
2. Rohhumusböden mit mäßigem Mineralanteil und hohem Humusanteil im Hauptwurzelraum. Die Humusformen sind Trockentorf und grober Rohmoder im A_F- und feiner schmieriger Rohmoder im A_H-Horizont, Humusperkolate in den Mineralhorizonten. Hierher gehören Eisenpodsol, Eisenhumus-Podsol mit Groß- und Kleinform sowie Podsolranker auf anstehendem Gestein und übermurten subfossilen Böden. Ihren Platz im Relief nehmen die Rohhumusböden auf den Schattenhängen ein.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Der Ausdruck Rohmoder wurde von Verf. nach informativen chemisch-physikalischen Analysen (siehe Tabelle 1 8) sowie biologischen Merkmalen und Hinweisen (E. JAHN, W. GAMS) gewählt und soll in vorbereiteter Arbeit genauer definiert werden.

3. Moderböden mit hohem Mineralanteil und mittlerem Humusanteil im Hauptwurzelraum. Die Humusformen sind Grobmoder im A_F- und mullartiger Moder im A_H-Horizont sowie Humusperkolate in den Mineralhorizonten. Hierzu gehören Podsolige Braunerde mit Groß- und Kleinform, Braune Ranker auf anstehendem Gestein und auf übermurten subfossilen Böden sowie die Rasenformen: Rasen-Eisenpodsol, Rasen Eisenhumuspodsol, Podsolige Rasenbraunerde mit Groß- und Kleinform. Die Rasenranker wurden sinngemäß zu den Mineralböden gestellt.

Ihren Platz im Relief nehmen die Moderböden auf den Sonnenhängen ein.

Die Bezeichnung Rohhumusböden wurde gewählt, weil die Bodenformen dem Rohhumustyp im Sinne von ERDMANN angehören, und ferner eine Humusauflage besitzen, die im Sinne von W. LAATSCH und W. KUBIENA als Rohhumus bezeichnet werden kann. Die Benennung dürfte eindeutig die Zugehörigkeit der Böden kennzeichnen. Die Bezeichnung Moder ohne weiteren Zusatz wird hier und bei den meisten Autoren für die Humusformen gewählt, die zwischen dem roh aufbereiteten, mineralischen Rohhumus bzw. Trockentorf und dem stark aufbereiteten Mull stehen.

Für die Aufforstungspraxis ist die Beobachtung wichtig, daß jede der drei Hauptholzarten im Waldkampfgürtel der Zentralalpen, Zirbe, Fichte und Lärche, auf einer der drei Bodengruppen dominierend werden kann, sei es in Einzelvorkommen oder in Horsten, und sich dort auch natürlich verjüngt (siehe Seite 396).

C. Wie kann man die Böden im Gelände mit Hilfe der Pflanzendecke ansprechen und abgrenzen?

Während der Kartierungsarbeiten wurde überlegt, welche Möglichkeiten die Pflanzendecke bietet, um in einfachster Weise die verschiedenen Bodenformen aufzufinden und abzugrenzen. Unter mehreren Gesichtspunkten erwiesen sich schließlich drei zur systematischen Charakterisierung der drei großen Bodenformenkreise und ihrer Untergruppen als ausreichend:

Physiognomische Merkmale,
Klima-Indikatoren,
Boden-Indikatoren.

Die noch aus etwa 100 Meter Entfernung habituell erkennbaren physiognomischen Merkmale: Siedlungsform, offene oder geschlossene Gesellschaften, Wuchsform der Gesellschaftsglieder, wie Polster-, Rasen- oder Spalierwuchs u. a., dienten uns zur Unterscheidung der drei großen Bodenformenkreise. In der Pflanzen-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
soziologie werden diese Merkmale wohl berücksichtigt, aber nicht zur Unterscheidung der Gesellschaften herangezogen und fanden daher in die übliche Nomenklatur noch nicht Eingang.

Während der Kartierung erwies sich, daß die physiognomischen Merkmale zur Bestimmung und Begrenzung der Bodenformen mehr aussagen als die floristische Zusammensetzung. So treten z. B. Empetrum nigrum, Vaccinium uliginosum und Loiseleuria procumbens sowohl bei der Kleinform der podsoligen Braunerde als auch bei der Kleinform des Eisenhumus-Podsols auf. Bei der Braunerdeform erscheinen die Arten als Einzelindividuen in großen, lockeren Polstern mit vegetationslosen Zwischenräumen, die H. FRIEDEL als Barflecken bezeichnet.

Barflecken sind etwa tellergroße, durch Überhitzung entstandene vegetationslose Stellen, nicht zu verwechseln mit Erosionsstellen, da der Boden unverwundet und das Wurzelgeflecht der benachbarten Pflanzen erhalten ist.

Bei der Kleinform des Eisenhumus-Podsols aber bilden alle Glieder der Pflanzengesellschaften, Stämmchen an Stämmchen stehend, einen dichten Teppich, der von Flechten locker überwachsen wird, Einzelindividuen treten nicht in Erscheinung.

Dieses Beispiel ließe sich noch durch weitere ergänzen; immer zeigt sich, daß die floristische Zusammensetzung zweier oder mehrerer Gesellschaften annähernd gleich sein kann, die Siedlungs- und Wuchsform der Gesellschaftsglieder jedoch auf differenzierte ökologische Bedingungen hinweisen, die auch in den Bodenformen zum Ausdruck kommen.

Je nach Weite ihrer ökologischen Amplitude werden Klima-Indikatoren 1. bis 3. Ordnung unterschieden. Die Arten mit weiterer ökologischer Amplitude werden als Indikatoren 1. Ordnung bezeichnet und charakterisieren die Grundformen der Leitgesellschaften, die Arten mit engerer ökologischer Amplitude dienen als Indikatoren 2. und 3. Ordnung zur Kennzeichnung der Untergruppen. Dies entspricht etwa dem Gebrauch der Dominanten und Konstanten in der Pflanzensoziologie, doch erwiesen sich die bereits beschriebenen Vegetationseinheiten aus dem subalpinen Bereich leider für den vorliegenden Zweck als zu weit gefaßt (J. BRAUN-BLANQUET und H. JENNY 1926, J. BRAUN-BLANQUET und E. RÜBEL 1932-34, H. PALLMANN und P. HAFFTER 1933, J. BRAUN-BLANQUET, G. SISSINGH und J. VLIEGER 1939, J. BRAUN-BLANQUET 1949).

Als Beispiel für den Gebrauch der Klima-Indikatoren sei hier die Leitgesellschaft des Eisenhumus-Podsols, Großform, angeführt. Das Erscheinungsbild der Pflanzengesellschaft wird von drei Arten bestimmt, die je nach den örtlichen Verhältnissen einen verschiedenen Deckungsgrad aufweisen können: Vaccinium Myrtillus, begleitet von V. uliginosum und V. vitis idaea; Rhododendron ferrugineum; Hylocomium splendens, begleitet von Pleurozium Schreberi und den Flechten Cladonia silvatica, Cl. rangiferina und Cetraria islandica.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Von diesen Arten besitzen die Vaccinien die weiteste klimatische Amplitude, sie sind in nahezu allen Leitgesellschaften der gefundenen Bodenformen anzutreffen, vom Zirbenwald bis in die Spalierheiden und damit bis zur obersten Grenze der Aufforstungsmöglichkeit in unseren Gebieten; die Gattung Vaccinium ist daher als Klima-Indikator erster Ordnung zu werten. Die Vaccinium-Einheit wurde als Grundform der Pflanzenleitgesellschaften nach einem mündlichen Vorschlag von H. FRIEDEL als Vaccinietum s.l. bezeichnet, was etwa dem Vaccinion-Verband im Sinne von BRAUN-BLANQUET entspricht. Bei Hervortreten einer Art, z.B. Vaccinium vitis idaea oder V. uliginosum, wird diese Variante gesondert bezeichnet: Vaccinietum vitis idaeae, V. uliginosi.

Das Rhododendron ferrugineum hat eine kleinere ökologische Amplitude als die Vaccinien; sein Vorkommen richtet sich nach Schneehöhe und Schneebedeckungsdauer und ist im Waldkampfgürtel unseres Gebietes höhenmäßig begrenzt. Da es das Vaccinietum s.l. näher kennzeichnet, wurde es als Klima-Indikator 2. Ordnung in der Bezeichnung für die Leitgesellschaft attributiv verwendet. Nach einem Vorschlag von H. FRIEDEL, mündlich, wird die Einheit mit dem Namen Rhododendro-Vaccinietum belegt. Die Endung "-eto" wurde vermieden, um eine Verwechslung mit den BRAUN-BLANQUET'schen Begriffen auszuschließen.

Die engste klimatische Amplitude in diesem Zusammenhang hat das Hylocomium splendens. Es gibt eine noch exaktere klimatische Charakterisierung als das Rhododendron, da es auf die Schattlage der Gesellschaft hinweist und wird daher als Klima-Indikator 3. Ordnung in die Bezeichnung für die Leitgesellschaft einbezogen: hylocomiumreiches Rhododendro-Vaccinietum. Seine Gegenspieler sind das juniperusreiche und das callunareiche Rhododendro-Vaccinietum, da Juniperus nana und Calluna vulgaris auf stärkere Besonnung hinweisen.

Boden-Indikatoren wurden bisher nur für Mineralböden festgestellt. Sind sie nicht vorhanden, dann kann die Bodenform nach den physiognomischen Merkmalen und den Klima-Indikatoren bestimmt werden. Sind sie vorhanden, dann wird die Leitgesellschaft durch die Beifügung "Pionier" oder "reduziert" näher charakterisiert. Die wichtigsten dieser Mineralboden-Anzeiger innerhalb der subalpinen Stufe sind: Arctostaphylos uva ursi, Lotus corniculatus, Trifolium pallescens und Rhacomitrium canescens.

Z.B. Da das Rhododendro-Vaccinietum innerhalb bestimmter Schneehöhengrenzen bezüglich des Bodens eine weite Amplitude besitzt, kann es nicht nur auf reifen, sondern auch auf unreifen Böden vorkommen. Die unreifen Böden, die einen hohen Mineralanteil im Wurzelhorizont aufweisen, werden jedoch durch mindestens eine der oben genannten Mineralboden-Indikatoren angezeigt.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Nach dieser allgemeinen Übersicht folgt eine Kennzeichnung der Bodenformen durch die Pflanzengesellschaften im einzelnen.

1. Mineralböden

Allgemeine Kennzeichen: offene Gesellschaften, die sich im Pionier- oder Regressions-Stadium befinden. Geschlossene Gesellschaften sind durch mindestens einen der Mineralboden-Indikatoren gekennzeichnet.

Blaikenrohböden:

Kennzeichen: keine, oder nur äußerst spärliche Besiedlung durch Anflug.

Protoranker auf Blaiken (Grüne Blaiken, H. FRIEDEL 1934/35/38a und b, 1956).

Kennzeichen: offene Pioniergesellschaft von Rhododendron ferrugineum, Vaccinium vitis idaea mit wenig Vaccinium Myrtillus und Vaccinium uliginosum als Begleitern, dazu Empetrum nigrum, Arctostaphylos uva ursi, Lotus corniculatus, Trifolium pallescens, Linaria alpina, Festuca div. sp., Agrostis rupestris, A. alpina, Luzula lutea, Rhacomitrium canescens und vereinzelt Keimlinge von Zirben und Lärchen.

Pflanzenleitgesellschaft: offenes Pionier-Rhododendro-Vaccinietum vitis idaeae.

Protoranker auf übermurten Böden:

Kennzeichen: seltener offene Pioniergesellschaft wie bei Protorankern auf Blaiken, häufiger locker geschlossene juniperusreiche oder juniperus- und callunareiche Zwergstrauchheide mit Rhododendron ferrugineum, Vaccinium vitis idaea mit wenig V. Myrtillus und V. uliginosum als Begleitern, welche durch das Vorkommen von Mineralboden-Anzeigern als Mineralboden-Leitgesellschaft gekennzeichnet wird.

Pflanzenleitgesellschaft: locker geschlossenes, juniperusreiches oder juniperus- und callunareiches Pionier-Rhododendro-Vaccinietum vitis idaeae.

Restböden:

Kennzeichen: offene Regressionsgesellschaften von Vaccinium vitis idaea (V. Myrtillus und V. uliginosum nur spärlich), Loiseleuria procumbens, Arctostaphylos uva ursi, Minuartia recurva, Agrostis rupestris und A. alpina, Luzula lutea, ab bestimmter Höhe Alectoria ochroleuca; Rhododendron ferrugineum fehlt infolge mangelnder Schneebedeckung. Loiseleuria procumbens bildet flächige Spalierrasen und an besonders windausgesetzten Stellen bilden sich Agrostis-Windrasen. Pflanzenleitgesellschaft: offenes, reduziertes Loiseleurio-Vaccinietum vitis idaeae; ab bestimmter Höhe offenes, reduziertes Alectorio-Loiseleurietum.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

2. Rohhumusböden

Allgemeine Kennzeichen: dichte geschlossene Gesellschaften, vom Zirbenwald und den angrenzenden Zwergstrauchheiden bis in die Spalierheiden reichend. Die Dichte der Zwergstrauchschichte nimmt beim Übergang vom Zirbenwald in die waldfreien Gebiete immer mehr zu und erreicht im Gebiet der geschlossenen Spalier- und Flechtenheiden ihr größtes Ausmaß; dadurch ist in allen Vegetationsstufen der Rohhumusgebiete ein Grad der Beschattung und des Verdunstungsschutzes gewährleistet, der die Bildung von Rohhumusböden begünstigt.

Eisenpodsol (siehe Tabelle 1).

Kennzeichen: in den Untersuchungsgebieten typischer Boden im Zirbenwald oder unter Zirbenhorsten mit Unterwuchs von Vaccinien und Rhododendron ferrugineum mit Begleitern.

Nach J. BRAUN-BLANQUET, H. PALLMANN und R. BACH 1954 kommt im Schweizerischen Nationalpark Eisenpodsol auch im Piceetum transalpinum Br.-Bl. vor, ist aber dort als "insubrische Variante ausgebildet, mit viel Feinerde im A_1-Horizont". In den Tiroler Untersuchungsgebieten kommt eine entsprechende Variante des Eisenpodsols an verlichteten Stellen des Zirben-Lärchenwaldes vor und wurde als Übergangsform zwischen Eisenpodsol und Podsoliger Braunerde bezeichnet, die durch Freistellung und stärkere Besonnung des Bodens entstanden ist.

Nach den genannten Autoren kommt der Eisenpodsol im Typus und in Varianten neben Podsoliger Braunerde im Piceetum subalpinum myrtilletosum Br.-Bl. des Schweizerischen Nationalparks vor. In den hier genannten Untersuchungsgebieten wird der Eisenpodsol in typischer Form nur im Zirben-Lärchenwaldgürtel gefunden; eine Ausnahme bilden die ozeanischen Randgebiete, z. B. inneres Paznauntal, wo die Zirben zurücktreten. Hier ist die Zusammensetzung und die Physiognomie der Zwergstrauchschichte aussagend für die Bodenform.

Pflanzenleitgesellschaft: Da eine vollkommene Übereinstimmung zwischen der hier gefundenen Leitgesellschaft und dem Rhodoreto-Vaccinietum cembretosum Br.-Bl. besteht, wurde von einer konsequenten Fortführung der Namensgebung abgesehen (die Gesellschaft würde heißen "Rhododendro-Vaccinietum cembrosum") und die Bezeichnung nach J. BRAUN-BLANQUET beibehalten.

Eisenhumus-Podsol, Großform (siehe Tabelle 2).

Kennzeichen: typischer Eisenhumus-Podsol findet sich in den dicht geschlossenen, nordexponierten moos- und flechtenreichen

Tabelle 1:

Eisenpodsol

Vorkommen: Im Zirbenwald; oberhalb der Waldgrenze unter Einzelzirben und Zirbenhorsten.
Kennzeichen: Podsolprofil mit mächtigem bis flachem, immer aber deutlich erkennbarem Bleichhorizont A_E, Humus in Form von Trockentorf, Rohmoder und Humusperkolaten. B_{s1}-Horizont fuchsbraun zum Unterschied vom B_h-Horizont des Eisenhumus-Podsols, der dunkle Sepiatöne, zuweilen mit Violettstich, aufweist.
Exposition: Alle Expositionen möglich.
Pflanzenleitgesellschaft: Alpenrosen - Beeren - Zirbenwald (Rhodoreto - Vaccinietum cembretosum BRAUN - BLANQUET).

Folge	Horizont Mittel	Mächtigkeit cm Min.	Mächtigkeit cm Max.	Mineralanteil % Min.	Mineralanteil % Max.	Körnung	Steine % Min.	Steine % Max.	Porenvolumen % Min.	Porenvolumen % Max.	pH n/KCl Min.	pH n/KCl Max.	C-Gehalt % Min.	C-Gehalt % Max.	Gesamt N % Min.	Gesamt N % Max.	C/N-Verhältnis Min.	C/N-Verhältnis Max.	P_2O_5 ppm Min.	P_2O_5 ppm Max.	K ppm Min.	K ppm Max.
A_L							< 5															
A_F						Sf	< 5														30	
A_H							< 5															
	Kohle																					
A_E	6						< 5															
B_{s1}																						
B_{s2}				> 97		Sl																
B/C				> 99			> 50														Sp.	

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Tabelle 2:

Eisenhumus-Podsol, Großform

Vorkommen: Auf waldlosen, wenig besonnten Hängen im Bereich der subalpinen Alpenrosen-Beerenheide.
Kennzeichen: Podsolprofil mit mächtigem bis flachem, immer aber deutlich erkennbarem Bleichhorizont A_E. Ausgeprägter B_h-Horizont in dunklen Sepiatönen, zuweilen mit Violettstich. Humus in Form von Trockentorf, Rohmoder und Humusperkolaten.
Exposition: Nordwest-, Nord- und Nordostflanken.
Pflanzenleitgesellschaften: Dicht geschlossene, moosreiche Alpenrosenbeerenheide und dicht geschlossene, flechtenreiche Rauschbeerenheide (hylocomiumreiches Rhododendro-Vaccinietum und Cetrario-Vaccinietum uliginosi).

Folge	Horizont Mächtigkeit cm Mittel	cm Min.	cm Max.	Mineralanteil % Min.	% Max.	Körnung	Steine % Min.	% Max.	Porenvolumen % Min.	% Max.	pH n/KCl Min.	Max.	C-Gehalt % Min.	% Max.	Gesamt N % Min.	C/N-Verhältnis Min.	Max.	P_2O_5 ppm Min.	ppm Max.	K ppm Min.	ppm Max.
A_L								<5													
A_F						Sf															
A_H								<5													
	Kohle																				
	6					Sf		<5													
						Sg															
						Sl															
				>97																	
B/C	30			>99				>50	45												

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
Zwergstrauchheiden mit Rhododendron ferrugineum, Vaccinium Myrtillus, V. uliginosum und V. vitis idaea, Hylocomium splendens, Pleurozium Schreberi, Cladonia silvatica und Cl. rangiferina, Cetraria islandica u. a.

Eine Variante des Eisenhumus-Podsols hat sich zwischen der oberen Grenze des Rhododendron und der unteren Grenze der Windbartflechte Alectoria ochroleuca ausgebildet, die sich bezüglich der Humusform von A_F- und A_H-Horizont der weiter unten besprochenen Kleinform des Eisenhumus-Podsols nähert, aber Horizonte von beachtlicher Mächtigkeit und zum Unterschied gegen die Kleinform einen deutlich ausgeprägten A_E-Horizont besitzt. Die typische Leitgesellschaft dieser Variante ist eine Soziation von dichtem Teppichwuchs mit viel Vaccinium uliginosum, dazu Vaccinium vitis idaeae und spärlich V. Myrtillus, Empetrum nigrum und Loiseleuria procumbens. Das Erscheinungsbild der Gesellschaft wird geprägt von dem reichlichen Auftreten der Flechten Cladonia silvatica, Cl. rangiferina, Cl. alpina, Cetraria islandica, C. alpestris, C. cuculata und C. nivalis, wobei die Cetrarien überwiegen. Man könnte diese Variante des Eisenhumus-Podsols als Flechten-Variante bezeichnen.

Pflanzenleitgesellschaft der typischen Form: dicht geschlossenes hylocomiumreiches Rhododendro-Vaccinietum.

Pflanzenleitgesellschaft der Flechten-Variante: dicht geschlossenes Cetrario-Vaccinietum uliginosi.

Eisenhumus-Podsol, Kleinform (siehe Tabelle 3).

Kennzeichen: Gesellschaft von dichtem Teppichwuchs mit Vaccinium uliginosum, dazu V. vitis idaea und spärlich V. Myrtillus; Empetrum nigrum, Loiseleuria procumbens, Cladonia silvatica, Cl. rangiferina, Cl. alpina, Cetraria islandica, C. alpestris, C. cuculata und C. nivalis, der als Charakteristikum ein mehr oder weniger dichtes Netz von Alectoria ochroleuca anhaftet.

Die Windbartflechte Alectoria ochroleuca zeigt eine sehr wichtige klimatische Grenze an, an der ein sehr scharfer Übergang von den Großformen zu den Kleinformen der Bodenbildungen stattfindet.

Die Kleinform des Eisenhumus-Podsols wird durch das Vorhandensein der Alectoria ochroleuca allein noch nicht genügend gekennzeichnet; ein ebenso wichtiges Kriterium ist der dichte Teppichwuchs der übrigen Gesellschaftglieder. Die Alectoria kann auch auf Restböden auftreten, aber nur in der charakteristischen offenen Regressionsgesellschaft.

Pflanzenleitgesellschaft: dicht geschlossenes Alectorio-Vaccinietum uliginosi. Der Begriff des Loiseleurieto-cetrarietum alectoriosum PALLMANN und HAFFTER 1933 ist weiter gefaßt und reicht in die Gebiete der Restböden und Eisenhumus-Podsol-Großformen.

Tabelle 3:

Eisenhumus-Podsol, Kleinform

Vorkommen: Auf stark windexponierten Stellen im Höhenbereich der Windbartflechte (Alectoria ochroleuca).
Kennzeichen: Flachgründiges Podsolprofil mit geringmächtigem A_F-Horizont, ohne deutlichen A_E-Horizont, ausgeprägtem B_h-Horizont in charakteristischen dunklen Sepiatönen, zuweilen mit Violettstich. Humus in Form von Rohmoder und Humusperkolaten; Trockentorfauflage fehlt bei der typischen Kleinform des Eisenhumus-Podsols.
Exposition: Nordost-, Nord-, Nordwestflanken sowie Rippenscheitel.
Pflanzenleitgesellschaften: Dicht geschlossene Windbart-Rauschbeerenheide (Alectorio-Vaccinietum uliginosi).

Folge	Horizont Mittel	Mächtigkeit cm Min.	Mächtigkeit cm Max.	Mineralanteil % Min.	Mineralanteil % Max.	Körnung	Steine % Min.	Steine % Max.	Porenvolumen % Min.	Porenvolumen % Max.	pH n/KCl Min.	pH n/KCl Max.	C-Gehalt % Min.	C-Gehalt % Max.	Gesamt N % Min.	Gesamt N % Max.	C/N-Verhältnis Min.	C/N-Verhältnis Max.	P_2O_5 ppm Min.	P_2O_5 ppm Max.	K ppm Min.	K ppm Max.
A_L							<5															
A_F							<5															
A_H							<5															
A_E	Spuren in Form von Bleichkörnern im unteren Teil des A_H																					
	Kohle																					
		4				Sg													5		Sp.	
B_{s1}						Sl											15					
B_{s2}	nicht ausgeprägt																					
B/C		20		>95		Sl	>50				4.2											

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

3. Moderböden

Allgemeine Kennzeichen: locker geschlossene Zwergstrauchgesellschaften mit Barflecken, Rasengesellschaften.

Podsolige Braunerde, Großform (siehe Tabelle 4).

Kennzeichen: locker geschlossene Zwergstrauchheide mit Vaccinium uliginosum, V. Myrtillus, V. vitis idaea, Rhododendron ferrugineum, Juniperus nana, der in besonders sonnigen Lagen von Calluna vulgaris begleitet wird; ferner finden sich Dicranum div. sp. sowie vereinzelt und locker ausgebreitet Cladonia silvatica und Cl. rangiferina.

Das Charakteristische dieser Leitgesellschaft ist der lockere Wuchs der Arten und die etwa tellergroßen vegetationslosen Überhitzungsstellen, die Barflecken. Das Vorkommen von Juniperus nana und Calluna vulgaris ist ein wertvoller Hinweis für das Auftreten der Podsoligen Braunerde, aber nur dann, wenn auch alle anderen Charakteristika vorhanden sind. An Nordosthängen, die infolge Morgensonne wenig Tau haben oder an südexponierten Hangteilen, die infolge ihrer Lee-Lage oft Neuschneewächten tragen, kommt ebenfalls Juniperus nana und auch Calluna vulgaris vor. Der dichte Wuchs der Gesellschaft zeigt aber Eisenhumus-Podsol und nicht Podsolige Braunerde an, und der Probe-Einstich bestätigt diese Annahme.

Pflanzenleitgesellschaft: locker geschlossenes juniperusreiches oder juniperus- und callunareiches Rhododendro-Vaccinietum mit Barflecken.

Der Begriff des Junipereto-arctostaphyletum Br.-Bl. ist weiter gefaßt und umfaßt auch die Gesellschaften auf Eisenhumus-Podsol und auf Protorankern.

Podsolige Braunerde, Kleinform (siehe Tabelle 5).

Kennzeichen: locker geschlossene Zwergstrauchheide mit Vaccinium uliginosum, V. vitis idaea, V. Myrtillus, Empetrum nigrum, Loiseleuria procumbens (spärlich). Die Charakteristika dieser Leitgesellschaft sind wieder lockerer Wuchs und Barflecken. Die Grenze zwischen Groß- und Kleinform der Podsoligen Braunerde wird durch das Hervortreten von Empetrum nigrum gekennzeichnet, dessen große lockere Polster das Erscheinungsbild der Leitgesellschaft prägen. Höhenmäßig fällt diese Grenze mit der Grenze zwischen Groß- und Kleinform des Eisenhumus-Podsols zusammen, die durch das Auftreten von Alectoria ochroleuca angezeigt wird.

Tabelle 4:

Podsolige Braunerde, Großform

Vorkommen: Auf sonnseitigen Hängen in verlichteten, verheideten Beständen des subalpinen Waldgürtels und im angrenzenden Alpenrosen-Zwergstrauchgürtel.
Kennzeichen: Mineralreicher Humushorizont; Humus in Form von Grobmoder, mullartigem Moder und Humusperkolaten, die für Eisenpodsol und Eisenhumus-Podsol charakteristische Trockentorfauflage fehlt. Bleichsandschichte A_E nicht ausgeprägt, sondern nur angedeutet durch einzelne oder in Linsen angereicherte Bleichkörner im unteren Teil des A_H-Horizontes. Scharfe Abgrenzung zwischen den Humus- und den Mineralhorizonten. Wie beim Eisenpodsol B_{s1}- und B_{s2}-Horizonte ausgebildet.
Exposition: Ost-, Südost-, Süd- und Südwestflanken.
Pflanzenleitgesellschaften: Locker geschlossene, wacholderreiche oder wacholder- und heidekrautreiche Alpenrosen-Beerenheide (juniperusreiches oder juniperus- und callunareiches Rhododendro-Vaccinietum) mit Barflecken.

Horizont Folge	Mittel	Mächtigkeit cm Min.	Mächtigkeit cm Max.	Mineralanteil % Min.	Mineralanteil % Max.	Körnung	Steine % Min.	Steine % Max.	Porenvolumen % Min.	Porenvolumen % Max.	pH n/KCl Min.	pH n/KCl Max.	C-Gehalt % Min.	C-Gehalt % Max.	Gesamt N % Min.	Gesamt N % Max.	C/N-Verhältnis Min.	C/N-Verhältnis Max.	P_2O_5 ppm Min.	P_2O_5 ppm Max.	K ppm Min.	K ppm Max.
A_L						Sf	<5															
A_F				80			<5															
A_H							<5															
A_E																						
	Kohle																					
A_E	Spuren																					
B_{s1}						Sl																
B_{s2}				>97		Sl					4.1											
B/C	30			>99		Sl																

Barflecken sind etwa tellergroße, durch Überhitzung entstandene Stellen, nicht zu verwechseln mit Erosionsstellen, da der Boden unverwundet und das Wurzelgeflecht der benachbarten Pflanzen erhalten ist (H. FRIEDEL 1960).

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Tabelle 5:

Podsolige Braunerde, Kleinform

Vorkommen: Auf sonnseitigen Hängen an stark windexponierten Stellen an der oberen Grenze des Alpenrosen-Zwergstrauchgürtels bis zu den Spalierheiden, im gleichen Höhenbereich wie die Kleinform des Eisenhumus-Podsols, d.h. ab ca. 2100 m Seehöhe.
Kennzeichen: Der Unterschied zur Großform ist durch die geringe Mächtigkeit des A-Horizontes gegeben. Bleichhorizont nicht ausgeprägt, sondern durch einzelne oder in Linsen angereicherte Bleichkörner im unteren Teil des A_H-Horizontes angedeutet. A_H-Horizont mineralreich. Humus in Form von Grobmoder, mullartigem Moder und Humusperkolaten. Scharfe Abgrenzung zwischen den Humus- und Mineralhorizonten; gut ausgebildeter B-Horizont, meist B_{s1} und B_{s2} vorhanden.
Exposition: Ost-, Südost-, Süd- und Südwestflanken.
Pflanzenleitgesellschaften: Locker geschlossene, krähenbeerenreiche Beerenheide, Empetro - Vaccinietum (Empetrum nigrum var. hermaphroditum Lange) mit Barflecken.

Horizont	Mittel	Mächtigkeit cm Min.	Mächtigkeit cm Max.	Mineralanteil % Min.	Mineralanteil % Max.	Körnung	Steine % Min.	Steine % Max.	Porenvolumen % Min.	Porenvolumen % Max	pH n/KCl Min.	pH n/KCl Max.	C-Gehalt % Min.	C-Gehalt % Max.	Gesamt N % Min.	Gesamt N % Max.	C/N-Verhältnis Min.	C/N-Verhältnis Max.	P_2O_5 ppm Min.	P_2O_5 ppm Max.	K ppm Min.	K ppm Max.
		Sp.				Sf																
								<5														
								<5														
	Kohle																					
A_E	Spuren																					
B_{s1}																						
B_{s2}	25				>95																	
B/C					>99																	

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Braune Ranker (siehe Tabelle 6).

Kennzeichen: Im Stationsgebiet kommen die Braunen Ranker unter callunareichen Rhododendro-Vaccinieten vor. Dies kann jedoch nicht verallgemeinert werden; im allgemeinen haben die Braunen Ranker keine besonderen Kennzeichen und kommen im Bereich beider Braunerdeformen vor. Sie können von ihnen nur durch die Profilaufnahme unterschieden werden, analog der Unterscheidung des Podsolrankers (siehe Tabelle 7) von den diversen Formen der Rohhumusböden.

Das Beispiel der beiden Rankerformen, Braune und Podsolranker, zeigt, daß die Leitgesellschaften in der Hauptsache auf die Ausbildung des A-Horizontes hinweisen, der ja charakteristisch für die Bodenform ist. Über die Tiefe des Profils geben sie jedoch keinen Aufschluß.

Rasenböden (siehe Tabelle 8).

Allgemeine Kennzeichen: dichte Rasengesellschaft von Nardus stricta, Festuca Halleri, F. rubra u. a., je nach Höhenlage verschieden zusammengesetzt.

Die Varietäten der Rasenböden, wie Rasen-Eisenpodsol, Rasen-Eisenhumuspodsol, Podsolige Braunerde Groß- und Kleinformen sind durch die Leitgesellschaften nicht zu erkennen, sondern erst mit Hilfe einer Profilaufnahme, da durch die Verrasung der ursprünglichen Böden die A-Horizonte uniform ausgebildet werden.

Durch diese Korrelationen zwischen Boden- und Vegetationsformen im Waldkampfgürtel der ostalpinen Zentralalpen gewinnen unsere Beobachtungen über den spontanen Baumwuchs praktischen Wert. Mit einigen Einschränkungen, die für die Randzonen gelten, kann man feststellen, daß die drei Hauptholzarten, Lärche, Fichte und Zirbe, jeweils eine der drei großen Bodengruppen bevorzugen, und zwar:

Mineralböden	Lärchenwuchs
Rohumusböden	Zirbenwuchs
Moderböden	Fichtenwuchs.

Tabelle 6

Brauner Ranker mit Podsolierungstendenz auf anstehendem Gestein oder Moräne oder auf Murenmaterial (C_M) über subfossilen Böden

Vorkommen: Auf sonnseitigen Hängen zur Ruhe gekommener Erosionsflächen, Murströme und Schuttkegel innerhalb des Podsolbereiches der subalpinen Stufe von verlichteten, verheideten Waldgebieten bis in die oberen Bereiche der Zwergstrauchheide.
Kennzeichen: Mineralreicher, meist flacher Humushorizont, in der Zusammensetzung dem der Podsoligen Braunerde gleichend. Kein ausgeprägter A_E-Horizont; im unteren Teil des A-Horizontes Bleichkörner einzeln oder in Linsen angereichert. Humus in Form von Grobmoder, mullartigem Moder und Humusperkolaten. Humushorizonte scharf gegen Mineralhorizonte abgesetzt. B-Horizont nicht oder nur als schmales Band ausgebildet: (B). C-Horizont: Fels, Schutt oder Moräne; C_M-Horizont: Murenmaterial über subfossilem Podsolrest, der vom C bis meist zum A_E herauf erhalten ist.
Exposition: Ost-, Südost-, Süd- und Südwestflanken.
Pflanzenleitgesellschaften: Locker geschlossene, wacholderreiche oder wacholder- und heidekrautreiche Alpenrosen-Beerenheide und locker geschlossene, krähenbeerenreiche Beerenheide (juniperusreiches oder juniperus- und callunareiches Rhododendro-Vaccinietum und Empetro-Vaccinietum) mit Barflecken.

Folge	Horizont Mittel	Mächtigkeit cm Min.	Mächtigkeit cm Max.	Mineralanteil % Min.	Mineralanteil % Max.	Körnung	Steine % Min.	Steine % Max.	Porenvolumen % Min.	Porenvolumen % Max.	pH n/KCl Min.	pH n/KCl Max.	C-Gehalt % Min.	C-Gehalt % Max.	Gesamt N % Min.	Gesamt N % Max.	C/N-Verhältnis Min.	C/N-Verhältnis Max.	P_2O_5 ppm Min.	P_2O_5 ppm Max.	K ppm Min.	K ppm Max.
A_L		0.2	0.	10	20	Sf		<5														
A_F						Sf		<5														
A_H								<5														
A_E																						
(B)				> 95																		
C	Fels, Schutt oder Moräne oder																					
C_M	15			>99																		
	Kohle																					
A_E	3			>90				<5														
B_{s1}																						
B_{s2}				>97																		

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Tabelle 7:

Podsolranker auf anstehendem Gestein oder Moräne oder auf Murenmaterial (C_M) über subfossilen Böden

Vorkommen: Als junge Bodenbildung in Schattlagen innerhalb des Podsolbereiches der subalpinen Stufe vom Zirbenwald bis hinauf in die Spalierheiden.
Kennzeichen: Humushorizont ohne Ausbildung eines B-Horizontes auf dem C- oder C_M-Horizont aufsitzend. A_E-Horizont als Bleichhorizont ausgebildet oder durch Bleichkörner angedeutet. Humus in Form von Trockentorf, Rohmoder oder Humusperkolaten. C-Horizont aus Fels, Schutt oder Moräne, C_M-Horizont aus Murenmaterial über einem subfossilen Podsolrest, der vom C bis meist zum A_E herauf erhalten ist.
Exposition: Nord-, Nordost- und Nordwestflanken.
Pflanzenleitgesellschaften: Alpenrosen-Beeren-Zirbenwald, dicht geschlossene moosreiche Alpenrosen-Beerenheide, dicht geschlossene flechtenreiche Rauschbeerenheide, dicht geschlossene Windbart-Rauschbeerenheide und dicht geschlossene Gemsheiden (Rhodoreto-Vaccinietum cembretosum BRAUN-BLANQUET, hylocomiumreiches Rhododendro-Vaccinietum, Cetrario-Vaccinietum uliginosi, Alectorio-Vaccinietum uliginosi, Loiseleurietum).

Horizont-Folge	Mittel Mächtigkeit cm	Mächtigkeit cm Min.	Mächtigkeit cm Max.	Mineralanteil % Min.	Mineralanteil % Max.	Körnung	Steine % Min.	Steine % Max.	Porenvolumen % Min.	Porenvolumen % Max.	pH n/KCl Min.	pH n/KCl Max.	C-Gehalt % Min.	C-Gehalt % Max.	Gesamt N % Min.	Gesamt N % Max.	C/N-Verhältnis Min.	C/N-Verhältnis Max.	P_2O_5 ppm Min.	P_2O_5 ppm Max.	K ppm Min.	K ppm Max.
A_L						Sf		< 5														
A_F								< 5										23				
A_H			15							75		3.9		30								
A_E					> 85			< 5			3.7											
C		Schutt oder Moräne																				
C_M					> 99	Sg		80			3.9											
	Kohle																					
A_E	3				> 90			< 5			3.8											
B_{s1}											3.9											
B_{s2}	25				> 97	Sl						4.						30				Sp.
B/C					> 99			> 50														Sp.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Tabelle 8:

Rasen-Eisenpodsol

Vorkommen: Auf Bergmähdern und Bergweiden in Nachbarschaft des Waldes und im Wald der subalpinen Stufe mit Weidenutzung.
Kennzeichen: Auf dem mineralischen Sockel des Eisenpodsols: ausgeprägter Bleichhorizont und darüber der von Rasen stark verfilzte und mineralreiche A_H-Horizont. A_F-Lage nicht ausgeprägt. Humus in Form von mullartigem Moder.
Exposition: Jede Exposition möglich.
Pflanzenleitgesellschaften: Dichter Rasen von Bürstling- bis zu kräuterreichen Schwingelrasen (Nardeten bis Festuceten).

Folge	Horizont	Mächtigkeit cm Mittel	Mächtigkeit cm Min.	Mächtigkeit cm Max.	Mineralanteil % Min.	Mineralanteil % Max.	Körnung	Steine % Min.	Steine % Max.	Porenvolumen % Min.	Porenvolumen % Max.	pH n/KCl Min.	pH n/KCl Max.	C-Gehalt % Min.	C-Gehalt % Max.	Gesamt N % Min.	Gesamt N % Max.	C/N-Verhältnis Min.	C/N-Verhältnis Max.	P_2O_5 ppm Min.	P_2O_5 ppm Max.	K ppm Min.	K ppm Max.
		0.2	0.1					<5															
		nicht ausgeprägt																					
								<5															
		Kohle																					
A_E		3					Sf	<5															
B_{s1}																							
B_{s2}					> 97		Sl																
B/C		30			> 99			> 50															

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

III. Ökologische Reihen

Welche ökologische Faktoren wirken bestimmend auf die Entstehung der verschiedenen Bodenformen, und wie lassen sich die einzelnen Bodenformen in ökologische Reihen gliedern?

Die Formendifferenzierung der Böden im heutigen Waldkampfgürtel setzte als Folge der Entwaldung in Abhängigkeit vom Relief und somit unter dem bestimmenden Einfluß der verschiedenen Klimafaktoren ein, deren wichtigste Wärme, Wind, Schnee und Feuchte sind. Die Wirkung dieser Faktoren auf die Formenbildung des Bodens geht über die Pflanzendecke (H. FRIEDEL 1960) und das Bodenleben (E. JAHN, siehe Abschnitt I E 12, und W. GAMS 1959) und zeigt sich in der Ausbildung der Leitgesellschaften und der Ausbildung der Humusformen.

Die Wirkung der Klimafaktoren ist zumeist komplexer Natur; für die Aufforstungspraxis ist es jedoch oft notwendig, die Wirkung eines Faktors isoliert zu beobachten. Im Freilandnetz der Station Obergurgl wurden daher eine Reihe von ökologischen Messungen gemacht (H. AULITZKY 1955a und b, H. FRIEDEL 1952 und 1958a,b und H. TURNER 1958a und b), die in dem Klimahaus auf dem Patscherkofel exakt ergänzt werden sollen. Gestützt auf die klassischen Beschreibungen von ökologischen Reihen durch A. K. CAJANDER 1909, 1921, 1930, und H. GAMS 1939, 1940-1942, Th. FRIES 1925, mit Hilfe der bereits verfügbaren Unterlagen der Station in Obergurgl, ergänzt durch eigene Beobachtungen, gelang es, in der unterschiedlichen Ausbildung der Bodenformen den Einfluß der Klimafaktoren festzustellen. Die Beobachtung der abgestuften Faktorenwirkung, von extrem stark zu extrem schwach, auf die Bodenformen führte zur Aufstellung von ökologischen Bodenreihen; es wurde je eine Wärme-, Wind-, Schnee- und Feuchtereihe gefunden und nach den chemischen Bodenuntersuchungen noch eine Nährstoffreihe hinzugesetzt. Diese Reihen werden durch die charakteristische Ausbildung der Leitgesellschaften gekennzeichnet.

A. Die Wärmereihe

Die Wärme ist als der entscheidende Klimafaktor bei der Ausbildung der untersuchten Böden anzusehen. Dafür spricht die unterschiedliche Ausbildung der Boden- und Pflanzendecke in den Sonn- und Schattenlagen; sie ist so ausgeprägt, daß man sie nur durch unterschiedlichen Wärmegenuß während sehr langer Zeiträume erklären kann. Während die Unterschiede in der Pflanzendecke in der Physiognomie der Leitgesellschaften zum Ausdruck kommen

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
(siehe Seite 384 ff), lassen die Böden selbst sich nach ihrer Humusform, deren Bildung ja bekanntlich durch das Bodenleben (BRUNNER-STONAWSKI, Dissertation 1936, W. GAMS 1959 und E. JAHN, siehe Abschnitt I E 12) gesteuert wird, scharf trennen und unterteilen.

Beim Formenkreis der Podsoligen Braunerde, wo die Zahl der Milben und Collembolen geringer ist als in den Schattlagen, die Pilze zurücktreten, dafür Bakterien und auch Lumbriciden in geringer Zahl die Art der Humusbildung beeinflussen, sind die A-Horizonte wenig differenziert, und ihr Humus neigt zu mullartigem Moder. Diese mineralreichen Humushorizonte sind das Kennzeichen der Moderböden, die eine hohe Wärmesumme zu ihrer Entstehung benötigen (H. AULITZKY, siehe Abschnitt I E 4). In den Schattlagen überwiegen die Pilze (W. GAMS 1959), Milben und Collembolen, die Bakterien und Lumbriciden treten zurück. Die A-Horizonte sind sehr stark differenziert und bestehen aus faserigem Rohhumus und Rohmoder bis Feinmoder. Diese mineralarmen, stark gegliederten Humushorizonte sind das Kennzeichen der Rohhumusböden, die in den subalpinen Bereichen bei geringerem Wärmegenuß der Böden entstehen.

Die Gegenüberstellung der beiden Formenkreise zeigt, daß der Faktor Wärme den großen Gegensatz hinsichtlich der Humusqualität und daher auch die große Gliederung schafft. Eine Feinteilung nach quantitativen Unterschieden innerhalb der Formenkreise bewirken die übrigen Faktoren (siehe Tabelle 9 13).

B. Die Windreihe

Die Windwirkung auf die Pflanzendecke ist an den physiognomischen Merkmalen der Leitgesellschaften zu erkennen. Mit zunehmender Windeinwirkung machen die lockeren, höherwüchsigen Gesellschaften solchen mit dichtem Polster- und Teppichwuchs Platz, die wiederum den Spalierheiden weichen; schließlich, bei stärkstem Windangriff, werden die Gesellschaften in offene Reduktionsformen aufgelöst. In den extremsten Fällen, bei starker Winderosion, sind die Flächen, die sogenannten Windblaiken, vegetationslos (siehe auch H. AULITZKY 1955b).

Die Windwirkung auf den Boden geht mit einer Reduktion der A-Horizonte parallel, die auf den Windblaiken bis zu einer vollkommenen Abtragung der A-, ja vielfach der B-Horizonte führt. Im Hauptuntersuchungsgebiet in Obergurgl wurde festgestellt, daß die Art der Windwirkung für die Formung der Pflanzengesellschaften und der Böden sehr bedeutend ist. Die Bereiche mit häufigen Prallwinden, Fegewinden oder Wirbelwinden haben lokalisierte, charakteristische Leitgesellschaften und Bodenformen, wie aus dem Schema (siehe Tabelle 10) zu entnehmen ist.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Tabelle 9: Schema der Wärmereihe

Erwärmung	Pflanzenleitgesellschaft	Bodenform
lang, sehr stark	locker geschlossenes, juniperusreiches oder juniperus- und callunareiches Rhododendro-Vaccinietum mit Barflecken	Podsolige Braunerde Großform
sehr lang, mäßig	locker geschlossenes Empetro-Vaccinietum mit Barflecken	Podsolige Braunerde Kleinform
lang, mäßig	offenes, reduziertes Loiseleurio-Vaccinietum Vitis idaeae oder offenes, reduziertes Alectorio-Loiseleurietum oder Agrostis-Windrasen	Restböden
sehr kurz, gering	dicht geschlossenes, hylocomiumreiches Rhododendro-Vaccinietum oder dicht geschlossenes Cetrario-Vaccinietum uliginosi	Eisenhumus-Podsol Großform
kurz, sehr gering	dicht geschlossenes Alectorio-Vaccinietum uliginosi	Eisenhumus-Podsol Kleinform

Tabelle 10: Schema der Windreihe

Windart	Pflanzenleitgesellschaft	Bodenform
sehr häufig heftiges Fegen kalter Nordost- und warmer Südwinde	offenes, reduziertes Loiseleurio-Vaccinietum Vitis idaeae oder offenes, reduziertes Alectorio-Loiseleurietum oder Agrostis-Windrasen	Restböden
häufig heftiger Prall kalter Nordostwinde	dicht geschlossenes Alectorio-Vaccinietum uliginosi	Eisenhumus-Podsol Kleinform
häufig heftige Wirbel kalter Nordostwinde und kurzandauernder mäßiger Prall warmer Südwinde	locker geschlossenes Empetro-Vaccinietum mit Barflecken	Podsolige Braunerde Kleinform
häufig mäßiger bis starker Prall kalter Nordostwinde	dicht geschlossenes hylocomiumreiches Rhododendro-Vaccinietum oder dicht geschlossenes Cetrario-Vaccinietum uliginosi	Podsolige Braunerde Großform
kurzandauernder mäßiger Prall warmer Südwinde	locker geschlossenes, juniperusreiches oder juniperus- und callunareiches Rhododendro-Vaccinietum mit Barflecken	Podsolige Braunerde Großform

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

C. Die Schneereihe

Die Wirkung der Schneebedeckung auf Pflanzengesellschaften und Bodenformen ist stets mit der Windwirkung gekoppelt; man kann auf den stärkst windexponierten Flächen die größte Schneearmut und auf den Leeflanken der häufigsten und stärksten Winde den größten Schneereichtum beobachten. Die Reihung der Bodenformen und Leitgesellschaften in Abhängigkeit von der Länge der Schneebedekkung ist aus dem Schema (siehe Tabelle 11) zu entnehmen.

Das Schema, Tab. 11, zeigt die Abhängigkeiten der Bodenformen und Leitgesellschaften vom Wind und Schnee; man kann von einem Wind-Schnee-Komplex sprechen. Dieser wird im Bereich von Wächten von einem Wärme-Schnee-Komplex überlagert, wie Beobachtungen im Stationsgebiet Obergurgl zeigten: Dort schmelzen die Altschneewächten an den Südhängen der Rippen in kühleren Jahren erst im Sommer restlos ab. In Jahren mit starker Frühlingswärme aber schmilzt der untere Wächtenrand sehr rasch, der obere Wächtenrand nur langsam ab. Am oberen Wächtenrand bilden sich außerdem im Herbst und in kühleren Jahren auch im Sommer kleine Neuschneewächten, die eine Zeit lang liegen bleiben und das Abschmelzen der Altschneewächten verzögern können. Am oberen Wächtenrand ist also die Schneebedeckungsdauer sehr lang, und es finden sich hier trotz ausgesprochener Sonnenlagen die Formen des Eisenhumus-Podsols mit ihren charakteristischen Leitgesellschaften, während am unteren Rand der Wächte die Formen der Podsoligen Braunerde mit ihren Leitgesellschaften auftreten. Der unterschiedliche Wärmegenuß am oberen und unteren Wächtenrand ist in diesem Falle bedeutsamer für die Bodenbildung als die einheitliche Süd-Exposition, die sonst für die Bodenbildung entscheidend ist. Die Böden des oberen und unteren Wächtenrandes sind an ihren Leitgesellschaften zu erkennen, wobei, wie überall, Übergänge vorkommen.

D. Die Feuchtereihe

Das Zustandekommen der für die Pflanze nutzbaren Bodenfeuchte ist von den Faktoren Niederschlag, Wärme, Wind, ferner vom Wasserverbrauch der Pflanzen u. a. m. abhängig.

Beschränkt man sich auf die Erfassung des Feuchteangebotes in den Hauptwurzelräumen, dann lassen sich die Bodenformen ohne große Schwierigkeiten zu einer ökologischen Reihe ordnen, auch dann, wenn außer Beobachtungen zahlenmäßig nur die Wasserkapazität und die Mächtigkeit der A-Horizontabschnitte zugrunde gelegt werden können. Der A_F-Horizont spielt als Wasserspeicher und schützende Decklage eine bedeutende Rolle, der A_H-Horizont ist als Hauptwurzelhorizont unmittelbarer Feuchtespender.

In dem Schema Tabelle 12 werden die Böden nach ihren Profilmerkmalen, die für die Wasserspeicherung bestimmend sind, nach ihren Leitgesellschaften und ihrem spezifischen, jahreszeitlich verschiedenen Feuchteoptimum gegliedert.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Tabelle 11: Schema der Schneereihe

Schneebedeckung und Ausaperung	Pflanzenleitgesellschaft	Bodenform
sehr lang, tief, sommeraper	dicht geschlossenes, hycolomium-reiches Rhododendro-Vaccinietum oder dicht geschlossenes Cetrario-Vaccinietum uliginosi	Eisenhumus-Podsol Großform
mäßig lang, tief, aper im Frühsommer	locker geschlossenes Empetro-Vaccinietum mit Barflecken	Podsolige Braunerde Kleinform
kurz, tief, frühlingsaper	locker geschlossenes, juniperus-reiches oder juniperus- und callunareiches Rhododendro-Vaccinietum mit Barflecken	Podsolige Braunerde Großform
sehr kurz und seicht, oft winteraper	dicht geschlossenes Alectorio-Vaccinietum uliginosi	Eisenhumus-Podsol Kleinform
äußerst kurz und seicht, meist winteraper	offenes, reduziertes Loiseleurio-Vaccinietum Vitis idaeae oder offenes reduziertes Alectorio-Loiseleurietum oder Agrostis-Windrasen	Restböden

Tabelle 12: Schema der Feuchtereihe

Horizonte, die den Hauptwurzelraum bilden	Mittlere Mächtigkeit der Horizonte A_F in cm	A_H in cm	Wasserkapazität des Hauptwurzelraumes Vol. %	Pflanzenleitgesellschaft	Bodenform	Feuchtecharakteristik für den Jahresablauf
A_H	4	10	> 70	dicht geschlossenes, hylocomiumreiches Rhododendro-Vaccinietum oder dicht geschlossenes Cetrario-Vaccinietum uliginosi	Eisenhumus-Podsol Großform	gleichmäßig frisch
A_H	< 1	6	> 70	dicht geschlossenes Alectorio-Vaccinietum uliginosi	Eisenhumus-Podsol Kleinform	gleichmäßig frisch
A_H	2	10	55-70	locker geschlossenes, juniperusreiches oder juniperus- und callunareiches Rhododendro-Vaccinietum mit Barflecken	Podsolige Braunerde Großform	frühjahrsfeucht und sommertrocken, während des Sommers in Strahlungsnächten "innerer Tau"
A_H	1	5	55-70	locker geschlossenes Empetro-Vaccinietum mit Barflecken	Podsolige Braunerde Kleinform	frühjahrsfeucht und sommertrocken, während des Sommers in Strahlungsnächten "innerer Tau"
A_H	1	8	40-55	dichter Rasen	Rasenböden außer Rasenranker	auf Verebnungen Frühjahrsvernässung nach der Schneeschmelze, sonst frisch
$A + C_1$	< 1	< 1	< 40	offenes Pionier-Rhododendro-Vaccinietum Vitis idaeae oder locker geschlossenes juniperusreiches oder juniperus- und callunareiches Pionier - Rhododendro - Vaccinietum Vitis idaeae oder schütterer Rasen	Protoranker einschl. Rasenranker	auf Verebnungen Frühjahrsvernässung nach der Schneeschmelze, sonst vorwiegend trocken
(A) + B oder (A)+B/C	< 1	< 1	< 40	offenes, reduziertes Loiseleurio-Vaccinietum Vitis idaeae oder offenes, reduziertes Alectorio-Loiseleurietum oder Agrostis-Windrasen	Restböden	gleichmäßig trocken

("Innerer Tau" nach H. FRIEDEL: In Strahlungsnächten konnte Hangwasserabfluß beobachtet werden).

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Tabelle 13: Schema der Nährstoffreihe

Horizonte, die den Hauptwurzelraum bilden	Mittlere Mächtigkeit der Horizonte A_F	A_H	Organische Substanz %	Form	K ppm	P_2O_5 ppm	Pflanzenleitgesellschaft	Bodenform
	in cm		im Hauptwurzelraum					
A_H	4	10	40-70	schmieriger feiner Rohmoder	20-300	20-60	dicht geschlossenes, hylocomiumreiches Rhododendro-Vaccinietum oder dicht geschlossenes Cetrario-Vaccinietum uliginosi	Eisenhumus-Podsol Großform
A_H	2	10	10-30	mullartiger Moder	30-300	30-70	locker geschlossenes juniperusreiches oder juniperus-und callunareiches Rhododendro-Vaccinietum mit Barflecken	Podsolige Braunerde Großform
A_H	< 1	6	20-40	schmieriger feiner Rohmoder	20-300	10-30	dicht geschlossenes Alectorio-Vaccinietum uliginosi	Eisenhumus-Podsol Kleinform
A_H	1	5	10-20	mullartiger Moder	30- 50	15-30	locker geschlossenes Empetro-Vaccinietum mit Barflecken	Podsolige Braunerde Kleinform
(A)+B oder (A) +B/C	< 1	<1	< 1-15	Grob-und Feinmoder, Humusperkolate	< 50	<10	offenes, reduziertes Loiseleurio-Vaccinietum Vitis idaeae oder offenes, reduziertes Alectorio-Loiseleurietum oder Agrostis-Windrasen	Restböden
A + C_1	< 1	<1	< 1- 5	Grob-und Feinmoder	< 50	<5	offenes Pionier-Rhododendro-Vaccinietum Vitis idaeae oder locker geschlossenes juniperusreiches oder juniperus- und callunareiches Pionier-Rhododendro-Vaccinietum Vitis idaeae	Protoranker

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

E. Die Nährstoffreihe

Die Vorratsmengen an Nährstoffen (als Beispiele wurden Kali und Phosphorsäure herausgefaßt, Tabelle 13) sind das Produkt aus Horizontmächtigkeit und ppm-Gehalt und nur geringen jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen. Sie sind spezifisch für die Bodenformen und lassen eine Ordnung zu einer ökologischen Reihe zu.

Wie bei der Feuchtereihe ist auch bei der Nährstoffreihe das größte Angebot in reifen Böden, das geringste in den unreifen Böden, den Restböden und den Blaikenrohböden festzustellen. In dem Schema Tabelle 13 werden die Böden nach ihren Profilmerkmalen, die für die Nährstoffspeicherung bestimmend sind (A_F:Nährstoff-Hauptreservoir, A_H:Nährstoffaufbereitung und -abgabe an die Wurzeln), nach dem Gehalt an Kali und Phosphor und nach ihren Leitgesellschaften geordnet.

Obwohl das hohe Feuchte- und Nährstoffangebot dem Eisenhumus-Podsol den ersten Platz in der Feuchte- und Nährstoffreihe geben, können die Wachstumsfaktoren Feuchte und Nährstoffe nur von einer spezifischen Auswahl von Arten genutzt werden. Der begrenzende Faktor dürfte die Wärme sein.

Zusammenfassung

Die in diesem Bericht geschilderten Arbeiten haben das Ziel, die bodenkundlichen Grundlagen für eine optimale Aufforstungstechnik zu schaffen:

Vorläufig konnte durch Untersuchungen im Gelände und im Labor ein Teil dieser Grundlagen geschaffen werden:

Die vorhandenen Bodentypen, Subtypen und Varietäten wurden aufgenommen, systemisiert, morphologisch, chemisch und physikalisch charakterisiert, ihre Beziehungen zur Pflanzendecke und zum Relief untersucht, und schließlich wurden ökologische Reihen dieser Bodenformen gebildet.

Alle Böden der untersuchten Gebiete gehören der Podsolklasse an; sie wurden in drei Gruppen zusammengefaßt:

Mineralböden mit Blaikenböden, Protorankern auf anstehendem Gestein, auf Moräne oder Murenmaterial über subfossilen Böden sowie Winderosionsformen, die hier Restböden genannt werden.

Rohhumusböden mit Eisenpodsol, Podsolranker und Eisenhumus-Podsol; bei letzterem wurde eine Groß- und

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

eine Kleinform unterschieden.

Moderböden mit Braunen Rankern und Podsoliger Braunerde. Bei letzterer wurden ebenfalls eine Groß- und eine Kleinform unterschieden. Zu den Moderböden werden ferner noch die Rasenböden gezählt, die aus Rohhumusböden und aus Böden der Podsoligen Braunerde-Gruppe durch Beweidung oder Mahdnutzung entstanden sind. Die physikalisch-chemischen Analysen zeigten, daß die Feuchte- und Nährstoffspeicherung in den A-Horizonten stattfindet, und zwar vorwiegend im A_F- und im A_H-Horizont. Deshalb bieten die reifen Böden, also die Großformen von Eisenhumus-Podsol und Podsoliger Braunerde mit ihren stark entwickelten A-Horizonten, die größte Nährstoff- und Feuchtemenge. Die Restböden, die nur einen geringmächtigen oder gar keinen A-Horizont aufweisen, zeigen das geringste Angebot.

Zwischen Bodenform, Relief und Pflanzengesellschaft konnten eindeutige Beziehungen erkannt werden:

Die Gruppe des Eisenhumus-Podsols findet sich auf Schatthängen, die Podsolige Braunerde auf Sonnenhängen, Mineralböden auf Schurfstellen. Reliefunabhängig sind die Rasenböden auf den Flächen mit Mahd- und Weidenutzung und der Eisenpodsol innerhalb des Waldes oder unter großen Einzelbäumen und Horsten.

Für jede der großen Bodengruppen und auch für jede ihrer Einzelformen lassen sich charakteristische Pflanzengesellschaften feststellen, die von Verf. als Pflanzenleitgesellschaften bezeichnet werden. Die physiognomischen Merkmale der Pflanzenleitgesellschaften, ebenso Pflanzenarten, die als Klima- oder Bodenindikatoren Bedeutung haben, spielen in der Praxis bei Bestimmung und Abgrenzung der Bodenformen eine wichtige Rolle.

Eine kartographische Aufnahme im Stationsgelände Obergurgl-Poschach (Bodenkarte Abb. 103), dort vorgenommene Messungen und Beobachtungen machten es möglich, die Wirkung einiger ökologischer Faktoren zu isolieren und die ökologischen Bodenreihen: Wärme-, Wind-, Schnee-, Feuchte-, Nährstoffreihe aufzustellen.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Literatur

AULITZKY H. 1955a: Die Bedeutung meteorologischer und kleinklimatischer Unterlagen für die Aufforstung im Hochgebirge. Wetter und Leben 7.

AULITZKY H. 1955b: Über die lokalen Windverhältnisse einer zentralalpinen Hangstation. Arch. f. Meteorol. u. Geophys. Ser. B. 6.

BRAUN-BLANQUET J. und H. JENNY 1926: Vegetationsentwicklung und Bodenbildung in der alpinen Stufe der Zentralalpen. Denkschr. Schweiz, Naturf. Ges. Bd. 63, Abh. 2, Zürich.

BRAUN-BLANQUET J., G. SISSINGH und J. VLIEGER, 1939: Prodromus der Pflanzengesellschaften, Klasse der Vaccinio-Piceeta, fasc. 6.

BRAUN-BLANQUET J. und E. RÜBEL 1932-1934: Flora von Graubünden. Veröffent. Geobot. Inst. Rübel 7.

BRAUN-BLANQUET J., H. PALLMANN und R. BACH 1954: Pflanzensoziologische und bodenkundliche Untersuchungen im Schweizerischen Nationalpark und seinen Nachbargebieten. Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen des schweizerischen Nationalparks. Bd. 6 (Neue Folge).

BRAUN-BLANQUET J. 1949: Pflanzengesellschaften Rätiens. Vegetatio II, 1.

BRUNNER-STONAWSKI, A. 1936: Starke Mineraldüngung in ihrer Wirkung auf die Pflanze. Diss. an d. Hochschule f. Bodenkultur, Wien.

CAJANDER A. K. 1909, 1921, 1930: Über Waldtypen. Acta forest. fennica 1, 20. Silva fennica 15.

FRIEDEL H. 1934: Boden- u. Vegetationsentwicklung am Pasterzenufer. Carinthia 123/124

FRIEDEL H. 1935: Beobachtungen an den Schutthalden der Karawanken. Ebenda 125.

FRIEDEL H. 1938a: Die Pflanzenbesiedlung im Vorfeld des Hintereisferners. Zschrft. f. Gletscherkunde 26.

FRIEDEL H. 1938b: Boden-und Vegetationsentwicklung im Vorfeld des Rhonegletschers. Ber. Geobot. Forschungsinst. Rübel (1937).

FRIEDEL H. 1952: Gesetze der Niederschlagsverteilung im Hochgebirge. Wetter u. Leben, Bd. 4.

FRIEDEL H. 1956: Die alpine Vegetation des obersten Mölltales (Hohe Tauern). Wissensch. Alpenvereinshefte, H: 16.

FRIEDEL H. 1958a: Entwicklung eines Verfahrens zur Freilandmessung der Bodenwasser-Saugmengen. Vortrag gehalten auf der Tagung für Bodenfeuchtemessungen in Stuttgart-Hohenheim, 16.u.17. Okt. 1958. Rundschreiben Nr. 6 des Arbeitskreises für Bodenfeuchtemessung, Hohenpeißenberg Obb., Meteorolog. Observatorium.

FRIEDEL 1958b: Entwicklung einer subalpinen ökologischen Station in den Ötztaler Alpen. Vortrag, gehalten auf der Tagung für alpine Meteorologie in Garmisch-Partenkirchen, Sept. 1958.

FRIEDEL H. 1960: Die Vegetationsverhältnisse des Gurgler Tales.

FRIES Th. 1925: Ökologische und phänologische Beobachtungen bei Abisko in den Jahren 1917-1919. Växtsoc. Sällsk. Handl. 5, Uppsala.

GAMS H. 1939: Die Pflanzendecke der Venter Täler. In: Das Venter Tal, Festg. zum 40-jähr. Best. Sekt. Brandenburg d. D. A. V., München.

GAMS H. 1940: Pflanzengesellschaften der Alpen, Jb. d. Ver. zum Schutz der Alpenpflanzen und -tiere. I.-III. Jg. 12-14.

GAMS W. 1959: Bodenpilze im Rohhumus. Diss. Innsbruck

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

HARTMANN F 1952: Forstökologie, Verlag Georg Fromme, Wien.

KUBIENA W. L. 1953: Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas. Verlag Ferdinand Enke, Stuttgart.

LAATSCH W. 1957: Dynamik der mitteleuropäischen Mineralböden. 4. Aufl., Verlag Th. Steinkopf, Dresden und Leipzig.

LUNT H. A., C. W. SWANSON, H. G. M. JACOBSON, 1950; The Morgan Soil Testing System. Conn. Agr. Exp. Sta. Bull. 541.

MORGAN M. F. 1941: Chemical Soil Diagnosis by the Universal Soil Testing System Conn. Exp. Sta. Bull. 450.

PALLMANN H. und HAFFTER P 1933: Pflanzensoziologische und bodenkundliche Untersuchungen im Oberengadin mit besonderer Berücksichtigung der Zwergstrauchgesellschaften der Ordnung Rhodoreta-Vaccinietalia. Ber. Schweiz. Bot. Ges. Bd. 42, Comm. S. I. G. M. A. Nr. 26.

SCHRECKENTHAL-SCHIMITSCHEK G. 1934: Klima, Boden und Holzarten an der Wald- und Baumgrenze in einzelnen Gebieten Tirols, Innsbruck, Wagner.

TURNER H. 1958a: Maximaltemperaturen oberflächennaher Bodenschichten an der alpinen Waldgrenze. Wetter u. Leben, Jg. 10, H. 1-2.

TURNER H. 1958b: Über das Licht- und Strahlungsklima einer Hanglage der Ötztaler Alpen bei Obergurgl und seine Auswirkung auf das Mikroklima und auf die Vegetation. Arch. f. Meteorologie, Geophys. und Bioklimatologie, Ser. B., Bd. 8, 3-4. H.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

11. Die Fermentwirkungen von Wald- und Aufforstungsböden und ihre Bedeutung für die forstliche Praxis

von M. Moser und F. Göbl

Inhalt

	Seite
Einführung.	413
I. Saccharase	414
A. Sammeln und Vorbereiten der Proben	415
B. Bodenprofil und Fermentaktivität . . .	416
C. Aktivität und Vegetationsgesellschaften	417
1. Subalpiner Fichtenwald .	417
2. Zirbenwald und Zirbenjungwuchs .	417
3. Lärchenbestände	418
4. Rhododendreten	418
5. Vaccinieten	419
6. Calluneten	419
7. Flechtenheiden	420
8. Weideböden	420
D. Saccharaseaktivität in Beziehung zu Phosphor- und Kaligehalt	420
Zusammenfassung	422
Literatur	423

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Einführung

Eine der Hauptfunktionen des Bodenlebens ist der Abbau des mit dem Boden in Berührung kommenden organischen Materials, die Zerlegung der Streu bis zu niedrigeren Bestandteilen, die dann von Pflanzen wieder aufgenommen und in den Stoffkreislauf einbezogen werden können. Dabei sind oft Mikroorganismen in der Lage, etwas komplexere Verbindungen wieder zu verwerten als höhere Pflanzen (Bsp. Mykorrhiza!). Der Abbau der Streu erfolgt in der Regel durch Fermente, die von Mikroorganismen ausgeschieden werden.

Es ist daher nicht unwesentlich, etwas über die Größenordnung des Bodenlebens und über seine Zusammensetzung zu wissen, da dies eine Beurteilung mancher Eigenschaften eines Bodens sowie verschiedener Vorgänge in ihm erlaubt.

Wissenschaftlich gesehen kann man das teilweise mittels verschiedenen Plattenmethoden erreichen, bei denen entweder Bodenaufschlämmungen oder direkt kleine Bodenpartikelchen auf geeignete Nährböden ausgegossen bzw. ausgestrichen oder mit Nährboden übergossen werden. Die Plattenmethoden erlauben eine Keimzahlbestimmung in bezug auf die Bodenmenge und in oft sehr mühsamer Bestimmungsarbeit ist es möglich, ein Bild von der Zusammensetzung der Bodenpopulation zu erhalten. Dies bedingt neben der Beherrschung der verschiedensten mikrobiologischen Kulturtechniken auch umfangreiche systematische Kenntnisse und schließlich kommt die Methode auch schon wegen des großen erforderlichen Zeitaufwandes für praktische Zwecke nicht in Betracht. Dazu kommen noch folgende Nachteile: da es bis heute keine universellen Nährböden gibt, auf die sämtliche Mikroorganismen ansprechen, werden durch alle diese Methoden immer nur ernährungsphysiologisch bestimmte Gruppen erfaßt, während andere überhaupt nicht aufscheinen, obwohl sie im Boden vorhanden sind. Ferner erfassen diese Methoden nicht nur aktiv wachsende Bodenorganismen, sondern auch latent im Boden vorhandene Ruhezustände wie Sporen, die dann auf den günstigeren Lebensbedingungen der Platten auskeimen. So wird also das Bild vom tatsächlichen Bodenleben stark verwischt. Man kann aber mittels solcher Methoden immerhin bestimmte Charakterarten für die einzelnen Bodentypen herausschälen.

Etwas mehr den natürlichen Verhältnissen entsprechende Resultate erhält man bereits durch die sogenannten Aufwuchsmethoden. Dabei werden entweder Glasplatten (Objektträger) oder Nylonfolien (GAMS 1959) im Boden eingegraben und nur die aktiv darauf wachsenden Hyphen etc. isoliert. Man scheidet also Ruhestadien aus. Hingegen bleibt das Problem der ernährungsphysiologisch verschiedenen Gruppen.

Auch erscheint für Praxiszwecke, abgesehen von einigen speziellen Fragen, in den meisten Fällen die Art der Bodenpopulation weniger wichtig als ihre physiologische oder biochemische Wirkungsweise in der Gesamtheit, ihre Aktivitätsgröße oder auch ihr Aktivitätspotential.

Bodenorganismen atmen ebenfalls, verbrauchen Sauerstoff und scheiden Kohlensäure ab. Wenn man nun die Atmung einer Bodenprobe mißt, so erfaßt man eine Lebensäußerung der Gesamtheit der in der Probe enthaltenen Organismen, also sowohl der Bakterien, Pilze, Algen, als auch der Wurzeln höherer Pflanzen und der tierischen Organismen. Da sich die Größe der Atmungsintensität vor allem der pflanzlichen Organismen unter dem Einfluß von Umweltfaktoren, besonders Temperatur, Feuchtigkeit und Durchlüftung des Bodens stark ändern kann, erhält man mit allen Methoden für derartige Messungen nur ein Bild vom augenblicklichen Aktivitätszustand des Bodens. Auch werden nur zu eng begrenzte Stellen

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
erfaßt. Um einen Boden wirklich zu charakterisieren, müßten diese Messungen durch lange Perioden (mindestens ein Jahr) in kurzen Abständen (u. U. täglich) wiederholt oder registrierend durchgeführt werden. Dies wäre aber so umständlich und mit großem zeitlichen und materiellen Aufwand verbunden, daß die damit erzielten Ergebnisse in keinem tragbaren Verhältnis dazu stehen würden, zumindest was die Praxis betrifft.

E. HOFMANN und seine Schule versuchten nun mit Hilfe der fermentativen Spaltkraft eines Bodens seine biologische Aktivität zu bestimmen. Er ging von der Voraussetzung aus, daß die am Streuabbau wirksamen Bodenfermente zum größten Teil durch Mikroorganismen gebildet werden und daher in einem bestimmten Verhältnis zur Anzahl der im Boden wirksamen Organismen stehen müssen. Tatsächlich läuft in sehr vielen Böden der Gehalt an Mikroorganismen und die Spaltkraft in bezug auf verschiedene Stoffe sehr schön parallel und die Hofmannsche Methode gibt uns rasche und recht brauchbare Antworten auf manche Fragen. Aber auch hier gelten verschiedene Einschränkungen, worauf wir an den entsprechenden Stellen näher eingehen werden. Trotz allem erscheint uns aber das Hofmannsche Prinzip als das bisher günstigste und aussichtsreichste, um auch auf forstwirtschaftlichem Gebiet Messungen der Bodenaktivität durchführen zu können und zwar so, daß die Untersuchungen rasch und billig ausführbar sind und dem Praktiker Antwort auf eine Reihe verschiedener Fragen geben.

Die Methode arbeitet allgemein so, daß eine Standard-Bodenmenge mit einer bekannten Menge der zu prüfenden Substanz unter gleichbleibenden Bedingungen zusammengebracht wird und mittels geeigneter Analysenmethoden nach einer bestimmten Zeit die Menge der abgebauten Substanz bestimmt wird.

Es scheint dabei für uns keineswegs wichtig, ein vollständiges Bild über das gesamte Fermentsystem der Waldböden zu gewinnen, sondern wir greifen solche Fermente heraus, die uns besonders deutlich einen Maßstab für die Abbaufähigkeit und Aktivität von Böden widerspiegeln können (Saccharase, Urease, Amylase u. a.), oder solche, die uns für die Lösung von Spezialaufgaben wie der künstlichen Förderung der Mykorrhizabildung auf bestimmten Böden, der Klarstellung von Abbauvorgängen in Rohhumusböden (Phosphatasen im weitesten Sinne, Proteinasen ss. lat., Tannasen etc.) wichtig erscheinen. Wir haben nun vor allem hinsichtlich der Saccharase einige hundert Bodenproben aus verschiedenen Gegenden, vorwiegend Tirols, untersucht und wollen nun in der Folge mit der Darstellung und Auswertung unserer Ergebnisse beginnen.

I. Saccharase

Um die Methode HOFMANNS auf forstlichen Böden anwendbar zu machen, waren einige kleinere Modifikationen notwendig. Vor allem sind bei forstlichen Böden die Unterschiede zwischen Gewicht und Volumen viel krasser. Während bei manchen Böden 10 g gesiebten lufttrockenen Bodens noch nicht 10 ccm anfüllen, haben 10 g alpinen Rohhumusbodens 45 und mehr ccm Volumen. Dies muß infolge verschiedener Oberflächenwirkung zu Resultaten führen, die keineswegs vergleichbar sind. Auch Reduktionen der Ge-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

wichtsmenge mit nachfolgender Umrechnung haben sich als nicht günstig erwiesen, sodaß wir nunmehr auf die Verwendung von Volumsmengen (10 ccm) übergegangen sind. Ein Beispiel der Unterschiede gibt

Tabelle 1: Aktivitätswerte eines lehmigen Fichtenwaldbodens in frischem und lufttrockenem Zustand bei 10 ccm bzw. 10 g Probemenge:

	frisch	lufttrocken
Vol 10 ccm	12.35	10.2
Gewicht 10 g	12.8	11.5

Bei der Reihenuntersuchung folgen wir nun folgender Vorschrift: 10 ccm gesiebten, lufttrockenen Bodens werden in 100 ccm Meßkolben gefüllt und mit 1.5 ml Toluol versetzt und gemischt. Nach ca.15 min. werden 10 ccm einer 20 %igen Rohrzuckerlösung und dann 10 ccm (bei sehr sauren Böden 20 od. 30 und mehr ccm) Pufferlösung vom pH-Wert 5.5 zugesetzt (Phosphatpuffer 956 ml KH_2PO_4 + 44 ml Na_2HPO_4 oder Essigsäure-Dinatriumphosphat-Puffer pH-5.5), gut gemischt und bei 37 Grad C für 23 Stunden in den Brutschrank gestellt. Nach dieser Zeit wird mit Leitungswasser von 38 Grad bis zur Marke aufgefüllt und nach gutem Aufschütteln wieder in den Brutschrank gestellt. Nach 1 Stunde werden 20 ccm der überstehenden Lösung entnommen und zu 10 ccm Fehlingmischung in 100 ml Erlenmeyer-Weithals-Kolben gefüllt und mit 5 ccm Wasser auf 25 ccm ergänzt (Blindwert 10 ccm Fehling + 25 ccm dest. Wasser).

Die Kolben werden dann 5 Minuten in kochendes Wasser gestellt und anschließend auf 25-26 Grad abgekühlt. Mit 4 ccm H_2SO_4 (1 3) wird angesäuert und mit 3 ccm 33 1/3 %iger KJ-Lösung versetzt. Bei den meisten Forstböden empfiehlt es sich 1 ccm Titrierstärke gleich zu Beginn zuzusetzen, bei Leerproben und wenig aktiven Böden, sobald die Flüssigkeit hell zu werden beginnt. Man titriert das ausgeschiedene Jod mit n/10 $Na_2S_2O_3$ zurück. Der Blindwert mit Fehling + Wasser minus Thiosulfatverbrauch ergibt die Thiosulfatmenge in ccm, die der durch Zucker reduzierten Menge Fehling-Mischung entspricht. Die gesamte Spaltkraft des Bodens ergibt sich aus der Differenz zwischen Blindwert und Vollprobe, die biologische Aktivität aus der Differenz von Leerprobe und Vollprobe. Die Differenz zwischen Leerprobe und Blindwert ergibt die katalytische Spaltkraft des Bodens (Reduktionswert). Bei der Leerprobe wird die gleiche Bodenmenge verwendet wie bei der Vollprobe, an Stelle der Saccharaselösung jedoch 10 ccm dest. Wasser zugesetzt. Die Bestimmung der Reduktionswerte hat sich bei Forstböden als unbedingt notwendig erwiesen, da diese oft ziemlich hoch sein können und eine Vernachlässigung ein völlig falsches Bild ergeben könnte.

Die Stellung des Titers wurde bei uns mit der Jodmethode durchgeführt. Da sich der Titer in 6 - 8 Monaten kaum verändert, empfiehlt es sich, gleich eine größere Menge der Thiosulfatlösung herzustellen.

A. Das Sammeln und Vorbereiten der Proben _

Das Sammeln und der Transport der Proben erfolgt am besten in starken, gut luftdurchlässigen Säckchen. Nylonsäckchen haben sich als ungünstig erwiesen, da darin eine zu starke Erwärmung erfolgt und eine sehr rasche Zunahme des Bodenlebens und damit des Fermentgehaltes eintritt. Bei einer Aufbewahrung der gleichen Erde in Nylonsäckchen bei verschiedener Dauer erhielten wir folgende Werte:

4 Stunden in offenem Nylonsäckchen	6.8
40 Stunden in geschlossenem Säckchen	7.35
120 Stunden in geschlossenem Säckchen	7.5.

Aus den Stoffsäckchen werden die Proben jedoch ebenfalls sobald als möglich entnommen und auf dem Trockengestell in dünner Schicht aufgebreitet. Bei feuchter Witterung wird allenfalls mit Hilfe von Infrarotstrahlern von unten nach oben für den Durchfluß leicht erwärmter Luft gesorgt. Die Verarbeitung soll dann möglichst rasch erfolgen, wenn auch eine Lagerung von einigen Wochen keinen wesentlichen Einfluß hat. Das Absinken erfolgt während der Trocknung etwas stärker, dann nur mehr sehr langsam. Einen Vergleich zwischen Frischprobe und lufttrockener Probe gibt auch Tab. 1.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

B. Bodenprofil und Fermentaktivität

Im Zusammenhang mit Fragen der Mykorrhizabildung war es für uns auch von Interesse, die Fermentaktivität in verschiedenen Bodenprofilen nach Tiefe als auch nach Schichten zu untersuchen. In Abb. 107 sind hiefür einige Beispiele angegeben.

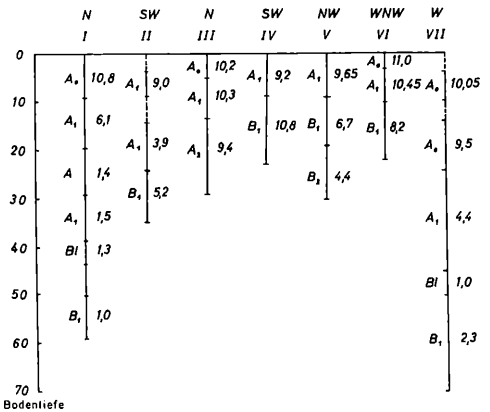


Abb. 107: Beziehung von Saccharase-Aktivität und Bodentiefe in verschiedenen Bodenprofilen (weitere Erklärung im Text)

Die in der Abbildung dargestellten Profile stammen alle aus dem Gebiet des Versuchsgeländes in Gurgl. Hierbei wurden verschiedene Vegetationsgesellschaften, Expositionen und Höhenlagen berücksichtigt.

Die Probestellen I und II liegen in Höhenlagen von ca. 2100 m, wobei I nach Norden, II nach Südwesten exponiert ist.

I liegt in einer Flechtenheide mit Cladonium rangiferinum und Cetraria islandica, ferner Vaccinium uliginosum und Myrtillus, Empetrum hermaphroditum, Loiseleuria procumbens und Pleurozium sp. Der Boden besitzt eine rohhumusartige Schicht und ist relativ feucht; der A1 Horizont ist sehr mächtig, die Bleicherdeschicht fast 5 cm dick. Das ganze Profil zeigt einen ziemlich kontinuierlichen Abfall der Aktivität, wobei bei ca. 20 cm Tiefe bereits ein sehr niedriger Wert (1.4) erreicht ist, der dann nur mehr sehr schwach weiter fällt bis 60 cm (der tiefst untersuchten Stelle).

II ist dem gegenüber ein Trockenhang mit Juniperus sibirica, Vaccinium uliginosum und Rhododendron ferrugineum, daneben Silene inflata, Pulsatilla verna und Campanula barbata. Ein A o ist kaum vorhanden, A 1 wesentlich schwächer, die Aktivität steigt im B 1 noch einmal etwas an ! (Vergleiche auch Probe IV).

III entspricht expositionsmäßig der Probe I (N), liegt aber bei ca. 2200 m. Vegetation: Loiseleurietum mit Empetrum hermaphroditum, Alectoria ochroleuca und Cladonia rangiferina. Das Profil gleicht dem von I, nur nimmt die Schichtdikke etwas ab. Auch der Aktivitätsabfall ist ähnlich, da jedoch der A o-Horizont schwächer ist, zieht sich die höhere Aktivität noch in den A 1 hinein.

IV entspricht in 2200 m der Probe II, die Vegetation wird von Vaccinium uliginosum und Empetrum hermaphroditum beherrscht; ferner treten Phytheuma hemisphaericum und Senecio carniolicus auf. der A 1-Horizont ist ziemlich schwach geworden, die Fermentaktivität nimmt im B 1 noch zu. Hier besonders, aber auch im Boden II, mag die Zunahme in B 1 durch die stärkere Einstrahlung und Austrocknung der Böden gut erklärbar sein.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

V liegt in 2300 m, nach NW schauend. Die Vegetation wird von Poa-Arten beherrscht, neben denen Arten der Schneebodenvegetation (Salix herbacea, Soldanella pusilla, Polygonum viviparum, Polytrichum sp.) und des Loiseleurietums auftreten (Loiseleuria procumbens, Cladonia rangiferina). Der Aktivitätsabfall ist wieder kontinuierlich, die Schichtdicke geht zurück.

Dasselbe gilt auch für VI in 2400 m, Exposition W mit einer ähnlichen Vegetation (Loiseleuria procumbens, Alectoria ochroleuca, Cladonia rangiferina, Salix herbacea, Silene acaulis, Primula hirsuta).

Probe VII stellt ein extremes Rohhumusprofil dar in knapp 2000 m Seehöhe u.zw. unterhalb der Waldgrenze im Zirben-Lärchenbestand, Exposition W, Vegetation: moosreiches Rhododendretum (Rhododendron ferrugineum, Vaccinium Myrtillus, Pleurozium Schreberi, Dicranum scoparium, Cladonia rangiferina und C. pyxidata, Icmadophila ericetorum). Der Aktivitätsabfall ist typisch und gleichmäßig, wobei ganz naturgemäß der dicke Bleichhorizont einen niedrigeren Wert aufweist als der B 1-Horizont.

C. Aktivität und Vegetationsgesellschaften

Für unsere Ziele von besonderem Interesse war der Vergleich von verschiedenen Vegetationsgesellschaften in subalpiner Lage in bezug auf ihre Fermentaktivität. Hiefür wurden einerseits Waldgebiete der subalpinen Region als Vergleichsbasis und andererseits verschiedene Assoziationen über der Waldgrenze, die als Aufforstungsgebiete vorgesehen sind, oder diesen vergleichbare Verhältnisse zeigten, untersucht.

1. Subalpiner Fichtenwald

Von 14 Probestellen zeigten 9 Werte zwischen 11 und 12 bzw. knapp über 12. Drei Proben ergaben Werte von 9.4 9.85. Die Werte liegen durchwegs ziemlich hoch und man kann gut von einem Optimum bei 11-12 sprechen. Zwei der untersuchten Böden fielen ziemlich aus der Reihe, sie ergaben nämlich Werte von 6.5 6.7. Diese Böden liegen jedoch in keinem reinen Fichtenbestand, sondern stammen aus einem Fichten-Zirbenmischbestand, in dem ein sehr gutes Zirbenwachstum feststellbar ist. Gleichzeitig fallen diese beiden Proben auch durch ihren pH-Wert heraus. Es handelt sich um die sauersten untersuchten Proben mit pH-Werten um 3.5 3.7. Die meisten Proben auf Fichtenbeständen zeigen einen Säuregrad von pH 5-6, es sind auch einzelne um den Neutralwert dabei. Auf die Aktivität in bezug auf Saccharase wirkt sich dies jedoch nicht aus. Zwischen pH 5 und 7 liegen die Saccharase-Werte durchwegs im gleichen Bereich.

2. Zirbenwald und Zirbenjungwuchs

Bei den Zirbenböden ist die Streuung entschieden weiter. Trotzdem läßt sich auch hier von einem optimalen Bereich sprechen.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Von 24 untersuchten Proben liegen 16, also 2/3, in einem Bereich mit Saccharase-Werten von 5-10, also im mittleren Aktivitätsbereich. Die übrigen liegen darüber, bis etwa 11.7. Wenn man dabei die Wüchsigkeit der Zirben berücksichtigt, so ergibt sich, daß gesunde, kräftige Bestände, ferner Gebiete mit starker natürlicher Verjüngung und Forstgärten, die sich für Zirbenanzucht als besonders geeignet erwiesen, fast durchwegs im mittleren Bereich liegen. Desgleichen zeigten sich dort die Mykorrhizen besonders gut ausgebildet. Bei den Böden mit hohen Saccharase-Werten handelt es sich häufig um Bestände mit sehr alten, oft mehrhundertjährigen Zirben mit nacktem Waldboden und Nadelstreu oder um Jungzirbenbestände, die in ein Callunetum vordringen.

3. Lärchenbestände

Wir haben bei Lärchenbeständen noch nicht genügend einheitliches Material untersucht, um allgemein gültige Aussagen machen zu können. Die Proben verteilen sich auf teils reine Lärchenwiesen, teils Lärchenmischbestände mit Zirben oder Fichten, teils auf Rohböden. Im gesamten betrachtet kann man jedoch sagen, daß die Lärche entsprechend ihrer auch sonst sehr weiten ökologischen Valenz auch hinsichtlich der Fermente vielleicht den weitesten Bereich deckt und sowohl bei schwachen, mittleren und hohen Saccharase-Werten gut gedeiht. Eine parallele Untersuchung der Mykorrhiza-Ausbildung konnte leider aus zeitlichen Gründen noch nicht in Angriff genommen werden.

4. Rhododendreten

Das Rhododendretum reicht stärker in den sauren Bereich (pH 3.5 5 im Mittel). Auch hier läßt sich die steigende Tendenz der Saccharase-Werte erkennen, wenn auch die Streuung stärker ausgeprägt ist. Die Masse konzentriert sich zwischen 9 und 11.5, einzelne liegen aber auch tiefer, die niedrigsten Werte bei 5, der höchste bei 12.3. Auch bei diesen Böden läßt sich eine Annäherung an das Zirbenoptimum erkennen und in Rhododendreten ist ja auch das Gedeihen von Zirben relativ günstig.

Die bisher von GAMS (1959) durchgeführten Untersuchungen vorwiegend in Alpenrosenböden ergaben teilweise eine Parallelität der Fermentaktivität mit der Mikrobenzahl, teilweise verhielten sich diese gerade umgekehrt (Obergurgl, Pitztal). Es könnten hier wohl auch die von KISS und BALINT (1959) festgestellten Verschiedenheiten in der Wirksamkeit von Saccharase, die aus toten Zellen stammt und an Bodenkolloide adsorbiert wird und jener, die von lebenden Mikroorganismenzellen freigesetzt wird, eine Rolle spielen.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

5. Vaccinieten

Im wesentlichen kann hier das Gleiche gelten wie für das Rhododendretum, sowohl in bezug auf den pH-Wert als auch die Zirbenverjüngung. Die Breite des Streuungsbandes nimmt noch etwas zu, doch erscheint es regelmäßiger. Man wird, um eine schärfere Ausarbeitung zu ermöglichen, zwischen Vaccinieten feuchter und trockener Stellen trennen müssen. Dazu reicht jedoch das vorliegende Material mit zwanzig Probestellen nicht aus.

6. Calluneten

Bei den subalpinen Calluneten handelt es sich fast durchwegs um Trockenhänge mit SO, S oder SW-Exposition, häufig klimatisch ziemlich extrem. Interessant ist dabei aber, daß trotzdem die Saccharase-Werte auffallend hoch liegen (9 - 12.7) und dabei mit steigendem pH ein ziemlich linearer Anstieg der Saccharase-Werte feststellbar ist. Eine Häufung fällt jedoch in den Bereich von pH 5 5.5 (siehe Abb. 108, was ganz gut der Theorie von HOFMANN entspricht (HOFMANN 1951).

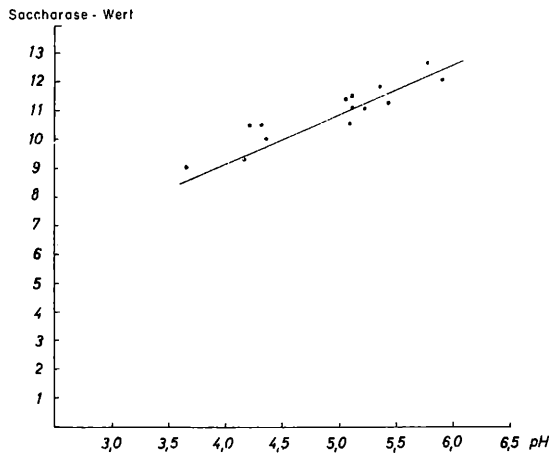


Abb. 108: Beziehungen von Saccharase-Aktivität zum pH-Wert in Callunaböden

Diese subalpinen und alpinen Calluneten unterscheiden sich ganz wesentlich von jenen des Flachlandes. Sie bilden im Gegensatz zu jenen kaum jemals einen nennenswerten Rohhumus und stellen zumindest in dieser Hinsicht kein besonderes Problem dar. Der Abbau erfolgt ohne Stockung. Leider hatten wir bisher noch nicht die Möglichkeit, eine Vergleichsuntersuchung der Saccharase-Werte

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
an Flachland-Calluneten durchzuführen.

Für den hohen Saccharase-Wert bei gleichzeitig klimatisch für Mikroorganismen bzw. Pilze ungünstig anmutenden Bedingungen, haben wir zunächst noch keine stichhaltige Erklärung. Sie wird sich wohl erst aus den geplanten Untersuchungen über die mikrobielle Bodenpopulation ergeben.

7 Flechtenheiden

Die gesamte Tendenz ist ähnlich wie bei den Calluneten, mit steigendem pH steigender Saccharase-Wert bis etwa pH 6. Im ganzen besehen liegen die Saccharase-Werte etwas niedriger, sie beginnen bereits bei 5.3 und steigen bis 11.3, wobei die Masse zwischen 9 und 11 liegt. Die Werte fallen bereits stärker mit dem Bereich der Zirbe zusammen und es läßt sich unschwer in der Natur feststellen, daß auf diesen Böden die Zirbenverjüngung wesentlich leichter und besser erfolgt als auf Callunaböden.

8. Weideböden

Bei den Weideböden zeichnen sich zumindest zwei deutliche Gruppen ab, wenn man Saccharase-Werte und pH-Werte koordiniert. Die eine hat ihr Optimum wieder um pH 5, die andere auf der Kalkseite um pH 7. Hierbei geben durchschnittlich, wie zu erwarten, Fettweiden höhere Werte als Nardeten. Starke Verdichtung wirkt vermindernd infolge geringerer Bodenaktivität.

D. Saccharaseaktivität in Beziehung zu Phosphor- und Kaligehalt

Von Frau Dr. CZELL wurden für eine Anzahl der von uns untersuchten Böden der Kali- und Phosphorgehalt bestimmt. Eine Gegenüberstellung dieser Werte mit den für die Saccharaseaktivität erhaltenen ergibt, daß anscheinend hinsichtlich des Phosphors engere Beziehungen bestehen. Was das Kali betrifft, so scheint hier kaum ein wesentlicher Einfluß vorzuliegen. Betrachtet man die Abb. 109, so fällt eine sehr starke Streuung der Werte auf. Es läßt sich zwar ein schwaches Absinken der Saccharase-Werte mit zunehmendem Kaligehalt des Bodens feststellen, doch ist die Abnahme so gering, daß man kaum wagen kann, irgendwelche Beziehungen darin zu erblicken.

Anders ist dies beim Phosphor. Auch hier ist zwar eine gewisse Streuung vorhanden, besonders im Bereich niedriger Phosphorkonzentrationen. Bei steigendem Phosphorgehalt läßt sich aber doch eine gewisse Linie erkennen. Es erfolgt ein Abfall der Sacchara-

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

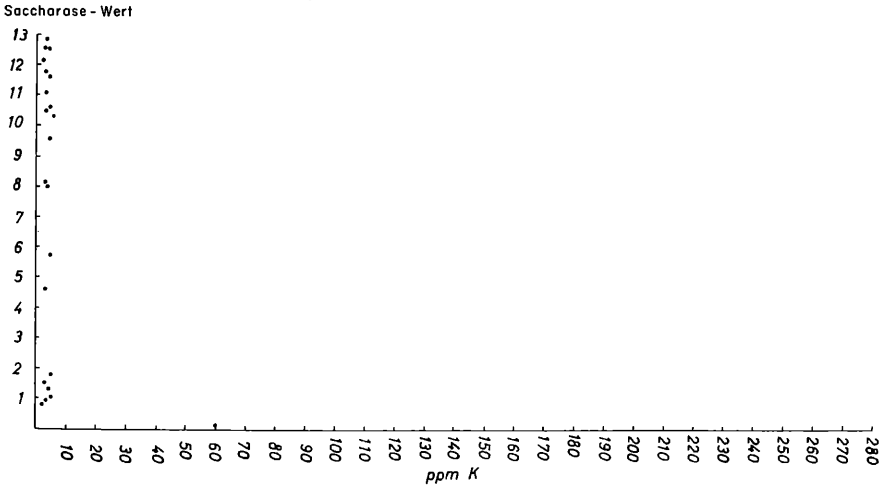


Abb. 109: Verteilung der Saccharase-Aktivität verschiedener Böden im Verhältnis zum Kaligehalt

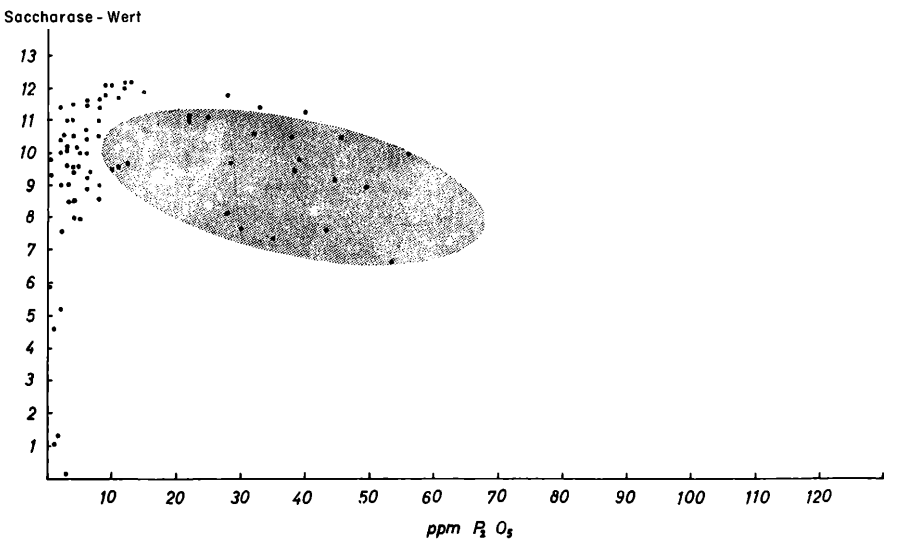


Abb. 110: Beziehung von Saccharase-Aktivität zum Phosphorgehalt. Umgrenztes Feld entspricht dem Bereich optimaler Zirbenentwicklung und Ausbildung von Zirbenmykorrhiza

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

se-Werte (siehe Abb. 110) bis in die mittleren Aktivitätsbereiche. Dies stimmt wieder mit der oben für Zirbenwachstum erwähnten Beobachtung überein, daß diese in Böden mit mittleren Aktivitätswerten optimal ist. Böden, die besonders gute Zirbenentwicklung zeigen oder sich dafür eignen, die gute Mykorrhizaausbildung an Zirben aufweisen, liegen vorwiegend in einem mittleren Bereich (siehe Abb. 110, umgrenzte Zone). Dies deckt sich aber auch sehr gut mit den Feststellungen von Dr. CZELL, daß Zirben ihre beste Entwicklung auf solchen Böden aufweisen, deren Phosphorgehalt sich Werten von 100 ppm nähert. Bei höherem Phosphorgehalt, der äußerst selten angetroffen wird (in unseren Untersuchungen je einmal 110, 120, 150 und 180 ppm), liegen die Saccharase-Werte ebenfalls im Mittelbereich.

Zusammenfassung

Abschließend kann gesagt werden, daß sich die Bestimmung der Saccharase-Aktivität entschieden als brauchbar und zweckmäßig erweist für verschiedenste Fragen, die die forstliche Forschung und Praxis bietet. Sie ermöglicht ein rasches Auffinden der aktiven Horizonte, sie erlaubt eine Beurteilung des Bodens für Aufforstungszwecke, sie ermöglicht rasche Kontrollen von Düngerwirkungen bzw. anderen Behandlungsmethoden von Forstgärten oder Forstböden. In der vorliegenden Arbeit wird gezeigt, daß sich verschiedene Vegetationsgesellschaften recht gut nach der Saccharaseaktivität unterscheiden und charakterisieren lassen. Auch bei Wald- und Aufforstungsböden zeigt sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen Fermentaktivität und Säuregrad des Bodens. Ferner ergibt sich ein deutlicher Zusammenhang mit dem Phosphorgehalt des Bodens. Der Kaligehalt scheint von keinem oder nur unbedeutendem Einfluß auf die Saccharase-Aktivität zu sein.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Literatur

BRÄUNLICH K. 1951: Der Fermentgehalt, insbesondere der Saccharasegehalt des Bodens unter dem Einfluß verschiedener Faktoren der Bodenfruchtbarkeit. (Dissertation Weihenstephan).

HOFMANN E. und SEEGERER A. 1951: Über das Enzymsystem unserer Kulturböden. I. Saccharase. (Biochem. Zeitschr. 322, 174-179).

HOFMANN Ed. und HOFFMANN Gg. 1955: Über Herkunft, Bestimmung und Bedeutung der Enzyme im Boden. (Zeitschr. f. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde 70, 9 16).

SEEGERER A. 1951: Der Fermentgehalt, insbesondere der Saccharasegehalt des Bodens, als Maßstab seiner biologischen Aktivität (Diss. Weihenstephan).

GAMS W. 1959: Die Bodenpilze im zentralalpinen Rohhumus. (Diss. Univ. Innsbruck).

KISS I. und BALINT I. 1959: A contribution to enzyme accumulation in the soil. (Iswest. Ak. NAUK SSSR, Biol. Ser. 2, 215-220).

KISS I. und BALINT I. 1959b: Isolierung von Hyphen aus dem Boden. (Sydowia XIII, p. 87-94).

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

12. Bodentieruntersuchungen an der Wald- und Baumgrenze

von E. Jahn

(Auszug aus der Originalarbeit "Bodenbiologische Untersuchungen an der Wald- und Baumgrenze bei Obergurgl. I. Teil unterhalb der Waldgrenze; II. Teil oberhalb der Waldgrenze. Erschienen im Centralblatt für das gesamte Forstwesen 1960).

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Einleitung

Neben Kleinstlebewesen, wie Bakterien und Pilzen, verschiedenen Vertretern der einzelligen Tiere, sind auch mehrere Gruppen von vielzelligen, wirbellosen Tieren für die Bodenerhaltung und die Bodenbildung von größter Bedeutung. Dazu gehören unter anderem:

1. Nematoden, Rotatorien, Enchytraeiden und Lumbriciden unter den Würmern.
2. Tardigraten Bärentierchen.
3. Isopoda Asseln.
4. Spinnentiere, wie Spinnen (Aranceae), Pseudoskorpione, Skorpione und Milben (Acarina).
5. Myriopoden (Tausendfüßler), Chilopoden (Hundertfüßler), darunter Proturen, Thysanuren und Collembolen verschiedener Urinsekten.
6. Verschiedene Ordnungen der Insekten, wie Psociden (Holzläuse), Schnabelkerfe (Rhynchoten), Larven, Puppen und Imagines von Käfern, Schmetterlingen und Hautflüglern.

Diese Tiere besiedeln die Böden in oft recht beträchtlichen Mengen. Darunter finden wir Verzehrer lebender Pflanzensubstanz und Räuber, ferner Pilz-, Algen- und Bakterienfresser. Groß ist auch die Zahl der von Abfallstoffen lebenden Arten. Dazu gehören:

1. Saprophag (von pflanzlichem Abfall) lebende Tiere.
2. Coprophag (von tierischen Exkrementen) lebende Tiere.
3. Necrophag (von toten Tieren) lebende Tiere.

Von all diesen Arten werden organische Stoffe, sei es auch nur am Wege der eigenen abgestorbenen Körper, in die Böden eingebracht, besonders wichtig werden jedoch die vom Abfall sich nährenden Arten, da durch sie der Abbau und damit der Kreislauf der organischen Substanz beschleunigt wird. Die Ausscheidungen verschiedener von pflanzlichem Abfall sich nährender Tiere enthalten auch Humusstoffe, die Dauerform der organischen Substanz im Boden. Dazu zählen Vertreter einer ganzen Reihe der oben angeführten Tierarten. Der Humus enthält vor allem organisch gebundenen Stickstoff, der bei einem erfolgreichen, langsamen Humusabbau wieder frei wird und einen sehr gut wirkenden Stickstoffdünger darstellt. Die Humusbildung selbst vollzieht sich als stufenweiser Oxydationsprozeß, wobei gleichzeitig auch ammoniakalischer Stickstoff gebildet wird. Als Ausgangspunkt dienen Lignin und Kohlehydrate und nach PSCHORN-WALCHER (1950) sind die Bedingungen zur Humusbildung aus diesen Stoffen nirgends günstiger als in den Kotklümpchen von Kleintieren. Es wird hier reichlich Ammoniak in die Freiheit gesetzt, "das auf engem Raum im Kotklümpchen basische Reaktion bewirkt und so die autoxydative

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at
Ammonisierung des in der Tierlosung aktivierten Lignins garantiert". Auch die Bildung von Humus aus Kohlehydraten findet besonders günstige Bedingungen in den Kotteilchen, da hier durch hohe Eiweißkonzentration für die diese Umsetzung bewirkenden Pilze (vorwiegend chromogene Actinomyceten neben Ascomyceten und Basidiomyceten der Waldstreu) besonders günstige Bedingungen vorhanden sind. Die Bodenerhaltung mit Hilfe von Kleintieren wird durch die Krümelstruktur der Losung bewirkt, welche durch Überzug von Bakterien und Pilzrasen besonders beständig wird. Diese beständige Krümelstruktur ist für die Erhaltung der Böden besonders ausschlaggebend. Weiters wirken die Bodentierchen an der Durchlockerung sowie der Durchlüftung der Böden mit und die Vermischungen anorganischer mit organischer Substanz im Darm mancher Bodentiere (z.B. Enchytraciden, Lumbriciden) zu Tonhumuskomplexen tragen zur Festigung des humosen Bodenanteiles und zur Bildung eines milden Humus weiter bei.

Die Untersuchungen in Obergurgl

Es lag daher nahe, im Versuchsgelände von Obergurgl-Poschach im Zuge der Untersuchung verschiedener Faktoren, die für das Hinaufrücken der bestehenden Waldgrenze von Bedeutung werden könnten, auch die Besiedlung mit Bodentieren zu untersuchen. Aus den vorstehenden Ausführungen geht ja hervor, daß der Zustand der Böden und damit letzten Endes auch das Pflanzenleben unter anderem auch von der Art und Dichte der tierischen Besiedlung abhängig sind.

Eine Reihe von Untersuchungen des Tierlebens im Versuchsgelände waren 1953/54 innerhalb der Grenze des geschlossenen Waldes auf und in der Umgebung der "Lichtung" Poschach in 1950 m Seehöhe erfolgt und hatten vor allem die Besiedlungsverhältnisse auf freigestellten Flächen, abgezogenem und bedecktem Boden, beschatteten und besonnten Waldrändern und beschatteten und besonnten Beständen zum Inhalt gehabt. Es hatte sich dabei, wie auch schon bei einer Reihe anderer Untersuchungen festgestellt wurde, ergeben, daß mit der Freistellung eine starke Reduktion des Tierlebens erfolgt war. Am geringsten war die Besiedlung auf den freigestellten Flächen und abgezogenen Böden, die der Ränder war bereits etwas dichter, wobei der beschattete Rand gegenüber dem besonnten von den Tieren bevorzugt wurde. Die meisten Tiere wurden in den Beständen gefunden, wobei jedoch die Tierzahlen im besonnten Bestand gegenüber dem beschatteten weit abfielen (s.Abb.111).

Die Untersuchungen des Tierlebens oberhalb der Waldgrenze hatten dessen Verhalten innerhalb bestimmter Standorte und Pflanzengesellschaften zum Gegenstand. In den Pflanzengesellschaften

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

sollten auch die Verhältnisse des Bodentierlebens vergleichsweise in tieferen (2100 m Seehöhe) und höheren (2260 m Seehöhe) Lagen festgestellt werden. Es handelt sich dabei um die festgestellten Pflanzengesellschaften zwischen den windausgesetzten, schneeärmsten und den windgeschützten Standorten mit sicherer Schneelage.

Zur tierbiologischen Untersuchung dienten je ein Standort im Loiseleurietum, im Vaccinietum uliginosi und im Rhododendretum ferruginei in 2100 m Seehöhe und je ein Standort im Alectorietum, Vaccinietum uliginosi u. Rhododendretum ferruginei in 2260 m Seehöhe.

Die Abbildung 112 gibt die erhaltenen Tierzahlen aus je zwei Proben, beinhaltend je 1 Liter Boden plus 1 Liter Streu an.

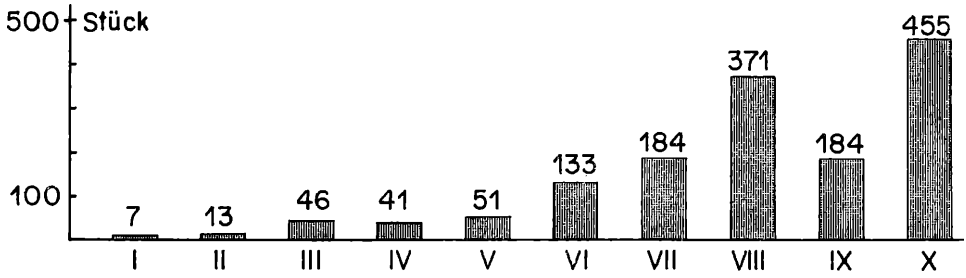


Abb. 111: Durchschnittlicher Belag an Bodentieren

Erklärung:

I Freiland (Lichtungsmitte)
II abgezogener Boden Schattenrand Zirbenbestand
III bedeckter Boden, sonst wie II
IV Sonnrand Lärchenbestand
V Lärchenbestand-Boden
VI Lärchenbestand sonnig Streu
VII Lärchenbestand sonnig Boden + Streu
VIII Zirbenbestand schattig-Boden
IX Zirbenbestand schattig Streu
X Zirbenbestand schattig Boden + Streu

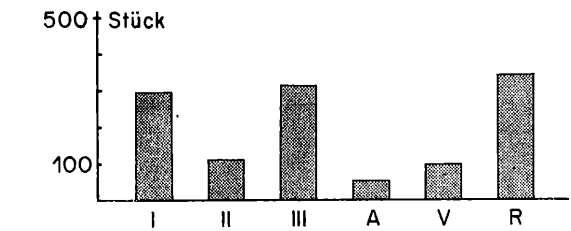


Abb. 112: Belagszahlen von Bodentieren in Stk.
Erklärung: Höhenlage 2100 m
I Loiseleurietum
II Vaccinietum uliginosi
III Rhododendretum ferr.
Höhenlage 2260 m
A Alectorietum
V Vaccinietum uliginosi
R Rhododendretum ferr.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Die Untersuchungen ergaben, daß die stärksten Belagszahlen mit Bodentieren im Rhododendretum liegen, daß aber in der unteren Versuchsreihe in der Zone des vordringenden Waldes (2100 m) die Belagszahlen auch im Loiseleurietum beinahe gleich hoch sind, während in der oberen Versuchsreihe (2260 m) ein starker Abfall vom Rhododendretum zum Vaccinietum ulig. und von diesem wiederum zum Alectorietum gegeben ist. Es treten also bezüglich der Bodentiere in den Hochlagen von ca. 2300 m Seehöhe erst unter den dichteren Decken der Alpenrosen für die Bodentiere anscheinend erträglichere Verhältnisse ein, während in der unteren Versuchsreihe (2100 m) diese auch noch im Loiseleurietum gegeben sind.

Das Bodentierleben steht, wie in den Untersuchungen oberhalb und unterhalb der Waldgrenze gezeigt werden konnte, in weitgehender Abhängigkeit von den kleinklimatischen Umweltsverhältnissen (JAHN 1960). Besonders der Gang der Bodentemperaturen und damit verbunden jener der Einstrahlung war weitgehend mitbestimmend (siehe Seite 153 ff. und 69 ff.).

Unter den Bodentiergruppen fanden sich am häufigsten Milben (Acarina) und Springschwänze (Collembolen) in recht wechselndem Verhältnis. Unter den Milben waren Hornmilben (Oribatei), die für die Humusbildung von großer Bedeutung sind, besonders artenmäßig zahlreich vertreten. Vereinzelt fanden sich weiters Nematoden, Enchytraciden, Psociden, Larven, Puppen und Imagines von Käfern, Fliegen und Hautflüglern und außerdem noch Schildläuse.

Eine artenmäßige Selektion konnte für die einzelnen Standorte nicht festgestellt werden. Die meisten Arten waren unterhalb und oberhalb der Grenze des geschlossenen Waldes, so wie in den Lagen zwischen 2100 m und 2260 m verbreitet. Der Gehalt an Oribatiden-Arten in den Lagen über der Waldgrenze ist mit dem von Waldgebieten vergleichbar und würde bei einem Vorrücken des geschlossenen Waldes wohl auch bald quantitativ den von Waldböden erreichen.

Literatur

JAHN E. 1960: Bodenbiologische Untersuchungen an der Wald- und Baumgrenze bei Obergurgl; I. Teil unterhalb der Waldgrenze; II. Teil oberhalb der Waldgrenze. Centralbl. f. d. ges. Forstw.

PSCHORN-WALCHER 1950: Vergleich der Bodenfauna in Mischwäldern und Fichtenkulturen der Nordostalpen. Mitt. d. Forstl. Bundesversuchsanstalt Mariabrunn, Bd. 48/I, 44-111.

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

Inhalt II. Band

F. Untersuchungen über die Holzarten der subalpinen Stufe
1. Verteilung und Zuwachs der Zirbe (Pinus cembra L.) der subalpinen Stufe an einem zentralalpinen Standort, von H. Oswald
2. Der Jahresgang der CO_2-Assimilation junger Zirben, von W. Tranquillini
3. Die CO_2-Jahresbilanz und die Stoffproduktion der Zirbe, von W. Tranquillini
4. Über die Frostresistenz der Zirbe, von W Tranquillini
5. Über den Gefrierbereich von Nadeln der Zirbe, von W. Tranquillini
6. Forstliche Sonderfragen von R. Stern

II. AUF DEM WEGE ZUR PRAXIS DER HOCHLAGENAUFFORSTUNG

A. Über die Bedeutung, Art und Verteilung windabhängiger Bauten in der Lawinenverbauung und -vorbeugung, von J Hopf und J. Bernard

B. Mikrobiologie des Bodens und Forstwirtschaft, von M. Moser

C. Förderung des Mykorrhizabildung in der forstlichen Praxis, von M. Moser

D. Das Projekt Wildbach- und Lawinenverbauung "Vorderes Zillertal" und seine wirtschaftliche Bedeutung, von S. Stauder

E. Erfahrungen bei der Hochlagenaufforstung im "Vorderen Zillertal", von S. Stauder

F Die Anwendung des Wind - Schnee - Probeökogrammes, von H. Aulitzky

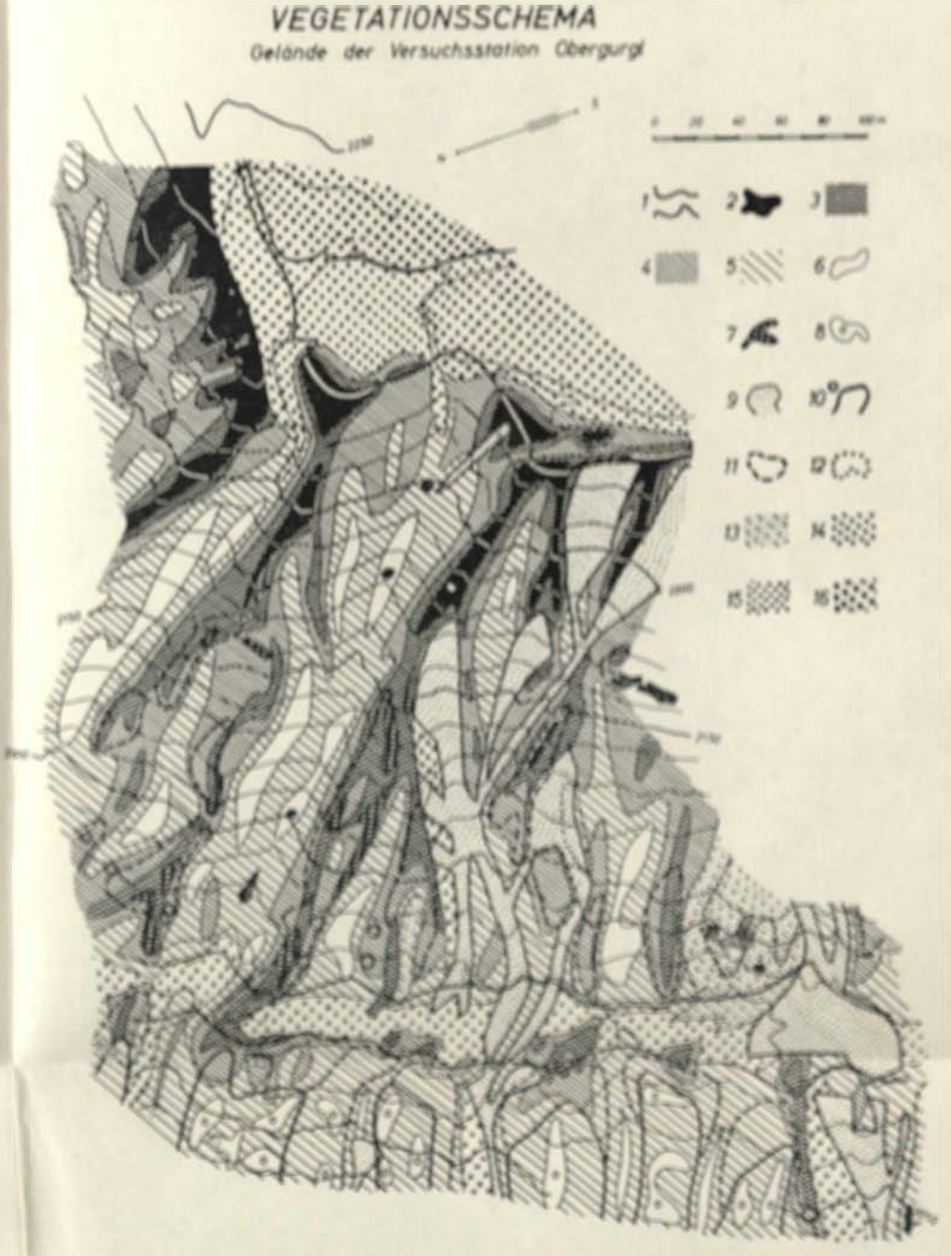
Zusammenfassung

Veröffentlichungen der Forschungsstelle für Lawinenvorbeugung

Beilage zu „Ökologische Untersuchungen in der subalpinen Stufe zum Zwecke der Hochlagenaufforstung" Teil I.
Mitt. Forstl. Bundes-Versuchsanstalt Mariabrunn, Heft 59, 1961



Schematische Karte der Ausaperung im Gelände des Untersuchungsgebietes Obergurgl — Poschach — Waldgrenze (2050 bis 2250 m). Die Ausaperungszustände wurden im Frühsommer 1955 verpflockt und vermessen und anschließend von H. FRIEDEL schematisiert. *1* — Geländebereich der unteren und oberen Verebnung, *2* — Ausaperung bis 23./24. April, *3* — Ausaperung bis 5./6. Mai, *4* — Ausaperung bis 6. Juni, *5* — Ausaperung bis 24. Juni, *6* — Ausaperung noch später



Vegetationsschema im Gelände des Untersuchungsgebietes Obergurgl — Poschach — Waldgrenze, aufgenommen und schematisiert von H. FRIEDEL. *1* — Geländebereiche der unteren und oberen Verebnung, *2* — Alectorietum ochroleucae, *3* — Loiseleurietum proc., *4* — Vaccinietum uliginosi, *5* — Rhododendro-Myrtilletum, *6* — dichtes Rhododendretum ferruginei, *7* — Pinetum Mughi, *8* — Lücken im Wald-Rhododendretum, *9* — Blaiken, *10* — Zirbenaltwuchs, *11* — Zirbenjungwuchs, *12* — Lärchenjungwuchs, *13* — offenes Pionier-Rhododendretum mit Rhacomitrium canescens, *14* — Flächen mit Bodenüberhitzung, *15* — Flächen mit Bodenverdichtung, *16* — Carex curvula-reiche Zwergstrauchheiden

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.biologiezentrum.at

Abb. 5 : VEGETATIONSKARTE DES GURGLERTALES

(Hinterstes Ötztal in Nordtirol)

0 1 2 3 4 5 km

Maßstab 1 : 37.500

Subalpiner Hochwald, Zirbe dominant, Lärche beigemischt.

Subalbiner Hochwald, Lärche dominant, Zirbe, bzw. unter 1700 m auch Fichte beigemischt.

Krummholz (Grünerlen, nur vereinzelt Legföhren), Flaumbirke, Zitterpappel und verschiedene Weiden beigemischt; Salix helvetica-Bestände im Timmelstal.

Zwergstrauchheiden (Rhododendretum ferruginei, Vaccinietum Myrtilli und uliginosi, Arctostaphyletum uva ursi, Loiseleurietum) inclusive Flechtenheiden (Alectorietum).

Ungedüngte Bergmähder und Großviehweiden

Düngewiesen

Alpine Grasheide ("Curvuletum" incl. Elynetum, Festucetum Halleri und variae, Nardeta)

Gletscher

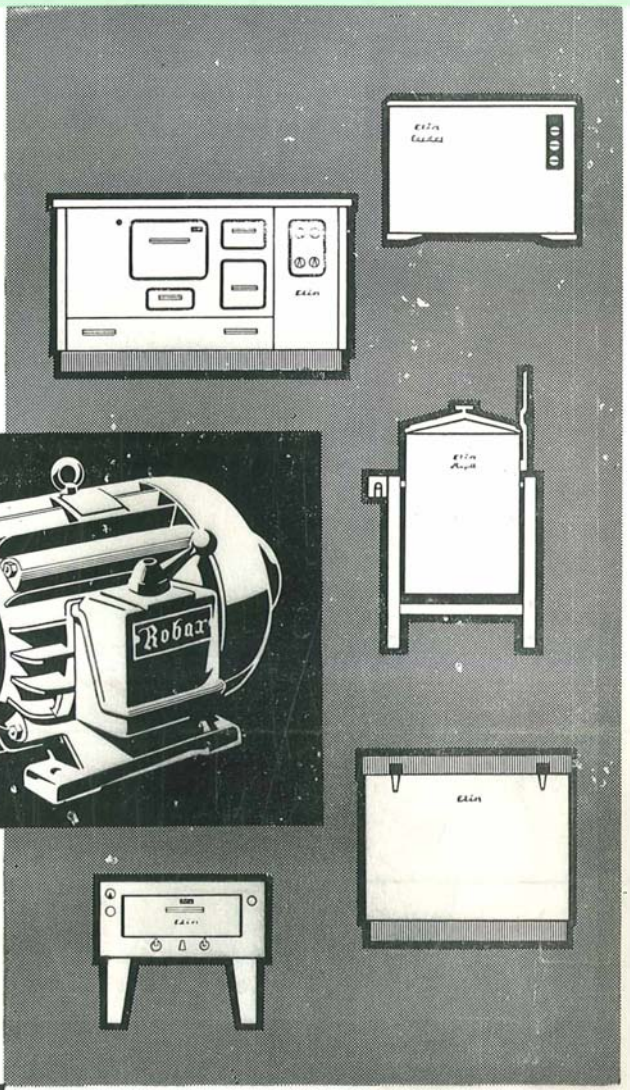
Feldaufnahmen 1 : 25.000: Dr. Hans Pitschmann, Dr. Herbert Reisigl, beide botanisches Institut der Universität Innsbruck, und Dr. H. M. Schiechtl, Forschungsstelle für Lawinenvorbeugung, Innsbruck.

Entwurf und Reinzeichnung: Dr. H. M. Schiechtl.

Forschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

©Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, download unter www.zobodat.at

erprobt
gelobt
bewährt
begehrt



ELIN
UNION

für die
Landwirtschaft