

**MITTEILUNGEN
DER FORSTLICHEN BUNDES-VERSUCHSANSTALT
MARIABRUNN**

(früher „Mitteilungen aus dem forstlichen Versuchswesen Österreichs“)

60. Heft

1963

INHALT

**Ökologische Untersuchungen in der subalpinen Stufe
zum Zwecke der Hochlagenaufforstung**

TEIL II

Eine Gemeinschaftsarbeit der Forschungsstelle für Lawinenvorbeugung

Innsbruck

Leitung: Hofrat Dipl.-Ing. Dr. Robert Hampel

OÖLM LINZ



+XOM3132602

Herausgegeben

von der

Forstlichen Bundes-Versuchsanstalt Mariabrunn in Wien-Schönbrunn

Kommissionsverlag: Österreichischer Agrarverlag, Wien

I 92658/60

105

AZ/D.

1

..... 415/1983

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

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

Copyright 1963 by
Forstliche Bundes-Versuchsanstalt Mariabrunn
Wien-Schönbrunn

Printed in Austria

Redaktion und Satz: Forschungsstelle für Lawinenvorbeugung, Innsbruck
Druck: Reprographie Tyrol, K. Zöttl, Innsbruck
Bindearbeiten: A. Schwab Söhne, Innsbruck

Inhalt des I. Teiles

	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), von H. Aulitzky, A. Czell, G. Fromme, I. Neuwinger, H. M. Schiechtl und R. Stern	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 zentralalpiner Hangstation in der subalpinen Stufe, von H. Aulitzky	209
6. Die Verdunstungsverhältnisse einiger subalpiner Standorte, von E. Prutzer	231
7. Bodenfeuchtemessungen, von I. Neuwinger-Raschendorfer	257
8. Die Niederschlags- und Schneesverhältnisse, 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
Anhang: a) Ausaperungs- und Vegetationsschema im Gelände der Versuchsstation Obergurgl (1 : 3.000)	
b) Vegetationskarte des Gurglertales (1 : 37.500)	

Inhalt des II. Teiles

Seite

I.	F.	Untersuchungen über die Holzarten der subalpinen Stufe:	
	1.	Verteilung und Zuwachs der Zirbe (<i>Pinus cembra</i> L.) der subalpinen Stufe an einem zentralalpinen Standort, von H. Oswald .	437
	2.	Der Jahresgang der CO ₂ -Assimilation junger Zirben, von W. Tranquillini	501
	3.	Die CO ₂ -Jahresbilanz und die Stoffproduktion der Zirbe, von W. Tranquillini	535
	4.	Über die Frostresistenz der Zirbe, von W. Tranquillini	547
	5.	Über den Gefrierbereich von Nadeln der Zirbe, von W. Tranquillini und K. Holzer	563
	6.	Über die Schneeschütte-Krankheit (<i>Phacidium infestans</i> Karst.) der Zirbe (<i>Pinus cembra</i> L.) und einige Begleitpilze, von E. Donaubauer .	575
II.	AUF DEM WEGE ZUR PRAXIS DER HOCHLAGEN-AUFFORSTUNG:		
	A.	Untersuchungen zur Windverbauung:	
	1.	Windbeeinflussende Bauten in der Lawinerverbauung und -vorbeugung, von J. Hopf und J. Bernard	605
	2.	Versuche mit Kolktafeln an der Schneeforschungsstelle Wattener Lizum / Tirol, von H. Wopfner und J. Hopf	633
	3.	Modellversuche mit Kolktafeln im Windkanal, von A. Fuchs	667
	B.	Mikrobiologie des Bodens und Forstwirtschaft, von M. Moser	683
	C.	Förderung der Mykorrhizabildung in der forstlichen Praxis, von M. Moser	691
	D.	Das Projekt "Wildbach- und Lawinenvorbeugung Vorderes Zillertal" und seine wirtschaftliche Bedeutung, von S. Stauder	721
	E.	Praktische Erfahrungen bei der Hochlagenaufforstung im vorderen Zillertal, von S. Stauder . . .	743
	F.	Grundlagen und Anwendung des vorläufigen Wind-Schnee-Ökogrammes, von H. Aulitzky	763
	Zusammenfassung Résumé Summary (Teil I und II), von R. Hampel		835
	Veröffentlichungen der Forschungsstelle für Lawinenvorbeugung		881
	Anhang: Das vorläufige Wind-Schnee-Ökogramm mit kurzgefaßter Anleitung zur praktischen Anwendung		§

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

Inhalt

	Seite
Einleitung und Zielsetzung	439
I. Das Untersuchungsgebiet und die Untersuchungsmethoden	440
A. Beschreibung der Pflanzengesellschaften	440
B. Beschreibung der Untersuchungsmethoden	441
II. Die Jungwuchsverteilung	444
A. Die Zirbenverteilung auf das Relief	444
B. Die Verteilung der Zirben nach Expositionen ...	447
C. Die Verteilung der Zirben auf die Pflanzengesellschaften	449
III. Die Schäden und Ausfälle an der Zirbe	453
A. Aufnahmemethoden und Beschreibung der Schäden	453
B. Die Verteilung der Schäden	455
1. Die Verteilung der Ausfälle auf das Relief ..	455
2. Die Verteilung der Ausfälle in den Pflanzengesellschaften	456
IV. Die Versuchspflanzung	458
A. Methoden und Zielsetzung	458
B. Die Herkunft des Pflanzenmaterials	459
C. Messungen und Beobachtungen an der Pflanzung ..	459
D. Ergebnisse der Schadenerhebungen und die Höhenzuwächse	460
1. In den verschiedenen Höhenstreifen	460
2. In den verschiedenen Pflanzengesellschaften ..	461
3. Auf der Sonn- und Schattseite	464
4. Die Schadensarten und ihre Verteilung	464
5. Die Höhenzuwächse	464
E. Vergleich der Klemm- und Lochpflanzung	465
F. Zusammenfassung	465
	437

V.	Die Zuwachsuntersuchungen	466
	A. Zielsetzung und Aufnahmemethoden	466
	B. Der Höhenzuwachs	467
	C. Die Gewichtsermittlungen	470
VI.	Die Bestandesentwicklung an der Waldgrenze	472
	A. Beschreibung der Versuchsfläche und der Aufnahmemethoden	472
	B. Die Holzartenverteilung, die Höhen- und Altersklassen	473
	C. Der Bestandaufbau	476
VII.	Die Keimung der Zirbe	480
	A. Die Samenreife	480
	B. Samengröße und Gewicht	480
	C. Optimalwerte von Temperatur und Feuchtigkeit für die Entwicklung der Embryonen und für die Keimung selbst	481
	D. Das Keimbett und die Schädigungen an den Keimlingen	481
VIII.	Die Samenverbreitung der Zirbe	482
	A. Die Verbreitungsmittel	482
	Die Verhaltens- und Lebensweise des Tan- nenhäherers	483
	B. Die Dichte der Samenverbreitung in Abhän- gigkeit von der Entfernung zur Waldgrenze und von der Bestandesdichte	485
IX.	Die Untersuchungen auf der Jochalm	486
	A. Das Untersuchungsgebiet	486
	B. Problemstellung und Untersuchungsmethoden	486
	C. Die Ergebnisse	487
X.	Zusammenfassung und waldbauliche Folgerungen ...	490
	A. Die natürliche Verjüngung	490
	1. Das Samenangebot	490
	2. Die Zugänglichkeit (Akzessibilität) der Fläche	490
	3. Der Häherbestand	490
	4. Das Relief	491
	5. Das Keimbett	491
	6. Die Flächengröße und Bestandesdichte	491
	B. Die künstliche Verjüngung	491
	1. Die Saat	491
	Die Provenienz des Saatgutes	492
	2. Die Pflanzung	492
	a) Die Anzucht der Pflanzen	493
	b) Die Pflanzmethode	493
	c) "Starthilfen"	494
	d) Die Pflanzenanzahl und die Nachbes- serung	495
	3. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse	496
	Literatur	496

Einleitung und Zielsetzung

In den inneralpinen Tälern Tirols bildet die Zirbe in den meisten Fällen die Waldgrenze, doch wurde sie aus manchen Gebieten durch die Ausbreitung der Alpwirtschaft, durch Nutzung im Großkahlschlagbetriebe oder durch ständige Plenterung meist Nutzung auf den besten Stamm verdrängt. Durch ihre gute Widerstandsfähigkeit gegen Frost, Wind, Schnee und Austrocknung ist sie den rauen Umweltbedingungen an der Wald- und Baumgrenze wie keine andere Holzart gewachsen und durch ihr leichtes Aufkommen auch auf Rohhumusböden die ideale Holzart für eine Wiederaufforstung an und über der heutigen Waldgrenze. Nicht zuletzt erreicht sie auch die höchsten Standorte aller Bäume innerhalb unserer Alpen (HANDELMAZZETTI 1954) und bildet auch in hohen Lagen noch dichte und zuwachsfreudige Bestände.

Schon seit über 100 Jahren verwendet man in der Schweiz die Zirbe für Hochlagenaufforstungen und auch in der Lawinenverbauung in Kombination mit technischen Maßnahmen mit bestem Erfolg und man nahm gerne ihre Langsamwüchsigkeit in der Jugend in Kauf (LANDOLT 1895, COAZ 1897, SCHLATTER 1935). Aber auch in Österreich wurden mit Zirben viele Aufforstungen durchgeführt, denen mit wenigen Ausnahmen jedoch nur ein sehr geringer Erfolg beschieden war, da die Standortauswahl in den meisten Fällen nicht entsprochen hatte und keine Nachbesserungen vorgenommen wurden oder aber die Zirben in einem vollkommen standortsfremden Milieu erzogen worden sind. Es sei hier vor allem auf die Aufforstungen mit Pflanzen aus dem Zirbenpflanzgarten Hinterberg hingewiesen (NEKOLA 1898, SCHÖNWIESE 1929).

Bei der österreichischen Hochgebirgspreisaufforstung in den Jahren 1852 - 1868 wurden mit der Zirbe in einem Reviere bei Murau in der Steiermark sehr gute Erfolge erzielt (BREYMANN 1868, SCHWARZ 1957).

In der forstlichen Zirbenliteratur des In- und Auslandes fanden sich bisher meist nur Arbeiten allgemeineren Inhaltes über die Areal- und Höhenverbreitung in einzelnen Gebieten sowie über Kulturmaßnahmen, die nahezu alle aus der Zeit um die Jahrhundertwende stammen. Spezielle Untersuchungen an der Wald- und Baumgrenze über die Jungwuchsverteilung in verschiedenen Pflanzengesellschaften sowie Zuwachsmessungen an Jungwüchsen innerhalb der ersten 50 Jahre auf breiter Basis mit statistischen Methoden sind bisher kaum bekannt geworden.

In dieser Arbeit soll nun der Versuch unternommen werden, das Aufkommen, die Verteilung und das Wachstum autochthoner Jungzirben, innerhalb des Bereiches der Tiroler Zentralalpen unter Berücksichtigung der vorgefundenen Pflanzengesellschaften näher zu untersuchen und durch die Auswertung von Versuchspflanzungen vergleichbare Unterlagen für Hochgebirgsaufforstungen zu gewinnen.

I. Das Untersuchungsgebiet und die Untersuchungsmethoden

Der Großteil der vorliegenden Untersuchungen wurde im Gelände der Versuchsstation in Obergurgl durchgeführt (siehe Seite 53 ff).

A. Beschreibung der Pflanzengesellschaften

Für den modernen Waldbau sind Erkenntnisse aus der Pflanzensoziologie eine notwendige Grundlage und besonders bei den extremen Standortverhältnissen des Hochgebirges unentbehrlich für jede waldbauliche Maßnahme und Planung. Nun gibt es aber in der Pflanzensoziologie mehrere Richtungen, zum Beispiel die Nordische Schule (CAJANDER, MOROSOW, SOKATSCHEV, GAMS), wobei die Vegetation in konkreten Gesellschaften, sogenannten Soziationen, nach der Dominanz gefaßt wird, oder die Schule BRAUN-BLANQUET, TÜXEN etc., die die Vegetation in zum Teil abstrakte Gesellschaften, sogenannten Assoziationen, nach Charakter- und Differenzialarten faßt. Da die rein wissenschaftliche Pflanzensoziologie ja nicht allein auf die forstliche Praxis ausgerichtet ist, sind ihre Erkenntnisse und Ergebnisse für den Praktiker nicht immer leicht und einwandfrei auf seinen speziellen Fall abzustimmen. Es ist auch vom Praktiker kaum zu verlangen, daß er neben großer floristischer Kenntnis auch den ökologischen Aussagewert der Pflanzen in genügendem Ausmaße beherrscht.

Man hat daher immer wieder versucht, die Erkenntnisse der Pflanzensoziologie in einen für den Praktiker leichter verständlichen und anwendbaren Rahmen zu bringen. Eine Aufgliederung in Wuchsgebiete (TSCHERMAK 1940) und eine Einteilung in Höhenstufen (AICHINGER 1949, ECKMÜLLNER und SCHWARZ 1954, HUFNAGL 1950) gaben zum Beispiel für Österreich eine sehr brauchbare Gliederung für eine geographische Höhenverbreitung der einzelnen Holzarten. Um nun aber innerhalb eines Wuchsgebietes und einer Höhenstufe den Standort noch wesentlich enger und genauer zu fassen, wurde von HUFNAGL eine "Waldbaudiagnostische Arbeitsrichtung" geschaffen, die sich eng an die nordische Waldtypenschule von CAJANDER (1909, 1921, 1926) anlehnt und die ihre Waldtypen nur nach der Dominanz zusammenfaßt, die aber auch der Dynamik in der Pflanzensoziologie weitgehend gerecht wird durch eine Gliederung und Einordnung dieser Waldtypen in Waldentwicklungstypen (AICHINGER 1949).

Im Gebiete der oberen Kampfzone des Waldes, an der Waldgrenze, noch mehr aber an der Baumgrenze, tritt eine immer deutlicher werdende Differenzierung nach ökologisch unterschiedlichen Soziationen auf und der bisherige Rahmen für den Einzelstandort wird enger. Daher muß auch die forstliche Praxis weiter differenzieren.

Die Wirkung einzelner Faktoren wie Wind, Schneebedeckungsdauer, Schneehöhe, Überhitzung, Bodenfeuchte und Bodenreife führt zur Entwicklung von ökologisch sehr unterschiedlichen Soziationen, die sich leicht nach Dominanz fassen lassen. Diese einzelnen Soziationen bilden ökologische Reihen - nach "Entscheidungsfaktoren" gegliedert und kommen zониert oder im Mosaik vor (siehe Seite 317 ff; FRIEDEL 1952, 1953, 1956, GAMS 1957).

Wenn innerhalb einer Soziation noch bedeutende Unterschiede auftreten, wird es notwendig sein, auf Subdominanten und Differenzialarten herunter zu gehen. In vorliegender Arbeit soll hauptsächlich die ökologische Reihe der durch Wind und Schneebedeckung bedingten Soziationen für die Zirbenuntersuchung herausgegriffen werden, wofür die nachstehende Nomenklatur verwendet wird:

Die ökologische Reihe Wind		Schneebedeckung
Windblaike		Wbl. Windblaike
Alectorietum	A	Windbartheide
Loiseleurietum	L	Gemsenheide
Vaccinietum uliginosi	Vu	Rauschbeerheide
Vaccinietum myrtilli	Vm	Schwarzbeerheide
Rhododendretum ferruginei mit Hylocomium sp. und Pleurozium sp.	Rm	Alpenrosenheide in Schattlagen
Rhododendretum ferruginei mit Dicranum sp. Calluna vulgaris und Juniperus nana	Rj	Alpenrosenheide in Sonnlage
Rhododendretum ferruginei mit Polytrichum alpinum, sowie Sibbaldia procumbens und Soldanel- la pusilla	Rs	Alpenrosenheide in schneereichen Mulden
Schneebodengesellschaft mit Salix herbacea, Gnaphalium su- pinum und Polytrichum sexangulare (In der subalpinen Stufe selten ty- pisch ausgebildet).	S	Schneebodenge- sellschaft

B. Beschreibung der Untersuchungsmethoden

Bereits im Jahre 1955 wurde mit der Aufnahme von drei streifenartigen Flächen (in den Tabellen und im Text als "Streifen" mit fortlaufender Nummerierung bezeichnet) in der Kampfzone zur Ermittlung der Flächendichte der Zirben in den verschiedenen Pflanzengesellschaften sowie der Schädigungen und des Ausfalles durch STERN begonnen. Die Ergebnisse dieser Arbeit sind in einer Dissertation an der Hochschule für Bodenkultur in Wien (STERN 1956) niedergelegt. Das dem Verfasser zur Verfügung gestellte Aufnahmematerial wurde in den darauffolgenden Jahren nach inzwischen gewonnenen neuen Erkenntnissen neuerdings bearbeitet und die Ergebnisse in vorliegende Arbeit eingebaut.

In den Jahren 1956 und 1957 wurden weitere Flächen ausgewählt und an einer großen Anzahl von Zirben Durchmesser, Höhe, z. T. Alter, Schädigungen und Ausfälle festgehalten. Bei der Aufnahme wurden Exposition, Relief, Seehöhe, Bestandaufbau und die verschiedenen Pflanzengesellschaften unterschieden. Eine Zusammenstellung der in den Jahren 1955 bis 1957 aufgenommenen Untersuchungsflächen ist aus Tab.1 und Abb.113 ersichtlich.

Bei den Aufnahmen erwies sich die Altersbestimmung sowohl bei den jungen als auch bei den alten Zirben als äußerst schwierig und vor allem als sehr ungenau. Deshalb wurde dazu übergegangen, die Auswertung nicht nach dem Alter, sondern nach Höhenstufen vorzunehmen, um die Fehlerbreite auf ein tragbares Maß einzuschränken. Zur besseren praktischen wie auch sprachlichen Unterscheidung der Jungwüchse wurden Kleinjungzirben (bis 50 cm) und Großjungzirben (51 bis 300 cm) unterschieden und - wo es notwendig erschien - auch getrennt ausgewertet.

Für die Zuwachsmessungen wurden in typisch ausgebildeten Pflanzengesellschaften Zirben verschiedener Höhe, jedoch gleicher, optimaler Wuchsform ausgewählt - dadurch konnte die Streuung auf ein Mindestmaß herabgedrückt werden - und durch Stammanalyse und Gewichtsermittlung Zuwächse und Massen bestimmt.

Tabelle 1: Angaben über die Untersuchungsflächen

Fläche Nr.	Höhenstufe	Seehöhe m	Haupt-expos.	Neigung Grade	Fläche m ²	Vegetation	Zirbenanzahl	Zirbenanzahl/ha	Aufgenommen von, wann
Fläche I	Hochwald	2020	W	25	4276.0	R	2342	5476	H. Oswald 1956
Streifen II	Hochwald	2050	W	25	1830.0	V - R	143	781	R. Stern 1955
Fläche III	Waldgrenze	2075	W	30	230.3	Vu - L	264	11055	H. Aulitzky u. H. Oswald 1956
Streifen IV	untere Kz	2100	W	25	2536.0	L - R	647	2551	R. Stern 1955
Streifen V	untere Kz	2125	W	25	13012.0	A - R	3917	3010	H. Oswald 1957
Streifen VI	obere Kz	2170	W	30	1956.3	L - R	527	2694	R. Stern 1955
Streifen VII	obere Kz	2200	W	30	1829.0	A - R	57	312	R. Stern 1955
Streifen VIII	(Kz)	2000	NW	30	132.0	V - R	87	6600	H. Oswald 1957
Streifen VIIIa	(Kz)	2020	NW	30	360.0	V - R	141	3910	H. Oswald 1957
Fläche IX	(Kz)	2070	E	25	1035.0	V - R	174	1680	H. Oswald 1957
Fläche X	Kz	2100	N	25	1210.5	L - R	1198	9900	H. Oswald 1957
Fläche XI	Kz	2110	S	30	366.4	Rj, N, C	79	2220	H. Oswald 1957
Fläche XIa	Kz	2110	S	30	763.5	Rj, N, C	22	2910	H. Oswald 1957

Die Flächen und Streifen I - VII lagen im engeren Stationsbereiche, die Streifen VIII und VIIIa sowie die Fläche IX in der Nähe des Obergurgler Zirbenwaldes ca. 3 km südlich des Stationsgebietes.

Die Flächen X, XI und XIa wurden auf der Jochalm ober Stams im Inntale untersucht.

Zeichenerklärung: A Alectorietum
 L Loiseleurietum
 V Vaccinietum
 Vu..... Vaccinietum uliginosi
 R Rhododendretum
 Rj..... Rhododendretum juniperusreich
 C Callunetum
 N Nardetum
 Kz..... Kampfzone

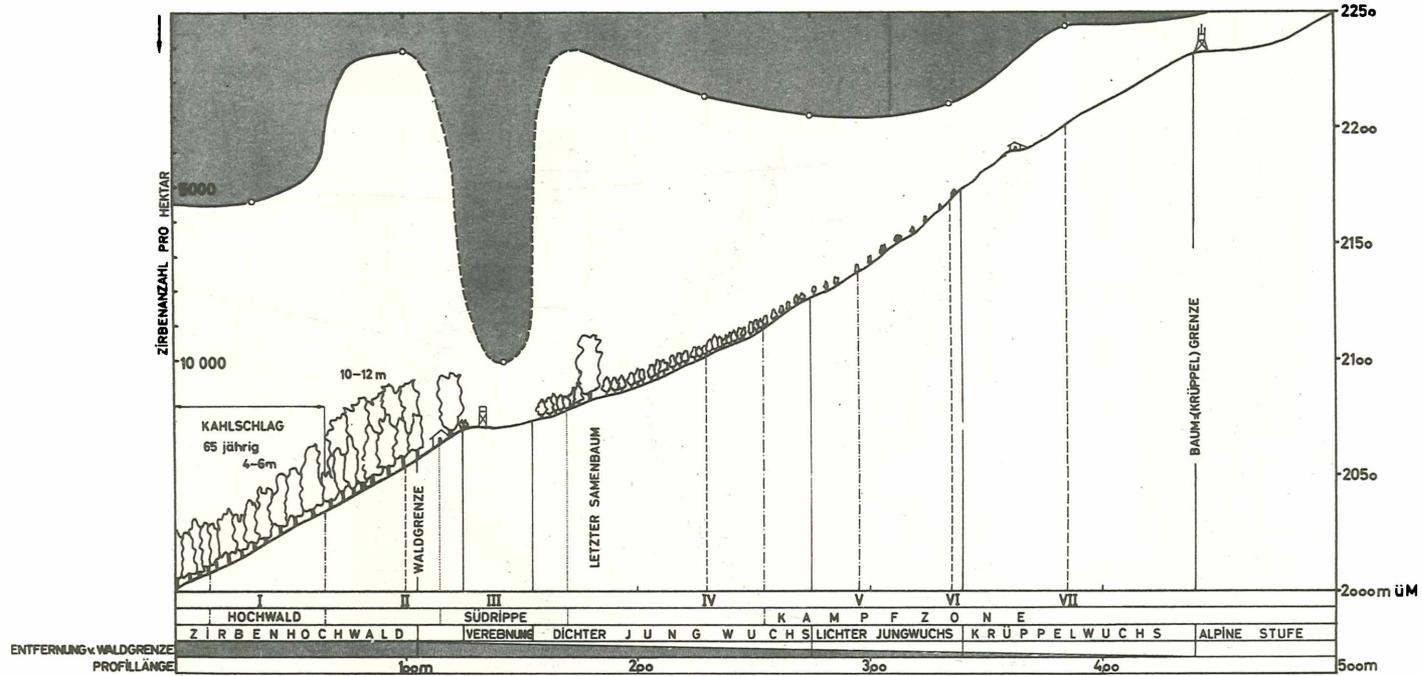


Abb. 113: Schematisiertes Hangprofil Hochwald - Baumgrenze. Darstellung der Bestände, der Lage der Versuchsflächen sowie der Abnahme der Flächendichte (Anzahl Zirben/ha) mit der Entfernung von der Waldgrenze

II. Die Jungwuchsverteilung

A. Die Zirbenverteilung auf das Relief

Wer jemals innerhalb des Zirbenwuchsgebietes Bergwanderungen über die heutige Waldgrenze hinauf unternommen hat, dem wird aufgefallen sein, daß überall dort, wo die Zirbe wiederum langsam gegen die alpine Stufe im Vorrücken begriffen ist, dieses Emporklettern sich vornehmlich auf Rippen, Grate und steile Felsstufen beschränkt. In Tab.2 und Abb.114 ist die Verteilung von Zirben-

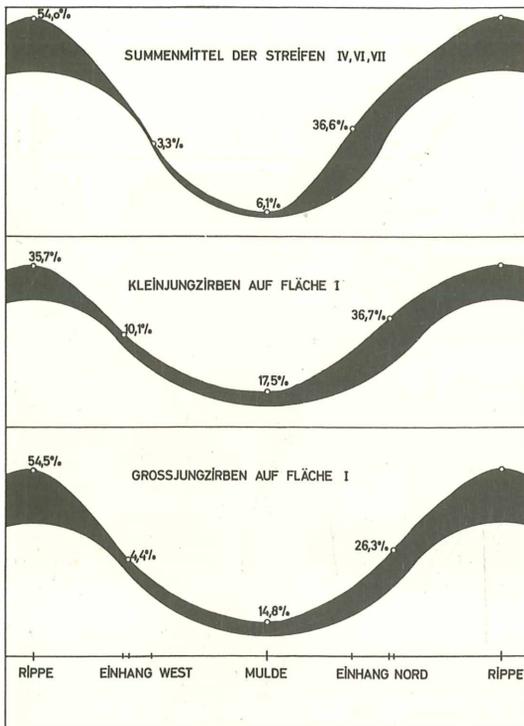


Abb. 114: Zirbenverteilung im Relief. Angaben in Prozent Flächendichte

jungwüchsen auf das Relief dargestellt. Auf allen Versuchsflächen, mit Ausnahme des Streifens II, wo auf die Rippe jedoch nur 90 m² d. s. 4.9 % der Gesamtfläche entfallen, und des Streifens VII, der

Tabelle 2: Zirbenverteilung auf das Relief

	Fläche m ²	Gesamt- anzahl	Anzahl in %	Anzahl Stk/ha	Anzahl in %/ha	Ungeschä- digte Stk	Ungeschä- digte %	Geschä- digte %	Ausfall in Stk.	Ausfall in %
STREIFEN IV										
Rippe	551,75	330	51,0	5980	54,1	216	65,5	9,1	84	25,4
Einhang N	600,50	206	31,9	3430	31,0	115	55,8	3,0	85	41,2
Mulde	647,00	73	11,3	1128	10,2	48	65,8	8,2	19	26,0
Einhang W	736,75	38	5,8	515	4,7	26	68,4	26,3	2	5,3
Summe	2536,00	647	100,0	2551 (11053) ⁺	100,0	405	62,6	8,0	190	29,4
STREIFEN VI										
Rippe	541,30	323	61,3	5960	50,7	289	89,5	5,2	17	5,3
Einhang N	330,00	172	32,6	5210	44,3	151	87,9	1,1	19	11,0
Mulde	532,50	14	2,7	263	2,3	14	100,0	-	-	-
Einhang W	552,50	18	3,4	326	2,7	18	100,0	-	-	-
Summe	1956,30	527	100,0	2694 (11759)	100,0	472	89,5	3,7	36	6,8
STREIFEN VII										
Rippe	350,00		44,0	715	44,2			28,0		
Einhang N	349,00		54,3	889	54,9			6,4		3,2
Mulde	445,00									
Einhang W	685,00	1	1,7	15	0,9	1	100,0	-	-	-
Summe	1829,00	57	100,0	312 (1619)	100,0	47	82,4	15,8	1	1,8
SUMMENMITTEL DER STREIFEN IV - VI - VII										
Rippe	1443,05	678	55,0	4700	54,0	523	77,0	8,1	101	14,9
Einhang N	1279,50	409	33,2	3190	36,6	294	72,0	2,4	105	25,6
Mulde	1624,50	87	7,1	535	6,1	62	71,2	7,0	19	21,8
Einhang W	1974,25	57	4,7	288	3,3	45	79,0	17,5	2	3,5
Summe	6321,30	1231	100,0	1947 (8713)	100,0	923	75,0	6,5	227	18,5
STREIFEN II										
Rippe	90,00									
Einhang N	475,00	92	64,3	1938	70,1	68	74,0	7,5	17	18,5
Mulde	530,00	25	17,5	472	17,0	16	64,0	16,0	5	20,0
Einhang W	735,00	26	18,2	354	12,9	12	46,1	15,5	10	38,4
Summe	1830,00	143	100,0	791 (2764)	100,0	97	67,8	9,8	32	22,4
KLEINJUNG- ZIRBEN AUF FLÄCHE I										
Rippe	671,30	413	27,2	6145	35,7				18	4,4
Einhang N	786,80	496	32,5	6320	36,7				30	6,1
Mulde	979,20	296	19,4	3010	17,5				28	9,5
Einhang W	1838,70	318	20,9	1730	10,1				9	2,8
Summe	4276,00	1523	100,0	3561 (17205)	100,0				54	6,6
GROSSJUNG- ZIRBEN AUF FLÄCHE I										
Rippe	671,30	375	45,8	5580	54,5				14	3,7
Einhang N	786,80	211	25,8	2680	26,3				13	6,1
Mulde	979,20	150	18,3	1530	14,8				20	13,3
Einhang W	1838,70	83	10,1	452	4,4				7	8,4
Summe	4276,00	819	100,0	1915 (10242)	100,0				54	6,6

⁺ Die in Klammer stehenden Zahlen sind die Summen der Anzahlen in Stück/ha. Gleichgesetzt 100 % wurden daraus die Anzahlen in % pro ha errechnet.

als der höchstgelegene Streifen überhaupt nur sehr wenig Zirben aufweist, findet man das Maximum an Zirben auf den Rippen, gefolgt von den Nordeinhängen. In den Mulden und auf den West- und Südwesteihängen sinkt der Anteil an Zirben jedoch ganz beträchtlich und erreicht oft kaum mehr als 10 % der Zirben innerhalb eines Streifens. Der Übergang von der Rippe auf den Westeinhang bezüglich des Zirbenvorkommens ist sehr deutlich und erfolgt ganz plötzlich. Die Grenzlinie verläuft zwischen Luv und Lee, manchmal etwas gegen Lee verschoben, und fällt mit dem Wächtenansatz zusammen. Auf den Südwest- und Westeihängen fehlen nicht nur die Großjungzirben, sondern es sind auch nur äußerst selten Kleinjungzirben oder Keimlinge aufzufinden.

In Abb. 114 ist das Summenmittel aus den Streifen IV, VI und VII mit den Klein- und Großjungzirben auf der Fläche I verglichen. Die Verteilungskurve der Kleinzirben in der Kampfzone stimmt sehr gut mit der Verteilung der Großjungzirben auf der Fläche I überein. Dies könnte mithin als ein Beweis für die natürliche Verjüngung nach dem Kahlschlag auf dieser Fläche gelten, während bei den Kleinjungzirben auf der Fläche I bereits ein merklicher Ausgleich über das Relief hinweg stattgefunden hat. (Näheres darüber in Abschnitt VIII B und VI).

Beim Vergleich der Mulden- und Rippenstandorte in den verschiedenen Streifen zeigt sich, daß in den Streifen VI und VII (Obere Kampfzone) die Anzahl an Zirben in den Mulden weit hinter der Zirbenanzahl auf den Rippen zurücksteht. Erst mit Annäherung an die Waldgrenze, durch den dichter werdenden Jungwuchs und durch die ausgleichende Wirkung des Hochwaldes, erhöht sich der Zirbenanteil. Ein geschlossener, ungleichaltriger Bestand kann sich aber oft erst nach Jahrhunderten bilden. Dies ist allerdings nur dann der Fall, wenn in diesen Mulden und Rinnen nicht ständig Lawinenabgänge und Schneeschäden auftreten.

Diese Beobachtungen decken sich auch mit den Darstellungen anderer Autoren. So sagt BROCKMANN-JEROSCH (1913): "Die Zirbe ist so windhart, daß sie die vorspringenden, windexponierten Grate und Felsrippen zu bevorzugen scheint und auf ihnen dann, wenn auch in Zwergform, bis zu 200 m höher steigt als in den dazwischenliegenden Mulden". Auch in der großen Schweizer Arvenarbeit von RIKLI 1909 wird erwähnt, daß das Emporwachsen an Rippen eine im Arvengebiet allgemein verbreitete Erscheinung sei und daß die Arve auf Rippen und Graten sowohl nach oben als auch über ihre untere Verbreitungsgrenze hinaus gegen den konkurrierenden Fichtenwald vordringt.

B. Die Verteilung der Zirben nach Expositionen

Im Anschluß an die Verteilung auf das Relief soll noch kurz auf die Expositionsverteilung der Zirben eingegangen und auch einige Auswertungen nach Expositionen von STERN (1956) wiedergegeben werden.

Schon KERNER von MARILAUN (1908 a und 1908 b) hat für die Nordtiroler Zentralalpen die Verteilung der Zirbenverbreitung auf die Expositionen untersucht. Als Maß verwendete er die mittlere Breite des Zirbengürtels in den einzelnen Expositionen und kommt dabei mit SW als Exposition mit größter Gürtelbreite zu folgender Reihung:

SW - S W SE NW - E N NE

Dieses Ergebnis steht im Widerspruch zu den umfassenden Untersuchungen von RIKLI über die Zirbenverbreitung in der Schweiz, mit der Hauptverbreitung in Nord- und Westlagen. Bei der in nur 4 Richtungen unterteilten Windrose ergab sich folgende Reihung:

N W E S.

RIKLI konnte auch nachweisen, daß KERNER ein Rechenfehler unterlaufen war und damit die mittlere Breite des Zirbengürtels nur 500.8 m beträgt, sodaß sich nun für die Tiroler Zentralalpen die Reihung NW - SW - W - N - S - NE - E - SE ergibt. Diese unterschiedliche Reihung könnte auch auf die Unterteilung in Zwischenhimmelsrichtungen zurückzuführen sein.

Nun kann aber im Detail nicht von einer bestimmten Expositionsabhängigkeit gesprochen werden, da diese von der Hauptrichtung des Tales, der sich daraus ergebenden Hauptwindrichtung (Schneeverteilung und Ausaperung), vom Groß- und Kleinrelief, des weiteren von der Akzessibilität und nicht zuletzt auch vom Menschen mit seiner Wirtschaft (Sonn- und Schattseite eines Tales) abhängt.

Von STERN (1956) wurden die Streifen II, IV, VI und VII statistisch nach der Exposition ausgewertet. Es ergaben sich in allen Streifen signifikante Unterschiede sowohl zwischen Nord- und West als auch zwischen Nordwest und West, während eine Signifikanz der Unterschiede zwischen Nord und Nordwest nicht auftrat. Damit ergibt sich, daß im Untersuchungsgebiet bei Gurgl das Maximum der Zirbenverbreitung auf die Expositionen Nord und Nordwest fällt, wobei wiederum zu berücksichtigen ist, daß das Maximum in den Nordwestlagen auf die Rippenstandorte zu liegen kommt, was ja aus der Reliefverteilung (Abb. 114, Tab. 2) klar hervorgeht.

Den Erhebungen von STERN in den Streifen II, IV, VI und VII ging als Voruntersuchung eine Aufnahme der Zirben auf einem ziemlich gleichmäßig geformten Geländekegel von ca. 20 m Durchmesser voraus. Dieser Kegel liegt auf der "Unteren Verebnung" in 2.080 m, teilweise die Fortsetzung einer Rippe bildend und des-



Abb. 115: Der "Südhügel" von Süden gesehen. Aufnahmefläche für natürliche Zirbenverteilung, bezogen auf Expositionen

halb auf seiner Ostseite nur gering eingesattelt (Abb. 115). In der schematischen Abb. 116 ist die Verteilung der Zirben auf die Expositionen dargestellt. Bereits auf dieser kleinen Fläche zeigt sich sehr deutlich der weitaus größere Anteil an Zirben im nördlich

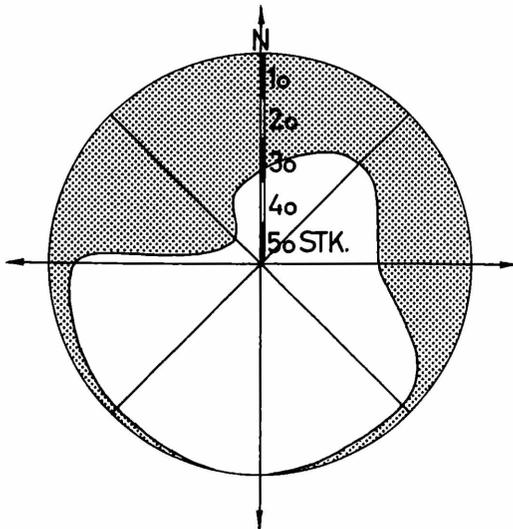


Abb. 116: Schematische Darstellung der Zirbenverteilung nach den vier Hauptexpositionen am "Südhügel" (Diss. STERN). Angaben in Stk.

Halbkreis mit einem Maximum im Nordwestsektor.

C. Die Verteilung der Zirben auf die Pflanzengesellschaften

Die Untergliederung des Reliefs in Rippen, Einhänge und Mulden ermöglicht nur eine subjektive Abgrenzung der einzelnen Einheiten und kann daher keinen absolut vergleichbaren Maßstab für die exakte Beurteilung einer Verteilung bilden, da ja auch die Unterscheidung der Reliefgröße (relativer Höhenunterschied zwischen Rippe und Rinne oder Mulde) nicht in jedem Falle eindeutig sein muß. Aber auch die Einteilung nach Expositionen kann keine brauchbare Basis bilden, da diese ja ebenfalls vom Relief abhängig ist (Sonn- und Schattseite eines Tales). Allein die Vegetationskunde vermag für die Praxis brauchbare Einheiten auszuscheiden, deren Größe von den gestellten Anforderungen abhängig ist. Sie können dann innerhalb eines bestimmten Gebietes (Wuchsgebiet - Höhenstufe) oder einer anderen pflanzensoziologischen Überordnung als Vergleichsbasis herangezogen werden, wobei aber immer noch der Faktor Zeit (Succession) zu berücksichtigen sein wird.

Das Vorhandensein eines ausgeprägten Reliefs ist aber Voraussetzung für die Ausbildung einer deutlichen Zonation innerhalb der ökologischen Reihe "Wind Schneebedeckung", für das Auftreten extremer kleinklimatischer Unterschiede und damit für das Vorkommen der Zirbenjungwüchse, wie deren Schädigungen und Ausfälle.

Betrachtet man die Verteilung der Jungzirben auf die Pflanzengesellschaften in den drei Streifen der Kampfzone (IV, VI und VII), (Tab.3), so zeigt es sich, daß die Maxima der Verteilung (größte Flächendichte in Prozenten) im *Loiseleurietum* und im *Vaccinietum uliginosi* liegen, während nur ein geringer Prozentanteil, der von oben nach unten zunimmt, auf das *Rhododendretum* entfällt. Bildet man jedoch die Summenmittel aus den einzelnen Streifen, so ergibt sich ein eindeutiges Maximum im *Vaccinietum uliginosi*, gefolgt vom *Loiseleurietum* und erst mit Abstand folgt das *Rhododendretum*.

Um nun herauszufinden, ob das Aufkommen mehr durch das Relief oder durch die Vegetation bestimmt wird, wurden die einzelnen Pflanzengesellschaften mit ihren entsprechenden Zirbenanteilen auf das Relief aufgeteilt (Abb.117). Hierbei kommt nun die Reliefabhängigkeit bzw. die Abhängigkeit von der Schneebedeckung sehr deutlich zum Ausdruck.

In den stark bewindeten, schneearmen Pflanzengesellschaften *Alectorietum* und *Loiseleurietum* kommen weitaus die meisten Zirben an den schneereichen Hangteilen (Nordeinhang bzw. Mulde) vor, während in den schneereicheren Pflanzengesellschaften *Vaccinietum uliginosi* und *Rhododendretum*

Der Anteil an Zirben gegen die schneeärmeren Hangteile (Rippe bzw. Nordeinhang) zunimmt.

Die am Nord- und am Westeinhang gleich hohe Flächendichte im Loiseleurietum ist zum Teil auf die subjektive Reliefunterteilung zurückzuführen, da es sich bei den Nord- und Westeinhängen im Loiseleurietum nur um ganz schmale Streifen auf der Nord und Westseite entlang ausgeprägter Rippen handelt, die bei einer etwas gedehnten Unterteilung ohne weiteres als Rippe gerechnet werden könnten (die 74.6 % Loiseleurietum-Zirben in der Mulde entsprechen 25 Zirben auf einer Fläche von nur 20 m²; es sind dies kleine Rücken und Kuppen oder größere von Loiseleuria überwachsene Steinblöcke innerhalb des von Mulden und Rippen gebildeten Hauptreliefs, und daher keine typischen Loiseleurietum). Im Alectorietum liegt das Maximum der Flächendichte auf dem Nordeinhang, den man aber mit der gleichen Begründung wie beim Loiseleurietum zur Rippe zählen kann. Der

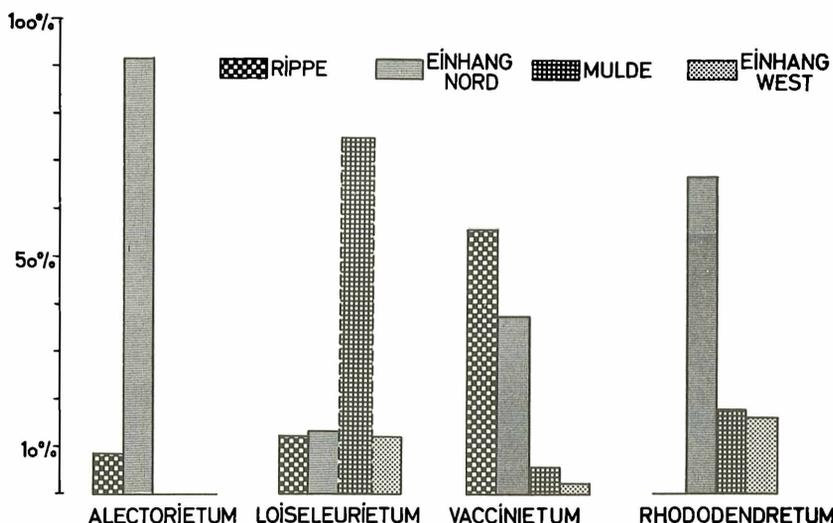


Abb. 117: Verteilung der Jungzirben auf die Pflanzengesellschaften und das Relief. Anzahl Zirben pro Pflanzengesellschaft in Prozent der Gesamtanzahl in der betreffenden Reliefsituation

Unterschied zwischen Rippe und Nordeinhang wird durch die nur geringe Anzahl und durch die kleine Fläche, die nur im Streifen VII auftritt, viel zu sehr übertrieben, wenn auch durch Beobachtungen eine größere Flächendichte am Nordeinhang angenommen werden kann, da auf den Rippen das Alectorietum meist sehr stark winderodiert ist und daher auch das Aufkommen auf diesen extre-

Tabelle 3: Zirbenverteilung auf die Pflanzengesellschaften

	Fläche m ²	Gesamt- anzahl	Anzahl in %	Anzahl Stk./ha	Anzahl in %/ha	Ungeschä- digte.Stk	Ungeschä- digte.%	Geschä- digte.%	Ausfall in Stk.	Ausfall in %
STREIFEN IV										
L	82,50	49	7,5	5940	55,6	28	57,1	14,3	14	28,6
Vu	1278,00	507	78,4	3970	37,2	313	61,8	6,4	162	31,8
R	1175,50	91	14,1	774	7,2	64	70,4	15,2	14	15,4
Summe	2536,00	647	100,0	2551 (10684) ⁺	100,0	405	62,6	8,0	190	29,4
STREIFEN VI										
L	158,30	38	7,2	2400	37,0	37	97,3	2,7		
Vu	1195,50	488	92,6	4080	62,7	434	89,0	3,6	36	7,4
R	602,50	1	0,2	17	0,3	1	100,0	-		
Summe	1956,30	527	100,0	2694 (6497)	100,0	472	89,6	3,6	36	6,8
STREIFEN VII										
A	180,00	4	7,0	222	17,0	2		50,0		
L	489,00	52	91,2	1063	81,4	44		13,5		1,9
Vu	485,00	1	1,8	21	1,6	1		-		-
R	675,00	-	-	-	-	-		-		-
Summe	1829,00	57	100,0	312 (1306)	100,0	47	82,4	15,8	1	1,8
SUMMENMITTEL DER STREIFEN IV - VI - VII										
A	180,00	4	0,3	222	3,8	2	50,0	50,0		
L	729,80	139	11,3	1905	32,5	109	78,4	10,8	15	10,8
Vu	2958,50	996	81,0	3367	57,3	748	75,1	5,1	199	19,8
R	2453,00	92	7,4	375	6,4	64	69,6	15,2	14	15,2
Summe	6321,30	1231	100,0	1947 (5869)	100,0	923	75,0	6,5	227	18,5
STREIFEN II										
Barflecke	50,00									
Vu	150,00	47	32,7	3140	84,2	42	89,4	2,1	4	8,5
R	1630,00	96	67,3	588	15,8	55	57,3	13,5	28	29,2
Summe	1830,00	143	100,0	781 (3728)	100,0	97	67,8	9,8	32	22,4
FLÄCHE III										
L	30,70	35	13,3	11400	39,0	6	17,1	71,5	4	11,4
Vu	132,20	222	84,1	16800	57,4	75	20,2	57,3	50	22,5
R	67,40	7	2,6	1040	3,6	1	14,3	85,7	-	-
Summe	230,30	264	100,0	11055 (29240)	100,0	82	19,7	59,9	54	20,4

⁺ Die in Klammer stehenden Zahlen sind die Summen der Anzahlen in Stück/ha. Gleichgesetzt 100 % wurden daraus die Anzahlen in % pro ha errechnet.

Zeichenerklärung: A Alectorietum
L Loiseleurietum
Vu Vaccinietum uliginosi
R Rhododendretum ferruginei

men Standorten fast ausgeschlossen werden muß.

Eine Unterteilung des *Vaccinietum uliginosi* nach den Expositionen Nord, Nordwest und West (Abb. 118) ergibt eine annähernd gleiche Verteilung auf Nord und Nordwest (NW=Rippe) mit einem überaus starken Abfall auf der Westexposition. (Der Streifen VII mußte ausgelassen werden, da hier nur eine einzige Zirbe am Nordinhau im *Vaccinietum* gefunden wurde und die Ergebnisse damit verfälscht würden).

Dem auf die Expositionen aufgeteilten *Vaccinietum uliginosi* entsprechen aber nun verschiedene Ausbildungen der Vegetation. Das *Vaccinietum uliginosi* Nord und Nordwest ist eine moosreiche (Hylocomien) bzw. flechtenreiche (*Cladonia*) Variante; das *Vaccinietum* West mit *Dicranum scoparium* ist arm an Flechten und Hylocomien.

Aber auch eine Unterteilung des *Rhododendretums* nach Expositionen, die ebenfalls als 2 - 3 Varianten des *Rhododendretums* aufgefaßt werden können, zeigt einen deutlichen Unterschied zwischen *Rhododendretum* Nord und *Rhododendretum* West, wie aus Abb. 118 klar hervorgeht. Auch hier liegt das Maximum der Flächen-dichte in der moosreichen (*Hylocomium* sp. und *Pleurozium* sp.) Variante des *Rhododendretums* auf der Nordseite. Das *Rhododendretum* West entspricht einer Sonnseitvariante des *Rhododendretums* mit *Juniperus nana*, *Calluna vulgaris*, *Dicranum scoparium* und *elongatum*, ohne *Hylocomium* sp. und *Pleurozium* sp.

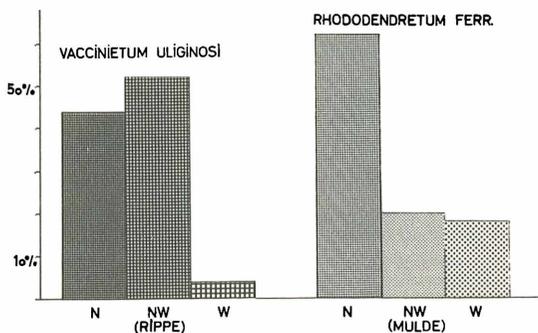


Abb. 118: Verteilung der Zirben im *Vaccinietum uliginosi* und im *Rhododendretum ferruginei* auf die Expositionen N, NW und W

Die auf der Detailfläche III, einer kleinen Rippe, vorgefundene Verteilung deckt sich sehr schön mit den aus dem Summenmittel der Streifen IV und VII erhobenen Werten, ebenfalls mit dem Maxi-

mum im Vaccinietum (Tab.3).

Dieselben Beobachtungen konnten auf anderen Untersuchungsflächen im weiteren Bereiche der Station Obergurgl und auch auf der Jochalm am Südrande des Inntales (Nordgrenze des Wuchsgebietes Ia nach Tschermak) gemacht werden.

Auch in der Literatur finden sich Hinweise auf ähnliche Beobachtungen, so in der Schweizer Nationalparkarbeit von BRAUN-BLANQUET, PALLMANN, BACH 1954, wo auf die günstigen Vorbedingungen hingewiesen wird, die das Empetretum-Vaccinietum - vornehmlich in seiner moosreichen Variante - für die Keimung und das Aufkommen der Koniferen und damit auch für die Zirben bietet. Diese moosreiche Variante tritt auch dort meist in den feuchteren Nord-, Nordwest- und Westlagen auf.

Zusammenfassend kann bei der Verteilung der Flächendichte auf die einzelnen Pflanzengesellschaften festgestellt werden, daß in der Kampfzone das Maximum im Übergang vom moos- oder flechtenreichen Vaccinietum uliginosi zum Loiseleurietum liegt, während es in lockeren Hochwaldbeständen im moosreichen Vaccinietum uliginosi, im moosreichen Vaccinietum myrtilli oder aber in der moosreichen Variante des Rhododendretums auftritt.

III. Die Schäden und Ausfälle an der Zirbe

A. Aufnahmemethoden und Beschreibung der Schäden

Zur Feststellung der Schadensgröße wurde eine dreistufige Skala verwendet.

- S₁ schwacher, nur geringer Schaden, der die Lebenskraft nicht wesentlich beeinträchtigt. Astbrüche, geringe Nadelverluste, Zuwachsschädigungen, Kriechschnees Schäden.
- S₂ starker bis sehr starker Schaden, die Pflanze kann daran in einigen Jahren sogar eingehen. Große Nadelverluste (75 %), Krüppelwuchs durch Schneebruch, Lawinen- oder Kriechschnees Schäden.
- S₃ Totalschaden, die Pflanze kann sich nicht mehr erholen und muß als ausgefallen gelten.
- Die einzelnen Schadensarten wurden wie folgt untergeteilt:
- F Frostschäden. Es werden sowohl reine Frostschäden als auch Frosttrocknis sowie Wind- und Schneeschliffschäden und auch Ausfälle durch Barfrost zusammengefaßt.
- P Pilzschäden. Sie umfassen alle primären Pilzschädigungen vor allem der Nadeln.
- T Tierische Schäden. Verbiß, Fraß- und Schälschäden sowie Viehvertritt.
- X Unbekannte Schäden. Schädigungen deren Ursache nicht eindeutig erkannt werden kann.

Schneebruch-, Lawinen- und Kriechschnees Schäden werden gesondert vermerkt und es wird im Text darauf hingewiesen. Es muß noch erwähnt werden, daß die genaue

Unterscheidung von primären und sekundären Pilzschäden oft auf sehr große Schwierigkeiten stößt, da die Möglichkeit nicht auszuschließen ist, daß bei Zirben, die im vorhergehenden Winter frostgeschädigt wurden, bereits im darauffolgenden Frühsommer ein sekundärer Pilzschaden auftreten kann, und somit der ursprüngliche Frostschaden nur sehr schwer, oder überhaupt nicht mehr feststellbar ist.

Bei der Aufnahme der Ausfälle wurden auch seit längerer Zeit abgestorbene Zirben mit einbezogen, wenn der Sproß noch gut erhalten war. Die 2 bis höchstens 3 Jahre zurückliegende Anzahl der Ausfälle mußte daher zur Ermittlung des Ausfallprozentes reduziert werden.

Es sei noch kurz auf die allgemeinen Witterungsverhältnisse der Aufnahmejahre eingegangen. Der Winter 1954/55 war sehr schneereich (siehe Seite 288 f) und im Frühjahr 1955 traten starke Pilzschäden auf, die bei der Zirbe zu großen Ausfällen führten.

Der Befall wurde vorwiegend durch *Phacidium infestans* (PE-TRAK 1956) und durch *Lophodermium pinicolum* T., welche beide ein ähnliches Schadensbild aufweisen, verursacht. *Phacidium infestans*, das an der Zirbe viel zu wenig beachtet worden oder bisher nur in geringem Maße aufgetreten war, ist in Skandinavien an der Kiefer einer der ärgsten Schädlinge und tritt auch in Pflanzgärten häufig auf. Seine Entwicklung hängt sehr eng mit der Schneelage zusammen.

In Skandinavien wurden seine Lebensweise und Verbreitung von BJÖRKMAN (1948) eingehend untersucht. Dieser Pilz kann bei einem Massenaufreten für die Zirbe zu einer ernstlichen Gefahr werden, da er je nach Schneelage noch Zirben bis zu einer Höhe von ca. 1 1/2 m zum Absterben bringen kann. Durch das Absterben der Nadeln werden aber in allen Fällen empfindliche Zuwachsverluste verursacht.

Der Winter 1955/56 muß als ausgesprochen kalt und schneearm bezeichnet werden - es wurden Minima von -30°C gemessen - und durch einige Lawinenstürze wurden im Stationsgebiet Schneebedeckung und Ausaperung oft wesentlich verändert. Das Einschneien erfolgte erst Mitte Dezember.

Der Winter 1956/57 setzt bereits am 24. Oktober mit einer geschlossenen Schneedecke ein, brachte aber relativ wenig Schnee und im März 1957 trat eine länger andauernde Schönwetterperiode auf, die zahlreiche Frostwechselschädigungen (HOLZER 1958, 1959) an der Zirbe und verschiedenen anderen Holzarten verursachte. In den Beobachtungsjahren traten im Gurglertal in den Monaten Juni und Juli häufig Kälterückschläge mit Schneefällen auf, die besonders bei den Lärchen den Verlust der bereits entfalteten Nadelbüschel zur Folge hatten.

B. Die Verteilung der Schäden

1. Die Verteilung der Ausfälle auf das Relief

In Abb. 119 ist die Verteilung der Ausfälle auf das Relief dargestellt. Während im Hochwald auf der Fläche I das Maximum des Ausfalles auf die Mulden entfällt - es sind hier fast ausschließlich Pilzschäden - liegt es in der Kampfzone auf den Nordeinhängen. Erwartungsgemäß ist der Ausfall bei den Großjungzirben auf der Fläche I geringer als bei den Kleinjungzirben, doch ist die Verteilung fast die gleiche. Der Unterschied Kampfzone Hochwald läßt sich sehr gut mit der unterschiedlichen Schneebedeckungsdauer und Seehöhe (AULITZKY 1958, 1955) in Beziehung bringen.

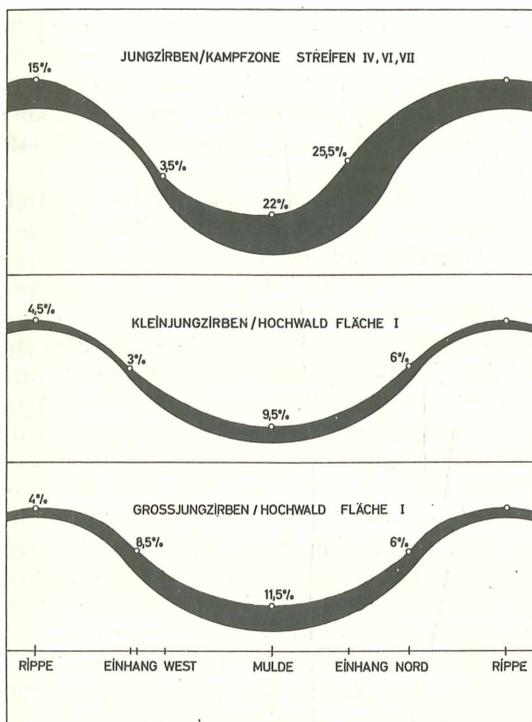


Abb. 119:
Verteilung der Ausfälle im Relief. Angaben in % Flächendichte

Auffallend ist die Zunahme der Ausfälle mit der Annäherung von oben an den Hochwald. Dies läßt sich vielleicht dadurch erklären, daß eine entsprechende Auslese bereits im Keimlingsalter

eintritt und nur besonders widerstandsfähige Zirben, die an bestimmten Stellen (kleine Mulden, Steinblöcke oder Alpenrosenbüsche) keimen und bis zu einer bestimmten Höhe Schutz genießen, aufkommen können. Im Streifen VI (2170 m obere Kampfzone) und VII (2200 m obere Kampfzone) sind auch nur wenige Großjungzirben vorhanden. Außerdem treten im Streifen VII (2200 m obere Kampfzone) fast ausschließlich Frostschäden (Frosttrocknis) auf, während in den Streifen IV (2100 m untere Kampfzone) und VI (2170 m obere Kampfzone) die Pilzschäden bei weitem vorherrschen.

2. Die Verteilung der Ausfälle in den Pflanzengesellschaften

Um ein deutliches Bild der Verteilung der Ausfälle in den verschiedenen Pflanzengesellschaften über einen längeren Zeitraum gewinnen zu können, wurden acht Höhenklassen von 1 cm bis 300 cm gebildet und für jede Höhenklasse das Ausfallprozent errechnet. Um eine möglichst große Anzahl an Messungen verwenden zu können, wurde das Ausfallprozent als Gewichtsmittel aus sämtlichen Flächen gleicher Pflanzengesellschaften ermittelt, wobei die Gesamtanzahl innerhalb einer Höhenklasse und Pflanzengesellschaft als Gewicht genommen wurde.

Die graphische Darstellung dazu (Abb. 120) läßt sehr deutlich die Verschiebung der Ausfallmaxima in den einzelnen Pflanzengesellschaften gegen die nächstfolgenden Höhenklassen erkennen. Diese Ergebnisse decken sich mit den in den einzelnen Pflanzengesellschaften verschiedenen Schneehöhen und der ununterbrochenen Andauer der Schneedecke (siehe Seite 290 ff). Abb. 121 gibt nun die Verteilungskurven der Ausfälle, nach Höhenklassen und Pflanzengesellschaften getrennt, als Summenkurve wieder. Das Maximum des Ausfalles liegt demnach im *Loiseleurietum* mit ca 70 %, während das *Vaccinietum uliginosi* (Vu), das *Rhododendretum ferruginei* mit *Hylocomium* sp. und *Pleurozium* sp. (Rm) und das *Rhododendretum ferruginei* mit *Juniperus* und *Dicranum* sp. (Rj) im Endergebnis fast die gleichen Ausfallsprozente aufweisen (ca 54 %). Im *Vaccinietum* und *Rhododendretum* sind aller Wahrscheinlichkeit nach bis zu 80 % der Ausfälle auf die Pilzschäden zurückzuführen.

Man kann also allgemein sagen, daß bei den autochthonen Zirben im Bereiche an und über der Waldkrone innerhalb von 30 bis 40 Jahren ca. 40 % bis 60 % der natürlich aufgekommenen Zirben verbleiben (das erste Keimlingsjahr ausgenommen), d. h., daß der Ausfall mit höherem Alter kaum mehr als 3 - 5 % (Katastrophen ausgenommen) beträgt und nur mehr Schneebruch-, Kriechschnee- oder Lawinenschäden auftreten. Eine für die Auf-

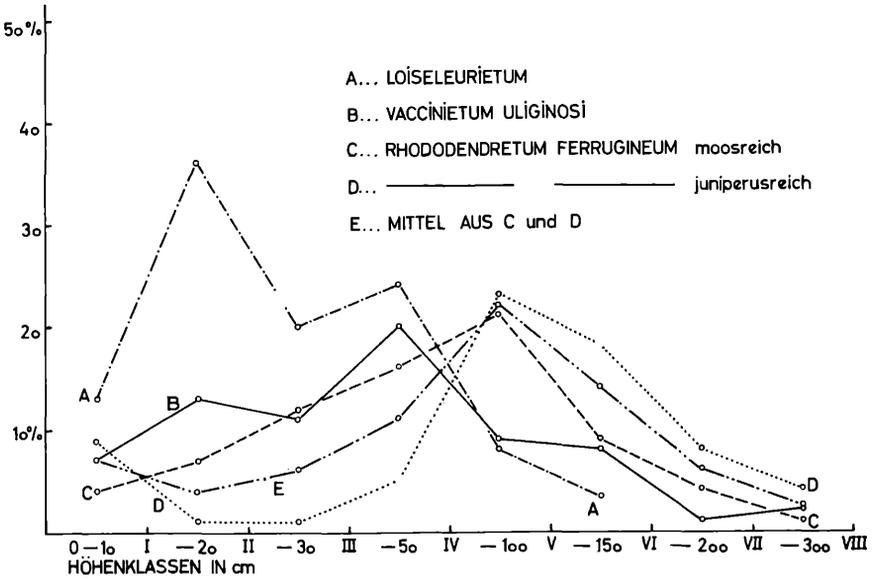


Abb. 120: Verteilung der Zirbenausfallprozente in den verschiedenen Baumhöhenklassen, getrennt nach Pflanzengesellschaften der ökologischen Reihe "Wind - Schneebedeckung"

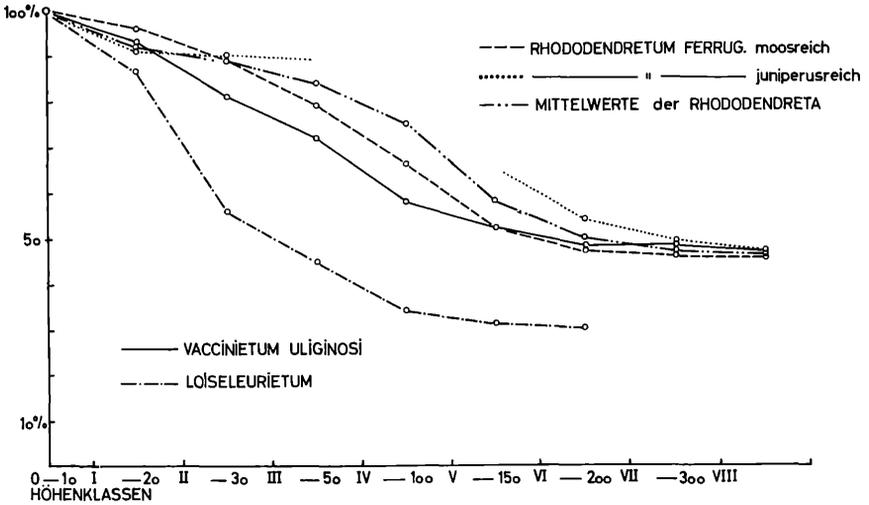


Abb. 121: Summenkurven der überlebenden Zirben in den verschiedenen Höhenklassen, getrennt nach Pflanzengesellschaften

forstung aber viel wichtigere Erkenntnis ergibt sich daraus, daß in schneereichen Lagen das Maximum des Ausfalles erst bei einer Höhe von 1.00 m auftritt (dies entspricht einem Alter von 30 bis 40 Jahren) und eine Aufforstung erst dann als gelungen bezeichnet werden kann, wenn sie diese Periode gut überstanden hat und noch genügend Zirben für eine volle Bestockung verblieben sind.

IV. Die Versuchspflanzung

A. Methoden und Zielsetzung

Im Herbst des Jahres 1955 wurde im Versuchsgelände der Station in Obergurgl vom Verfasser eine Versuchspflanzung durchgeführt, um die Zuwachsverhältnisse, den Umfang und die Art von Schäden sowie verschiedene Pflanzmethoden bei einigen wichtigen Holzarten innerhalb der ökologischen Wind-Schneebedeckungsreihe zu untersuchen. Durch die Versuchspflanzung sollen wichtige Teil-Grundlagen und Hinweise für spätere Aufforstungen großen Umfanges an und über der heutigen Waldgrenze gesammelt werden.

Im Folgenden sind die wesentlichen Gesichtspunkte, nach denen die Versuchspflanzung angelegt wurde, zusammengefaßt. Der ökologischen Reihe entsprechend wurden typische Vegetationsflächen von ca. 50 m² ausgesucht und zwar je 2 entsprechende Flächen einer Pflanzengesellschaft in verschiedenen Höhenlagen, sodaß ein Streifen im oberen, extremen Teil der Kampfzone in ca. 2.190 m liegt, während der andere Streifen im unteren Teil der bereits mit Jungwuchs bestandenen Kampfzone in 2.110 m ausgewählt wurde. Außerdem wurden in nicht unmittelbar vergleichbaren Pflanzengesellschaften noch je ein Streifen mit mehreren Flächen auf der "Unteren Verebnung" 2.070 m, im Hochwaldstreifen an der Waldgrenze 2.045 m und auf der Lichtung in 1.940 m angelegt.

Um aber auch auf die Exposition und auf die damit verbundene Schneebedeckung, die Ausaperung und den Wärmehaushalt einzugehen, wurde jeweils eine Fläche des *Vaccinietum uliginosi* und des *Rhododendretum ferruginei* am Nord- und am Westeingang in den beiden Kampfzonenstreifen angelegt. Außerdem wurden noch 2 Muldenstandorte im *Rhododendretum ferruginei*, die eine sehr lange Schneebedeckung aufweisen, mit einbezogen.

Diese Flächen sollten hinsichtlich ihrer Standortseigenschaften (Schneebedeckung, Ausaperung, Bewindung, Wasserhaushalt und Boden) ökotypisch sein und damit auch eine Übertragbarkeit der Ergebnisse in andere Gebiete mit gleichen Pflanzengesellschaften ermöglichen. Bei der Pflanzmethode sollte zwischen einer Klemm- und einer Lochpflanzung unterschieden werden.

Die Pflanzlöcher hatten ein Ausmaß von ca. 20 cm mal 15 cm und wurden jeweils bis zum Mineralboden aufgegraben. Bei der Lochpflanzung wurden Mineralboden und humusreicher Oberboden gut durchmischt, das Pflanzloch nach Einbringen der Pflanze wiederum bis obenhin ausgefüllt und wenn möglich mit umgelegtem Rasenziegel oder Moos abgedeckt. Die Klemmpflanzung wurde mit einer normalen Pflanzhaue durchgeführt, indem ein ca. 15 cm tiefer Spalt in der Breite der Pflanzhaue (15 cm) geöffnet wurde. Die Pflanze wurde sorgfältig eingelegt, wobei darauf zu achten war, daß die Wurzeln nicht umgebogen wurden (bei Lärchen oft schwierig!) und sodann der Spalt durch kräftiges Festtreten so gut als möglich geschlossen. Letzteres gestaltet sich bei dichten Rohhumusaufgaben besonders schwierig, da diese sehr elastisch sind und der Spalt sich daher nur schwer oder ungenügend schließen läßt.

B. Die Herkunft des Pflanzenmaterials

Zur Verpflanzung gelangten Zirben, Lärchen, Vogelbeeren und Grünerlen. Fichten und andere Holzarten konnten mangels Pflanzen geeigneter Herkunft nicht miteinbezogen werden. Sämtliche Pflanzen stammten aus dem Pflanzgarten Stillebach (1.400 m) im inneren Pitztal. Der Pflanzgarten ist Eigentum der Bezirksforstinspektion Imst. Das Saatgut wurde von den Pflanzgartenbetreuern selbst gesammelt.

Zirbe	3	jährig (1/2)	Herkunft: Söllbergalm 1800 - 1900 m inneres Pitztal Schattseite
Lärche	3	jährig (3/0)	Längenfeld 1400 - 1800 m Ötztal, Urgestein
Vogelbeere	2	jährig (2/0)	Stillebach 1500 1700 m Osthang, schattige Lagen
Grünerle	3	jährig (3/0)	-"- Stillebach ca. 1600 m

Die Pflanzen waren alle in sehr gutem Zustand und annähernd gleich groß. Die Auspflanzung und Aufbewahrung wurde mit größter Sorgfalt durchgeführt, sodaß der durch die Manipulation bedingte Ausfall nur sehr gering und für alle Flächen annähernd gleich groß sein dürfte. In den einzelnen Flächen wurden jeweils 10 Pflanzen derselben Holzart und nach der gleichen Pflanzmethode eingebracht. Die Pflanzung wurde in der ersten Oktoberhälfte durchgeführt.

C. Messungen und Beobachtungen an der Pflanzung

Im Winter 1955/56 wurden Schneebedeckung und Ausaperung zu bestimmten Zeitpunkten erhoben. Im Laufe des Sommers 1956 wurden in den einzelnen Pflanzflächen, mit Ausnahme der im Hochwald und auf der Lichtung gelegenen Flächen, Höhen und Basisdurchmesser des Jahresstandes von 1955 gemessen sowie Umfang und Art der Schäden erhoben.

Auch im Winter 1956/57 wurden Schneebedeckung und Ausaperung eingetragen und im Mai und Juni der Höhenzuwachs des Jahres 1956 gemessen und wiederum eine Schadenerhebung durchgeführt. Die Flächen im Hochwald und auf der Lichtung wurden erstmals miteinbezogen und auch dabei die Höhen und Durchmesser des Jahres 1955 sowie der Höhenzuwachs des Jahres 1956 gemessen und Art und Umfang der Schäden für die beiden vorangegangenen Winter und den Sommer 1956 erhoben. Bei den Vogelbeeren und Grünerlen wurden nur Schadenart und -Umfang bestimmt. Die Zuwachs- und Schadenerhebungen werden auch weiterhin jährlich fortgesetzt werden. Die bisherigen Ergebnisse über den Zeitraum 1955 1957 seien nun kurz dargestellt.

D. Ergebnisse der Schadenerhebungen und die Höhenzuwächse

1. In den verschiedenen Höhenstreifen

In Tab.4 sind die Ausfälle, die völlig unbeschädigten Pflanzen und die Höhenzuwächse von Zirben und Lärchen nach Klemm- und Lochpflanzung getrennt (in Prozenten der Gesamtanzahl) angeführt. Die Ausfälle sind bei den Zirben in allen Höhenstreifen annähernd gleich groß, während jedoch die ungeschädigten Pflanzen ebenso wie die Höhenzuwächse mit zunehmender Seehöhe deutlich abnehmen. Die im Jahre 1957 aufgetretenen Triebsschäden an der Zirbe, auf die noch gesondert eingegangen werden wird, zeigen eine auffallende Zunahme von der Lichtung gegen die obere Kampfzone. Bei den Lärchen sind die Unterschiede zwischen den einzelnen Höhenstreifen nicht sehr deutlich ausgeprägt.

Tabelle 4: Ergebnisse der Versuchspflanzung nach Höhenstreifen angeordnet.

Holzart	Pflanzmethode	Anzahl	Ungeschädigte %	Ausfall %	Höhenzuwachs mm	Triebsschäden %	Holzart	Anzahl	Ungeschädigte %	Ausfall %	Höhenzuwachs mm
<u>LICHTUNG 1.940 m</u>											
Zirbe	L	72	69.5	5.6	25.9	18.1	Lärche	63	49.2	23.8	10.5
Zirbe	K	35	45.7	17.1	20.5	14.3	Lärche	36	33.3	36.1	6.5
Zirbe	L+K	107	61.6	9.3	24.2	16.8	Lärche	99	43.5	28.3	9.0
<u>HOCHWALD 2.050 m</u>											
Zirbe	L	40	40.0	15.0	14.3	30.0	Lärche	40	45.0	10.0	7.0
Zirbe	K	40	37.5	12.5	11.5	25.0	Lärche	40	40.0	30.0	4.5
Zirbe	L+K	80	38.8	13.8	12.9	27.5	Lärche	80	42.5	20.0	5.8
<u>UNTERE VEREBNUNG 2.070 m</u>											
Zirbe	L	30	20.0	13.3	12.8	33.3	Lärche	30	66.6	13.3	11.0
Zirbe	K	80	21.2	16.2	14.4	30.0	Lärche	80	40.0	21.2	7.0
Zirbe	L+K	110	20.9	15.4	13.6	30.9	Lärche	110	47.3	19.1	9.0
<u>STREIFEN I 2.100 m</u>											
Zirbe	L	61	27.9	16.4	21.0	42.7	Lärche	60	53.4	10.0	5.4
Zirbe	K	69	39.1	17.4	13.7	21.8	Lärche	70	31.4	25.7	5.4
Zirbe	L+K	130	33.8	16.9	17.4	31.5	Lärche	130	41.5	18.5	5.4
<u>STREIFEN II 2.220 m</u>											
Zirbe	Lochpfl.	110	20.0	11.7	16.4	59.0	Lärche	110	32.8	18.2	3.2
Zirbe	Klemmpfl.	120	20.9	15.0	14.9	57.5	Lärche	118	15.2	33.1	1.5
Zirbe	L+K	230	20.4	13.5	15.7	58.3	Lärche	228	23.7	25.9	2.4

2. In den verschiedenen Pflanzengesellschaften

In Abb. 122 und 123 sowie in Tab. 5 ist die Verteilung der Ausfälle, der gesunden Pflanzen und der Zuwächse innerhalb der ökologischen Wind-Schneebedeckungsreihe wiedergegeben.

Wenn diese Werte auch nur das Ergebnis aus 2 Beobachtungswintern sind, so tritt doch bereits hier, wie bei der Verteilung der autochthonen Zirben, ein Optimum im *Vaccinietum* auf. Der Ausfall ist hier am geringsten und der Anteil an gesunden Zirben am größten.

Eine weitere Unterteilung der Pflanzengesellschaften erwies sich wegen zu geringer Pflanzenanzahl als nicht günstig und könnte allenfalls erst nach mehreren Beobachtungsjahren erfolgen.

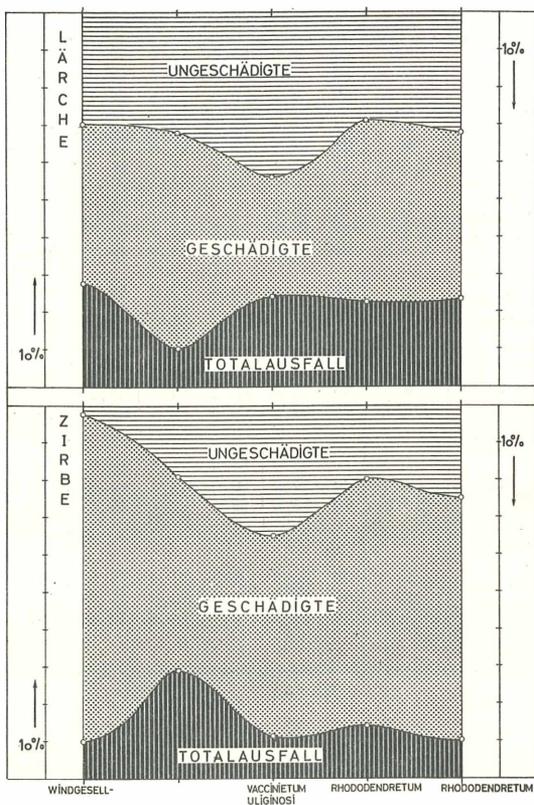


Abb. 122: Verteilung von totalgeschädigten, teil- und ungeschädigten Zirben und Lärchen der Versuchspflanzung, getrennt nach Pflanzengesellschaften

Tabelle 5: Ergebnisse der Versuchspflanzung nach den Pflanzengesellschaften der ökologischen Reihe "Wind- Schneebedeckung" geordnet

Pflanzengesellschaft	Pflanzmethode	Zirben					Lärchen			
		Anzahl	Ungeschädigte	Ausfall %	Höhenzuwachs mm	Triebschäden %	Anzahl	Ungeschädigte	Ausfall %	Höhenzuwachs mm
			%					%		
Alectorietum u. Windblaike	Loch	20	5,0	10,0	12,0	50,0	20	15,0	20,0	3,1
	Klemm	20	-	10,0	10,6	80,0	20	45,0	20,0	0,9
	L + K	40	<u>2,5</u>	10,0	<u>11,3</u>	<u>65,0</u>	40	<u>30,0</u>	20,0	2,0
Loiseleurietum I Loiseleurietum II	L	21	23,8	28,6	16,0	38,1	20	45,0	5,0	3,3
	K	21	14,3	28,6	16,0	33,3	19	21,0	15,8	1,5
	L + K	42	19,1	<u>28,6</u>	16,0	35,7	39	33,3	<u>10,3</u>	2,4
Vaccinietum I Nord Vaccinietum II Nord Vaccinietum flechten- reich Nord	L	30	30,0	-	19,1	56,7	30	53,4	13,3	1,9
	K	28	53,5	10,7	15,0	35,7	30	20,0	26,6	0,8
	L + K	58	<u>41,4</u>	5,2	17,0	46,6	60	36,7	20,0	<u>1,4</u>
Vaccinietum I West Vaccinietum II West	L	20	25,0	10,0	17,0	40,0	20	70,0	15,0	6,8
	K	20	25,0	30,0	13,1	30,0	20	40,0	45,0	5,9
	L + K	40	25,0	20,0	15,0	35,0	40	<u>55,0</u>	30,0	6,3
Rhododendretum I Nord Rhododendretum II Nord	L	20	5,0	20,0	19,3	85,0	20	20,0	15,0	3,1
	K	20	55,0	10,0	19,2	40,0	20	15,0	5,0	4,1
	L + K	40	30,0	15,0	19,2	62,5	40	<u>17,5</u>	<u>10,0</u>	3,6
Rhododendretum I West Rhododendretum II West	L	20	60,0	15,0	25,5	20,0	20	45,0	15,0	8,6
	K	20	10,0	10,0	16,1	45,0	19	21,0	58,0	4,9
	L + K	40	35,0	12,5	<u>20,8</u>	<u>32,5</u>	39	33,3	<u>35,9</u>	<u>6,7</u>
Rhododendretum in der Nordmulde "Rodung" Rhododendretum in der Pegelmulde "Rodung"	L	20	20,0	5,0	21,4	70,0	20	35,0	20,0	4,2
	K	40	27,5	7,5	13,4	37,5	40	30,0	25,0	4,3
	L + K	60	25,0	6,7	16,1	48,4	60	31,7	23,4	4,3

— = Maxima

Minima

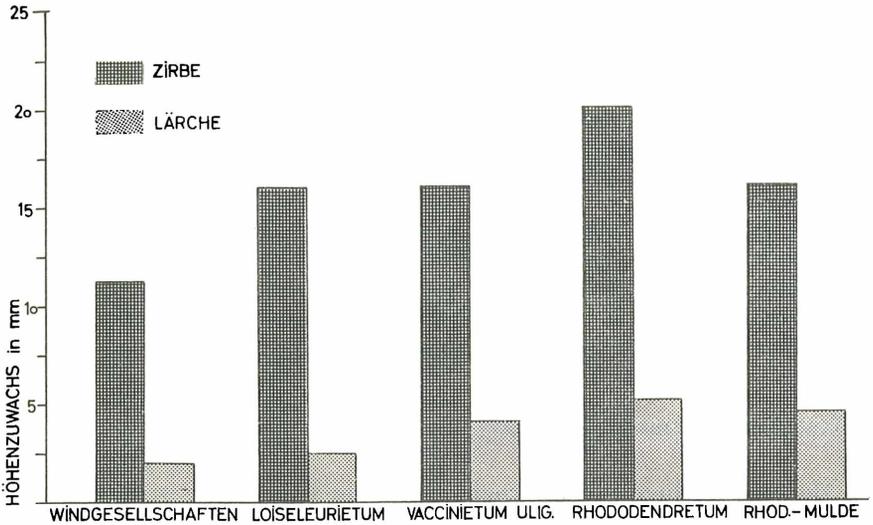


Abb. 123: Höhenzuwachs von Zirben und Lärchen der Versuchspflanzung, getrennt nach Pflanzengesellschaften

Tabelle 6: Vergleich der Sonn- und Schattseite bei der Versuchspflanzung

Holzart und Pflanzmethode	Anzahl	Ungeschädigte in %	Ausfälle in %	Höhenzuwachs in mm
1.) Schattseite				
Zirbe Lochpfl.	81	21.0	16.1	16.7
Zirbe Klemmpfl.	89	36.0	25.8	15.0
Zirbe L+K	170	28.5	21.0	15.9

Lärche Lochpfl.	80	43.7	12.5	3.8
Lärche Klemmpfl.	90	21.1	18.9	2.3
Lärche L+K	170	32.4	15.7	3.1

2.) Sonnseite				
Zirbe Lochpfl.	70	43.0	10.0	19.8
Zirbe Klemmpfl.	110	20.9	12.7	14.5
Zirbe L+K	180	32.0	11.4	17.2

Lärche Lochpfl.	70	51.5	14.6	8.0
Lärche Klemmpfl.	108	40.7	32.4	6.4
Lärche L+K	178	45.6	23.5	7.2

3. Auf der Sonn- und Schattseite

In Tab. 6 sind vergleichbare Pflanzenflächen der Sonn- und Schattseite einander gegenübergestellt.

Sowohl bei der Zirbe als auch bei der Lärche scheinen die sonnseitigen Standorte bessere Lebensbedingungen zu bieten. Dieses Ergebnis steht im Gegensatz zur Flächenverteilung bei den autochthonen Zirben, genaue Untersuchungen auf der Jochalm bei Stams (siehe Abschnitt IX) ergaben jedoch eindeutig bessere Zuwachsverhältnisse auf Südstandorten bei wesentlich geringerer Flächen-dichte gegenüber Nordstandorten.

4. Die Schadensarten und ihre Verteilung

Bei den Zirben und Lärchen waren es vor allem Frostschäden, welche am häufigsten auftraten und sich entsprechend dem Niveauunterschied und dem Relief verteilten. Die Pilzschäden hingegen es handelte sich dabei zumeist um *Herpotrichia nigra* - traten bei den verpflanzten Zirben nur an lange schneebedeckten Standorten vereinzelt auf.

Die Vogelbeeren litten sehr unter Frostschäden und unter dem Verbiß durch Schneehasen (*Lepus timidus*) und zeigten so gut wie keine Höhenzuwächse. Bei den Grünerlen verursachten ebenfalls Winterkälte und Spätfröste den überwiegenden Teil des Ausfalles.

Sehr viele Zirben, vor allem in der Kampfzone, zeigten im Frühjahr 1957 ein eigenartiges, auffallendes Schadensbild. Die Höhentriebe des vorangegangenen Jahres waren nicht voll ausgewachsen, die Nadelbüschel waren noch allseitig von den Blatthüllen umgeben und an den Trieb angelegt. Die Nadeln zeigten kurz nach der Ausaperung noch ein frisches Grün und schienen gesund, doch waren sie am Grunde bereits abgefault und ließen sich sehr leicht aus den Blattscheiden herausziehen. Im folgenden Sommer wurden sodann alle Triebe braun und starben ab. Die Verteilung dieser Schäden gibt Tab. 4 wieder, wobei gerade die Zunahme dieser Triebsschäden mit zunehmender Seehöhe bzw. in der Kampfzone auffällt. Dies könnte auf dem zu großen Höhenunterschied zwischen Pflanzgarten und Aufforstungsort beruhen, sowie auf den stark geänderten Lebensrhythmus und die Nachwirkungen geringerer Frosthärte der Pflanzgartenzirben zurückzuführen sein (TRANQUILLINI 1958), da bei den autochthonen Zirben kein einziger auch nur ähnlicher Schaden beobachtet werden konnte.

5. Die Höhenzuwächse

Die Zuwachserhebungen an Zirbe und Lärche ergaben wider Erwarten äußerst geringe Zuwächse für die Lärche, während die Zirbe das Vierfache an Höhenzuwachs zu verzeichnen hatte (Abb. 123 und Tab. 4, 5, 6 und 7). Die Hauptursache dürfte darin liegen, daß es sich bei den Lärchen um Sämlinge handelte, bei denen das Wurzelsystem sehr schwach und der Sproß kaum verzweigt war. Auch

Grünerle und Vogelbeere wiesen sehr schlechte Zuwächse auf. Nachträgliche Beobachtungen an der Versuchspflanzung in den Jahren 1958 und 1959 und an anderen gleichaltrigen Hochgebirgsaufforstungen haben aber gezeigt, daß die Zuwachsleistungen in den ersten zwei bis vier Jahren nach der Anpflanzung meist weit unter dem Normaldurchschnitt liegen.

Tabelle 7: Vergleich der Holzarten und Pflanzmethoden

Lochpflanzung				
Holzart	Anzahl	Ungesch.	Ausfälle	Zuwachs
	Stk.	%	%	mm
Zirbe	312	35.6	11.9	18.6
Lärche	303	45.3	16.2	6.2
Vogelb.	200	42.0	12.5	
Grünerle	100	21.0	19.0	

Klemmpflanzung				
Holzart	Anzahl	Ungesch.	Ausfälle	Zuwachs
	Stk.	%	%	mm
Zirbe	345	28.4	15.6	14.6
Lärche	346	28.9	28.6	4.4
Vogelb.	270	41.5	24.8	
Grünerle	160	25.0	35.0	

E. Vergleich der Klemm- und Lochpflanzung

In nahezu allen Fällen ist die Lochpflanzung der Klemmpflanzung überlegen. Dies zeigt sich nicht nur allein in den Ausfällen oder Schädigungen, sondern auch an den Zuwächsen (Tab. 7). Nur auf Standorten mit geringmächtiger Humusauflage, besonders auf Rasenböden, die jedoch nicht barfrostgefährdet sein dürfen, kann daher eine Klemmpflanzung empfohlen werden.

F. Zusammenfassung

Bei der Pflanzung zeigte bisher die Zirbe die besten Zuwachsleistungen. Sie hat nicht nur den geringsten Ausfall, sondern auch den weitaus größten Höhenzuwachs zu verzeichnen. Bei Grünerle und Vogelbeere ist der große Anteil an gesunden, in zuwachsmäßiger Hinsicht jedoch als sehr mäßig zu bezeichnenden Pflanzen auffallend, wobei noch zu berücksichtigen ist, daß die Schadensbeurteilung bei den letztgenannten beiden Pflanzenarten fast nur auf den Sproß ohne Blätter bezogen wurde, daher Frostschäden an den Blättern nicht berücksichtigt wurden.

V. Die Zuwachsuntersuchungen

A. Zielsetzung und Aufnahmefethoden

Für die ersten 20 - 30 Wachstumsjahre sind bei der Zirbe in der Literatur über den Höhenzuwachs keine genauen Angaben vorhanden, vor allem nicht aus dem Bereiche der Kampfzone. Es war daher notwendig, gerade für diesen Zeitraum über den Höhenzuwachs verlässliche Unterlagen zu erhalten, um sagen zu können, mit welchem Alter die Zirbe der Begleitvegetation entwachsen ist, und ab wann mit einer entsprechenden Windschutz- und Schneerückhaltungswirkung einer Zirbenaufforstung gerechnet werden kann. Außerdem sollte untersucht werden, ob meßbare Höhenzuwachsunterschiede innerhalb der einzelnen Pflanzengesellschaften der ökologischen Wind - Schneebedeckungsreihe feststellbar sind.

Diesen Untersuchungen stellten sich viele Schwierigkeiten entgegen, vor allem die überaus große Streuung, die oft bis zu 50 % betrug und für die einzelnen Höhenklassen sehr verschieden war. Dadurch wurde es notwendig, eine sehr große statistische Masse aufzunehmen.

Die Altersbestimmung der Kleinjungzirben wurde an Hand von Stammquerschnitten unter dem Binokular durchgeführt und zur Deutlichmachung der Jahresringe die Schnitte mit Phloroglucin und Salzsäure gefärbt. Man muß hier aber immer noch mit einem Fehler von ± 1 bis 2 Jahren rechnen.

Bei den Großjungzirben, soweit sie nicht entnommen werden konnten, wurde das Alter mit dem Zuwachsbohrer an der Stammbasis bestimmt. Da die meist sehr tief, nahe an der Wurzel liegende Grenze zwischen Hypocotyl und Sproß nur sehr schwer feststellbar ist 1 cm kann hier mehr als ein Jahr ausmachen - war der Fehler der Altersbestimmung trotz Auszählung der Bohrspäne unter dem Binokular sehr groß. Auch das Anbohren wurde sehr erschwert. Es mußte meist mehrmals gebohrt werden, um den Kern zu treffen. Das Alter ist daher um ca. 5 bis 15 Jahre zu nieder bestimmt worden, sodaß die Höhenkurve bei den Zirben über 30 Jahren um + 10 Jahre verschoben werden mußte.

Um diese Unzulänglichkeiten nach Möglichkeit zu vermeiden oder doch zu vermindern, mußte zu anderen Untersuchungsmethoden übergegangen werden. Beobachtungen im Gelände ließen einen mehrstufigen Aufbau der Zirbenjungwüchse vermuten (Mastjahre). Es wurden daher Höhenklassen ausgeschieden und sodann nur jene Höhenklassen für eine Altersbestimmung herangezogen, die eine größere Stammanzahl aufwiesen. Dadurch konnte in dem einen oder anderen Falle die Streuung wohl etwas herabgesetzt werden, doch reichte die Stichprobenanzahl noch immer nicht für eine Unterscheidung der Höhenzuwachsleistung innerhalb der einzelnen Pflanzengesellschaften. Aber auch eine stratifizierte Stichprobennahme (FRAUENDORFER 1957), wobei nur freistehende und gutgewachsene Zirben gemessen wurden, brachte wegen zu geringer Anzahl und der wahrscheinlich nur sehr geringen Unterschiede nicht den gewünschten Erfolg. Es wurde deshalb noch eine größere Anzahl von Stammanalysen durchgeführt, wobei auch die Gewichtsanteile von Stamm und Ästen sowie Kronenmaße erhoben wurden. Die Zuwachserhebungen an der Zirbe stehen aber erst im Anfangsstadium und es fehlt nicht nur an statistischer Masse, sondern es muß auch erst getrachtet werden, das methodisch und finanziell optimale Aufnahmeverfahren zu finden. Für alle diese Erhebungen aber ist eine statistische Auswertung, womöglich auf Hollerithbasis, unerlässlich.

B. Der Höhenzuwachs

In Abb. 124 sind die wichtigsten Höhenkurven der Zirbe aus der Literatur entnommen dargestellt, wobei die starken Abweichungen innerhalb der ersten 40 Jahre auffallen. Allein die Höhenkurve von GREGORI (1887), die in der Schweiz in einem Seitental des Val Chamnera in 1700 - 2300 m an der Waldgrenze aufgenommen wurde, entspricht den in Obergurgl gewonnenen Ergebnissen.

Im Zirbenhochwald des Stationsgebietes wurden in einem ca. 40 m breiten Streifen an 50 Altzirben, die das Höhenwachstum abgeschlossen und bereits eine Pultkrone ausgebildet hatten, die Baumhöhen gemessen. Es ergab sich eine mittlere Höhe von 17.4 m, eine Streuung von 2.21 m = 12.7 % und eine Maximal- und Minimalhöhe von 21.2 m bzw. 13.6 m. Auffallend ist die sehr geringe Streuung trotz kleiner Stichprobenanzahl. Die gemessenen Bäume haben mindestens ein Alter von 200 Jahren.

Zum Vergleich der Streuung seien die Ergebnisse von 719 Höhenmessungen an den im Pflanzgarten Stillebach aufgezogenen 3-jährigen (1/2) verschulten Zirben wiedergegeben. Mittlere Höhe: 37.78 mm, Streuung ist 10.88 mm 28.8 %.

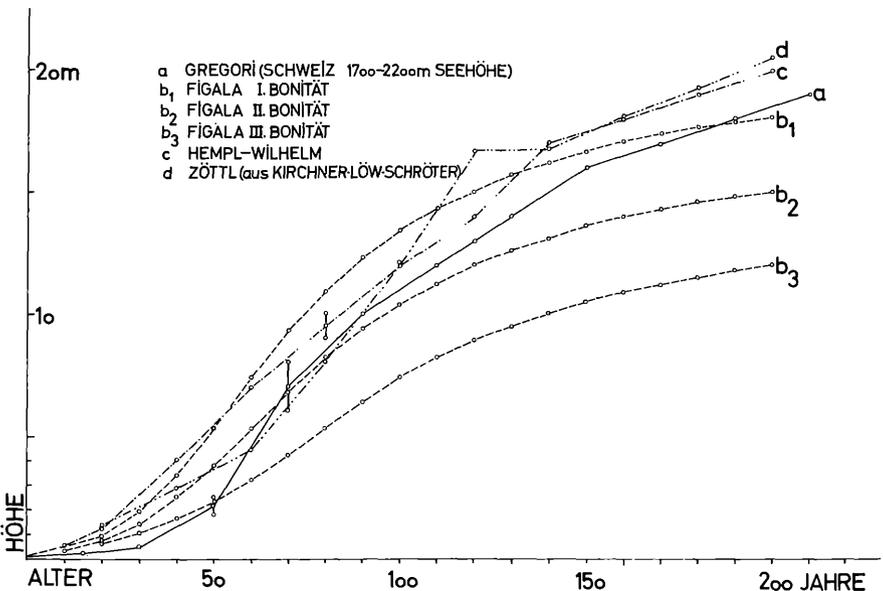


Abb. 124: Höhen-Alterskurven von Zirben nach verschiedenen Autoren

In Abb. 125 sind die verschiedenen Höhenkurven aus dem Hochwald (Fläche I), der Südrippe (Fläche III) und aus der Kampfzone (Streifen IV, VI und VII) dargestellt und den Höhenkurven aus den Stammanalysen, die jeweils den optimalen Verhältnissen entsprechen dürften, gegenübergestellt. Der Unterschied in der Höhe zwischen Hochwaldzirben aus dem moosreichen Rhododendretum ferruginei (Rm) und Kampfzonenzirben aus dem *Vaccinietum uliginosi* (Vu) beträgt im Alter von 20 Jahren ca. 20 cm. Dies entspräche einem Altersunterschied von annähernd 5 Jahren.

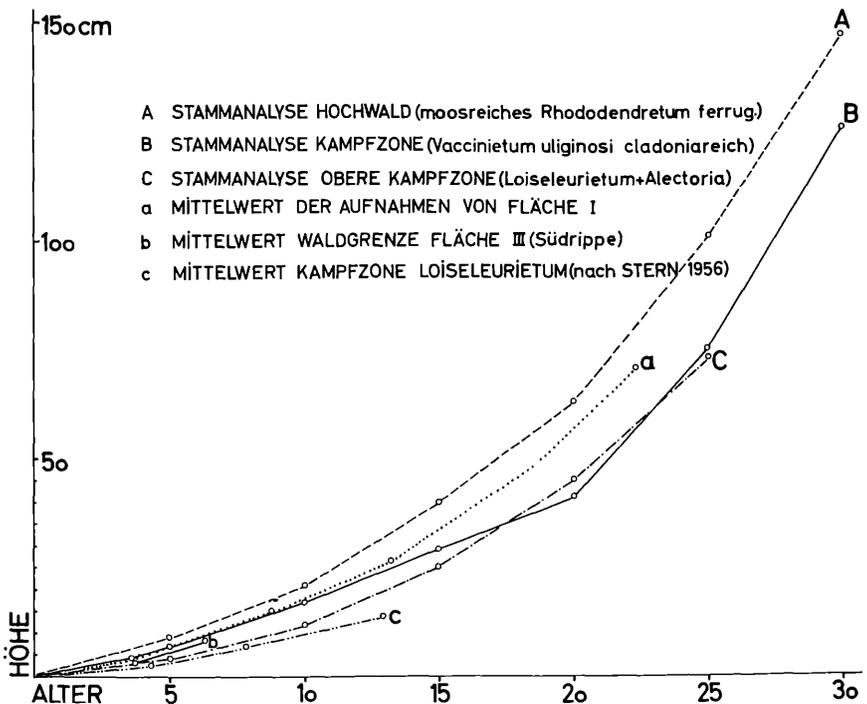


Abb. 125: Höhen-Alterskurven von Jungzirben (0 - 30 Jahre) auf verschiedenen Versuchsflächen

In Tab. 8 sind die Scheitelhöhen und die mittleren Höhenzuwächse von 5 zu 5 Jahren zusammengestellt.

Zirbe 6 und Zirbe 8 mußten bei der Mittelbildung ausgenommen werden, da sie während der ersten 20 Jahre auffallend kleine Zuwächse hatten, die auf irgendwelche, nicht mehr feststellbare Schädigungen zurückzuführen sein dürften.

Die größten Unterschiede treten in den ersten 20 - 30 Jahren auf, besonders aber in den ersten 5 Jahren, wobei die Höhenunterschiede zwischen Hochwald und oberer Kampfzone bis zu 100 % betragen können. Obere und untere Kampfzone sind sich in Höhenzuwachs sehr ähnlich und eine größere Differenz tritt

Tabelle 8: Scheitelhöhen und Höhenzuwächse von 5 zu 5 Jahren bei den Stammanalysen

Stamm Nr.	0 - 5	5 - 10	10 - 15	15 - 20	20 - 25	25 - 30	30 - 35	35 - 40	40 - 45	45 - 50 Jahre
<u>Moosreiches Rhododendretum, Hochwald 1.985 m</u>										
12	9	18 ¹⁾	17	16	35	36	60	50		
11	6	12	18	24	43	50	65	44	100	70
9	4	8	12	16	32	40	64	64	106	84
10	17	34	36	36	49	26	62	26	97	70
									158	122
									220	124
									281	122
M _I	9	18	21	23	40	38	63	46	101	75
Fichte	62	124	112	100	137	50	212	150	237	50
									312	150
									387	150
									450	126
<u>Cladoniareiches Vaccinietum uliginosi, Kampfzone 2.145 m</u>										
5	4	8	14	12	25	22	32	14	55	46
4	12	24	16	8	24	16	33	18	79	92
6	3	6	6	6	8	4	15	14	34	38
15	4	8	20	32	38	36	59	42	90	62
									158	136
									216 ⁺	116
M _{II}	7	13	17	17	29	25	41	25	75	67
									128	106
									177	100
									225 ⁺	96
									238	70
									280	84
									338	116
									71	22
									99	56
									138	78
<u>Loiseleurietum mit etwas Alecatoria, Obere Kampfzone 2.194 m</u>										
13	3	6	15	24	38	46	63	50	102	78
14	4	8	9	10	18	18	39	42	53	28
8	1	2	2	2	3	2	4	2	5	2
7	4	8	10	12	17	14	43	52	77	68
3	4	8	14	20	33	38	54	42	75 ⁺	42
2	4	8	7	6	16	18	33	34	58 ⁺	50
1	5	10	14	18	27	26	35	16		
M _{III}	4	8	12	15	25	27	45	39	73	53

- 1) Die erste Zahl ist die Scheitelhöhe in cm nach jeweils 5 Jahren, die zweite Zahl ist der mittlere jährliche Höhenzuwachs in mm innerhalb von 5 Jahren. Die strichlierten Nummern haben auffallend schlechte Zuwächse und wurden bei der Mittelbildung nicht dazugezählt. Die voll unterstrichenen Werte zeigen den besten Zuwachs. Die mit +) gekennzeichneten Zahlen sind interpolierte Werte.

nur in den ersten 10 Jahren auf.

Mit zunehmender Baumhöhe bzw. Alter werden die Zuwächse annähernd gleich groß und der Unterschied wird unbedeutend. Wenn bisher auch nur wenige Stammanalysenwerte aus den verschiedenen Pflanzengesellschaften in den einzelnen Höhenstreifen vorliegen, so kann doch jetzt schon gesagt werden, daß die Höhenunterschiede in den einzelnen Pflanzengesellschaften innerhalb eines Höhenstreifens nur sehr klein sein und sich mit zunehmendem Alter immer mehr ausgleichen werden.

C. Die Gewichtsermittlungen

In Tab. 9 sind die erhobenen Gewichte (Trockengewichte in Gramm nach Ofentrocknung bei 105° C bis zur Gewichtskonstanz) wiedergegeben und verschiedene Verhältnisse berechnet. Unterschiede zwischen den drei Aufnahmegruppen der Stammanalysen ergeben sich vor allem in dem Verhältnis Gesamtastgewicht zu Stammgewicht. Während die Zirben im Hochwaldbereiche des moosreichen Rhododendretum (Rm) nur gering beastet sind und sehr dünne Äste haben, sind die Zirben in der Kampfzone im Vaccinietum uliginosi (Vu) und in den Windgesellschaften vor allem im Jugendalter sehr buschig und haben weitausladende Äste nahe an der Stammbasis. Mit zunehmendem Alter sterben diese unteren Äste ab - zum Teil durch Pilzbefall - und die Wuchsform wird wieder normal (Abb. 126). Es zeigt sich nämlich häufig, daß bei den in den ersten 20 bis 30 Jahren oft niederliegenden und buschigen Jungzirben plötzlich nach Erreichen einer bestimmten Höhe - je nach mittlerer Schneehöhe verschieden - oft ein auffallend rasches Wachstum des Terminaltriebes einsetzt und die Höhenzuwächse sodann Beträge erreichen, die denen aus dem tieferliegenden Hochwald gleichgesetzt werden können. Diese Terminaltriebe erleiden oft starke Frost- oder Schneeschliff- und Windschliffschäden, werden aber immer wieder neu gebildet und wenn der Baum eine je nach Schneehöhe und Standort verschiedene große Höhe erreicht hat, so kann er als durchgekommen bezeichnet werden. Ähnliches ist auch an der polaren Waldgrenze von der Weißkiefer bekannt (HUSTICH 1948).

Eine Anzahl von Werten aus Tab. 9 wurde von TRANQUILLINI (1959) in einer speziellen Arbeit über Assimilation und Zuwachs der Zirbe mit verwendet, worauf hier verwiesen sei.

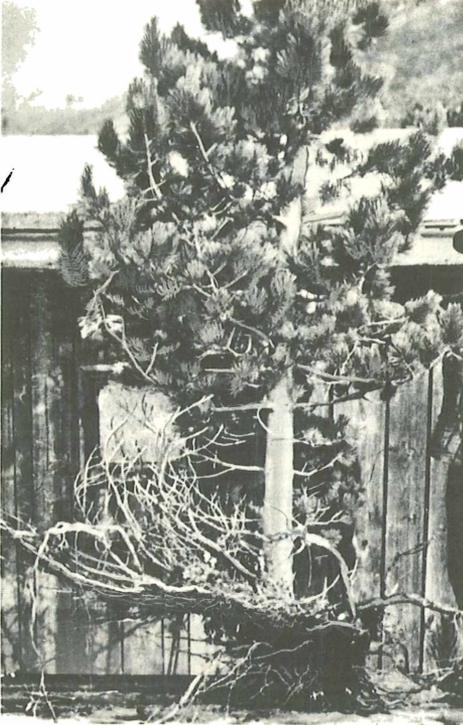


Abb. 126:
Stammanalysenzirbe Nr. 4 mit
buschigen Seitenästen oberhalb
des Wurzelhalses. Man beachte
das flache Wurzelsystem!

VI. Die Bestandesentwicklung an der Waldgrenze

A. Beschreibung der Versuchsfläche und der Aufnahmemethoden

Im Sommer des Jahres 1956 wurden auf der 4.276 m² großen Fläche I (Hochwald) sämtliche Holzarten aufgenommen und mit Nummern versehen. Für die Bäume unter 50 cm wurden die Ergebnisse aus Detailaufnahmen gemittelt und extrapoliert, dies gilt auch für die Flächenanteile von Relief und Vegetation.

Es handelt sich hierbei um eine Teilfläche eines im Jahre 1892 durchgeführten mehrere Hektar großen Kahlschlages, wobei jedoch die Waldkrone in einem ungefähr 80 m breiten Streifen darüber belassen worden war.

Laut mündlichen Mitteilungen von alten Bauern aus der näheren Umgebung wurde die gesamte Kahlfläche in den Jahren 1893 - 1895 mit Zirben und Lärchen wiederum aufgeforstet, jedoch sollen keine Fichten verwendet worden sein. Die Richtigkeit dieser Angaben läßt sich aber heute nirgendwo genau überprüfen und es kann daher weder von einem Erfolg noch Mißerfolg dieser Pflanzung gesprochen werden, noch kann man feststellen, ob die gesamte Fläche aufgeforstet wurde oder ob Teilstücke davon der Natur überlassen worden sind. Die Fläche macht jedoch den Eindruck, als ob

sie sich weitgehend natürlich verjüngt hätte.

An dieser Untersuchungsfläche sollen vorwiegend die Verteilung der einzelnen Holzarten, der Höhenzuwachs, die Schäden, die Wuchsformen und der Bestandaufbau getrennt nach Relief und Vegetation studiert werden.

B. Die Holzartenverteilung, die Höhen- und Altersklassen

An Hand der noch aufgefundenen Stöcke konnte die Holzartenverteilung im Altbestand festgestellt werden. Der Großteil der Stöcke wurde auf den Rippen gefunden, die Mulden waren damals im Altbestand viel geringer bestockt, was man auch heute im umgebenden Bestand feststellen kann.

Vorgefundene Stöcke:

Holzart:	Anzahl:	Anzahl pro ha:	Bestockung:
Zirbe	83	194	0.46
Lärche	14	33	0.13
Fichte u. a.	0	0	0.0
	97	227	0.59

Die zur Beurteilung der Bestockung verwendeten Angaben seien hier für die Fichte, Lärche und Zirbe wiedergegeben, soweit Angaben in der Literatur gefunden werden konnten (Abb.127). Die Zirbenkurve II wurde nach einzelnen Bestandsaufnahmen, die der

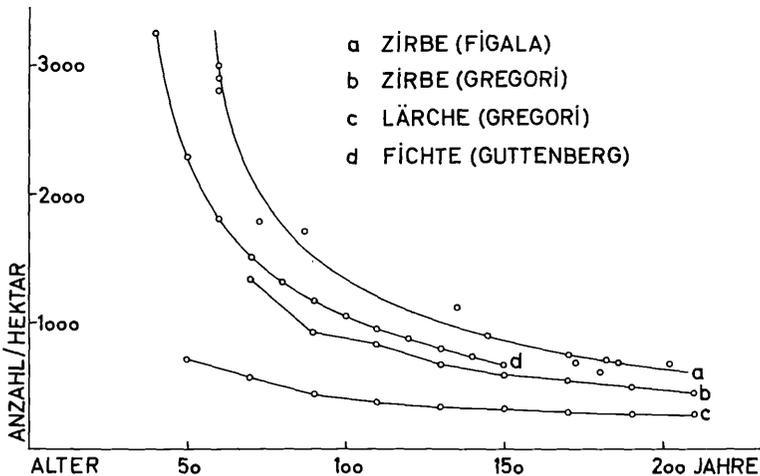


Abb. 127: Stammanzahl bei Vollbestockung nach verschiedenen Autoren

Dissertation von FIGALA (1927) entnommen und auf Normalbestockung umgerechnet wurden, vom Verfasser gezeichnet.

Für den Bestockungsgrad und für die Dichte eines Bestandes ist auch die Kronenschirmfläche (Kronenprojektionsfläche) von besonderer Bedeutung. Im Stationsbereiche wurden vor allem auf der Südrippe (Fläche III) und in der Kampfzone an 129 mehr oder minder freistehenden Zirben (stark unterdrückte Zirben wurden nicht gemessen) auch Kronenmaße erhoben. In der Höhe des maximalen Kronendurchmessers wurden nach den 4 Haupthimmelsrichtungen die entsprechenden 4 Kronenradien gemessen. Für die Ermittlung der mittleren Kronenschirmflächen in den einzelnen Höhenklassen wurden die 4 Radien gemittelt und die Grundfläche bestimmt. In Abb. 128 sind die Ergebnisse graphisch dargestellt. Nach GREGORI (1887), der die Schirmflächen auf die Brusthöhendurchmesser bezogen hat, beträgt die Schirmfläche für Zirbe und Fichte 3.0 m^2 bei einem Brusthöhendurchmesser von 7 cm, dies entspricht einer Stammanzahl von 3333 Stück pro Hektar. Für die Lärche beträgt die Schirmfläche bei gleichem Durchmesser 5.0 m^2 , dies entspricht einer Stammanzahl von 2000 Stück pro Hektar. Die Kronenschirmflächen nach GREGORI (1887) dürften jedoch im Vergleich zu den Ergebnissen im Stationsbereich etwas zu hoch gegriffen sein.

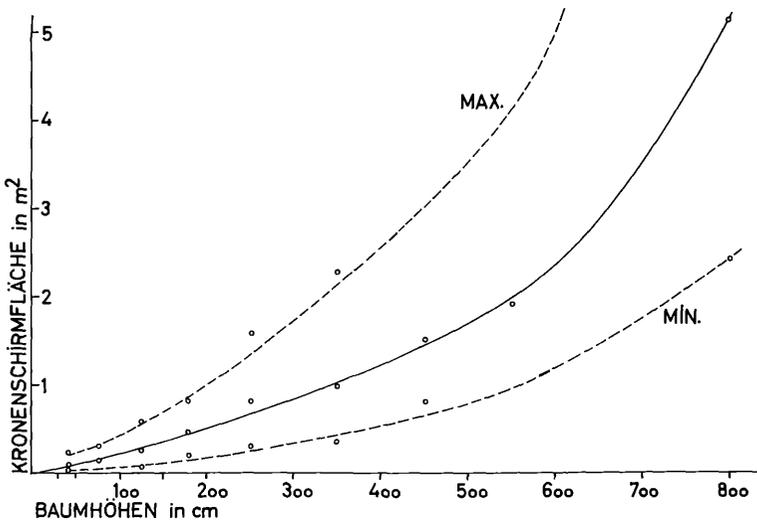


Abb. 128: Kronenschirmflächen von freistehenden, bis zu 8 m hohen Zirben der Kampfzone, Mittelwerte, Maxima und Minima von 129 untersuchten Exemplaren

In der umseitigen Tabelle 10 ist der Anteil der einzelnen Holzarten auf der Fläche I wiedergegeben.

Tabelle 10:

Holzart:		Gesamtanzahl:
Zirbe	0 - 50 cm	1479
Zirbe	50 1000 cm	849
Lärche	0 50 cm	56
Lärche	50 1000 cm	400
Fichte	0 50 cm	
Fichte	50 1000 cm	134
Kiefer	50 - 1000 cm	1

Prozentuelle Anteile der Holzarten:

Zirbe Lärche Fichte Kiefer 79.7 15.6 4.6 0.03 %.

Bei der Zirbenverteilung auf das Relief stimmt die in Abb. 114 gezeigte Kurve der Kleinjungzirben aus der Kampfzone sehr gut mit der Verteilung der Großjungzirben auf der Fläche I überein, während bei den Kleinjungzirben der Fläche I bereits ein langsamer Ausgleich über das Relief begonnen hat.

Auch im Hochwaldbereich bei allseitiger Besamungsmöglichkeit fällt das Maximum der Naturverjüngung auf die Rippen und auf die Nordeinhänge, wo die Verjüngung zuerst um sich greift. Die vorgefundenen Lärchen und Fichten stocken fast ausschließlich auf den Westeinhängen und in den Mulden sowie auf den Westseiten der Rippen im juniperusreichen Rhododendretum. Auf den Nordeinhängen bzw. im moosreichen Rhododendretum sind nur wenige Lärchen und Fichten zu finden.

In Abb. 129 sind die erhobenen Altersklassen den Höhenklassen gegenübergestellt. Die Abszissenabstände der Höhenklassen entsprechen annähernd den mittleren Scheitelhöhen in den einzelnen Altersklassen. Ab der 5. Altersklasse mußte um 2 Altersklassen nach rechts verschoben werden, da hier das Alter durch Anbohren bestimmt wurde und daher einen systematischen Fehler von ungefähr - 10 Jahren aufweist, dazu kommt noch eine angeschätzte Streuung der Einzelbestimmung von ± 5 Jahren. Für die einzelnen Höhenklassen wurden auch die entsprechenden Ausfallprozente eingezeichnet. Das Maximum des Ausfalles fällt in eine deutliche Vertiefung der Höhenklassenverteilung. Die Maxima und Minima der Klein- und Großjungzirben in Alters- und Höhenklassen decken sich jeweils sehr gut. Zirben, die dem Alter nach von einer Aufforstung herrühren könnten, sind nahezu keine vorhanden (1.9 % d. Höhenklassen bzw. 0.6 % d. Altersklassen), sodaß von einer natürlichen Besamung und Verjüngung der Fläche gesprochen werden kann.

Von den 400 vorgefundenen Lärchen waren 290 als ausgesprochene Krüppel zu bezeichnen, bei denen die Messung unterbleiben mußte. Die Lärchen leiden vor allem unter Schneedruck und die

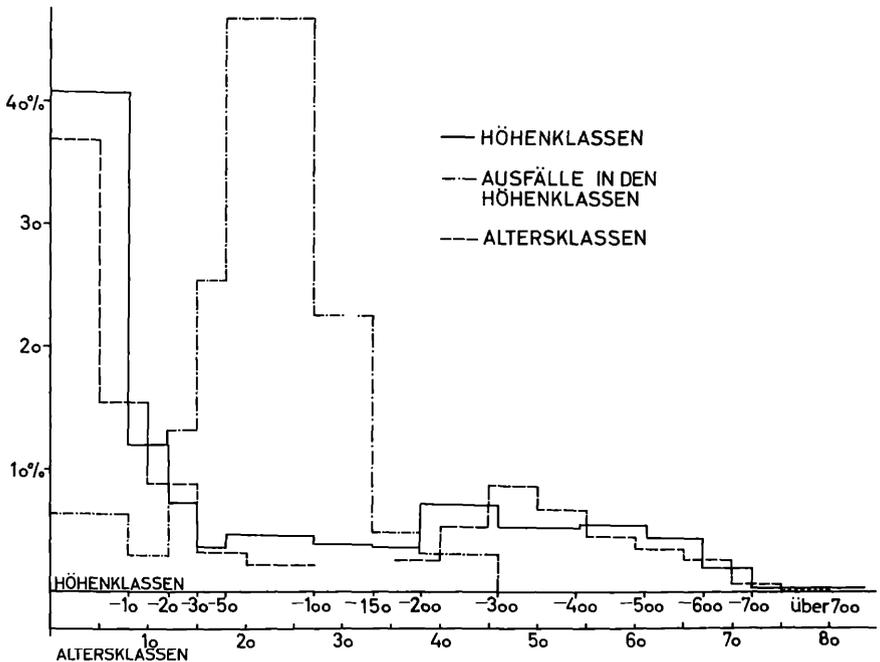


Abb. 129: Prozentanteile der Alters- und Höhenklassen und der Ausfälle auf der Fläche VI

Wuchsformen sind dementsprechend schlecht. Aber auch der Höhenzuwachs ist nur sehr gering und Spätfrostschäden sind sehr häufig.

Bei der Fichte liegen die Verhältnisse ähnlich. Von den 134 Fichten sind 30 vollkommen verkrüppelt und zeigen fast keine Zuwächse mehr. Obwohl die Fichten unter vielen Schäden (*Chermes abietis*, *Chrysomyxa Rhododendri*, Frost und Schneedruck) zu leiden haben, weisen sie in den ersten 40 Jahren dennoch einen größeren Höhenzuwachs auf als die meist wesentlich vitaler aussehenden Zirben. In Tab. 8 sind die Höhenzuwächse einer 40-jährigen Fichte aus der Fläche I wiedergegeben, die der Dissertation von STERN (1956) entnommen wurden.

C. Der Bestandesaufbau

Durch den Kahlschlag der Fläche I erfolgte eine Veränderung des Mikroklimas, die an extremen Rücken zu einer ähnlichen Schneeverteilung, wie heute in der oberen Kampfzone führte. Damit trat eine langsame Umbildung der Vegetation, besonders in der Strauchschicht ein. Die Alpenrosen auf den Rippen wurden sehr bald durch

den Frost vernichtet, auf den Süd- und Westehängen begannen sie an Ausbreitungskraft zu verlieren und eine Entwicklung zum Callunetum und Juniperetum nahm ihren Anfang. Durch die verstärkt einsetzende Beweidung kam es zu einer Zunahme von Weidpflanzen und Gräsern; vor allem der Bürstling (*Nardus stricta*) verbreitete sich immer mehr und damit verstärkte sich auch die oberflächliche Bodenverdichtung durch Vertritt und Wurzelfilz.

Die natürliche Verjüngung setzte jedoch sofort nach der Kahlegung in verstärktem Maße ein und erreichte nach ca. 10 - 15 Jahren ein Maximum (Detailhöhenklassendiagramm Abb. 130, Klasse 400 - 425 cm und Klasse 260 - 280 cm). Letztere Spitze (260

280) konnte sowohl auf anderen Flächen im Untersuchungsgebiet als auch auf der Jochalm festgestellt werden und dürfte einem besonders guten Samenjahr entsprechen.

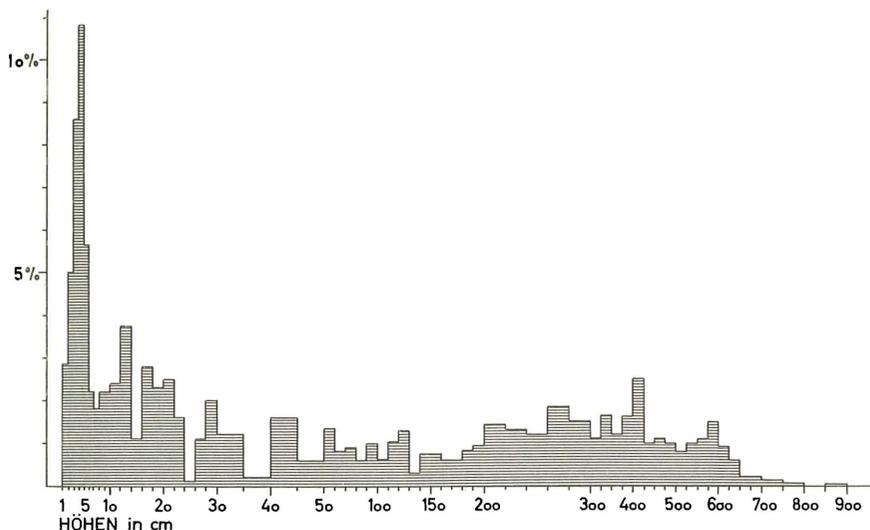


Abb. 130: Prozentanteile der Detailhöhenklassen bei Zirbe auf Fläche VI

Die Verjüngung nahm auf den Rippen ihren Ausgang und nach und nach wurden die Nordeihänge von oben nach unten zunehmend und auch die Mulden von der Schattseite her immer dichter bestockt.

Mit dem Aufkommen des Jungwuchses begannen sich wiederum Schneeverteilung und Vegetation zu ändern und die Extreme glichen sich mehr und mehr aus. Die Bestockung auf den Rippen und auf

den Nordeinhängen kann als ausreichend betrachtet werden und entspricht einer Stammanzahl von 3000 - 4000 Bäumen pro Hektar. Nimmt man ein mittleres Alter von ca. 45 Jahren an, so erreicht die Stammanzahl gerade den Wert der Normalbestockung (Einzelstand bei Kronenberührung).

Dies entspricht jedoch nicht der theoretisch höchstmöglichen Flächendichte, die bei 45 Jahren, einer mittleren Höhe von 350 cm und einer mittleren Schirmfläche von 1.4 m^2 ($0.4 \text{ m}^2 - 2.3 \text{ m}^2$), ca. 7140 Zirben pro Hektar beträgt.

In den folgenden Jahren scheint die Verjüngung mit zunehmender Bestandesdichte jedoch nachzulassen, verteilt sich nur mehr auf die Schließung von Lücken auf den Rippen und Nordeinhängen und dringt auch nur sehr langsam in die Mulden vor, während in dichter bestockten Flächen keine weitere Verjüngung mehr erfolgt. Der in Abb. 114 dargestellte Verlauf der Reliefverteilung bei den Kleinzirben auf der Fläche I zeigt bereits diesen Ausgleich über das Relief. Das Ausbleiben der Verjüngung nach Erreichen einer bestimmten Bestandesdichte und das meist auch zu geringe Samenangebot verursachen den oft sehr schütterten Bestandaufbau.

Ob dies jedoch auf die Samenverteilung durch den Häher bzw. auf dessen viel zu wenig bekannte Verhaltensweise oder aber auf andere Faktoren zurückzuführen ist, kann noch nicht gesagt werden, da darüber noch zu wenig Beobachtungen vorliegen.

Die Verjüngung auf den Westeinhängen, in den Mulden und Rinnen geht nur mehr sehr langsam weiter und die Ausfälle werden höher (Abb. 119), ja es kommt sogar vor, daß in schneereichen Jahren durch Schneedruck, Schneebruch, Schneegleiten und Kriechschnee bereits bis zu 300 cm hohe Zirben Totalschaden erleiden oder durch Frostwechselschäden und verstärkte Pilzschäden stark geschwächt werden. Es sei hier auf einige Beobachtungen an schneedruckgefährdeten Standorten hingewiesen, wo an Zirben mit einer Höhe von 200 - 350 cm - dies entspricht Basisdurchmessern von 5 - 8 cm - die Stammbasis in der Längsachse (Grenze Zug Druck) aufgerissen war, während an schwächeren oder an stärkeren Zirben keine Schäden zu verzeichnen waren.

Bei sehr flachem Wurzelsystem - die Zirbe ist ein ausgesprochener Flachwurzler - wurden aber auch die feineren Wurzeln abgerissen (meist wohl bei ungefrorenem Boden) und so der Baum zum Absterben gebracht.

Es kann daher für die Praxis als wichtiger Hinweis gelten, daß eine Pflanzung an schneedruck- und gleitschneegefährdeten Standorten nach anfänglich bestem Gelingen noch im Alter von 40 - 50 Jahren einen Totalausfall erleiden kann.

Gerade an der Waldgrenze kann immer wieder beobachtet werden, daß Mulden und vor allem Rinnen durch periodische Lawinenabgänge oder große Schneehöhen sich überhaupt nicht natürlich verjüngen und unbewaldet bleiben.

Da bei der Samenverbreitung durch den Häher immer mehrere Samenkörner in ein und demselben Loch versteckt werden, stehen die Kleinjungzirben in den ersten Jahren meist in sehr dichten Büscheln und erst mit zunehmendem Alter erfolgt eine stärkere Auslese (Schädigungen und Konkurrenz), sodaß nach ungefähr 60 Jahren selten mehr als 2 Bäume einer solchen Häher- oder Zapfensaats verbleiben, die auch dann oftmals miteinander verwachsen sind.

Auf der Jochalm und auch im Stationsbereich konnte die Beobachtung gemacht werden, daß auf schattseitigen Standorten in den moosreichen *Rhododendreta* und *Vaccinieta*, zum Teil auch in den *Loiseleuria* und *Windbartheiden*, das büschelweise Aufkommen der Zirben ständig vorherrscht, während auf der Sonnseite, vor allem in den *Calluneta* und *Junipereta*, das Auffinden von 2 oder gar 3 zusammenstehenden Kleinjungzirben schon sehr selten ist.

Dies kann möglicherweise darauf zurückgeführt werden, daß auf diesen heißen sonnseitigen Standorten im Sommer des Jahres 1957 konnten auf Überhitzungsbarflecken im *Rhododendretum* des Hochwaldes im Juli maximale Oberflächentemperaturen von + 80° C (0.2 - 1.2 cm Tiefe) gemessen werden (TURNER 1958) - die Auslese bereits zum Zeitpunkt der Keimung durch Überhitzung und auch Frostwechsel erfolgt und nur die im Zentrum des Büschels stehenden Zirben besser geschützt diese Beanspruchung überstehen können.

Aus Zapfen- oder Hähersaaten hervorgegangene Zirben können, wenn 2 oder 3 Bäume beisammen verbleiben, nach ca. 25 - 35 Jahren eine gemeinsame, oft sehr regelmäßige Krone ausbilden. Dies ist vor allem in der Kampfzone sehr häufig der Fall und erst bei näherem Zusehen bemerkt man, daß es sich um 2 oder 3 gar nicht miteinander verwachsene Einzelbäume handelt. Die Kronenform und -entwicklung scheint bei der Zirbe weitgehend standortsabhängig zu sein und ändert sich sehr mit zunehmendem Alter.

Die auf der Fläche I durchgeführten Untersuchungen lassen annehmen, daß auf Kahlflächen mit Reliefausformung (Höhenunterschiede zwischen 5 m und 10 m) sehr wohl eine natürliche Verjüngung in genügender Dichte aufkommen kann, aber nur unter der Voraussetzung, daß genügend samentragende Altzirbenbestände in unmittelbarer Nähe - am besten allseitig - vorhanden sind bzw. belassen werden. Die Verjüngungsdauer erstreckt sich jedoch auf nahezu unwirtschaftliche Zeiträume, da Zirbenmastjahre meist nur in 7 - 8 jährigen Intervallen auftreten. Auf Flächen mit nur gering ausgebildetem Relief ist der Verjüngungszeitraum ein weitaus längerer, ja es kann die natürliche Verjüngung nahezu gänzlich ausbleiben, wie auf einer unmittelbar im Norden anschließenden Teilfläche desselben Kahlschlages bei gleichen Standortsbedingungen beobachtet werden konnte.

Wie schon in Abschnitt III erwähnt wurde, scheint in allen Fällen der Reliefeinfluß stärker als der der Vegetationsdecke zu sein, da auch im Hochwald, wo ausgesprochene Windgesellschaften wie *Loiseleuria* und *Alectorietia* nicht mehr vorkommen, die Hauptmasse der Zirbenkeimlinge in den moosreichen *Vaccinieta* und *Rhododendreta*, die wiederum nur bestimmte Flächen im Relief besiedeln, zu finden ist, worauf auch CAMPELL (1955) und BRAUN-BLANQUET, PALLMANN, BACH (1954) hinweisen.

VII. Die Keimung der Zirbe

Über die Keimungsphysiologie der Zirbe liegen bereits mehrere Untersuchungen vor. Einzelne wichtige Ergebnisse sollen hier, zum Teil mit eigenen Beobachtungen verglichen, kurz angeführt werden, da ihre Kenntnis für die Frage der Zirbenverbreitung in den verschiedenen Pflanzengesellschaften von großer Bedeutung ist.

A. Die Samenreife

Der Zeitpunkt der Samenreife ist abhängig von der Höhenlage und wahrscheinlich auch von der Jahreswitterung. Nach NATHER (1958) können die Samen als reif gelten, wenn die Zapfenschuppen sich voneinander lösen und der die Samen deckende Teil, die Apophyse, sich leicht abbrechen läßt, die Samenschalen braun werden und verholzen und das bisher wässrige Endosperm weiß geworden ist.

Samenreife in verschiedener Seehöhe (nach NATHER 1958):

Obdach	900 m	1.	10. August	1957
Unt. Zirbengr.	1550 m	20. - 30.	August	1957
Waldgrenze	1750 m	1. - 10.	September	1957
Baumgrenze	1900 m	ab 10.	September	1957

Zwischen 2 Blüte- bzw. Samenjahren liegt meist eine Pause von 3 - 10 Jahren (ROHMEDER E. 1941, ROHMEDER E. u. M. LOEBEL 1955). In den Jahren 1920 - 1950 wurden im Forstkreis Samaden (Engadin) 5 sehr gute Samenjahre verzeichnet, die alle 4 - 8 Jahre wiederkehrten (CAMPELL 1950). Die Arven tragen dabei eine Vollmast bis zur oberen Waldgrenze.

B. Samengröße und Gewicht

Die Zirbensamen haben ein Tausendkorngewicht von ca. 270 g, dies entspricht einer Anzahl von 4000 - 5000 Samen pro Kilogramm. Die Samen sind glattschalig und flugunfähig, sind 9 - 14 mm lang, 5 - 8 mm breit und 5 - 7 mm dick (BROUWER u. STÄHLIN 1955).

Das Tausendkorngewicht beträgt bei der Lärche nur 3 g, das Verhältnis von Zirbe zu Lärche somit 90 : 1. Form und Gewicht des einzelnen Samenkorns sind für das Eindringen in die Vegetationsdecke (Moosdecken) und damit für die Erreichung eines günstigen Keimbettes von großer Wichtigkeit. Hierin erscheint die Zirbe der Lärche gegenüber im Vorteil zu sein (AUER 1947).

C. Optimalwerte von Temperatur und Feuchtigkeit für die Entwicklung der Embryonen und für die Keimung selbst

Das häufige Überliegen der Zirbensamen beruht nicht auf einer Keimhemmung durch Hemmstoffe oder Dickschaligkeit, sondern der Embryo muß nach der Zapfenreife erst zu seiner vollen Größe von 6 - 7 mm heranwachsen. Die Untersuchungen von ROHMEDE E. u. LOEBEL M. (1940) gaben hierüber erstmals wichtige Aufschlüsse. Nach NATHER (1958) soll durch eine Vorbehandlung (Stratifizierung) der Samen bei einer Temperatur von 15 - 20° C und einer Feuchtigkeit von über 60 % der Vollsättigung innerhalb von ca. 2 Monaten der Embryo soweit entwickelt sein, daß die Samen ausgesät werden können. Trockengehaltene Samen zeigen weder bei hohen noch bei tiefen Temperaturen einen Zuwachs des Keimlings. Als günstig für die Keimung erwiesen sich eine hohe Feuchtigkeit von 60 % - 70 % der Vollsättigung und eine Temperatur von 20 - 22° C, während das Substrat - im Versuch waren es Sand und Rohhumus - auf die Keimung keinen Einfluß zu haben scheinen. So konnten bereits 11 Wochen nach der Samenernte im August, also Mitte November, ausgekeimte Samen im Schalenversuch festgestellt werden.

Nach AUER (1947) beträgt die mittlere Hypokotyllänge bei der Zirbe 7.2 cm (Max. 10.0 cm, Min. 5.0 cm), während bei der Lärche die mittlere Hypokotyllänge nur 1.3 cm beträgt. Das Verhältnis Lärche zu Zirbe ist somit 1 : 5.5.

Die Hypokotyllänge scheint bis zu einem gewissen Grade vom Standort abhängig zu sein. In dichten Moospolstern, die von der Zirbe leicht durchwachsen werden - der Same muß dabei gar nicht bis zum Boden gelangen - werden weitaus längere Hypokotyle ausgebildet als auf vegetationslosen Standorten (z. B. Blaiken), wo ein zu langes Hypokotyl die Standfestigkeit des Keimlings nur verringern könnte.

D. Das Keimbett und die Schädigungen an den Keimlingen

Sowohl Same als auch Keimling sind durch den Befall von verschiedenen Pilzen gefährdet. In den ersten Tagen nach der Keimung ist der sehr wasserreiche Keimling sowohl gegen mechanische Be-

anspruchung als auch gegen Überhitzung nur wenig widerstandsfähig und erst mit dem "Häutigwerden" und der späteren Verholzung verringert sich die Anfälligkeit. Der Grad der Verholzung scheint auch bei der Zirbe ähnlich wie bei der Lärche (AUER 1947) je nach Exposition des Kleinststandortes verschieden zu sein. Der Verholzungszeitraum dürfte bei der Zirbe auf S, SW und W kürzer sein als auf mehr schattigen und feuchteren Standorten der N- und NE-Exposition.

Die Zirbe scheint nahezu auf jedem Substrat und auf jedem Standort mit genügender Feuchtigkeit (Vernässung ausgenommen) zu keimen, ja man kann sie mitunter sogar als Felsspaltenbesiedler bezeichnen, ihr Keimungsoptimum hat sie jedoch sicherlich in den frischen bis feuchten, zum Teil moosreichen Standorten des Vaccinietums und Rhododendretums, wo der Keimling allseitig geschützt erscheint und auch durch den Häher nach der Keimung nicht so leicht aufgefunden werden kann (siehe Abschnitt VIII A 1). Der wichtigste Faktor für die Erreichung eines möglichst hohen Keimprozentes ist jedoch die Feuchtigkeit, während eine höhere Temperatur die Keimung nur beschleunigen kann. Eine frühsommerliche Keimung ist wegen der kurzen Vegetationsperiode im Hochgebirge jedoch sehr wichtig, da der ansonsten unverholzte Keimling die Frühfröste nicht überstehen könnte.

VIII. Die Samenverbreitung der Zirbe

A. Die Verbreitungsmittel

Die Zirbe als zoochorer Nadelbaum ist fast ausschließlich auf die Verbreitung durch Tiere, vor allem durch Vögel, angewiesen. Da die Samen sehr schwer sind und keine Flugeinrichtung besitzen, können sie durch den Wind nicht vertragen werden. Der natürliche Samenfall ist unbedeutend und es kommt dabei nur ein geringer Hangabtransport in Frage.

Bei der Zirbe sorgt vor allem der Tannenhäher (*Nucifraga caryocatactes*) für die Verbreitung. Dies sowohl innerhalb des Bestandes als auch in ganz besonderem Maße oberhalb der heutigen Waldgrenze. Wohl kommen auch andere Tiere für eine Samenverbreitung in Frage, wie Eichhörnchen (*Sciurus vulgaris*) und Spechte (KELLER 1910, RIKLI 1909, FUSCHLBERGER 1928, KIRCHNER, LÖW und SCHRÖTER 1908), jedoch sind sie alle von untergeordneter Bedeutung.

In den letzten Jahren wurden viele Untersuchungen über die Verhaltensweise des Hähers durchgeführt, die zu interessanten Ergebnissen führten, jedoch noch lange nicht als abgeschlossen gelten können.

Die Verhaltens- und Lebensweise des Tannenhähers

Nach SWANBERG (1951, 1956 a, 1956 b) und BURCKHARDT (1958) bewohnt ein Tannenhäherpaar im Nadelwald Mittelschwedens ein Gebiet von ca. 13 Hektar. Der Tannenhäher ist ein Frühbrüter und junge Nestlinge können bereits anfangs Mai beobachtet werden (BURCKHARDT 1958). Dies kann auch für das Untersuchungsgebiet in Obergurgl bestätigt werden. Im Stationsgelände an der Waldgrenze wurde zu verschiedenen Jahreszeiten die Häheranzahl festgestellt: Während der Wintermonate von November bis April - Mai sind auf einer Fläche von ca. 10 - 20 Hektar höchstens 2 - 4 Zirbenhäher im Reviere anzutreffen. Im Mai ist die junge Brut bereits flügge und die Häher haben sich auf 6 - 10 vermehrt. Mit dem Beginn der Zapfenreife im August setzt sodann eine richtiggehende Häherinvasion taleinwärts ein und im selben Bereich konnten bis zu 40 Zirbenhäher beobachtet werden, welche eifrig die Zirbenzapfen plündern und im Hochwald und vor allem über der Waldgrenze in der Kampfzone Zirbenkerne als Winter- und Frühjahrsvorrat vergraben. Nach SUTTNER und AMANN (1951) können die Häher bis zu 12 km von ihren Territorien zu den Zirbenbeständen zurücklegen. Im Sommer 1957 hatte die Zirbe im Gurgeltale ein Fehljahr in der Samenproduktion. Nun blieb aber auch die vorhin erwähnte Häherinvasion aus und es schienen auch die Jungvögel bereits früher (anfangs Oktober) abzuwandern. Aus welchem Gebiete diese Häher kamen und wohin sie samt den Jungvögeln wiederum zogen, konnte nicht festgestellt werden.

Bereits im August beginnen die Häher mit dem Sammeln der Zirbenzapfen, oftmals noch vor deren Reife. SCHÖNBECK (1957) konnte jedoch beobachten, daß unreife Zapfen nur selten von den Bäumen gebrochen werden und das Vorratanlegen erst bei entsprechender Reife beginnt. Die noch unreifen Zapfen werden meist nur angehackt - es kann dadurch zu Zapfenmißbildungen kommen - und es wird nur das Nährgewebe mit den Embryonen aus teils kleinen Öffnungen entnommen.

Die Zapfen werden entweder vom Boden aufgenommen, vom Baum abgebrochen oder am Baum selbst bearbeitet (unreife Zapfen). Oft jedoch werden sie zu einem geeigneten Ort (Zapfenschmiede), einem Stock, Steinblock oder Astgabel, getragen und dort bearbeitet (SCHIFFERLI 1955, BURCKHARDT 1958).

Mit bis zu 40 Zirbensamen im Kehlsack sucht der Tannenhäher sodann seine Vorratsverstecke auf, vergräbt 10 und mehr Nußkerne 3 - 5 cm tief im Boden und deckt das Versteck mit Moos, Flechten oder Nadelstreu zu. Die Sammeltätigkeit wird, solange noch Samen vorhanden sind, fortgesetzt.

Wenn bisher die Meinungen über das Wiederauffinden der Vorräte durch den Häher geteilt waren, so liegen heute bereits eindeutige Beobachtungen darüber vor (SWANBERG 1951, SCHÖNBECK 1956, REJMERS 1956, BURCKHARDT 1958). Der Häher ist sogar im Winter in der Lage, seine Verstecke selbst unter einer bis zu 1.3 m mächtigen Schneedecke aufzufinden und auszugraben, wie Beobachtungen und Aufnahmen von BURCKHARDT (1958) und auch vom Verfasser bewiesen haben. Man könnte nun anführen, daß das Auffinden der Vorräte durch den Häher seinen Nutzen damit wiederum in Frage stellt.

Wie jedoch bereits vorhin erwähnt, kommt es zur Zeit der Samenreife zu einer richtiggehenden Häherinvasion und wie Beobachtungen ergeben haben, werden auch von diesen zugewanderten Hähern Verstecke in unmittelbarer Umgebung angelegt. Da aber jeder Tannenhäher nur seine eigenen Vorräte zu kennen scheint, den Winter über ja nur einige wenige Häher im Reviere bleiben und möglicherweise auch von diesen nicht alle Verstecke aufgefunden werden können, ist der Nutzen, wie auch die Naturverjüngung oberhalb der heutigen Waldgrenze deutlichst zeigt, unbedingt gegeben.

In einer interessanten Arbeit von REJMERS (1956) ist die Rolle des Sibirischen Tannenhähers bei der Samenverbreitung in den Zirbenwäldern Ostsibiriens auf Grund von statistischen Erhebungen und Beobachtungen genau untersucht worden. So kommt auch REJMERS zu dem Schluß, daß die Ernteverluste durch den Tannenhäher - ein Großteil der Zirbensamen wird von Kleinsägern vernichtet durch den Nutzen, den er bei der natürlichen Besamung von Kahlflächen leistet, bei weitem aufgewogen wird. Es sei hier noch auf eine interessante Beobachtung hingewiesen, die bereits von FIGALA (1927) erwähnt wird und auch vom Verfasser sowohl im Stationsgebiet als auch in anderen Aufforstungsgebieten gemacht werden konnte:

Im Juni und Juli zur Zeit der Zirbenkeimung werden durch den Häher die Keimstellen leicht aufgefunden und die Keimlinge ausgerissen. Es werden dabei aber nicht die Keimlinge gefressen, sondern, da meist nicht alle Samen gleichzeitig keimen, die noch ungekeimten Samen ausgegraben und verzehrt. Bei größeren Saaten, vor allem auf Flächen mit offener Vegetationsdecke oder gar als Beisaaten in Pflanzlöchern, kann durch den Häher empfindlicher Schaden verursacht werden.

In einem Aufforstungsgebiet im Zillertal konnte beobachtet werden, daß im Frühsommer nach einer Pflanzlochsamt in einem sonst häherfreiem Gebiet plötzlich eine große Anzahl Häher zugewandert kamen und der Saat arg zusetzten.

Beobachtungen des Hähers beim Verstecken der Samen und die Dichte des Zirbenaufkommens in verschiedenen Vegetationsgesellschaften bzw. auf unterschiedlichen Reliefformen lassen vermuten, daß der Häher bestimmte Stellen für das Vorräteanlagen zu bevorzugen scheint. Gerade in der Kampfzone oberhalb der heutigen Waldgrenze ist es immer wieder auffallend, daß die Zirbenverjüngung besonders auf Rippen, Graten und Felsstufen, wo wir Pflan-

zengesellschaften wie Loiseleurietum und flechtenreiches Vaccinietum uliginosi antreffen, bedeutend dichter aufkommt, als in den benachbarten, länger und stärker schneebedeckten Standorten, die von den Gesellschaften des moosreichen Vaccinietum uliginosi und den Rhododendreten besiedelt werden.

Die Lebens- und Keimungsbedingungen sind aber in diesen scheinbar bevorzugten Gesellschaften nicht in jedem Falle die besten und dennoch gibt es eine hohe Anzahl zumindest an Keimlingen und Kleinzugzirben, und es steht außer Zweifel, daß die Samen ausschließlich durch den Zirbenhäher dorthin gebracht werden konnten (vergl. Seite 444 ff).

Inwieweit nun der Häher beim Verstecken seines Wintervorrates die Rücken, Rippen, Kuppen und Grate bevorzugt, inwieweit es ihm sein Instinkt ermöglicht, Stellen auszusuchen, die im Winter nur selten oder gering schneebedeckt sind, läßt sich mit Sicherheit nicht beantworten.

Keinesfalls kann jedoch eine gleichmäßige Verteilung über das Relief hinweg angenommen werden, worauf vom Verfasser (OSWALD 1956) bereits an anderer Stelle hingewiesen wurde.

B. Die Dichte der Samenverbreitung in Abhängigkeit von der Entfernung zur Waldgrenze und von der Bestandesdichte

Die Voraussetzung für eine nennenswerte Naturverjüngung der Zirbe sind samentragende Altzirbenbestände. Nur wenn ein genügend großes Samenangebot vorhanden ist, kann auch mit einer sichtbaren Zirbenverjüngung gerechnet werden. Dies ist aber wiederum nur in Mastjahren der Fall. Nach CAMPPELL (1950) hatte die Zirbe im Engadin von 1920 1955 fünfmal eine Vollmast, 19mal eine Streu- oder Sprengmast und 10 Fehljahre. In einem schlechten Samenjahr wird wohl der Großteil der Samen vom Häher als momentane Nahrung verzehrt und nur ein geringer Teil für die Vorratsanlage verwendet, wovon wiederum nur ein Bruchteil zur Keimung gelangen dürfte.

Das Höhenklassendiagramm (Abb. 129) gibt in seinen Spitzen z. T. solche Mastjahre wieder; auch Beobachtungen im Gelände lassen eine bestimmte Stufigkeit der Jungwüchse erkennen.

Für die Naturverjüngung bestimmter Flächen ist auch die *Accessibilität* (HEIMANS 1954) d. h. die Erreichbarkeit, mit anderen Worten der Abstand von den Samenbäumen, von Bedeutung. Die Flächendichte der Naturverjüngung nimmt sichtlich mit der Entfernung von der Waldgrenze nach oben hin ab, wie in Abb. 113 schematisch dargestellt wurde.

Bei der Naturverjüngung seitlicher Randflächen hat es allgemein

den Anschein, daß sich nur dann ein nennenswerter Erfolg einstellt, wenn ein ausgeprägtes Relief vorhanden ist, d.h. es werden vorerst wiederum nur die Rippen und Kuppen besiedelt und erst nach und nach dringt der Jungwuchs in Mulden und Rinnen vor.

In all den vorgenannten Erscheinungen wie auch bei der Verjüngungsabnahme mit zunehmender Bestandesdichte (siehe Abschnitt VII/C) läßt sich die Wirkung der Umweltfaktoren vom Einfluß des Tannenhähers bei der Samenverteilung jedoch kaum trennen und solange nicht genaue Untersuchungen in beiden Richtungen vorliegen, werden wir immer nur Vermutungen aussprechen können.

IX. Die Untersuchungen auf der Jochalm

A. Das Untersuchungsgebiet

Die Jochalm (2.121 m) liegt auf einem Rücken oberhalb Stams (671 m) auf der orographisch rechten Talseite des Inntales und wird auf der Südseite durch das im Inneren breite Talbecken des Stamserbaches mit der Stamseralm (1.873 m) begrenzt. Der Rücken ist gegen Nordwesten offen und zieht sich nach einem Steilaufschwung bis zu einer Höhe von 1.950 m, später in einen Grat übergehend, bis zum Rauhen Kopf (2.590 m) und dem Kreuzjöchel (2.565 m), der Wasserscheide des Stamserbaches und des Klambaches, hin. Der Rücken selbst und die inneren Südhänge werden beweidet. Der sehr steile Nordabfall gegen das Inntal ist in Rippen und Rinnen gegliedert. Die Rinnen sind felsdurchsetzt, mit Grünerlen und Vogelbeeren stellenweise bestockt, und jährlich stürzen Lawinen zu Tal. Auf den Rippen stehen Zirben, Fichten und vereinzelt auch Lärchen in dichtem Verband. Der Nordhang hat im oberen Teil eine Neigung von 45° - 60° und wird nicht beweidet. Der Südabfall im Bereiche der Jochalm ist teilweise äußerst steil mit Felsstufen durchsetzt, mit Zirben und in größerer Anzahl Fichten gut bestockt. Gegen das Talinnere wird der Hang flacher und auch gangbar, jedoch ist der Wald in einzelne Streifen aufgelöst. Die Hauptwindrichtung ist im allgemeinen NW - W und bei Föhnlage S - SE, wie an der Schneeverteilung im Winter 1957/58 festgestellt werden konnte.

B. Problemstellung und Untersuchungsmethoden

Die Zuwachserhebungen an Zirben in verschiedenen Pflanzengesellschaften gestalten sich, wie schon in Abschnitt V festgestellt wurde, äußerst schwierig. Vor allem der Mangel an genügend Jungwuchs einer bestimmten Höhen- oder Altersklasse innerhalb eines enger begrenzten Gebietes, die sehr große Streuung der Einzelwerte und die bestimmt sehr kleinen Unterschiede der Zuwachsleistung zwischen den verschiedenen Pflanzengesellschaften bilden die Hauptschwierigkeiten.

Um mit den gegebenen Methoden und Möglichkeiten überhaupt einmal Zuwachsunterschiede feststellen zu können, sollten an zwei Standorten mit sehr verschiedenen Pflanzengesellschaften Erhebungen durchgeführt werden. Auf der Jochalm fanden sich auf engem Raume sowohl ein Nordhang mit den Pflanzengesellschaften der ökologischen Wind - Schneebedeckungsreihe als auch ein ebenso extremer Südhang mit juniperusreichen *Rhododendreta*, *Calluneta* und *Nardeta* und auch Naturverjüngung war in größerem Ausmaße auf beiden Flächen vorhanden. Es wurden mehrere Versuchsflächen ausgewählt und der Jungwuchs nach Höhenklassen erhoben. Sowohl bei

den Großjungzirben als auch bei den Kleinjungzirben wurden jeweils eine oder zwei beisammenliegende Höhenklassen mit großer Individuenzahl ausgewählt und an freistehenden und unbeschädigt scheinenden Zirben dieser Höhenklassen eine stratifizierte Stichprobennahme durchgeführt und die Ergebnisse statistisch ausgewertet.

Folgende Messungen wurden unter Angabe von Exposition, Neigung, Seehöhe, Pflanzengesellschaft und allenfalls leichten Schäden vorgenommen: Baumhöhe (cm), Basisdurchmesser (mm), Brusthöhendurchmesser (mm), Zuwachs der letzten 11 Jahre (cm), einzeln und als Summe. Das Alter jedoch konnte nur durch Anbohren mit dem Zuwachsbohrer bestimmt werden. Die Angaben über die einzelnen Versuchsflächen sind in Tab.1 wiedergegeben. Zum Vergleiche wurde noch eine westexponierte Fläche im Moosboden ca. 1 km westlich der Stamseralm ausgewählt, wobei jedoch keine Aufnahme nach Höhenklassen erfolgte. Die Fläche ist nur schwach beweidet, wenig gegliedert und nahezu gleichmäßig geneigt. Die Pflanzengesellschaft ist ein feuchtes moosreiches Rhododendretum mit einzelnen Sphagnumstellen.

Auf den Nord- und Südf lächen wurden außerdem Kleinjungzirben aufgenommen und zwar im *Loiseleurietum*, *Vaccinietum uliginosi*, moosreichen *Rhododendretum*, *Callunetum*, *Nardetum* und *juniperusr.* *Rhododendretum*. Die Kleinjungzirben sind aus den Höhenklassen 5 und 6 cm, die Großjungzirben aus den Höhenklassen 260 und 280 cm.

C. Die Ergebnisse

In Tab.11 sind die Ergebnisse der Durchschnittsprüfungen der Großjungzirben wiedergegeben. Der Altersunterschied von ungefähr 5 Jahren zwischen den Süd- und Nordzirben kann bei einer Wahrscheinlichkeit von $P = 0.05$ als gesichert gelten, d.h. bei gleicher Höhe sind die Südzirben um ca. 5 Jahre jünger. Da nun aber die Zuwachsunterschiede während der letzten 11 Jahre weder in Summa noch als Einzelzuwächse als gesichert gelten können, muß man annehmen, daß diese Differenzierung bereits innerhalb der ersten 30 - 40 Jahre eintritt. Bei den Westzirben ist sowohl der Altersunterschied zwischen ihnen und den Südzirben bzw. den Nordzirben keineswegs gesichert.

Als signifikant kann der Unterschied der Basisdurchmesser zwischen den Nord- und Südzirben und zwischen den Süd- und Westzirben gelten, d.h. mit anderen Worten, die Südzirben haben bei geringerem Alter und gleicher Höhe eine größere Stammmasse aufzuweisen.

Alle anderen bisher untersuchten Maße weisen keine statistisch gesicherten Unterschiede auf, was zum Teil aber auch auf die geringe Anzahl zurückzuführen sein dürfte, da es außerordentlich schwer ist, eine größere Anzahl gleichförmiger Zirben einer Höhenklasse aufzufinden.

In Tab.12 sind die Ergebnisse der Messungen an den Kleinjungzirben dargelegt. Wenn im Einzelfalle auch keine statistische Auswertung vorliegt, so wurden die Werte doch in Gruppen zusammengefaßt, deren Mittelwerte nahezu gleich groß waren und noch innerhalb der Gruppenwerte lagen, sodaß das Ergebnis als durchaus gesichert gelten kann.

Tabelle 11: Vergleich der Großjungzirben von Nord-, Süd- und Weststandorten auf der Jochalm

Messung	Anzahl	Mittel (\bar{x})	Streuung (c)	Streuung in % (c %)	Durchschnittsprüf. N : S t-Wert	Bemerkung	Wahrscheinlichkeit
NORDFLÄCHE							
1 Höhe (cm)	30	242,5	16,0	6,6	-,-		
2 Alter	30	50,77	9,15	18,0	2,3595	Unterschied gesichert	P = 0,05
3 Brusthdm (mm)	30	38,93	5,49	14,1	1,297	kein Unterschied	--
4 Basisdm (mm)	30	64,87	12,08	18,6	4,0396	Unterschied gesichert	P = 0,001
5 Höhenzuwachssumme 11 Jahre (cm)	30	114,97	30,64	26,6	0,311	kein Unterschied	
6 11 letzte Höhenzuwächse einz.	330	10,45	4,61	44,1	1,867	kein Unterschied	
7 Altersdurchschnittszuwachs (Höhe : Alter)	30	4,913	0,892	18,2	1,954	kein Unterschied	
SÜDFLÄCHE							
1 Höhe (cm)	35	239,8	11,74	4,9	S W		
2 Alter	35	45,91	7,45	16,2			
3 Brusthdm (mm)	35	40,74	5,71	14,0	-,-		
4 Basisdm (mm)	35	77,23	12,48	16,2	3,137	Unterschied gesichert	P = 0,01
5 Höhenzuwachssumme 11 Jahre (cm)	35	121,37	20,90	17,2	0,770	kein Unterschied	
6 11 letzte Höhenzuwächse einz.	385	11,34	3,79	34,3			
7 Altersdurchschnittszuwachs (Höhe : Alter)	35	53,57	9,31	17,4	-,-		
WESTFLÄCHE							
1 Höhe (cm)	35	238,6	14,65	6,1	1,0247	kein Unterschied	
2 Alter	35	47,29	7,88	16,7	1,695	kein Unterschied	
3 Brusthdm (mm)	35	38,46	-,-	-,-	-,-		
4 Basisdm (mm)	35	68,23	11,51	16,9	1,147	kein Unterschied	
5 Höhenzuwachssumme 11 Jahre (cm)	35	114,8	20,15	17,6	1,695	kein Unterschied	
6 11 letzte Höhenzuwächse einz.							
7 Altersdurchschnittszuwachs (Höhe : Alter)		-,-	-,-	-,-	-,-	--	--

Tabelle 12: Standortvergleich der Kleinjungzirben auf der Jochalm

Pflanzengesellschaft	Anzahl	Höhe mm (Mittel)	Alter (Mittel)	Streuung Höhe (%)	Streuung Alter (%)	Nadelgew. Mittel (g)	Sproßgew. Mittel (g)	Gesamtgew. Mittel (g)	Höhe: Alter	Ges. gew.: Alter	Nadelgew.: Sproßgew.
N O R D											
Loiseleurietum	39	51,5	7,05	29,7	21,9	0,326	0,170	0,496	7,30	0,0704	1,92
Vacc. ulig.	75	52,1	6,30	21,8	22,9	0,309	0,156	0,465	8,27	0,0738	1,98
Rhod. fer. moosr.	67	55,6	6,11	16,5	12,9	0,331	0,135	0,466	9,10	0,0763	2,45
Summenmittel	181	53,3	6,40	- , -		0,321	0,151	0,472	8,33	0,0738	2,13
S Ü D											
Callunetum	36	50,6	5,39	28,6	14,8	0,414	0,169	0,583	9,39	0,1082	2,45
Nardetum	30	62,1	5,53	23,5	13,4	0,384	0,178	0,562	11,22	0,1016	2,16
Rhod. fer. junipr.	31	53,5	5,26	31,4	17,6	0,417	0,171	0,588	10,17	0,1154	2,44
Summenmittel	97	55,1	5,39			0,406	0,172	0,578	10,22	0,1072	2,36

Gewichtszuwachsverhältnis Nord zu Süd 1 1,45 (d.h. auf Nord um 31 % weniger Gewichtszuwachs)
Höhenzuwachsverhältnis Nord zu Süd 1 1,23 (d.h. auf Nord um 19 % weniger Höhenzuwachs)

Es sind sowohl die durchschnittlichen Höhenzuwächse und die durchschnittlichen Gewichtszuwächse der drei Pflanzengesellschaften der Nordexposition und der Südexposition untereinander verschieden als auch der Unterschied zwischen Nord und Süd gesichert. Die Zirben der Nordexposition weisen im Durchschnitt einen um 31 % geringeren Gewichtszuwachs pro Jahr auf, während der Höhenzuwachs nur um 19 % geringer ist.

Diese Untersuchungen können jedoch nur als Vorversuche gelten und erst eine Aufnahme größeren Umfanges, wobei jedoch wesentlich mehr Alters- bzw. Höhenklassen erfaßt werden sollen, wird über die Zuwachsunterschiede genauere Kenntnis vermitteln.

X. Zusammenfassung und waldbauliche Folgerungen

A. Die natürliche Verjüngung

Die Frage, welche Standorte für eine natürliche Zirbenverjüngung mehr oder minder günstig erscheinen, ist sehr komplexer Natur und läßt sich nur schwer eindeutig beantworten. Im wesentlichen sind es 6 Faktoren, die für das natürliche Aufkommen von Jungwuchs auf einem Standort maßgebend sind:

1. Das Samenangebot

Nur in Mastjahren kann mit einer nennenswerten Besamung von Kahlfächen gerechnet werden, während bei nur geringer Fruktifikation die Samen nahezu vollständig von Häher und Kleinsäufern aufgefressen werden.

2. Die Zugänglichkeit (Akzessibilität) der Fläche

Durch den Häher werden nur jene Flächen, die innerhalb einer bestimmten Reichweite (Flugstrecke) liegen, in einem ausreichendem Maße besamt. Der Abstand von den samentragenden Beständen oder Einzelbäumen sowie der Pflanzenbewuchs können somit als Maßstab dienen, ob eine Fläche noch natürlich besamt werden wird oder nicht.

3. Der Häherbestand

Nur ein guter Bestand an Tannenhähern in einem Reviere ermöglicht eine nennenswerte Verbreitung der Samen, vor allem über die Waldgrenze hinauf.

4. Das Relief

Die Ausführungen in Abschnitt II, VI und VII zeigen deutlich, daß Rippen und Grate sowohl in der Kampfzone als auch noch im Hochwald durch den Häher zuerst besamt werden, außerdem sind Rippen und Nordeinhänge meist schneeärmer und es treten auch in der Folgezeit keine oder nur sehr geringe Ausfälle durch Schneeschäden auf.

5. Das Keimbett

Obwohl man die Zirbe auch als Felsspalten- und Windbodenbesiedler bezeichnen kann, findet sie doch durch die ständige Bodenfrische besonders günstige Keimbedingungen im moosreichen *Vaccinietum uliginosi*, im moosreichen *Rhododendretum ferruginei* und im *Vaccinietum myrtilli* auf der Nordseite.

Kahlflächen auf Rippen, Graten und Schatteneinhängen mit moosreichen Rauschbeer-, Schwarzbeer- und Alpenrosenheiden, die sich in der Nähe von samentragenden Zirbenbeständen finden, oder dort geschaffen werden, können mit aller Sicherheit noch in wirtschaftlichen Zeiträumen wieder in Bestand gebracht werden.

6. Die Flächengröße und Bestandesdichte

Auch in räumigen Altbeständen ist eine nennenswerte Naturverjüngung sehr selten, desgleichen verjüngen sich kleine Blößen und Bestandeslücken kaum. Schmale Saumkahlschläge (FIGALA 1954) entlang von Rippen oder der Schweizer Femelschlag dürften die sicherste Gewähr für eine baldige, natürliche Verjüngung bieten. Großkahlfächen, wenn sie nicht ringsum von Altzirbenbeständen umschlossen sind, brauchen sehr lange Zeit, um wieder in Bestand zu kommen.

B. Die künstliche Verjüngung

1. Die Saat

Als erfolgversprechend für eine künstliche Verjüngung durch Zirbensaat können die moosreichen *Vaccinietum uliginosi*, *Vaccinietum myrtilli* und moosreichen *Rhododendretum ferruginei* bezeichnet werden. Die Stecksaat soll mindestens 4–6 cm tief in die Moospolster erfolgen, das Erreichen des Bodens ist nicht unbedingt erforderlich. Eine Saat auf nahezu

vegetationslosen Stellen oder in Pflanzlöcher zeigt nur wenig Erfolg.

Vor allem auf Nordhängen mit den obengenannten Pflanzengesellschaften, wo wegen der meist sehr dichten Rohhumusdecke eine Pflanzung oft sehr schwierig ist, kann eine Zirbensaat immer durchgeführt werden. Eine Aussaat sofort nach der Samenreife im Spätherbst oder nach Stratifikation zur Zeit der Schneeschmelze dürfte den geringsten Ausfall aufweisen, da die Samen nur wenige Wochen im Keimbett liegen und dem Auffinden durch Mäuse weniger ausgesetzt sind.

Die Provenienz des Saatgutes

Über Zirbenrassen und Provenienzversuche ist bei der Zirbe bisher noch nichts bekannt geworden. Die Zirbe hat in den Alpen ja eine sehr eng begrenzte Höhenverbreitung, doch weisen Zirben im unteren Verbreitungsbereich, wo sie vor allem mit Fichten gemischt sind, wesentlich andere Wuchsformen und weit aus größere Zuwächse als im Bereiche der Waldgrenze auf. Dies dürfte zum Teil wohl auf die Mischung und Konkurrenz mit der Fichte und auf den größeren Bestandesschluß zurückzuführen sein, doch ist wegen der nur auf relativ engen Raum beschränkten Samenverbreitung durchaus anzunehmen, daß sich auch bei der Zirbe bestimmte Ökotypen im Laufe der Zeit entwickelt haben, die auf ihren Standorten optimale Leistung und Widerstandskraft aufzuweisen haben. Obwohl eine genaue Unterscheidung von Ökotypen oder Rassen bei der Zirbe zur Zeit noch unmöglich ist und wir noch viel zu wenig darüber wissen, so scheint es - analog zu anderen Holzarten - dennoch geboten, diese bei der Wahl der Samengewinnungsbestände soweit als möglich zu berücksichtigen und nur von erstklassigen Mutterbäumen in nach Exposition und Höhenlage verschiedenen, gut entwickelten Beständen Samen zu gewinnen.

2. Die Pflanzung

Überall dort, wo weder die natürliche Verjüngung noch die Saat für die Bestandsbegründung in Frage kommen, muß die Zirbe gepflanzt werden. Auf Südhängen, in Calluneta und Junipereta, in Nardeta und auf stark beweideten Flächen, auf Mähdern und im Schrofengelände und in stark verlichteten Beständen, sowie zur Nachbesserung und zur Erzielung einer bestimmten Holzartenmischung, kommt wohl nur die Pflanzung in Frage. Aber auch überall dort, wo die Aufforstung mit einer temporären Verbauung kombiniert werden soll, ist der Zeitgewinn von 3 5 Jahren durch eine Pflanzung zu beachten.

a) Die Anzucht der Pflanzen

Es scheint naheliegend, daß eine Anzucht der Pflanzen unter ähnlichen Umweltbedingungen, denen sie nach der Aufforstung ausgesetzt sein werden, das Beste wäre, und es wird auch in der Literatur immer wieder darauf hingewiesen (WODITSCHKA 1910). So sagt LEIBUNDGUT (1937): "Bei Kulturen unter extremen Bedingungen ist von ausschlaggebender Bedeutung, daß die Resultanten sämtlicher Faktoren, die wir unter dem Begriff "Standort" zusammenfassen, für Herkunftsort und Pflanzort übereinstimmen. Es genügt nicht, daß die Samen von entsprechenden Standorten stammen, daß also die Pflanze die erforderliche innere Veranlagung mitbringt, sondern es ist überall da, wo sie erschwerten Bedingungen begegnet, nahezu ebenso wichtig, daß sie auf gleichem oder doch ähnlichem Standort erzogen wird".

Wenn irgendwo, so ist die Pflanze sicherlich aber im Bereiche der Kampfzone schwierigsten Umweltbedingungen ausgesetzt und die natürliche Auslese wird immer größer, bis nur mehr die widerstandsfähigsten Individuen im Kampfe gegen standörtliche Extreme verbleiben und letztlich an der oberen Verbreitungsgrenze die Existenz einer Holzart, sei es als Baum oder auch nur als Krüppel, überhaupt nicht mehr möglich ist. Wenn es aus organisatorischen, wirtschaftlichen oder zeitlichen Gründen auch nur selten möglich sein wird, Pflanzgärten unmittelbar im Aufforstungsgebiet anzulegen, so sollten sie jedoch unbedingt innerhalb des Wuchsgebietes liegen und nährstoffmäßig und bodenmäßig den Standorten des Aufforstungsgebietes entsprechen. Während die Zirbe bereits von frühester Jugend an in der Natur ein ausgesprochener Flachwurzler ist dies gilt auch auf optimalen Standorten - haben junge Pflanzgartenzirben auf gedüngten Schwemmsandböden, wie sie in den meisten Pflanzgärten anzutreffen sind, ein richtiggehendes Herzwurzelsystem. Das Wurzelsystem als ein guter Standortsanzeiger ist bei der Zirbe leider noch nicht genau erforscht, doch es werden auch bei der Zirbe, genauso wie bei anderen Holzarten, mehrere Wurzeltypen (HARTMANN 1952) je nach Standort zu unterscheiden sein. Für eine Aufforstung sollte die Zirbe mindestens vierjährig, verschult und von kräftiger, gedrungener Form sein.

b) Die Pflanzmethode

Bei Aufforstungen im Hochgebirge ist eine Loch- oder Lochhügelpflanzung in den meisten Fällen der Klemmpflanzung vorzuziehen. Die Kosten einer Klemmpflanzung erweisen sich wohl als wesentlich geringer, doch ergeben sich für die Nachbesserungen, die Betreuung und die Kontrolle der Pflanzung Schwierigkeiten. Über die Pflanzlochgröße kann bisher noch nichts endgültig ausgesagt

werden, doch es werden sich je nach Boden, Standort und Neigung verschiedene Pflanzlochgrößen ergeben.

Von einer starren Verbandspflanzung ist unter allen Umständen Abstand zu nehmen, es sind vielmehr die in jedem Falle günstigen Punkte auszuwählen und auf kleinste örtliche Schutzwirkungen (Stöcke, Steine, Kleinmulden und Kleinkuppen) ist besonders zu achten (BREY-MANN 1868, LANDOLT 1895, JUGOWIZ 1930 u. a.). Auf allen Standorten, die eine stärkere Rohhumusaufgabe haben, ist für eine gute Durchmischung der Rohhumusschichte mit dem darunter liegenden Mineralboden zu sorgen, um die im Rohhumus enthaltenen Nährstoffreserven zu mobilisieren (NEUWINGER und CZELL 1959). Auf sonnseitigen Standorten empfiehlt es sich, um Barfrostschäden vorzubeugen und um die Bodenfrische zu erhalten, das Pflanzloch mit Plaggen, Steinen, Stroh oder Moos abzudecken. Bei Hochlagenaufforstungen ist es mitunter schwierig, eine Frühjahrs- oder Herbstpflanzung durchzuführen, da der zur Verfügung stehende Zeitraum ohnehin nur sehr kurz ist und meist voll ausgenützt werden muß. Immer aber ist es vorteilhaft, die Pflanzlöcher bereits im Vorjahr anzulegen, um für den Wasserrückhalt wiederum ein Bodengefüge zu erhalten und Barfrost- und Wasserschäden zu verringern.

c) "Starthilfen"

Unter Starthilfen sind alle jene Maßnahmen zu verstehen, die bei einer Aufforstung im Hochgebirge zusätzlich geboten sind, um an extremen Standorten das Aufkommen der Pflanzen überhaupt zu ermöglichen oder das Bestehen bis zum Selbstschutz zu gewährleisten. Auf größeren Flächen des *Loiseleurietums* kann es mitunter notwendig werden, Verwehungszaune als Windschutz und zur Erzielung einer Schneebedeckung aufzustellen. In steilen schneereichen Hängen wird man Verpflockungen zum Schutze gegen Schneedruck und in Lawenstrichen richtiggehende Stützverbauungen im Anbruchgebiet durchführen müssen. Impfungen der Pflanzen mit entsprechenden Mykorrhizapilzen (MOSER 1956, 1958) bereits im Pflanzgarten werden besonders für Standorte, die längere Zeit keinen Wald mehr getragen haben, sehr günstig sein. Gründungen mit Schwedenklee etc. können sowohl durch ihre Düngewirkung als auch Schutzwirkung förderlich sein, doch sind bisher die Versuche darüber noch nicht abgeschlossen.

Eine Düngung mit Handelsdünger, vor allem mit Phosphatdüngern, aber auch eine Kalkung der Pflanzlöcher, sollte nach Meinung des Verfassers erst nach ein bis zwei Jahren, wenn überhaupt notwendig, durchgeführt werden, um die Widerstandsfähigkeit der Pflanze nicht zu verringern.

d) Die Pflanzenanzahl und die Nachbesserung

Nach ca. 50 60 Jahren kann man erwarten, daß eine Zirbenaufforstung durchgekommen sein wird und keines künstlichen Schutzes mehr bedarf. Dies ist aber nur dann der Fall, wenn auch gleichzeitig eine volle und vor allem eine lückenlose Bestockung erzielt werden konnte. Bei einem Alter von 60 Jahren entspricht der Vollbestockung eine Stammanzahl von ca. 3000 Stück pro Hektar. Bei den autochthonen Zirben der ökologischen Wind - Schneebedeckungsreihe konnte bis zum Erreichen einer Höhe von 300 cm ein Ausfall von ungefähr 50 % (außer im Loiseleurietum, dort 70 %) ermittelt werden, d.h. es müssen mindestens 6000 Pflanzen pro Hektar eingebracht werden. Auch bei den Hochgebirgsaufforstungen in der Schweiz (OECHSLIN 1939) traten Ausfälle von 40 - 60 % auf und samt Nachbesserungen ergaben sich Pflanzenanzahlen von ca. 10.000 Stück pro Hektar.

Bei 6000 Pflanzlöchern/ha auf einem Hang sieht dieser wie umgewühlt aus und es kann ernstliche Erosionsgefahr bestehen. Außerdem wird bei dieser großen Anzahl an Löchern die Auswahl der Kleinststandorte praktisch unmöglich gemacht. Aber auch selbst bei der Einbringung von 6000 Pflanzen auf den Hektar in einem Zuge wird man auf Nachbesserungen nicht verzichten können, da der Ausfall ja nicht gleichmäßig über die gesamte Fläche verteilt zu sein braucht, man aber doch eine gleichmäßige Bestockung erzielen muß, um eine spätere Schutzwirkung zu erhalten. Außerdem ist der absolute Ausfall in Katastrophenfällen, aber auch bei Normalausfall, bedeutend größer, als wenn nur 3000 Pflanzlöcher angelegt werden. Zudem hat man bei längerem Verjüngungszeitraum den Vorteil, einen stufigen Bestandesaufbau zu erreichen und auch die stellenweise auftretende Naturverjüngung miteinbeziehen zu können. Nachbesserungen brauchen jedoch keinesfalls alljährlich vorgenommen werden, wohl aber sollten Aufforstungen in jedem Frühjahr nach der Ausaperung durchgegangen und die von Schnee niedergedrückten oder durch Erde bedeckten Pflanzen aufgerichtet werden.

Es würde also genügen, pro Hektar nur ca. 3000 - 4000 Pflanzlöcher zu erstellen und auch mit nur 3000 4000 Pflanzen aufzuforsten, um sodann durch ständige Nachbesserungen sowohl eine volle und gleichmäßige Bestockung als auch einen stufigen Bestandesaufbau und eine entsprechende Holzartenmischung zu erreichen. Engpässe in der Saat- und Pflanzgutbeschaffung können auf diese Weise leicht ausgeglichen werden.

Damit ist aber keineswegs gesagt, daß sämtliche Aufforstungen großflächig, gleichmäßig und gleichzeitig durchgeführt werden sollten. Vielmehr sollte stets auf jeden Fingerzeig der Natur selbst geachtet werden und oft wird es genügen, durch die Auf-

forstung von schmalen Streifen auf den Luvseiten von Rippen die Schneeverteilung soweit zu beeinflussen, daß später in den Mulden und Leehängen und auf den Rippen selbst, also an Standorten, die nur unter großen Schwierigkeiten und nach langen Zeiträumen zu verjüngen wären, entweder natürliche Verjüngung in einem genügendem Ausmaße erreicht wird, oder eine Aufforstung ohne nennenswerte Starthilfen erfolgen kann. Innerhalb größerer Aufforstungsflächen müssen alle jene Flächen vorerst ausgelassen werden, die nur unter großen Schwierigkeiten oder überhaupt nicht in Bestand zu bringen sind (Schneelöcher, Wächten etc.).

3. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse

Obwohl die vorliegenden Ergebnisse nur innerhalb der ökologischen Wind Schneebedeckungsreihe im Stationsbereich Obergurgl strenge Gültigkeit haben, lassen sie sich dennoch in einem gewissen Rahmen auf alle Standorte dieser ökologischen Reihe innerhalb des Wuchsgebietes I ausdehnen (TSCHERMAK 1940). Allgemeinere Angaben, wie über die Samenverbreitung und die Keimung, können jedoch auch im gesamten alpinen Verbreitungsbereich der Zirbe angewandt werden.

Literatur

- AICHINGER E. 1949: Grundzüge der forstlichen Vegetationskunde. Forstw. Arbeitsgemeinschaft an der Hochschule für Bodenkultur, Wien.
- AUER CH. 1947: Untersuchungen über die natürliche Verjüngung der Lärche im Arven-Lärchenwald des Oberengadins. Mitt. d. Schweiz. Anstalt f. d. forstl. Versuchswesen XXV.
- AULITZKY H. 1955: Die Bedeutung meteorologischer und kleinklimatischer Untersuchungen für Aufforstungen im Hochgebirge. Wetter und Leben, Jahrg. 7, H. 8 11, 241 252.
- AULITZKY H. 1958: Waldbaulich ökologische Fragen an der Waldgrenze. Centralbl. f. d. ges. Forstw., 75. Jahrg. H. 1, 18 - 33.
- BJÖRKMAN E. 1948: Studier över snöskyttesvampens (Phacidium infestans Karst.) biologi samt metoder för snöskyttets bekämpande. Meddelanden från statens skogsforskningsinstitut, Band 37, Nr. 2.
- BRAUN-BLANQUET J., PALLMANN H. und BACH R. 1954: Vegetation und Böden der Wald- und Zwergstrauchgesellschaften (Vaccinio-Piceetalia). Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen des Schweizer Nationalparkes, Band 4.

- BREYMANN K. 1868: Bericht über die Österreichische Hochgebirgspreisaufforstung. Österr. Monatsschr. f. Forstw. XVIII. Band.
- BROCKMANN-JEROSCH H. 1913: Der Einfluß des Klimacharakters auf die Verbreitung der Pflanzen und -gesellschaften. Botanisches Jahrbuch.
- BROUWER W. und STÄHLIN A. 1935: Handbuch der Samenkunde. DGL-Verlag Frankfurt/Main.
- BURCKHARDT D. 1958: Vom Vorratsanlegen des Tannenhähers. Bündnerwald 11. Jahrg. Nr. 4, 102 114.
- CAJANDER A.K. 1909: Über Waldtypen. Acta forest.fenn. 1.
- CAJANDER A.K. 1921: Zur Frage der gegenseitigen Beziehung zwischen Klima, Boden und Vegetation. Acta forest.fenn. 21.
- CAJANDER A.K. 1926: The theory of forest types. Acta forest.fenn. 31.
- CAMPELL E. 1950: Der Tannen- oder Nußhäger und die Arvenverbreitung. Bündnerwald Jahrg. 4, Nr. 1, 3 7.
- CAMPELL E. 1955: Der Lärchen-Arvenwald. Ertragreiche Nadelwaldgesellschaften im Gebiete der Schweizer Alpen. Bündnerwald. Chur, Heft 5.
- COAZ J. 1897: Anbau der Arve im Hochgebirge. Schweizer Zeitschrift f. Forstw.
- ECKMÜLLNER O. und SCHWARZ G. 1954: Die Waldstufen in der Steiermark. Angew. Pfl. soziologie, Festschrift f. E. Aichinger II, 802 823. Wien: Springer.
- FIGALA H. 1927: Studien über die Nordtiroler Zirbe. Unveröffentl. Diss. an der Hochschule f. Bodenkultur Wien.
- FIGALA H. 1954: Die Bewirtschaftung von Hochgebirgsforsten im zentralalpinen Klima unter besonderer Berücksichtigung des Pitztales. Österr. Vierteljahresschrift f. d. Forstwesen 95, 207 218.
- FRAUENDORFER R. 1957: Planung und Durchführung von Stichprobennahmen. Schriftenreihe der Forstl. Bundesversuchsanstalt Mariabrunn in Wien, Nr. 6.
- FRIEDEL H. 1952: Gesetze der Niederschlagsverteilung im Hochgebirge. Wetter und Leben 4, H. 5/7.
- FRIEDEL H. 1953: Wirkungen der Schneeverteilung im Pasterzengebiet. Carinthia II. Mitt. d. naturw. Vereines f. Kärnten 142, H. 2.
- FRIEDEL H. 1956: Die alpine Vegetation des obersten Mölltales (Hohe Tauern). Wissenschaftliche Alpenvereinshefte, H. 16.
- FROMME G. 1957: Der Waldrückgang im Oberinntal (Tirol). Mitt. d. Forstlichen Bundesversuchsanstalt Mariabrunn, 54. Heft.
- FURRER E. 1955: Probleme um den Rückgang der Arve (*Pinus Cembra*) in den Schweizer Alpen. Mitt. d. schweizer. Anstalt für das forstliche Versuchswesen Band XXXI, 669.
- FUSCHLBERGER 1928: Die Zirbe im Waldbau. Österr. Vierteljahresschrift für Forstwesen 78.
- GAMS H. 1956: Sonderheft Salzburg Tirol, Exkursionsführer für die XI. internationale pflanzengeographische Exkursion durch die Ostalpen 1956. Angewandte Pflanzensoziologie, Veröffentlichung des Inst. f. angewandte Pflanzensoziologie des Landes Kärnten.
- GAMS H. 1957: Fortschritte der Vegetationskartierung in den Ostalpen. Jahrbuch d. Vereins z. Schutze d. Alpenpflanzen und -tiere, München.
- GREGORI 1887: Zuwachsverhältnisse in Hochgebirgswaldungen. Schweiz. Zeitschrift f. Forstwesen 1887.
- HANDEL-MAZZETTI H. 1954: Der höchste Standort der Zirbe (*Pinus Cembra* L.) in den Ostalpen. Angew. Pfl. soziologie, Festschrift f. E. Aichinger I, 123 124. Wien: Springer.
- HARTMANN F. 1952: Forstökologie. Verlag G. Fromme, Wien.
- HEIMANS J. 1954: L'accessibilité, terme nouveau en phytogéographie. Vegetatio 5 6, 142.
- HEMPEL G. und WILHELM K. 1889: Die Bäume und Sträucher des Waldes. Bd. 1. Die Nadelhölzer. Wien.
- HOLZER K. 1958: Die winterlichen Veränderungen der Assimilationsorgane von Zirbe (*Pinus Cembra* L.) und Fichte (*Picea excelsa* Link) an der alpinen Waldgrenze. Österr. Bot. Zeitschr. 105, H. 4, 323 346.
- HOLZER K. 1959: Winterliche Schäden an Zirben nahe der alpinen Baumgrenze. Centralbl. f. d. ges. Forstw. 76, 4, 232 244.

- HUFNAGL H. 1950: Grundlagen zur Waldklimazonen-(Höhenstufen-)kartierung. Allgem. Forstzeitung 61, 1/2.
- HUSTICH I. 1948: The Scotch-Pine in northernmost Finland and its dependence on the climate in the last decades. Acta botanica fennica 42, Helsingfors.
- JUGOWIZ R. 1930: Die Zirbe in den österreichischen Alpenländern. Wiener allgem. Forst- und Jagdzeitg. 48, 227 228.
- KELLER A. 1910: Die tierischen Feinde der Arve. Mitt. d. Schweizer Centralanstalt f. d. forstl. Versuchsw.
- KERNER von MARILAUN A. 1908 a: Studien über die oberen Grenzen der Holzpflanzen in den österreichischen Alpen. Wiedergedruckt in: "Der Wald und die Alpwirtschaft", Berlin.
- KERNER von MARILAUN A. 1908 b: Der Wald und die Almwirtschaft in Österreich u. Tirol. Gesammelte Aufsätze herausgegeben von K. Mahler, Berlin.
- KIRCHNER O., LÖW E. und SCHRÖTER C. 1908: Lebensgeschichte der Blütenpflanzen Mitteleuropas I, 1, Stuttgart.
- LANDOLT E. 1895: Der Wald. 4. Aufl. Schweiz.
- LEIBUNDGUT H. 1937: Über aufgelöste Gebirgswaldungen und deren Wiederherstellung. Schweizer Zeitschrift f. Forstwesen, S. 45 ff. und S. 65 ff.
- MOSER M. 1956: Die Bedeutung der Mykorrhiza für Aufforstungen in Hochlagen. Forstw. Centralbl. 75, 1 64.
- MOSER M. 1958: Die künstliche Mykorrhizaimpfung an Forstpflanzen. Forstw. Centralbl. 77. Jahrg. 1/2, Seite 1 - 64 und 9/10, Seite 257 320.
- NATHER H. 1958: Zur Keimung der Zirbensamen. Centralbl. f. Forstw. 75. Jahrg. Heft 1, 61 - 70.
- NEKOLA 1898: Die Zirbenanzucht. Österr. Vierteljahrsschr. f. Forstwesen, S. 228 ff.
- NEUWINGER I. und CZELL A. 1959: Standortuntersuchungen in subalpinen Aufforstungsgebieten. Böden in den Tiroler Zentralalpen. Forstwissenschaftl. Centralblatt. 78 Jg. (11/12).
- ÖCHSLIN M. 1939: Die Aufforstungen im Urserental. Schweizer Ztschr. f. Forstw. Beobachtungen über die Samenverbreitung bei der Zirbe (*Pinus Cembra*). Allg. Forstzeitg. Jahrg. 67, Folge 15/16, 200 - 202.
- OSWALD H. 1956: Über *Phacidium infestans* Karst., einen gefährlichen Parasiten der Zirbelkiefer u. einige andere in seiner Gesellschaft wachsende Pilze. Sydowia, Annales Mycologici, Ser. II, Vol. IX, 1 6.
- PETRAK F. 1956: Le rôle du nucifrage et des rongeurs de la famille des murides dans les bois de cedre des régions méridionales. Baicaliennes. Bjul. Moskov. Obsc. Ispyt. Prir. Otdel. Biol. 61., 35 39. Besprechung in Berichte wiss. Biol. 226.
- REJMERS N. F. 1956: Die Arve in der Schweiz. N. Denkschr. Schweiz. Nat. forsch. Ges. XLIV.
- RIKLI M. 1909: Die Zirbelkiefer als Hochgebirgsbaum. Jahrbuch d. Vereins z. Schutze d. Alpenpfl. u. -tiere. München e. V.
- ROHMEDER E. 1941: Die Zirbelkiefer als Hochgebirgsbaum. Jahrbuch d. Vereins z. Schutze d. Alpenpfl. u. -tiere. München e. V.
- ROHMEDER E. und LOEBEL M. 1940: Keimversuche mit Zirbelkiefer (*Pinus cembra*). Forstwissenschaftl. Centralblatt.
- ROHMEDER E. und LOEBEL M. 1955: Untersuchungen über das Samentragen und Keimen der Zirbelkiefer (*Pinus cembra*) in den bayr. Alpen. Allgem. Forstzeitg. Jg. 10, 83 86.
- SCHIFFERLI A. 1955: Verhalten des Tannenhähers beim Hamstern von Arvennüsschen. Orn. Beobachter 52, 157 158.
- SCHLATTER A. J. 1935: Aufforstungen u. Verbaunungen im oberen Engadin 1875 - 1934. Schweizer Zeitschr. f. Forstw. S. 309 ff.
- SCHÖNBECK H. 1956: Der Tannenhäher (*Nucifraga caryocatactes* L.) in der Steiermark. Mitteilungsh. des Landesmuseum Joanneum (Abt. Zoologie und Botanik) Nr. 5.
- SCHÖNBECK H. 1957: Zirbe und Tannenhäher. Beobachtungen aus dem Nockgebiet. Carinthia II, Naturwissensch. Beiträge z. Heimatkunde Kärntens. Mitt. d. Naturw. Vereine f. Kärnten 67. Jahrg. Klagenfurt. 154 156.
- SCHÖNWIESE F. 1929: Anpflanzungsversuche mit der Zirbe. Österr. Vierteljahrssch. f. Forstwesen 47, 81 85.

- SCHWARZ O. 1957: Tagungsbericht d. Arbeitsgem. f. naturnahe Waldwirtschaft, Innsbruck.
- STERN R. 1956: Untersuchungen über die Eignung der Zirbe für Hochlagenaufforstungen. Unveröff. Diss. a. d. Hochschule f. Bodenkultur Wien.
- SUTTNER E. und AMANN F. 1951: Wie weit fliegen vorrattssammelnde Tannenhäher? Ornithologischer Beobachter 50, 89 90.
- SWANBERG P.O. 1951: Food Storage, Territory and Song of the Thick-billed Nutcracker. Proc. of the Xth Int. Orn. Congress, 545 554.
- SWANBERG P.O. 1956 a: Incubation on the Thick-billed Nutcracker (*Nucifraga c. caryocatactes* L.). Bertil Hanström, Zool. Papers in Honour of his 65th Birthday, 279 297.
- SWANBERG P.O. 1956 b: Territory of the Thick-billed Nutcracker (*Nucifraga c. caryocatactes*). Ibis 98, 412 419.
- TRANQUILLINI W. 1958: Die Frosthärte der Zirbe unter besonderer Berücksichtigung autochthoner und aus Forstgärten stammender Jungpflanzen. Forstw. Cbl. 77, 89 - 105.
- TRANQUILLINI W. 1959: Die Stoffproduktion der Zirbe (*Pinus Cembra* L.) an der Waldgrenze während eines Jahres. I. Standortsklima und CO₂-Assimilation. Planta 54, 107 129.
- TSCHERMAK L. 1940: Gliederung des Waldes Tirols, Vorarlbergs und der Alpen Bayerns in natürliche Wuchsbezirke. Zentralbl. f. d. ges. Forstwesen 66, 106 119.
- TURNER H. 1958: Maximaltemperaturen oberflächennaher Bodenschichten an der alpinen Waldgrenze. Messungen in der Schönwetterperiode Juni/Juli 1957. Wetter und Leben 10, 1 12.
- WODITSCHKA J. 1910: Die Kultur der Zirbe. Gerold's Sohn Wien.

2. Der Jahresgang der CO₂-Assimilation junger Zirben

von W. Tranquillini

Inhalt

	Seite
Einleitung	503
I. Standort und Versuchsobjekte	503
II. Methodik ..	504
III. Durchführung der Versuche	508
IV. Ergebnisse	
A. Spätherbst bis zum Einsetzen strengen Frostes	512
B. Frühwinter bis zum Einschneien	515
C. Der Gaswechsel im Februar und März	516
D. Der Gaswechsel im April	517
E. Der Gaswechsel nach dem Ausapern	520
F. Erwärmungsperiode	521
G. Hochleistungsperiode	523
H. Periode verringerter Aktivität nach dem Austreiben	525
J. Die Assimilationsabnahme im Herbst	526
V. Besprechung der Ergebnisse	527
Zusammenfassung	531
Literatur	533

Gekürzt und verändert aus "Planta" 54 (1959, S. 107 129) mit
Genehmigung des Springer-Verlages Berlin

Manuskript der Neubearbeitung abgeschlossen Ende 1960

Einleitung

Um ein genaues Bild vom Stoffgewinn einer Pflanze zu erhalten und die Beziehung zwischen Zuwachs und Umweltlage kennen zu lernen, muß man den Verlauf der Stoffproduktion möglichst kontinuierlich bestimmen. Dies stößt auf große Schwierigkeiten: die tägliche ja sogar stündliche Gewichtszunahme der Pflanzen (z. B. in Töpfen) ließe sich wohl grundsätzlich mit jeder genauen Waage messen, wenn nicht der Wasserrumsatz den Stoffumsatz überlagern würde. Auch die Dickenzunahme der Stämme kann mit eigens dafür konstruierten Zuwachsaughtographen (Mikro-Dendrometer) kontinuierlich gemessen werden (FRIEDRICH 1905, FRITTS und FRITTS 1955, WILHELMI 1956). Doch auch hier stören Änderungen des Stammumfanges, welche durch die Zugspannungen in den Gefäßen infolge Transpirationssaugung hervorgerufen werden. Ein anderer Weg führt über die Bestimmung der Trockensubstanzmenge (GREGORY 1917, RUTTER 1957). Aus einer großen Zahl möglichst gleichartiger Versuchsobjekte (meist ganz junge Pflanzen) werden zu mehreren Zeitpunkten während der Vegetationsperiode Stichproben entnommen und deren Trockengewicht festgestellt. Der zeitliche Abstand der Probenentnahmen sowie die Anzahl der Pflanzen für jede Bestimmung richtet sich nach der individuellen Streuung der Zuwachsrate der Einzelpflanzen. Je größer diese ist, desto mehr Pflanzen braucht man und desto weiter müssen die Bestimmungen auseinander liegen. Daraus geht schon hervor, daß auch mit dieser Methode nur ein grober Überblick über den Jahresgang des Zuwachses gewonnen werden kann.

Auf ganz andere Weise kann man in den Zuwachsverlauf einer Pflanze Einblick nehmen, wenn man ihren Gaswechsel mißt: Die Körpersubstanz einer Pflanze bildet sich fast ausschließlich durch die Assimilation des Kohlendioxyds der Luft; die aus dem Boden aufgenommenen Nährsalze spielen mengenmäßig eine untergeordnete Rolle.

Die CO_2 -Aufnahme durch die Blätter (Netto-Assimilation) aus der umgebenden Luft ist also ein hinreichend genaues Maß für die Stoffproduktion. Sie kann heute an jeder Einzelpflanze, ohne sie vom Standort entnehmen zu müssen oder irgendwie zu stören, mit so hoher Genauigkeit fortlaufend gemessen werden, daß wir die Schwankungen der momentanen Zuwachsgröße in Minutenintervallen erhalten. Aus der Gegenüberstellung dieser CO_2 -Aufnahme mit dem Verlauf der Klimafaktoren sowie anderer entscheidender Einflüsse können auch die Ursachen jeder Änderung der Zuwachsrate bis ins einzelne analysiert werden.

Solange die Messungen im Freiland noch auf zeitraubenden Einzelbestimmungen beruhten (die Entwicklung ging von der Titrationsmethode BOSIANS, 1933, zur Leitfähigkeitsmethode HOLDHEIDE, HUBER, STOCKERS, 1936) beschränkten sich die Forscher aus arbeitstechnischen Gründen meist auf die Erfassung des Gangs der Netto-Assimilation an einzelnen ausgewählten, sogenannten Standardtagen. So untersuchte z. B. CARTELLIERI (1935) den Jahresgang der Assimilation einer erwachsenen Zirbe an der alpinen Waldgrenze. Die vorbildlichen Messungen beschränkten sich auf 7 Tagesgänge. Erst die Einführung vollautomatischer Registrierverfahren (TRANQUILLINI 1952) ermöglichte es, die Messungen auf längere Zeiträume, ja sogar auf ein ganzes Jahr auszudehnen und damit den Jahresgang des CO_2 -Umsatzes unserer Holzart beinahe lückenlos kennen zu lernen (TRANQUILLINI 1957, 1959 a und b).

I. Standort und Versuchsobjekte

Die physiologischen Messungen wurden im engeren Umkreis der Station "Waldgrenze" durchgeführt, so daß Schlauch- und Kabelverbindungen zwischen den Versuchspflanzen am natürlichen Standort und den Registrierinstrumenten, die in 2 Baracken untergebracht waren, möglichst kurz (maximal 50 m) gehalten werden konnten. Der geringe Aktionsradius genügte, um eine ausreichende Anzahl geeigneter Versuchsobjekte aufzufinden, und erleichterte im Hochwinter die Wartung der Meßanlage.

Im Oktober 1954 wurden 3 gesunde, rund 10 cm hohe Jungzirben ausgewählt, an denen der Gaswechsel im Winter geprüft werden sollte. Eine stand auf der horizontalen Verebnung (H_2), eine am N-Abfall des "Basishügels" zur Beerrinne (N_2) und die dritte am Westabfall zum Haupthang (W_1). Im Mai 1955 nach der Ausaperung kamen neue Pflanzen (N_3 , N_4 und N_5) zur Assimilationsuntersuchung. Im Juni wurden diese Pflanzen von 3 weiteren Zirben (N_7 , N_8 und N_9) abgelöst. Sie standen eng

beisammen am N-Abfall des Basishügels zur Beerrinne auf einer nach Exposition und Vegetation einheitlichen Versuchsfläche. Exposition, Hangneigung, Vegetation sowie Alter, Höhe und Gewicht der Versuchspflanzen sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Die Pflanzen sind ungefähr gleich alt, gleich groß, unverzweigt und gleichartig bewurzelt. Alle mit N bezeichneten Jungzirben standen auch unter annähernd gleichen Umweltbedingungen. Im Hochwinter wurde der Gaswechsel auch an Zweigen zweier älterer, rund 1 1/2 m hoher Jungzirben (H und W) untersucht, die in der Nähe der Zirben H₂ bzw. W₁ standen und deren Gipfeltriebe stets über die Schneedecke herausragten. Sie sind zwar wesentlich älter als die erstgenannten Objekte (Tabelle 1), waren diesen jedoch von allen benachbarten Jungzirben, die im Hochwinter teilweise der Schneebedeckung entbehrten, noch am ähnlichsten. Auf die Bestimmung ihres Trockengewichtes und der Wurzellänge wurde verzichtet.

Tabelle 1

Zirbe Nr.	Hanglinie: Neigung Exposit.	Vegetation	Höhe cm	Wurzel- tiefe cm	Alter Jahre	Trockengewicht (g)				
						Pflanze gesamt	Nadeln gesamt	Nadeln letztj.	Äste u. St.	Wurzeln
H ₂ H	12° W	Übergang v. Arcto- staphylet. uva u. zu Loiseleur.	13 148	16	7 25	1.873	1.027	0.178	0.533	0.313
W ₁ W	31° W	Vacciniet. ul. myrt.	12 184	16	6 53	1.494	0.787	0.196	0.538	0.169
N ₂ N ₃ N ₄ N ₅ N ₇ N ₈ N ₉	27° NNE	Loiseleur. cetrar. m. viel Empe- trum	12 9 9 8 13 8 12	13 6 10 4 8 10 7	7 6 5 8 6 7 7	3.080 1.680 1.407 2.322 1.751 1.162 1.503	1.765 1.040 0.802 1.385 0.681 0.625 0.684	0.272 0.397 0.262 0.389 0.220 0.625 0.155	0.830 0.481 0.434 0.750 0.743 0.349 0.601	0.485 0.159 0.171 0.187 0.327 0.188 0.218

II. Methodik

Der ganze oberirdische Teil der Versuchspflanzen kam in zylindrische Assimilationsküvetten aus hauchdünnem Cellophan. Im Winter waren die Wände der Küvetten zum Schutz gegen Schneedruck durch Plexiglasringe und -stäbe verstärkt (Abb. 131).

Die obere Öffnung diente zur Luftableitung, die untere zum Einschieben der Nadeln. Die Luft konnte nur durch die untere Öffnung in die Küvette eintreten. In unmittelbarer Nähe dieser Eintrittsöffnung endete auch die Parallelleitung für die Vergleichsluft. Damit die bodennahe Luft, die oftmals starke CO₂-Schwankungen aufweist, nicht unmittelbar in die Küvette und die Vergleichsluftleitung eintreten kann, wurden beide Ansaugöffnungen in der schneefreien Jahreszeit in eine Untertasse aus Cellon gestellt, in deren Mitte das Stämmchen der Versuchspflanze durchtrat (Abb. 131 b). Zum Messen der Atmung wurde die durchsichtige Cellophanküvette gegen eine schwarz gestrichene Glasküvette ausgetauscht.

Die Durchströmung der Küvetten und Vergleichsluftleitungen (30 L Luft/Stunde) besorgten 6 elektrische Membranpumpen, die in einem Kasten an der Instrumentenbaracke angebracht waren. Die angesaugte Luft wurde gleich hinter den Küvetten in

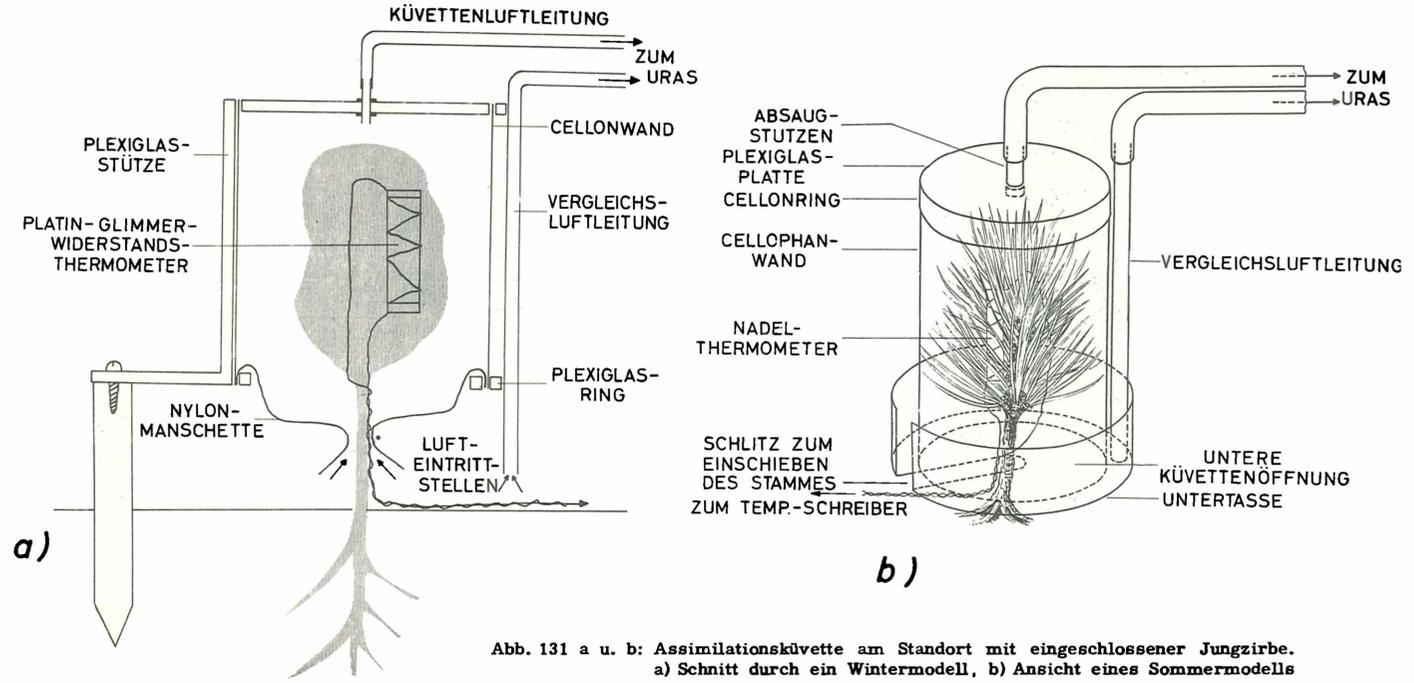


Abb. 131 a u. b: Assimilationskuvette am Standort mit eingeschlossener Jungzirbe. a) Schnitt durch ein Wintermodell, b) Ansicht eines Sommermodells

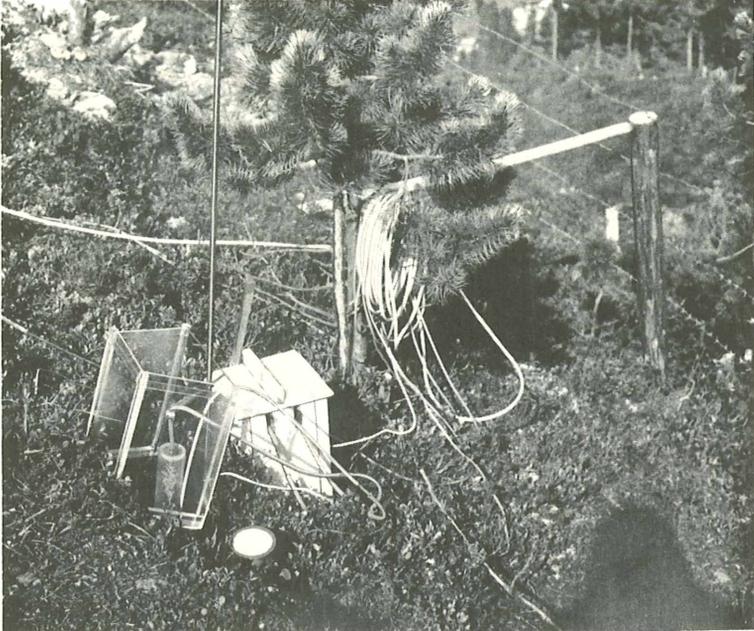


Abb. 132: Assimilationsküvette mit einer Versuchszirbe. Um die Küvette befindet sich eine Kuppel aus Wärmeschutzgläsern. Rechts davor eine Selenphotozelle zur Registrierung des Lichtes. In dem weiß gestrichenen Kasten befinden sich die Silikagel-U-Röhren zur Trocknung der aus der Küvette abgesaugten Luft. Aus TRANQUILLINI 1959, Planta Bd. 54

U-Röhren mit Silikagel getrocknet (Abb.132) und gelangte durch Kunststoffschläuche zu den Pumpen, die sie in den Gasumschalter weiterdrückten.

Der Gasumschalter der Badischen Anilin- & Sodafabrik verband die 6 Leitungen hintereinander in Abständen von 1 Minute mit dem CO₂-Analysator (URAS). Da für jede Assimilationsmessung 2 Gasproben benötigt werden (CO₂-Konzentration vor und hinter der Küvette) konnten mit dieser Anordnung gleichzeitig 3 Pflanzen auf ihren CO₂-Gaswechsel fortlaufend untersucht werden. Durch die Funktion des Gasumschalters war jede Leitung 1 Minute mit dem URAS verbunden, jedoch 5 Minuten blockiert. Um Stauungen in den Küvetten und im Strömungssystem zu vermeiden, mußte während dieser Zeit für die Luft ein Ventil geschaffen werden. Aus diesem Grund ist zwischen Pumpe und Gasumschalter eine Abzweigung angebracht, durch die die Luft über eine Wasserflasche entweichen konnte. Wurde die Leitung durch den Gasumschalter freigegeben, sperrte der hydrostatische Druck der Wassersäule das Ventil und die Luft strömte in den URAS (Abb.133).

Als Anzeige- bzw. Registriergerät diente ein vom Gasumschalter gesteuerter Sechsfarbensreiber der Fa. Hartmann & Braun mit einer Punktfolge von 1 Minute. Man erhält also den Verlauf der CO₂-Konzentration der verschiedenen Entnahmestellen durch Aneinanderreihung von gleichfarbigen Meßpunkten, die in Abständen von 6 Minuten aufeinanderfolgen. Die von den Pflanzen absorbierte bzw. abgegebene CO₂-Menge ist gleich der Differenz des CO₂-Gehaltes jeweils zweier Luftströme.

Der URAS analysiert den CO₂-Gehalt der Luftproben nach dem Prinzip der Ultrarotabsorption. Er nützt die Tatsache aus, daß Dipolgase wie CO₂ aus der Ultrarot-

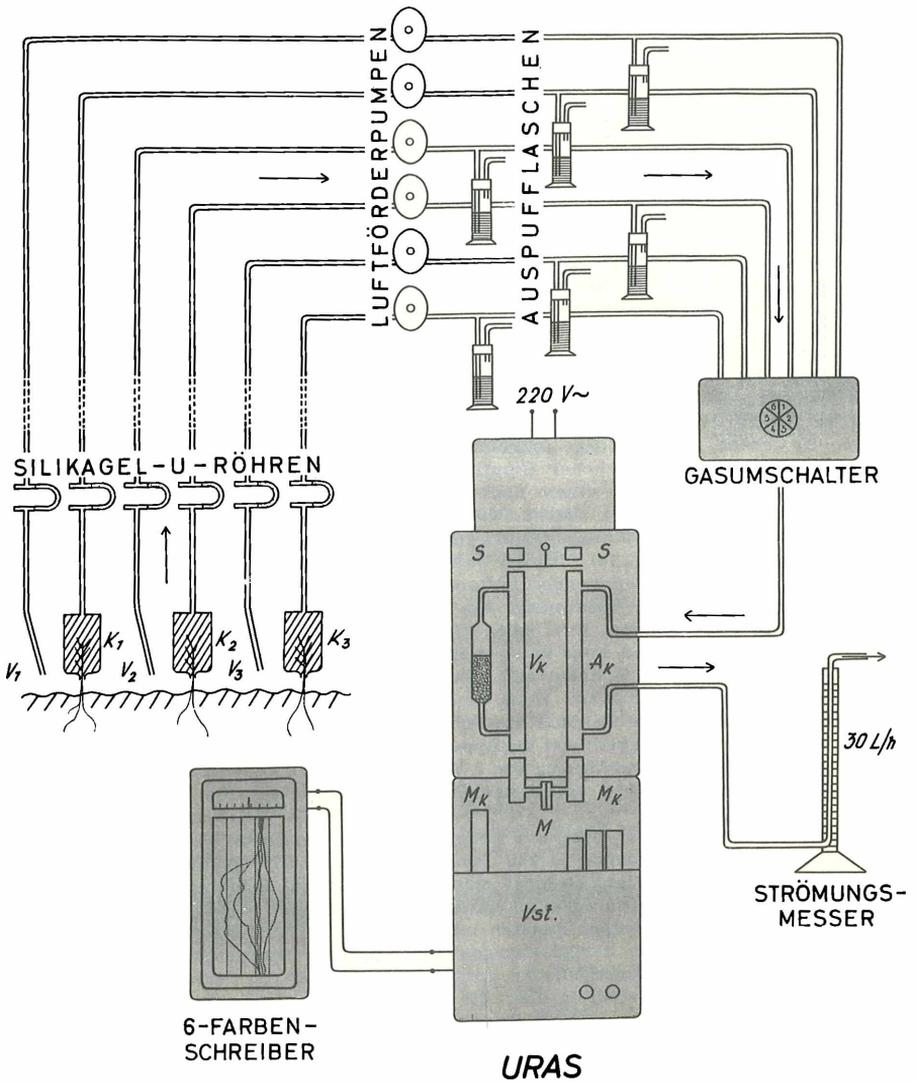


Abb. 133: Schema der Versuchsanordnung für die kontinuierliche CO_2 -Analyse von 6 offenen Gasströmen mittels Ultrarot-Absorptionsschreiber. Weitere Erklärung im Text

strahlung spezifische Teile absorbieren; die Stärke dieser Absorption ist eine Funktion der Konzentration des betreffenden Gases. Er enthält 2 Rotstrahler (Abb.133); der eine liegt über der "Analysekammer", durch die ständig das zu untersuchende Gas strömt; der andere über der "Vergleichskammer", welche ein nichtabsorbierendes Gas, in unserem Falle trockenen Stickstoff enthält. Auf diese Weise wird die Strahlung in der Vergleichskammer nicht, in der Analysekammer entsprechend der CO₂-Konzentration geschwächt; es entsteht eine Strahlungsdifferenz. Unter den beiden Kammern liegen 2 "Meßkammern", die voneinander durch eine dünne, elektrisch geladene Membran getrennt sind. Die Meßkammern enthalten als Strahlungsempfänger das Gas, dessen Konzentration gemessen werden soll, also CO₂. Auf diese Weise wird erreicht, daß die Messung ohne Spektralzerlegung der verwendeten UR-Strahlung selektiv wird. Wird nun das Gas in der einen Meßkammer infolge der ungeschwächten Strahlung stärker erwärmt als in der zweiten, so bewirkt der Druckunterschied eine Bewegung der trennenden Membran und damit eine Kapazitätsänderung. Diese wird als Spannungsschwankung über einen Verstärker dem Meßinstrument zugeführt.

Die Empfindlichkeit des URAS (1 Skt. = 0.001 Vol% CO₂) wurde auf das Doppelte erhöht, die 50-teilige Schreiberskala mit 2 oder 3 Eichgasen täglich geeicht. Die Eichkurve ist bei so hoher Empfindlichkeit praktisch eine Gerade. Bei dieser Empfindlichkeit entsprach einem Schreiberausschlag von 1 Skt eine Konzentrationsänderung von 0.0005 Vol% oder 0.00925 mg CO₂/L (18° C). Diese Empfindlichkeit erwies sich für unsere Messungen als geradezu ideal. Die ganze Breite des Streifens wurde ausgenützt (Abb.134). In der Nacht liegen alle Kurven nahe beisammen, die 3 von den Küvetten herkommenden Luftproben zeigen etwas höhere CO₂-Konzentration infolge nächtlicher CO₂-Ausatmung. Am Morgen, wenn es genügend hell wird, überschneiden sich die Kurven. Nun heben sich die Küvettenkurven deutlich von den Vergleichsluftkurven ab, und zwar umso stärker, je lebhafter die Assimilation ist. Erst am späten Abend überschneiden sich die Kurven wieder und zeigen die bereits erwähnte nächtliche Atmung an. Wenn eine Kurve den Rand zu überschreiten drohte, wurde der Nullpunkt mechanisch am Schreiber verstellt.

Wie Abb. 134 zeigt, registriert die Apparatur die beiden wichtigen CO₂-Gaswechselprozesse Assimilation und Atmung von 3 Versuchspflanzen kontinuierlich und vollautomatisch, wobei die Dichte und Genauigkeit der Meßpunkte allen anderen Methoden weit überlegen ist.

Bei Ausdehnung eines Versuches über 24 Stunden werden 1440 Punkte registriert, wobei bei meiner Anordnung je 240 Punkte auf den Gang der Gaswechselintensität jeder der 3 Pflanzen fielen. Bedenkt man, daß mit der vor Einführung des URAS allgemein verwendeten Leitfähigkeitsapparatur in mühevoller Meßarbeit der Tagesgang des Gaswechsels aus wenigen Punkten mit großer Streuung zusammengestellt werden mußte und das Ergebnis der Messungen erst nach der Auswertung sichtbar wurde, so ergibt sich der meßmethodische Vorzug der bei unseren Versuchen angewandten Methode. Weitere Einzelheiten über die Methode, vor allem über die auftretenden Schwierigkeiten, müssen den Originalveröffentlichungen entnommen werden (EGLE und ERNST 1949, HUBER 1950, TRANQUILLINI 1952, 1954, 1957, 1959).

III. Durchführung der Versuche

Eine Übersicht über die Nadeltemperaturen, Strahlungssummen, Niederschläge und Schneehöhen sowie die Tagessummen der CO₂-Aufnahme und nächtlichen Atmung der Versuchsperiode gibt Abb.135. Die Versuche begannen am 23. 10. 1954 und dauerten ohne Unterbrechung bis 4. Oktober 1955. Die Versuchsflächen schneiden Anfang Dezember ein. Da der CO₂-Gaswechsel unter Schnee nicht meßbar war, fehlen in dieser Zeit die Meßangaben. Hingegen ist durch Messungen belegt, daß unter der Schneedecke die Strahlung praktisch Null ist sowie nennenswerte Temperaturamplituden fehlen. Die Versuchspflanzen aperten erstmals am 13. Mai, endgültig am 20. Mai aus.

Die Vegetationsperiode 1955 (V-X) war etwas kühler, trüber und trotzdem trockener als im langjährigen Durchschnitt; das Ausapern und Einschneien erfolgte nur um wenige Tage später als im 20jährigen Mittel (Tabelle 2). Die Abweichungen sind so gering, daß der Beobachtungszeitraum als repräsentativer Sommer gelten kann.

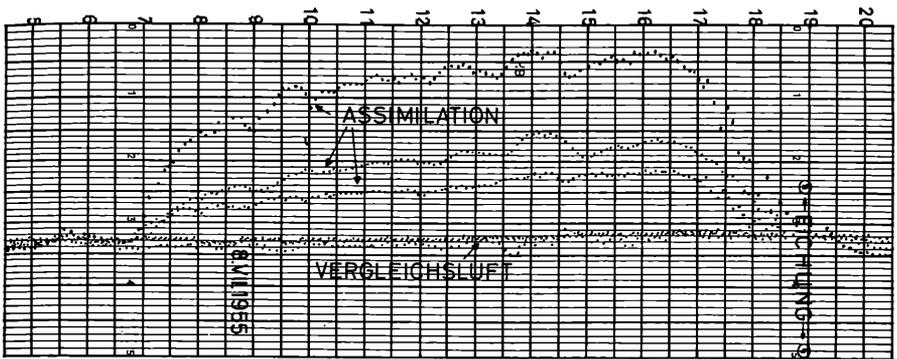


Abb. 134: Ausschnitt aus dem URAS-Registrierstreifen vom 8. VII. 1955. Verlauf des CO_2 -Gehaltes der Luft sowie der Assimilation von 3 Jungzirben. Im Original wird jede der 6 Kurven mit einer anderen Farbe geschrieben

Wir haben jeweils 3 Zirben z.T. nebeneinander, z.T. im Vergleich zu älteren Zirben und jungen Lärchen untersucht. Standen sie gerade nicht am Versuchsprogramm, wurden die Küvetten abgenommen.

Tabelle 2: Klimacharakteristik der Vegetationsperiode 1955 (Abweichungen vom 20jährigen Mittel (1938-1958) in Vent (1900 m)).

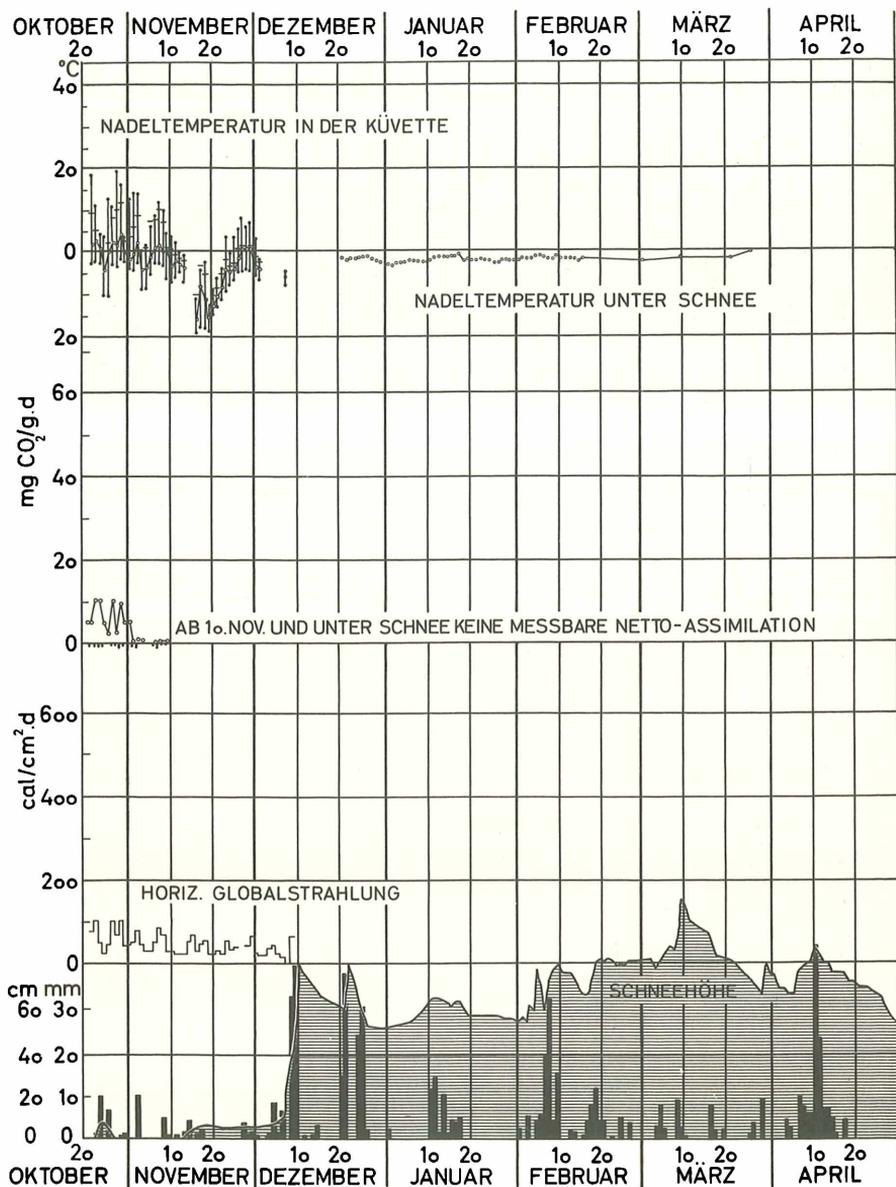
	V	VI	VII	VIII	IX	X	V-X
Tagesmittel ($^{\circ}\text{C}$)	0.9	+ 0.2	0.4	1.5	1.1	1.3	0.9
Mittleres Maximum	+ 0.4	0.1	0.7	2.1	1.6	1.5	1.0
Mittleres Minimum	1.4	+ 0.6	+ 0.4	0.9	0.9	1.0	0.5
Niederschlag (mm)	-11.3	-24.0	-13.3	-29.9	+16.5	-13.0	-85.0
Sonnenschein (h)	+34.3	-21.0	-43.1	-30.7	0.1	+ 2.8	-57.8

Datum des Einschneiens: 5 Tage später als im langjährigen Mittel

Datum des Ausaperns: 4 Tage später als im langjährigen Mittel

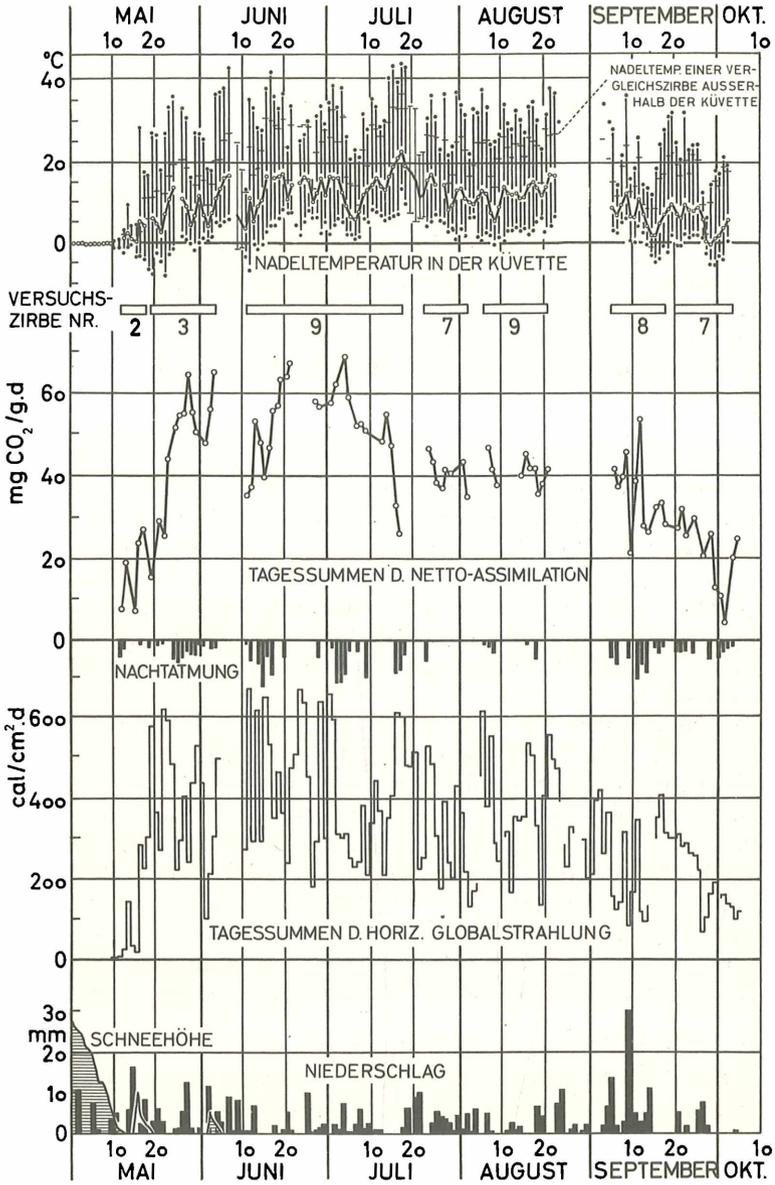
Die Pflanzen blieben in der Regel nicht länger als 2 Wochen in der Küvette, kamen jedoch im Laufe des Jahres mehrmals an die Reihe. Die Tagessummen der Assimilation, die in Abb.135 dargestellt und miteinander zu einem Jahresgang verbunden sind, wurden also an verschiedenen Pflanzen ermittelt.

An Tagen, an denen die Assimilationssumme fehlt, wurde entweder die Atmung bestimmt, oder die Messung war zeitweise oder ganz gestört.



a)

Abb. 135 a u. b: Nadeltemperatur in der Kuvette (Tagesmittel, Maxima und Minima) und Nadeltemperaturmaxima freistehender Vergleichspflanzen (horizontale Marken), Globalstrahlung, Niederschlag, Schneehöhe, Tagessummen der Nettoassimilation und Nachtatmungssummen verschiedener Zirben auf der Station Waldgrenze während eines Jahres (1954/55). Rechter Teil der Figur aus TRANQUILLINI 1959, Planta Bd. 54



b)

IV. Ergebnisse

A. Spätherbst bis zum Einsetzen strengen Frostes (23. 10. — 14. 11.)

In dieser Periode trat zwar bereits regelmäßig Nachtfrost auf, aber in den hellen Stunden überschritt die Nadeltemperatur in der Küvette täglich z. T. noch recht beträchtlich den Gefrierpunkt. Der Niederschlag fiel z. T. als Regen, z. T. als Schnee, der rasch wieder wegschmolz. Der Boden kühlte sich nur nachts einige Male oberflächlich unter 0°C ab und war in der Rhizosphäre der Versuchspflanzen nicht gefroren (Abb. 137).

Demgemäß assimilierten alle Zirben positiv, wenn der Lichtkompensationswert überschritten wurde und gleichzeitig die Temperatur der Nadeln über -4°C anstieg.

Die tiefste Temperatur, bei der CO_2 noch eindeutig gebunden wurde, betrug in diesem Zeitraum $-4,7^{\circ}\text{C}$. (Temperaturminimum der Netto-Assimilation (vgl. PISEK und REHNER 1958).

Die Tagessummen der Netto-Assimilation waren an einigen Tagen besonders niedrig. Vergleicht man die Assimilation mit der Strahlung und Temperatur so ergibt sich, daß die Photosynthese nicht nur 1. vom Licht, 2. von der Temperatur direkt begrenzt, sondern 3. auch durch die Nachwirkung von Frost der vorangehenden Nacht gehemmt wurde.

1. Das Lichtoptimum der Assimilation scheint bei etwa $150\text{ cal/cm}^2\cdot\text{d}$ zu liegen. Wie im Abschnitt I E 1 Seite 90 ff gezeigt wurde, wird diese optimale Lichtsumme im Spätherbst infolge niedrigen Sonnenstandes und Verkürzung des Tages auf der horizontalen und westexponierten Versuchsfläche immer häufiger unterschritten. Besonders ungünstig waren die Lichtverhältnisse bei der Zirbe N_2 , die infolge der Hangneigung und -richtung fast stets im Schatten lag, so daß dort vor allem wolkenarme und wolkenlose Tage mit schwacher Lichtzerstreuung außerordentlich strahlungsarm waren. Hier litt die Assimilation schon im Oktober täglich an Lichtmangel (Abb. 135).

Die Leistung eines Tages wird jedoch nicht nur vom Lichtgenuß bestimmt. Ohne Zweifel spielt für die Assimilation im Herbst 2. die Temperatur eine wichtige Rolle. Wie aus Abschnitt I E 3 Seite 127 ff hervorgeht, sind bereits im September die Tagestemperaturen für die Netto-Assimilation deutlich unteroptimal.

Von entscheidendem Einfluß auf die Assimilationsleistung eines Tages ist jedoch 3. das Temperaturminimum der vorhergehenden Nacht. Seinen Einfluß zeigt Abb. 136. Am 24. 10. betrug die Assimilationssumme der Westzirbe bei einem Temperaturmittel von $6,6^{\circ}\text{C}$ und einer Strahlungssumme von $129\text{ cal } 20,5\text{ mg CO}_2/\text{g}$. Am 27. 10. fiel die Nadeltemperatur in der Nacht bis auf $-10,3^{\circ}$.

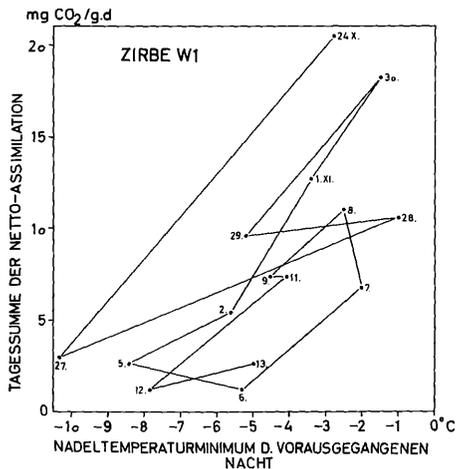


Abb. 136: Einfluß von Nachtfrost auf die Photosynthese am folgenden Tag. Assimilationsüberschuß während der hellen Tagesstunden (Zirbe W₁) vom 24. 10. bis 13. 11. als Funktion des Nadeltemperaturminimums der vorausgehenden Nacht. Die Meßwerte wurden entsprechend der zeitlichen Reihenfolge miteinander verbunden. Tage, an denen das Licht die Assimilation begrenzte, wurden in die Figur nicht aufgenommen. Aus TRANQUILLINI 1957, Planta Bd. 49

Dieser erste Kälteeinbruch hemmte die Assimilation sehr stark. Die Hemmung hielt am darauffolgenden Tag noch an, obwohl die Nacht mild, der Tag warm (6.2°) und hell (91 cal) war. Sie löste sich erst am 30. 10., ohne daß dabei die ursprüngliche Assimilationsleistung wieder erreicht wurde. Der zweite Kälteeinbruch am 5. und 6. 11. drückte die Netto-Assimilation noch stärker, daß trotz optimaler Tagestemperatur und einer Strahlungssumme von 97 cal nur 1.3 mg CO₂/g·d gebunden wurden. Unter diesen Bedingungen wäre vor der Hemmung eine Assimilation von rund 17 mg zu erwarten gewesen! Bei der Wiedererwärmung am 7. und 8. 11. stieg die Assimilation nur langsam an und blieb auch in den nachfolgenden Tagen, die keine nennenswerten Fröste brachten, wiederum niedriger als nach der ersten Kältewelle. Genau so wirkte der dritte Kälteeinbruch (12. und 13. 11.).

Die Zirbe scheint bei Frost, besonders unter - 8° C gewisse Veränderungen zu erfahren, die der Assimilation eine obere Grenze setzen, bei Wiederholung des Frostes tiefer greifen und so die Assimilation immer mehr erschweren. Die Erwärmung am Tage wirkt im umgekehrten Sinne, d.h. sie aktiviert den Assimilationsapparat wieder, ohne jedoch die Hemmung völlig aufheben zu können.

In diesem Licht gesehen wird klar, warum selbst die höchste Assimilation der Horizontal- und Nordhangzirbe in dieser Periode tief unter den Beträgen lag, die ich ein Jahr später an Vergleichsobjekten Anfang September ermittelte.

Aufzeichnungen der Lufttemperatur (Hütte) vor Einsetzen der As-

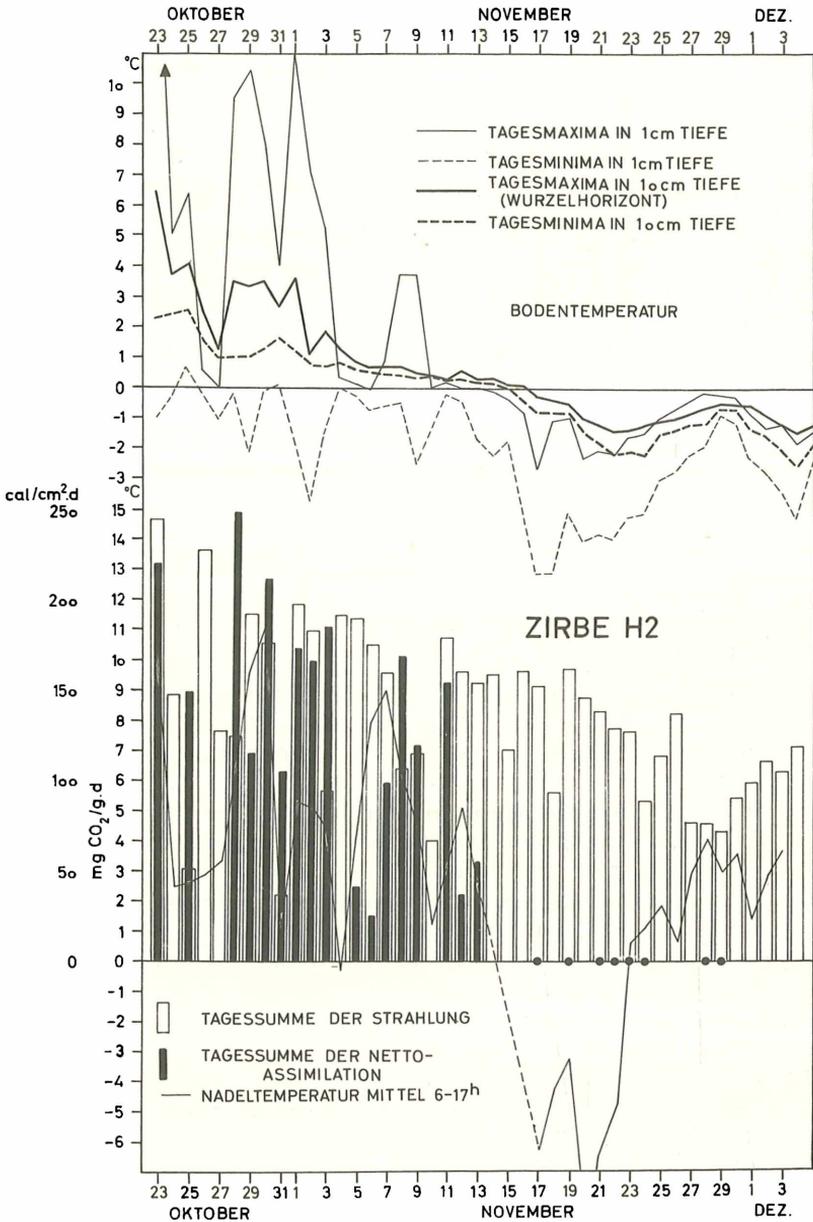


Abb. 137: Eindringen des Bodenfrostes in den Wurzelhorizont (10 cm) setzt die Netto-Assimilation auf Null herab. Assimilation (H_2), Strahlung, Nadel- und Bodentemperatur vom Oktober bis Dezember. An Tagen, wo die Säulen, die die Assimilationssummen angeben, völlig fehlen, war die CO_2 -Registrierung gestört, wo an ihre Stelle ein Punkt auf die Nulllinie eingetragen ist, war der Netto-Gaswechsel nach außen nicht mehr nachweisbar (Kompensation). Aus TRANQUILLINI 1957, Planta Bd. 49

simulationsversuche ergaben nämlich, daß sie bereits Ende September 2mal für je 3 Tage unter den Gefrierpunkt sank und nach kurzer Wiedererwärmung Anfang Oktober für eine ganze Woche unter 0° blieb und am kältesten Tag -5° C erreichte. Unter dem Einfluß dieser schwachen Fröste, die in Bodennähe verstärkt sind (vgl. Abschnitt I E 3 Seite 127 ff), hatten die Pflanzen bereits ihre sommerliche Aktivität verloren und befanden sich auf dem Wege zur winterlichen Ruhestimmung. Es wird auch klar, warum die Reduktion der Assimilation bei der am wärmeren Westhang stockenden Zirbe W_1 weniger fortgeschritten war als bei den Pflanzen der kühleren Standorte, vor allem des Nordhanges. Je wärmer der Standort am Tage, desto wirkungsvoller wird die Hemmung durch die nächtliche Kälte wieder aufgehoben.

Die in die folgenden Tage hinein sich dehnende Nachwirkung von Nachtfrost, unteroptimale Tagestemperatur und abnehmende Helligkeit bewirken, daß die Assimilation im Spätherbst abnimmt.

B. Frühwinter bis zum Einschneien (15. 11. — 6. 12.)

Am 15. 11. setzte scharfer Fröst ein, der eine Woche lang anhielt. Die Nadeltemperatur sank bis gegen -20° (Abb. 135). Wie auf Grund der tiefen Temperatur zu erwarten war, ruhte der Gaswechsel; die CO_2 -Gehalte der Küvetten- und Vergleichsluft lagen auf derselben Linie. Auch in den Stunden, in denen sich die Pflanze H_2 zum Teil recht beträchtlich über den Nullpunkt erwärmte, war weder CO_2 -Aufnahme noch -Abgabe faßbar.

Am 23. 11. beendete ein Warmlufteinbruch die scharfe Frostlage. Die Temperatur stieg wieder an und erreichte ab 27. 11. ähnliche Werte wie vor dem Eintreten des scharfen Frostes, bei denen damals noch ausgiebig assimiliert wurde.

Dennoch wurde jetzt am Tage weder CO_2 von der Pflanze aufgenommen noch abgegeben (Abb. 137). Dies kann meines Erachtens nicht darauf beruhen, daß sowohl die Assimilation als auch die Atmung völlig stilllag, da zumindest letztere unter dem Einfluß der Wärme wieder aufleben müßte. Sie war auch tatsächlich in einer relativ warmen Nacht deutlich nachzuweisen. Am Tage wurde jedoch das bei der Atmung freiwerdende Kohlendioxyd sofort wieder reassimiliert. Der Gaswechsel ruhte also nur scheinbar und spielte sich im Innern der Nadeln ab.

Daß die Assimilation unter den wechselnden klimatischen Verhältnissen dieser Periode bis zum Einschneien niemals das Übergewicht über die Atmung bekam, sondern stets nur gerade kompensierte, kann kein Zufall sein und läßt sich nur dadurch erklären, daß infolge Spaltenschluß von außen her kein CO_2 ins Blatt eintreten konnte (STALFELT 1935, PISEK und WINKLER 1956). Daß die Atmung in den hellen und warmen Stunden der Tage niemals das Übergewicht über die Brutto-Assimilation bekam, beweist, daß letztere stets das gesamte durch die Atmung gebildete CO_2 im Inneren des Blattes zu reassimilieren imstande war.

Der plötzliche Stillstand der Netto-Assimilation fiel ziemlich genau mit dem Zeitpunkt zusammen, da die Bodentemperatur im Wurzelhorizont der Versuchspflanzen den Gefrierpunkt unterschritt (Abb. 137). Solange die Zirben am Tage noch positiv assimilierten, lagen die Bodentemperaturen in 10 cm Tiefe, in der sich die Hauptmasse der Wurzeln befindet, über 0° C.

Ab 14. 11. blieb der Boden oberflächlich, ab 16. 11. auch in 10 cm Tiefe gefroren. Auf die Unterbindung der Wassernachleitung aus dem Boden infolge Bodenfrosts reagierten die Jungpflanzen sehr rasch mit Spaltenschluß. Die nachfolgende Erwärmung drang nur schwach in den Boden ein, da bereits wenig ergiebige Schneefälle zum Aufbau einer rund 4 cm hohen Schneedecke führten (Abb. 135), die den Boden thermisch isolierte. Der Boden blieb gefroren und die Spalten geschlossen. Der Assimilation fehlte die CO_2 -Versorgung aus der Atmosphäre.

Am schattigen Nordhang fror der Boden in 10 cm Tiefe bereits am 5. 11., also 1 1/2 Wochen früher als auf der sonnenbeschienenen horizontalen bzw. westexponierten Versuchsfläche. Demgemäß ruhte dort die Netto-Assimilation der Zirbe N_2 vom 6. 11. an, also zu einem Zeitpunkt, wo die beiden anderen Zirben noch beträchtliche C-Reinigewinne erzielten. Besonders auffallend war dieser Unterschied am 8. 11., an dem die Zirben W_1 und H_2 stark assimilierten, während die Zirbe N_2 , trotzdem Licht und Temperatur für die Photosynthese günstig waren, kaum mehr CO_2 absorbierte. Kein Zweifel also, daß Bodenfrost in der Wurzelsphäre die Überschußproduktion rasch völlig lahmlegt.

C. Der Gaswechsel im Februar und März

Anfang Dezember setzten stärkere Schneefälle ein, die Schneedecke wuchs rasch auf 50 cm Höhe an und bedeckte alle 3 Küvetten vollständig. Leider war es unmöglich, den Gaswechsel der eingeschnittenen Pflanzen exakt zu fassen.

Um den Hochwinter doch zu nützen, mußte das Programm umgestellt werden. Die Gasleitungen der eingeschnittenen Versuchspflanzen wurden im Februar vom URAS getrennt und neue Leitungen zu 2 älteren, etwa 1 1/2 m hohen Jungzirben verlegt. Die eine von ihnen (H) stand auf der horizontalen Versuchsfläche in der Nähe der eingeschnittenen Zirbe H_2 , die andere (W) auf dem Westabfall der Verebnung gleich unterhalb der Zirbe W_1 (Tabelle 1). Ihre Gipfeltriebe ragten gerade noch über die Schneedecke, die zu diesem Zeitpunkt rund 1 m hoch war. Benadelte Seitentriebenden dieser Bäume wurden in Küvetten eingeschlossen, ihr Gaswechsel, ihre Nadeltemperatur sowie die Strahlung registriert. Da sich die Nadeln in den Küvetten am Tage stark erwärmten, mußten die Versuchszweige öfters gewechselt werden. Nur aus dem Verhalten von Zweigen, die noch nie dem Küvettenklima ausgesetzt waren, sofort nach dem Einschluß in die Küvetten kann auf den Gaswechsel unter natürlichen Standortsbedingungen geschlossen werden.

Zur ersten Orientierung wurde am 11. 2. nach Sonnenuntergang ein Nadeltrieb einer alten Zirbe in der Nähe der Instrumentenbaracke in die Küvette eingeschlossen. In der Nacht fiel die Temperatur unter -13°C . Am 12. 2. herrschte sonniges, sehr kaltes Wetter. Als sich die Temperatur der Nadeln in der Küvette dem Nullpunkt näherte, begannen sie sofort CO_2 bei Licht auszuscheiden. Die CO_2 -Abgabe wurde mit zunehmender Erwärmung lebhafter und klang am Nachmittag, als die Temperatur fiel, wieder langsam ab. Das Kurvenbild entsprach dem einer Dunkelatmungsmessung mit Kulminationspunkt zur Zeit stärkster Erwärmung und ließ keinen Einfluß des Lichtes erkennen.

Dasselbe Verhalten zeigte am 14. 2. ein stark verfärbter Zweig der Zirbe H (H Zweig 2) und am 15. 2. ein relativ grün gebliebener Schattenzweig der Zirbe W (W Zweig 3). Alle geprüften Zirbenzweige wiesen zur Zeit bei Temperaturen über etwa -2°C deutliche Netto-Assimilation auf; sie war jedoch stets negativ, d.h. die Pflanzen scheiden CO_2 aus, obschon sie genügend Licht erhalten (im Februar entsprechen die Strahlungsverhältnisse denen vom Oktober).

Während noch im Dezember die Gesamtphotosynthese ausreichte, um das durch die Atmung gebildete CO_2 vollständig zu reassimilieren, ist sie nun im Februar so schwach, daß sie nur mehr einen kleinen Teil der Atmungskohlensäure verarbeiten kann; der andere Teil verläßt das Blatt und wird bei der Gaswechselprüfung meßbar.

Diese überaus starke Reduktion der Photosynthese dürfte durch die winterliche Kälte hervorgerufen werden. Wie bereits früher ausgeführt wurde, assimilierten Zirben im Herbst nach jedem stärkeren Frost schwächer als vorher, wodurch die Assimilation entsprechend mehreren Kältewellen stufenförmig abnahm. Im Dezember und Januar wurden 5 stärkere Kältewellen registriert, die mehrmals Lufttemperaturen (Hütte) unter -10° brachten, einmal im Januar -18° C. Auch in den milderen Zwischenzeiten blieben die Temperaturen wesentlich niedriger als im November. Durch die wiederholten starken Fröste und die geringe Erwärmung am Tage im Dezember und Januar haben die Pflanzen einen Zustand erreicht bei dem ihr Photosyntheseapparat auch in optimalem Licht und Temperatur nur mehr äußerst schwach funktioniert.

Der Umstand, daß der Boden im Februar bis in 40 cm Tiefe gefroren war, die Spaltöffnungen daher noch immer geschlossen sein mußten, ist jedoch im Gegensatz zum Dezember nunmehr ohne Belang, da die Photosynthese bei keinem Zweig ausreichte, auch nur das in die Intercellularen vorliegende CO_2 vollständig zu verarbeiten, die Atmungskohlensäure hingegen fast unbehindert auch durch geschlossene Spaltöffnungen aus den Nadeln ausströmen kann (PISEK und WINKLER 1956).

Im März erwärmten sich die Nadeln an der Kronensüdseite in der Nähe der Schneeoberfläche an 24 Tagen über 0° C, an 6 Tagen sogar über 10° C. Mit Ausnahme der 7 Eistage dürften also die Zirben an den übrigen Tagen entsprechend der Höhe und Andauer der Temperatur CO_2 ausgeschieden haben. Mit einem Anstieg der Brutto-Assimilation unter den Temperaturverhältnissen freier Zweige im März ist auch in Wärmeperioden, in denen mehrere Tage hindurch der Gefrierpunkt weiter und länger überschritten wurde, sicher nicht zu rechnen.

Es wäre Irrtum, wollte man annehmen, daß Jungzirben in Hochlagen Wärmeperioden inmitten des Winters zu Stoffgewinn nützen können. Vielmehr führt stärkere Erwärmung, vor allem wenn sie länger anhält, zu bedeutendem Stoffverlust.

D. Der Gaswechsel im April

Ende März setzte Tauwetter ein. Die Lufttemperatur blieb 4 Tage lang auch in der Nacht über dem Gefrierpunkt. Die Schneedecke begann zu schmelzen, das Wasser drang in den Boden und taute ihn bis nahe zur Oberfläche auf. Die Nadeln erwärmten sich sonnseitig bis auf $+20^{\circ}$ C. Dennoch blieb der Gaswechsel eines Zweiges der Zirbe W (Nr. 5), der am 1. 4. abends zum erstenmal in die Küvette kam, am sonnig warmen 2. 4. während des ganzen Tages negativ. Die CO_2 -Ausscheidung war am Vormittag nach kalter Nacht (-12°) äußerst gering und entsprach der vom 14. 2.; nachmittags wurde sie stärker, so daß die Tageskurve des Gaswechsels, als Funktion der Strahlung aufgetragen, nun eine Schleife nach unten beschrieb (Stimulation der Atmung!), wovon am 14. 2. nichts bemerkbar war (Abb. 138 a).

Zirben, die in ihrem Naturklima standen, zeigen also Anfang April immer noch negative CO₂-Bilanz.

In der ersten Aprilhälfte hielt mit Ausnahme einiger Tage die milde Witterung an. Trotzdem zeigte ein neuer Zweig (W-Zirbe Zweig 6) am 15. 4. sofort nach Einschluß in die Kuvette um 12 Uhr Mittag immer noch CO₂-Ausscheidung. Sie stieg innerhalb der nächsten 2 Stunden sogar stark an, fiel in den folgenden Stunden wieder ab und ging um 17 Uhr in CO₂-Bindung über (Abb. 138 a).

Immer noch war der Gaswechsel unmittelbar nach dem Einschluß in die Kuvette negativ. Erst am 27. 4., nach vorausgegangener frühlinghaft warmer Witterung, die die Schneedecke rasch abbaute und die Nadeln im Freien bis + 30° C erwärmte, zeigte ein anderer Zweig der Zirbe W (Nr. 7) sofort nach Einschluß in die Kuvette mit ansteigendem Licht positive Netto-Assimilation, die den ganzen Tag anhielt (Abb. 138 a). Sie war aber noch sehr gering und entsprach bloß etwa der vom Anfang November. Offenbar standen rascherem Fortschritt der Photosynthese die immer noch beträchtlichen Nachfröste (bis - 11°) entgegen.

In der Zeit zwischen Mitte und Ende April ergrünten die meisten Zirbennadeln. Nur die am stärksten belichteten Teile der Baumkronen blieben auch um diese Zeit noch gelb. Wenn die Regeneration des Chlorophylls Voraussetzung ist für energische Assimilation, müßten diese noch winterlich verfärbten Sonnenzweige immer noch CO₂ ausscheiden, obwohl gerade sie sich stärker erwärmten als die bereits aktiven grünen, schattenseitigen Kronenpartien. In der Tat blieb der Gaswechsel so eines gelblichen Zweiges der Zirbe H (Nr. 9), der noch nie in einer Kuvette war, den ganzen Tag negativ (Abb. 138 b, 29. 4.), obwohl die vorhergehende Nacht sogar frostfrei und der Tag warm war. Der Gaswechsel des Zweiges entsprach etwa dem grüner Zweige in den ersten Apriltagen.

Das verschiedene Verhalten gelber und grüner Zweige zum gleichen Zeitpunkt und bei gleicher Temperatur in der Kuvette (Abb. 138 b) beweist sehr eindringlich, daß die photosynthetische Aktivität nicht allein durch Wärme hervorgerufen wird, wengleich diese eine bedeutende Rolle spielt, sondern auch einen bestimmten inneren Zustand der Pflanze, u. a. die Regeneration des Chlorophyllapparates, voraussetzt.

Der Übergang vom winterlichen zum sommerlichen Gaswechsel vollzieht sich bei weniger stark belichteten, daher grüner bleibenden Zirbenzweigen Ende April, bei extrem besonnenen und stärker verfärbten etwas später. Voraussetzung für positive CO₂-Bilanz sind geöffnete Spalten und Neubildung des im Laufe des Winters verlorengegangenen Chlorophylls. Ausschlaggebend ist jedoch stärkere und länger anhaltende Erwärmung der Zweige, jedoch nicht frostfreie Nächte.

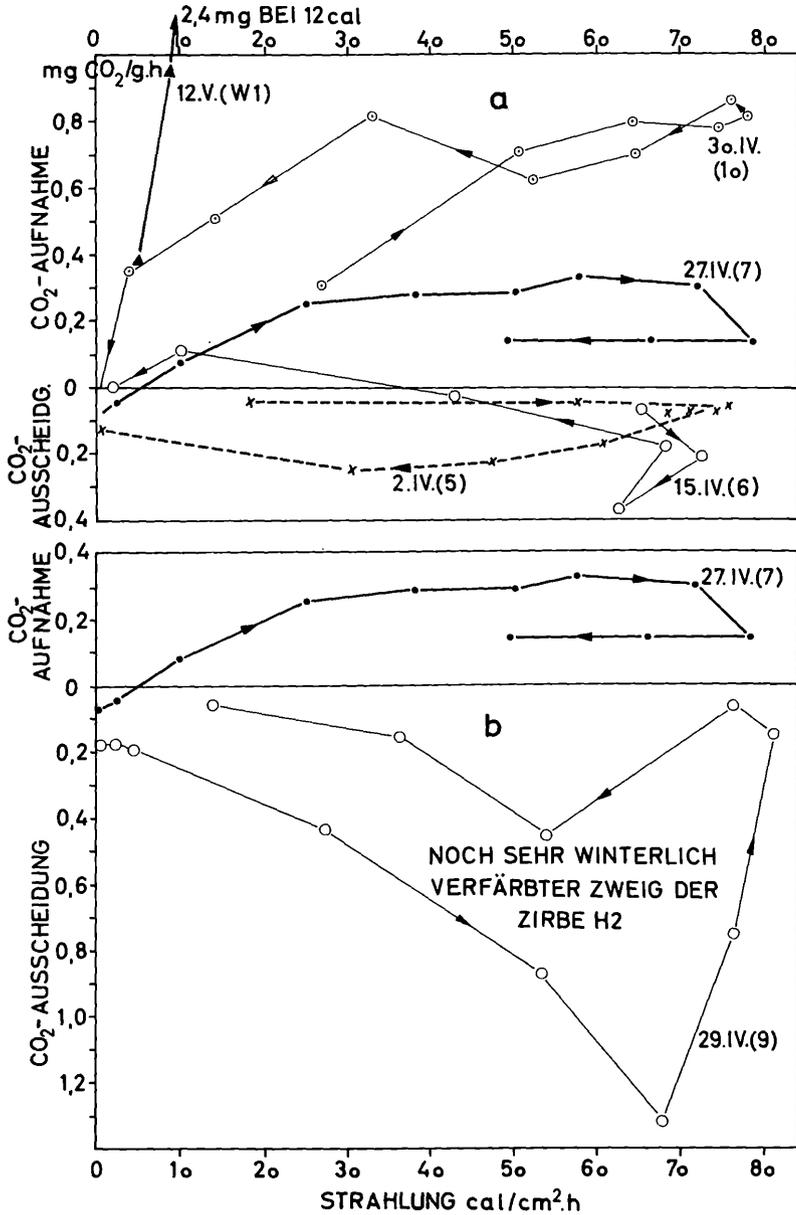


Abb. 138 a u. b: Charakteristische Tagesgänge der Netto-Assimilation in Abhängigkeit von der Strahlung im April und Mai. a) Im Laufe des April wird die Photosynthese (bei gleicher Strahlung) immer lebhafter. b) Vergleich zwischen der Netto-Assimilation eines grünen Zweiges von der Nordseite der Krone mit jener eines noch stark winterlich verfärbten Zweiges von der Südseite desselben Baumes bei gleicher Strahlung. Aus TRANQUILLINI 1957, Planta Bd. 49

E. Der Gaswechsel nach dem Ausapern (6. 5. — 23. 5.)

Seit Mitte Februar wurde der Gaswechsel an Zweigen gemessen, die stets über die Schneedecke ragten, höchstens vorübergehend für kurze Zeit eingeschneit waren. In der zweiten Aprilhälfte aperten Kronenpartien aus, die sich seit Dezember unter der Schneedecke befanden. Auf die Nadeln dieser Zweige hatten während der Schneebedeckung weder nennenswerter Frost noch Wärme eingewirkt; sie enthielten im Spätwinter mehr Wasser und Chlorophyll als Nadeln höher inserierter, schneefrei gebliebener Zweige.

An einem Zweig der Zirbe H (Nr. 10) prüften wir den Gaswechsel unmittelbar nach der Ausaperung am 30. 4. Während die gelblichen Gipfelzweige desselben Baumes (Nr. 9) am Vortag noch negative CO₂-Bilanz zeigten, assimilierte der sattgrün gefärbte, eben ausgeaperte Zweig Nr. 10 am Morgen sofort positiv, am Mittag schon deutlich stärker als der Zweig 7 der Zirbe W am 27. 4. (Abb. 138 b) und am späteren Nachmittag so lebhaft (0.35 mg CO₂ bei 3.7 cal) wie die Jungzirbe H₂ Ende Oktober bei ähnlichen Verhältnissen.

Diese Feststellung veranlaßte mich, die Gaswechsellmessungen an den 3 im Herbst geprüften Zirben (H₂, N₂ und W₁), die sich seit 8. 12., also fast 5 Monate, unter Schnee befanden, Anfang Mai wieder aufzunehmen, um ihr Verhalten während der Ausaperung genau verfolgen zu können.

In den ersten Maitagen lagen die Küvetten noch einige Dezimeter unter der Schneeoberfläche. Die Strahlungsmeßinstrumente neben den Küvetten lieferten keinen Ausschlag, obwohl sie auf höchste Empfindlichkeit gestellt waren (1 Skt = 0.4 cal/cm² · h ≈ 500 Lux). Die Temperatur der Jungzirben betrug rund 0° und zeigte keine Tagesamplitude (Abb. 135).

Die Höhe der Schneedecke verringerte sich auffallend rasch, täglich um rund 5 cm. In 22 Tagen war die 1 m hohe Schicht auf der horizontalen Versuchsfläche verschwunden.

Am 6. 5. aperte als erste die Versuchszirbe H₂ aus; eine Woche später, am 12. 5., folgte die Zirbe W₁ und noch am selben Tag als letzte die Zirbe N₂. Erst einige Tage bevor sie ganz vom Schnee befreit wurden, erhielten die Pflanzen genügend Licht, daß sie sich tagsüber um einige Grade über den Nullpunkt erwärmten (Abb. 135). Infolge rascher Schneeschmelze vollzog sich der Übergang von Finsternis zu vollem Tageslicht, von Temperaturkonstanz zu den großen täglichen Temperaturschwankungen, die um diese Jahreszeit über der Schneedecke auftraten, innerhalb von 3 Tagen!

Den Ablauf des Gaswechsels während und nach der Ausaperung im Mai wollen wir am Beispiel der Zirbe W₁ genau verfolgen. In den Morgenstunden des 12. 5. bedeckten die Küvette noch einige Zentimeter Schnee. Gegen 14 Uhr wurde der nach SW gerichtete Teil

der Küvette frei. Wenige Stunden später ragte der ganze Behälter aus dem Schnee. Bereits um 12 Uhr, also während des Ausaperns, war die Assimilation der Zirbe W_1 sehr lebhaft und erreichte nach 2 Stunden, als die Ausaperung vollzogen war, die Höhe von $2.4 \text{ mg CO}_2/\text{g} \cdot \text{h}$ bei 14 cal und 8° C (Abb. 138 a).

Im wesentlichen dieselben Ergebnisse brachten die Gaswechsellmessungen der anderen ausapernden Zirben: Wenn sie ans volle Tageslicht kommen, ist die Photosynthese bereits nach wenigen Stunden überaus lebhaft. So betrug die CO_2 -Aufnahme der Zirbe N_2 am 13. Mai 7 mg/g Tag , obwohl sie noch teilweise von Schnee bedeckt war und dadurch nur wenig Licht erhielt. Doch bereits am folgenden Tag erreichte die Assimilation im vollen Tageslicht bereits 20 mg (Abb. 135).

Die Tagessummen und Maxima der Assimilation der 3 Versuchszirben nach dem Ausapern waren also mindestens gleichhoch, meistens bedeutend höher als jene produktiver Tage im Oktober. Die Leistungen, die Anfang November nach wiederholten Frösten vor dem Einschneien und bevor sich die Spalten schlossen verzeichnet wurden, übertrafen sie um ein Vielfaches. Da die Pflanzen sofort positiv assimilierten, wenn sie aus dem Schnee kamen, andererseits vor dem Einschneien starkverringerte Aktivität zeigten, mußte sich also die Umstellung vom Winter- auf den Sommerzustand bereits unter der Schneedecke vollzogen haben (vgl. CARTELLIERI 1935). Ebenso wird unter Schnee der osmotische Wert rückreguliert, die Frosthärte verringert (TRANQUILLINI 1957) und Chlorophyll neu gebildet. Diese Umstellung dürfte in der Hauptsache durch die Jahresrhythmik hervorgerufen werden.

In den folgenden Tagen schneite die Zirbe vorübergehend wieder ein. Nach neuerlichem Ausapern erreichte die Assimilation an hellen und warmen Tagen (Strahlungssummen um 250 cal/Tag , Temperaturmittel 5 - 19 Uhr zwischen 6 und 11° C) nach frostfreier Nacht sogar 30 mg pro Tag . Nach schärferem Nachtfrost (z. B. am 20. 5.: -7° C) leistete die Zirbe erwartungsgemäß wesentlich weniger, weil Frost im Frühjahr wie im Herbst die Assimilation nachhaltig hemmt (Abb. 139).

F. Erwärmungsperiode (24. 5. — 8. 6.)

In der nachfolgenden Schönwetterperiode vom 23. - 25. Mai erwärmten sich die Pflanzen in der Küvette erstmalig auf Temperaturen über 30° C , Tagesmittel (5 - 19 Uhr) über 15° C . Bereits am 23. 5. war die Assimilation stärker, als es nach dem strengen Nachtfrost von -8° C zu erwarten gewesen wäre (Abb. 139). Die zunehmende Erwärmung in den beiden folgenden Tagen ließ die Tagessummen unvermittelt auf über 50 mg (rund doppelt so viel wie in der vorhergehenden Periode) ansteigen.

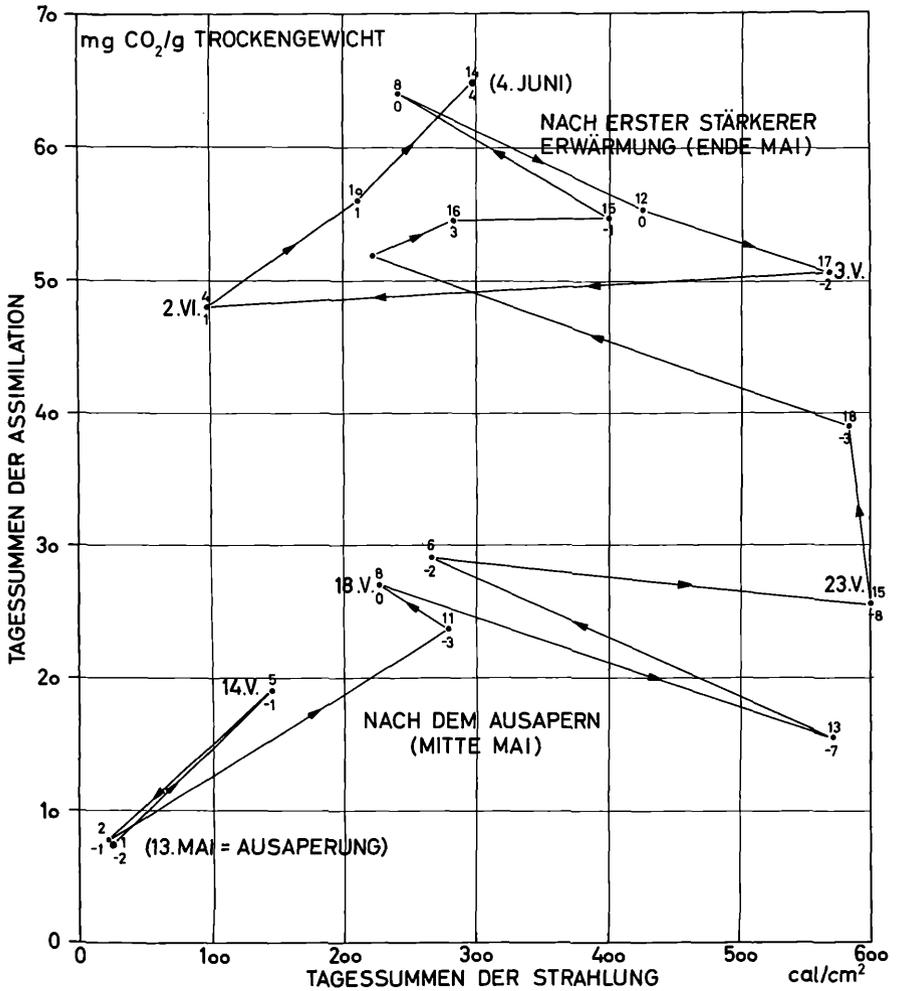


Abb. 139: Einfluß der ersten starken Erwärmung auf die Photosynthese. Assimilationsüberschuß während der hellen Tagesstunden vom 13. 5. (Ausaperung) bis 4. 6. als Funktion der Tagessumme der Strahlung. Die Meßwerte wurden entsprechend der zeitlichen Reihenfolge miteinander verbunden. Die über den Punkten stehende Zahl gibt das Nadeltemperatur-Mittel der hellen Tagesstunden (5 - 19 Uhr), die darunter stehende Zahl das Temperaturminimum in der vorhergehenden Nacht an. Aus TRANQUILLINI 1959, Planta Bd. 54

Die Wärme ist nicht unmittelbare Ursache dieser hohen Leistung; nach der Wärmeperiode kamen wieder kühle Tage (29. 5., 2. 6.), deren Klima fast vollständig mit dem einiger Tage aus der Ausaperungsperiode übereinstimmte (18. 5., 14. 5.). Trotzdem blieb die Assimilation äußerst lebhaft, sie stieg sogar noch weiter an (Tabelle 3).

Tabelle 3: Vergleich von Klima und Assimilation an je einem Tag vor und nach der ersten stärkeren Erwärmung der Pflanzen.

	18. 5.	29. 5.
Strahlung	227	242
Bewölkung	völlig bedeckt	völlig bedeckt
Niederschlag	8 mm	6 mm
Temperatur:		
Tagesmittel 24 Std.	4.3°	4.2°
Tagesmittel 5 - 19 Uhr	8.1°	7.7°
Maximum	17°	16°
Minimum	0°	0°
Assimilation, Tagessumme	27.10	64.05

Auch das Nachlassen der Nachtfröste in der Erwärmungsperiode kann nicht allein Ursache dieser Zunahme der Assimilation sein; es gibt in beiden Perioden Nächte mit und solche ohne Frost.

Die starke Erwärmung scheint vielmehr den Assimilationsapparat so zu verändern, daß er leistungsfähiger wird.

Ist dies einmal geschehen, so wird die Assimilation von den Temperatur- und Lichtunterschieden der einzelnen Tage dieser Periode überraschend wenig beeinflusst: Optimaler CO₂-Gewinn wird an wechselnd bis total bewölkten Tagen bei rund 1/3 des vollen Tageslichtes erzielt. Das Temperaturoptimum (T₅₋₁₉) reicht von 8 - 14° C. Schwächeres Licht (unter 240 cal) und niedrigere Temperatur (2. 6.) sowie Starklicht und hohe Temperatur (31. 5.) bringen geringere Leistungen (Abb. 139).

G. Hochleistungsperiode (9. 6. — 20. 7.)

In der Zeit von Mitte bis Ende Juni bleibt die Assimilation äußerst intensiv. Es kommt zu Spitzenleistungen von über 8 mg/g/Std, bzw. von nahezu 70 mg/g/Tag. Diese hohen Tagesgewinne, die selbst in der Niederung unter den Coniferen nur von der Lärche übertroffen werden dürften (POLSTER 1950), kommen nicht nur dank des hohen Assimilationsvermögens der Zirbe, sondern auch infolge der Länge der täglichen Lichtperiode zustande. Zu dieser Jahreszeit können die Pflanzen täglich über 14 Std lang ununterbrochen assimilieren.

Die Tageskurven der Assimilation sind meist eingipflig (keine Mittagsselle!). Das Maximum ist meist sehr breit und kann bis zu 8 Stunden lang ununterbrochen anhalten. Von "Ermüdung" um die Mittagszeit war unter unseren Versuchsbedingungen bei unserem Objekt nichts zu merken.

Das Licht- und Temperaturoptimum der Tagesleistung erstreckt sich von 230 - 480 cal und von 13 - 22° Tagesmittel (5 - 19 Uhr). Erst wenn es noch wärmer und sonniger ist, lassen die Leistungen etwas nach (14. und 29. 6.). Lichtmangel gab es in dieser Jahreszeit nicht.

Es könnte sein, daß innerhalb des breiten Licht- und Temperatur-Optimumbereiches feinere Abstufungen der Tagesleistung wegen des relativ großen Meßfehlers der Assimilationsbestimmungen (rund 20 %) nicht erfaßt werden konnten. Außerhalb der Fehlergrenze liegen aber Depressionen der CO₂-Aufnahme infolge extremer klimatischer Bedingungen. So sank die Assimilation nach einem Kälterückschlag um den 12. 6. (die Nadeltemperatur fiel in der Nacht bis auf - 7° C!) auf die Hälfte des vorher erzielten Betrages und blieb auch am nachfolgenden Tag mit milden Temperaturen noch stark gehemmt. Erst am 3. Tag war das Ausgangsniveau wieder erreicht. Die rasche Wiederherstellung der vollen Aktivität unterscheidet die Wirkung von Frösten am Beginn von der am Ende der Vegetationsperiode. Im Herbst erholt sich die Assimilation nach starkem Frost nicht mehr, weil in dieser Zeit entweder die zur Aktivierung des Photosyntheseapparates notwendige Wärme fehlt oder die innere Bereitschaft zur Regeneration nicht mehr besteht (Jahresrhythmik).

Auch in einer kurzen Trockenperiode vom 14. - 16. 6. wurde die Assimilation energische eingeschränkt, so daß am warmen sonnigen 16. 6. nicht einmal 40 mg CO₂ aufgenommen wurden. Kontrollen des osmotischen Wertes und des Wassergehaltes der Nadeln vergleichbarer Versuchsobjekt ergaben, daß die Jungzirben während des Juni beträchtliche Wassermengen verlieren und Anfang Juli das Jahresminimum des Wassergehaltes erreichen. Daher reagieren die Jungzirben auf jede weitere Erschwerung der Wasserversorgung infolge Austrocknung des Bodens mit zeitweiligem Spaltenverschluß.

Auch in der Zeit von Anfang bis Mitte Juli bleibt die Assimilation zunächst noch hochaktiv (Abb. 140). Der Strahlungs- und Temperatur-Optimumbereich wird immer breiter: Die größte Tagesausbeute des ganzen Jahres (69 mg/g/Tag) wurde am 5. 7. bei wechselnd wolkegem, eher trüben und mäßig warmem Wetter erzielt (312 cal, T₅₋₁₉ 12.6°, T_{max} 25°, T_{min} 2°). Die Tagesausbeute fällt aber weder am außerordentlich warmen und sonnigen 2. 7. (586 cal, T₅₋₁₉ 23.6°, T_{max} 37°, T_{min} 4°) noch am stark bewölkten und auffallend kühlen 6. 7. (246 cal, T₅₋₁₉ 9.3°, T_{max} 20°, T_{min} 2°) unter den Durchschnitt.

H. Periode verringerter Aktivität nach dem Austreiben (21. 7. — 31. 8.)

In der Zeit vom 1. 23. 7. trieb die Zirbe N₉ in der Kuvette aus. Da die neugebildeten Nadeln zunächst mehr atmen als assimilieren (CLARK 1956, PISEK und WINKLER 1958, NEUWIRTH 1959), fällt die Gesamtausbeute der Pflanze vorübergehend ab. Der starke Rückgang der Tagesleistungen vom 15. - 19. 7. bis auf 26 mg ist aber auch auf die in diesen Tagen zunehmende Trockenheit und auf die für Hochlagen ungewöhnlich starke Erwärmung zurückzuführen: Die Nadeltemperatur stieg bei freixponierten Pflanzen bis auf 35°, in der Kuvette bis auf 42° und erreichte selbst im Mittel der hellen Stunden 30° C!

Tagesmittel über 25° beeinträchtigen trotz des breiten Temperaturoptimums der Assimilationstagesumme (wegen der in diesem Temperaturbereich rasch steigenden Atmung) die CO₂-Ausbeute (Abb. 140). Doch blieb die Netto-Assimilation selbst in der heißesten Stunde dieser Periode (38.4° Stundenmittel) positiv. Die obere Grenze des Temperaturbereiches, innerhalb dessen Jungzirben positiv assimilieren, die bisher mit 35° C angegeben wurde (TRANQUILLINI 1955), lag im Hochsommer bei etwa 40° C, somit weit über der Höchsttemperatur, die freixponierte Zirbennadeln am Standort in der Regel erreichen (vgl. Abschnitt I E 3 Seite 127 ff).

Durch die übermäßig starke Erwärmung in der Kuvette könnte das Bäumchen, besonders aber die jungen Nadeln geschädigt worden sein. Die Hitzeresistenz liegt im allgemeinen über 45° C (HUBER 1935, LEVITT 1956, TRANQUILLINI 1955), doch sind Stoffwechselstörungen schon bei tieferen Temperaturen möglich. Daher verwendete ich ab 24. 7. eine andere Jungzirbe, die während der Hitzeperiode frei gestanden und lediglich im Juni kurze Zeit auf ihre Assimilation untersucht worden war.

Auch dieses Individuum assimiliert jetzt wesentlich schwächer als im Juni, obwohl die Tage ausreichend hell und für die Assimilation optimal temperiert sind (Abb. 140).

Die Assimilation bleibt auch in der ersten Augushälfte niedrig (Tagessummen um 40 mg/g), obwohl nun die jungen Nadeln ausgereift waren. Weder die Helligkeitsunterschiede der einzelnen Tage (150 - 550 cal) noch längeres Warmwetter und Ausbleiben von Niederschlägen (9. - 18. 8.) hatten meßbaren Einfluß auf die Tagessummen der Assimilation. Sie blieben, beinahe unabhängig von den Witterungsunterschieden, auf gleicher Höhe.

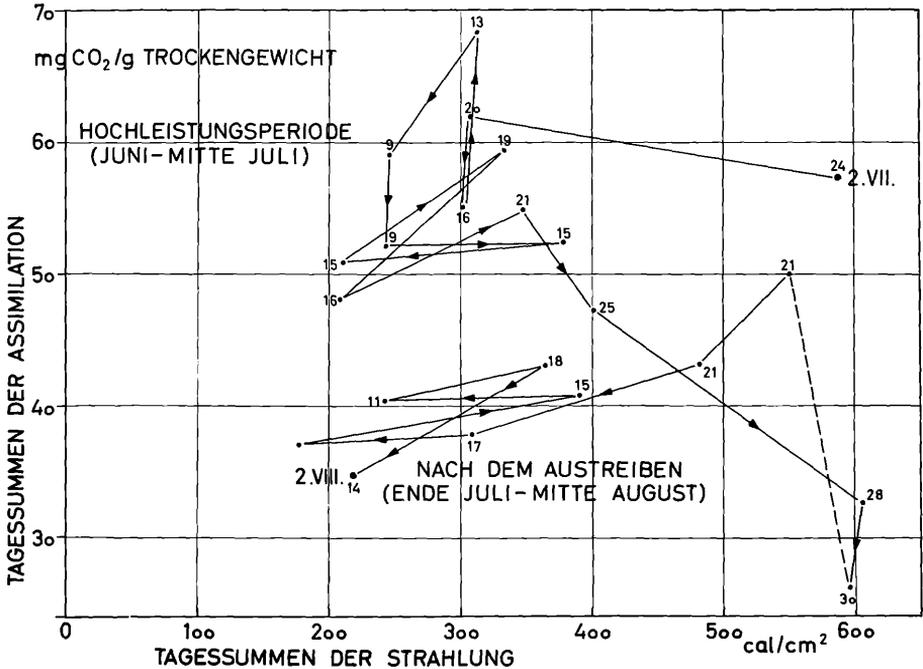


Abb. 140: Leistungsverminderung nach dem Austreiben der Pflanzen und nach der Hitzeperiode Mitte Juli. Assimilationsüberschuß während der hellen Tagesstunden vom 2. 7. bis 2. 8. als Funktion der Tagessumme der Strahlung. Weitere Erläuterung siehe Abb. 139. Aus TRANQUILLINI 1959, Planta Bd. 54

J. Die Assimilationsabnahme im Herbst (1. 9. — 4. 10.)

Von Anfang September an begrenzt das Licht die Assimilationstagesleistung häufig. Die höchste CO₂-Ausbeute wird am hellsten Tag dieser Periode (12. 9., 343 cal), die geringste am dunkelsten Tag (10. 9., 82 cal) erzielt (Abb. 137). An den meisten Meßtagen war das Licht zu schwach, vor allem aber die helle Tageszeit zu kurz für optimalen Stoffwerb. Die Tagesausbeute wird schon geringer, wenn die Tagessumme der Strahlung unter 250 cal bleibt; sie fällt, wie schon erwähnt, stark ab, wenn die Strahlung weniger als 150 cal beträgt (vgl. Abschnitt I E 1 Seite 90 ff).

Die Assimilationssumme des hellsten Tages (54 mg) kommt wieder nahe an die vor dem Austreiben erzielte heran. Die breite Leistungsdelle vom August scheint erst jetzt überwunden zu sein. Das wiedergewonnene hohe Assimilationsvermögen kann sich aber am Standort nicht mehr auswirken, weil das Licht in zunehmendem Maße die Assimilation begrenzt.

Mitte September setzen die ersten Nachtfröste (bis - 5° C) ein, die, wie nach den Ergebnissen der Messungen im vorausgehenden

Herbst zu erwarten war, die Assimilation der nachfolgenden Tage stark hemmen, besonders, wenn es wieder warm wird, weil die Atmung unter der Frosteinwirkung weniger leidet und sich rascher erholt als die Photosynthese.

Eine zweite Frostwelle gegen Ende September (Nachttemperaturen bis -6°C) legt die nachfolgende Assimilation vorübergehend nahezu still. Damit ist der Anschluß an die Messungen des Vorjahres erreicht, der Jahresgang geschlossen.

V. Besprechung der Ergebnisse

Sobald die Zirben im Mai aus dem Schnee herauskommen, beginnen sie sofort zu assimilieren, weil sich die Umstellung vom Winter- auf den Sommerzustand bereits unter der Schneedecke vollzieht (CARTELLIERI 1935, TRANQUILLINI 1957). Diese Umstellung dürfte bereits im März oder April erfolgen. Je länger also die Pflanzen mit Schnee bedeckt bleiben, desto kürzer ist für sie die Zeit für ausgiebigen Stofferwerb, weil bereits unter einer niedrigen Schneedecke die Assimilation unter Lichtmangel leidet.

Maximaler Stoffgewinn ist erst nach stärkerer Erwärmung der Pflanzen und Ausbleiben von Nachtfrost (Minimum nicht unter -3°C) möglich. Dies entspricht den bisherigen wenigen Erfahrungen und Messungen, die WALTER (1951, S. 53 ff) zusammengestellt hat. Danach müssen zum Erwachen der Pflanzen im Frühjahr, zum Ergrünen und Blühen bestimmte Temperaturschwellenwerte überschritten bzw. bestimmte Wärmesummen erreicht werden. Die Überwärmung in der Küvette, die im Mai besonders hoch war (starke Einstrahlung, niedrige Lufttemperatur), dürfte die Assimilation der eingeschlossenen Pflanzen schneller aktiviert haben als die freistehender Stücke, deren Temperatur erst am 5. Juni, also um 12 Tage später, das erste Mal 10° im Tagesmittel überschritt. Dies läßt vermuten, daß auch im Windschatten und an anderen thermisch begünstigten Standorten der Beginn der Hochleistungsperiode früher, an windausgesetzten Stellen, vor allem in der höher gelegenen Kampfzone, wo die kalte, bewegte Luft die durch Strahlung absorbierte Wärme besonders wirksam abführt, wesentlich später eintritt. Im Extrem könnte die Entfaltung des vollen Assimilationsvermögens überhaupt verhindert werden, wenn die Temperatur stets unter dem Schwellenwert verbleibt.

Nach dem Austreiben Anfang Juli nimmt die Assimilation beträchtlich ab und verharrt den ganzen August auf tiefem Niveau. Der Beginn der Produktionsminderung läßt sich daraus verstehen, daß die Atmung der jungen Nadeln ihre Photosynthese zunächst weit übertrifft (PISEK und WINKLER 1958). Das Anhalten der Depression kann man aber weder darauf noch auf Änderungen des Klimas oder des Wasser- oder Chlorophyllgehaltes der Nadeln zurückführen. Sie

zeigt sich bei den 3 in diesem Zeitraum geprüften Pflanzen im selben Ausmaß und liegt außerhalb der Streuung der Meßwerte.

Die genaue Ursache der spätsommerlichen Leistungsdele kennen wir nicht. Sie wird von NEUWIRTH (1959) als Erschöpfungsphase bezeichnet. Sie bewirkt auf jeden Fall eine empfindliche Verminderung der Jahresproduktion. Pflanzen, die spät ausapern oder aus anderen klimatischen Gründen längere Zeit im Winterzustand verharren, können, nachdem sich erfahrungsgemäß das Austreiben auch bei spätem Ausapern nicht wesentlich verzögert, nur sehr kurz mit voller Stärke assimilieren. Sie verlieren die produktivste Zeit der Vegetationsperiode. Ihre Jahresproduktion bleibt weiter hinter der zurück, die man allein schon auf Grund der verkürzten Vegetationszeit erwarten hätte können.

Während die Frühjahrswärme rasch zu assimilatorischen Höchstleistungen führt, zwingt im Herbst der Frost die Pflanzen wieder in die Winterruhe. Der Rhythmus zwischen sommerlicher Aktivität und winterlichem Ruhezustand, der unseren Pflanzen innewohnt, wird durch den Jahresgang der Temperatur ausgelöst. Die Länge der assimilationsproduktiven Periode kann hiemit als Zeitraum zwischen der ersten stärkeren Erwärmung (Blattemperaturtagesmittel $> 10^{\circ}\text{C}$) und dem Gefrieren des Bodens im Wurzelhorizont definiert werden. Andererseits können Jungpflanzen nur die schneefreie Jahreszeit zum Stoffgewinn nützen. Es ergibt sich die Frage, wie diese beiden Zeiträume im Bereich der Waldgrenze im Durchschnitt zeitlich zueinander liegen. Wir haben daher die 4 - 6jährigen Messungen und Beobachtungen der Station Waldgrenze diesbezüglich ausgewertet (Abb. 141).

Im Durchschnitt löst sich die Schneedecke auf der Basisstation am 18. 5., frühestens am 12. 5., spätestens am 23. 5. auf (vgl. Abschnitt I E 8 Seite 286 ff). Die Temperaturschwelle für die Aktivierung der Assimilation wird im Mittel erstmalig am 30. 5. überschritten (9. 5. - 13. 6.). Wenn es für volle Assimilation genügend warm wird, ist also das Gelände in der Regel längst schneefrei. Im Durchschnitt apert es bereits 1/2 Monat früher aus! Die Jungzirben können in dieser Periode wohl assimilieren, doch bleibt der Stoffgewinn wahrscheinlich gering. Bleibt der Schnee hingegen über den 30. 5. hinaus liegen (Geländeeffekt), so erleidet die Jahresproduktion der darunter befindlichen Pflanzen sicher sehr starke Einbußen. So apern jene Geländestellen der Kampfzone, an denen der Schnee am längsten liegen blieb, im Mittel erst am 13. 6. (6. 6. - 20. 6.) aus, also zu einer Zeit, in der längst Höchstleistungen möglich wären.

Anders ist es beim Einschneien, das im Durchschnitt am 14. 11., im Extrem am 16. 10. bzw. am 20. 12. erfolgt, wogegen der Boden im Wurzelhorizont nach 4jährigen Messungen der Bodentemperatur in Obergurgl im Mittel erst am 5. 12. (16. 11. - 17. 12.) gefriert.

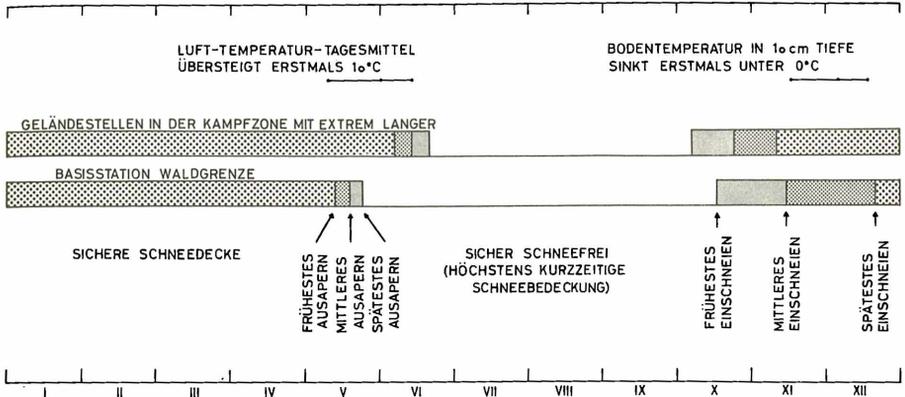


Abb. 141: Schneebedeckung und Vegetationsperiode an der Klima-Basisstation Obergurgl-Waldgrenze (2070 m) und in der Kampfzone (2100 m) während der Beobachtungsperiode 1953 - 59 bzw. 1954 - 58. Die zur vollen Entfaltung der Assimilation notwendige Erwärmung der Luft (Tagesmittel über 10° C ansteigend) tritt im Durchschnitt erst nach der Ausaperung des Geländes ein; das Ende der Vegetationsperiode ist in der Regel nicht durch den Bodenfrost, sondern durch die Schneebedeckung gegeben

Zu diesem Zeitpunkt sind die Jungpflanzen am selben Standort im Durchschnitt bereits längst von Schnee bedeckt (vgl. Abschnitt I E 8 Seite 286 ff). Das Ende der Jahresproduktion wird also in der Regel durch das Einschneien, vor allem wenn der Schnee frühzeitig fällt, und nicht durch den Bodenfrost bestimmt. Für die Jahresproduktion bedeutet jedoch diese Vorverlegung des Vegetationsabschlusses wenig, weil die Assimilation bereits während des September stark abfällt und durch Kälte schon vor dem Einschneien immer wieder nahezu stillgelegt wird, so daß die Pflanzen auf schneearmen Standorten bzw. in Jahren, in denen es sehr spät einschneit, daraus wenig Nutzen ziehen können.

Über die Höhe der Jahressumme der Assimilation entscheiden aber nicht nur die Länge der Assimilationsperiode, sondern auch die klimatischen Extreme im Sommer. Bereits auf unserem Standort, der für die Verjüngung der Zirbe optimale Bedingungen aufweist, und in einem klimatisch nahezu normalen Jahr mußte die Assimilation verhältnismäßig oft und stark eingeschränkt werden. Tabelle 4 gibt eine Übersicht, an wieviel Meßtagen der Versuchsperiode die Assimilation mindestens um 1/4 des in der jeweiligen Periode optimal möglichen Betrages herabgesetzt war und welcher Klimafaktor dafür verantwortlich war.

Im Frühjahr sind Frosthemmungen sowie späte Schneefälle charakteristisch. Letztere können den Zirben vorübergehend so viel Licht nehmen, daß die Assimilation zurückgeht. Auch im Sommer kann noch Frost auftreten und die Assimilation hemmen; häufiger reduzieren aber jetzt Hitze und Trockenheit selbst am Nordhang und im relativ kühlen und trüben Sommer die Assimilation (20 %). Im Herbst begrenzen das Licht und die Kälte die CO₂-Aufnahme beinahe täglich. So blieb die CO₂-Assimilation an 42 % der Meß-

Tabelle 4:

Periode	Datum	Licht	Frost- nach- wir- kung	Hitze, Trok- ken- heit	Sum- me	Anzahl der Meß- tage	%
Ausaperungsperiode	13. 5.-23. 5.	2	1		3	8	38
Erwärmungsperiode	24. 5.- 8. 6.	1	1		2	10	20
Hochleistungsperi- ode	9. 6.-20. 7.		2	3	5	27	18
Periode verringer- ter Aktivität nach dem Austreiben	21. 7.-31. 8.			3	3	18	17
Herbstperiode	1. 9.-19. 9.	7	3		10	12	83
	20. 9.-14.10.	4	3		7	11	64
	15.10.- 9.11.		12		12	15	80
					Summe	42	42
						101	42

tage durch Klimaeinwirkungen stark unter dem Optimum.

Vergleichen wir die Assimilationsintensität unserer Jungzirben mit der anderer junger Nadelbäume, wobei wir die heute immer noch allein dastehenden assimilationsökologischen Untersuchungen von POLSTER (1950) heranziehen, so ergibt sich, daß die Zirbe nahezu gleich stark assimilieren kann wie die Lärche; im Mittel der Meßperiode POLSTERS (Juli bis September) erreicht sie aber nur mehr die Leistung der Douglasie. Zu einem ähnlichen Verhältnis kommen wir, wenn wir die maximalen und mittleren Tagessummen dieser Periode miteinander vergleichen (Tabelle 5).

Tabelle 5: Assimilation (mg CO₂/g Frischgewicht) von Juli - September

Autor	Holzart	Absolutes Maximum	Mittleres Maximum	Maximale Tages- summe	Mittlere Tages- summe
POLSTER	Kiefer	2.05	1.57	12.96	9.21
	Fichte	2.15	1.60	13.40	8.76
	Douglasie	2.37	1.86	19.00	11.31
	Lärche	3.85	3.18	27.70	19.02
TRANQUILLINI	Zirbe	3.36	1.86	27.4	15.2

Dies dürfte hinlänglich beweisen, daß die im Vergleich zu anderen Hölzern in Tallage geringe Zuwachsleistung der Zirben an der Waldgrenze nicht durch spezifisch schwache Assimilation verursacht wird. Um hier nähere Einblicke zu gewinnen, habe ich den CO₂-Jahresumsatz ganzer Pflanzen untersucht und mit der Netto-

produktion verglichen. Die Ergebnisse dieser Versuche werden im nächsten Abschnitt dargestellt.

Zusammenfassung

An der Basisstation Waldgrenze in 2070 m Seehöhe wurde der Gaswechsel spontan aufgegangener Jungzirben über und z. T. auch unter Schnee im Winter 1954/55 und in der Vegetationsperiode 1955 laufend automatisch registriert.

Erste schwache Herbstnachtfröste können bereits im September die Umstellung der Jungzirben zum Winterzustand einleiten. Die Assimilation nimmt rasch ab. Ende Oktober ist das Assimilationsvermögen unter den gegebenen Umständen nur mehr halb so groß als im Mai bei gleichem Licht. Nur auf wärmeren Westhängen können sie noch fast so stark wie im Mai arbeiten. Die Summen sind infolge der Kürze des Tages natürlich auch hier geringer.

Mit dem Einsetzen starker Fröste (Anfang November) wird dann die Assimilation derart gehemmt, daß sie auf 1/10 ihres ursprünglichen Betrages sinkt. Wird es dann richtig kalt (Mitte November, 8 Eistage mit Minima von -10 bis -15° , Nadeltemperaturminima bis -20°), so daß auch der Boden in der Wurzelsphäre (beiden benutzten Jungzirben geht diese 15 cm tief) durchfriert, kommt zu der kältebedingten teilweisen Lähmung des Photosyntheseapparates noch hygroaktiver Verschluß der Spalten hinzu infolge der Blockade der Wassernachleitung. Nun kann überhaupt kein Überschuß mehr erzeugt werden, die Photosynthese beschränkt sich bestenfalls auf die Verarbeitung des im Respirationsvorgang freigesetzten CO_2 im Innern der Nadeln. Nach außen tritt kein Gaswechsel mehr in Erscheinung (Abb. 137).

Zweige, die weiterhin über Schnee bleiben (größere Jungzirben), kompensieren infolge wiederholter Kältewellen am Licht nicht einmal mehr die Atmung, bei scharfem Frost erlahmt ihre Photosynthese völlig (PISEK und WINKLER 1958). Die Bilanz bleibt ständig negativ (schwache CO_2 -Ausscheidung) selbst dann, wenn sich die Nadeln vorübergehend über 0° erwärmen (Abb. 138). Starke Erwärmung reaktiviert zunächst bloß die Respiration, so daß die CO_2 -Ausscheidung noch zunimmt. Erwärmung bedeutet also in dieser Zeit bloß größeren Stoffverlust. Zum Teil ist der Tiefstand der Photosynthese zweifellos eine Folge des Chlorophyllabbaues, der in den Nadeln unter dem kombinierten Einfluß von Kälte und Strahlung, vielleicht auch Austrocknung, vor sich geht und sich schon äußerlich an der besonders in Hochlagen auffälligen Umfärbung ins Gelbliche verrät.

Erst wenn die Temperatur anhaltend stärker steigt und das Schmelzwasser durch den Schnee in den Boden dringt und ihn auftaut – die Voraussetzung für das Wiederöffnen der Spalten wird

ihre Winterstarre gelockert, die Photosynthese läuft von Tag zu Tag lebhafter an, wenn nicht Wetterrückschläge entgegen wirken (Abb. 138 a). Der Fortschritt ist bei den grünen Zweigen an der beschatteten Nordseite der Kronen größerer Stücke rascher als bei den noch stark gelblich verfärbten Nadeln der besonnten Südseite (Abb. 138 b). Assimilationsvermögen und Chlorophyllgehalt hängen unverkennbar zusammen.

Der Gaswechsel der kleinen Jungzirben, die anfangs Dezember einschneiten und 5 Monate unter Schnee blieben, war nicht verlässlich meßbar. Doch läßt sich sagen, daß 1. im Hinblick auf die Schneehöhe, die bis Ende April durchgehend mindestens 1/2 m betrug, am Boden großer Lichtmangel herrschte, daß 2. die Temperatur unter der Schneedecke mit ganz geringen Schwankungen sich bei 0 bis -1° hielt und 3. der Boden bis Ende März gefroren blieb

lauter Umstände, die nennenswerten Stoffgewinn unter Schnee unwahrscheinlich erscheinen lassen, obschon die Nadeln sich in seinem Schutz frisch grün erhalten und keine Wassersättigungsdefizite erleiden, im Gegenteil der Wassergehalt zunimmt. Solche eingeschneite Stücke sind, sobald sie schneefrei werden, sofort aktiv (Abb. 138 a, 10. 5.). Die Umstellung zum Sommer erfolgt also noch unter Schnee, wahrscheinlich, weil sich infolge der außerordentlichen Konstanz der Temperatur unter seiner Decke der endonome Rhythmus unbehellig durchsetzt.

Doch bleibt der Gewinn zunächst bescheiden. Erst nachdem sich die Nadeln im Tagesmittel über 10° C, im Extrem kurzzeitig über 30° C, erwärmt haben (Ende Mai), assimilieren sie unerwartet lebhaft. Die erzielten Tagesausbeuten (bis 70 mg/g/Tag) können dann beinahe an die 7jähriger Lärchen in Tieflagen herankommen (POLSTER 1950).

Während dieser Hochleistungsperiode, die bis zum Austreiben der Sprosse andauert (Juli), hat die Witterung der einzelnen Tage nur dann einen deutlich nachweisbaren Einfluß auf die Tagessumme der Assimilation, wenn

1. Spätfröste auftreten oder Schnee fällt (vorübergehende starke Hemmung der Photosynthese),
2. die Temperatur über das Optimum ansteigt (Temperaturmittel 5 - 19 Uhr $> 25^{\circ}$ C) oder der Boden austrocknet.

Wenn solche extreme Klimaverhältnisse selten auftreten, wie in dem vom langjährigen Durchschnitt kaum abweichenden Meßjahr (18 % der Tage), bringt diese Periode den Pflanzen großen Stoffgewinn, Bäumchen, die sehr spät ausapern, verlieren diese produktivste Zeit des Jahres.

Durch das Austreiben erleiden die Pflanzen eine langanhaltende Verminderung ihrer Stoffproduktion, deren Ursache nicht restlos geklärt werden konnte, die aber sicher nicht mit dem Klima zusammenhängt.

Im Herbst begrenzt das Licht, später auch der Frost, die Assi-

milation in rasch zunehmendem Maße, so daß sie lange vor dem Einschneien - beinahe zum Stillstand kommt. Das absolute Ende der CO₂-Aufnahme wird entweder durch Schneebedeckung oder durch Bodenfrost im Wurzelhorizont der Pflanzen bestimmt.

Die hohen Assimilationsintensitäten im Frühjahr zeigen, daß die geringe Zuwachsleistung der Jungzirben an der Waldgrenze nicht auf einer spezifisch schwachen Assimilation beruht. Der Jahreserwerb an CO₂ wird allerdings durch die erwähnte hochsommerliche Leistungssenkung, vor allem aber durch die Verkürzung der Vegetationsperiode (vgl. PISEK und WINKLER 1958) verringert, die wieder ausschließlich eine Folge des Jahresgangs der Temperatur ist.

Literatur

- BOSIAN G. 1933: Assimilations- und Transpirationsbestimmungen an Pflanzen des Zentralkaiserstuhls. Zeitschr. f. Bot. 26, 209 284
- CARTELLIERI E. 1935: Jahrgang von osmotischem Wert, Transpiration und Assimilation einiger Ericaceen der alpinen Zwergstrauchheide und von Pinus cembra. Jb. wiss. Bot. 82, 460 506
- CLARK J. 1956: Photosynthesis of White Spruce and Balsam Fir. Bi-m. Progr. Rep. Div. For. Biol. Dep. Agric. Can. 12, 1 2
- EGLE K. und ERNST A. 1949: Die Verwendung des Ultrarotabsorptionsschreibers für die vollautomatische und fortlaufende CO₂-Analyse bei Assimilations- und Atmungsmessungen an Pflanzen. Z. Naturforsch. 4 b, 351 360
- FRIEDRICH J. 1905: Zuwachsautograph. Zentralbl. ges. Forstwesen 31, 456 461
- FRITTS H.C. und FRITTS E.C. 1955: A new dendrograph for recording radial changes of a tree. Forest Sci. 1, 271 276
- GREGORY F.G. 1917: Physiological Conditions in Cucumber Houses. Expt. and Res. Station, Cheshunt. 3rd Ann. Rep. 19
- HOLDHEIDE W., HUBER B. und STOCKER O. 1936: Eine Feldmethode zur Bestimmung der momentanen Assimilationsgröße von Landpflanzen. Ber. dtsh. Bot. Ges. 54, 168
- HUBER B. 1935: Der Wärmehaushalt der Pflanzen. Naturw. und Landwirtschaft. 17, 1 148
- HUBER B. 1950: Registrierung des CO₂-Gefälles und Berechnung des CO₂-Stromes über Pflanzengesellschaften mittels Ultrarot-Absorptionsschreiber. Ber. dtsh. Bot. Ges. 63, 53 64
- LEVITT J. 1956: The hardiness of plants. Agronomy 6. New York: Acad. Press Inc. Publ.
- NEUWIRTH G. 1959: Der CO₂-Stoffwechsel einiger Koniferen während des Knospenaustriebs. Biol. Zbl. 78, 559 584
- PISEK A. und REHNER G. 1958: Temperaturminima der Netto-Assimilation von mediterranen und nordisch-alpinen Immergrünen. Ber. dtsh. bot. Ges. 71, 188 193
- PISEK A. und WINKLER E. 1956: Wassersättigungsdefizit, Spaltenbewegung und Photosynthese. Protopl. 46, 597 611
- 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, 518 543

- POLSTER H. 1950: Die physiologischen Grundlagen der Stofferzeugung im Walde. München: Bayr. Landwirtsch. - Verlag
- RUTTER A.J. 1957: Studies in the growth of young plants of *Pinus sylvestris* L. I. The annual cycle of assimilation and growth. *Ann. of Bot.*, N.S. 21, 399 - 426
- STALFELT M.G. 1935: Die Spaltöffnungsweite als Assimilationsfaktor. *Planta* 23, 715
- TRANQUILLINI W. 1952: Der Ultrarot-Absorptionsschreiber im Dienste ökologischer Messungen des pflanzlichen CO₂-Umsatzes. *Ber. dtsh. bot. Ges.* 65, 102 - 112
- TRANQUILLINI W. 1954: Über den Einfluß von Übertemperaturen der Blätter bei Dauereinschluß in Küvetten auf die ökologische CO₂-Assimilationsmessung. *Ber. dtsh. bot. Ges.* 67, 191 - 204
- TRANQUILLINI W. 1955: Die Bedeutung des Lichtes und der Temperatur für die Kohlen säureassimilation von *Pinus Cembra*-Jungwuchs an einem hochalpinen Standort. *Planta* 46, 154 178
- TRANQUILLINI W. 1957: Standortsklima, Wasserbilanz und CO₂-Gaswechsel junger Zirben (*Pinus Cembra* L.) an der alpinen Waldgrenze. *Planta* 49, 612 661
- TRANQUILLINI W. 1959: Die Stoffproduktion der Zirbe (*Pinus cembra* L.) an der Waldgrenze während eines Jahres. I. Standortsklima und CO₂-Assimilation. II. Zuwachs und CO₂-Bilanz. *Planta* 54, 107 151
- WALTER H. 1951: Standortsklima. Stuttgart: Ulmer
- WILHELMI T. 1956: Untersuchungen mit einem schwedischen Mikrodendrometer über das Dickenwachstum an Bäumen. *Forstarchiv* 27, 241 246

3. Die CO₂-Jahresbilanz und die Stoffproduktion der Zirbe

von W. Tranquillini

Inhalt

	Seite
Einleitung	537
Ergebnisse	
A. Die Bruttoassimilation und der Verlust durch Atmung der oberirdischen Organe am Tage	538
B. Der Stoffverlust durch Atmung der oberirdi- schen Organe in der Nacht	538
C. Der Stoffverlust durch Atmung der Wurzeln ..	538
D. Der Stoffverlust durch Atmung der oberirdi- schen Teile unter der Schneedecke	541
E. Die CO ₂ -Jahresbilanz der Zirbe	541
Zusammenfassung	545
Literatur	546

Gekürzt und verändert aus "Planta" 54 (1959, Seite 130 - 151) mit
Genehmigung des Verlages Springer/Berlin.

Manuskript der Neubearbeitung abgeschlossen Ende 1960

Einleitung

Im vorhergehenden Abschnitt konnte gezeigt werden, welche CO₂-Mengen junge Zirben an der Waldgrenze täglich aufnehmen. Diese Tagesausbeute ändert sich in charakteristischer Weise im Laufe eines Jahres, so daß man Perioden unterschiedlicher Leistungen feststellen kann. Aber auch innerhalb jeder Periode schwankt die CO₂-Aufnahme je nach den klimatischen Bedingungen der einzelnen Tage.

Summiert man die aufgenommenen CO₂-Mengen, so erhält man die Jahressumme der Nettoassimilation. Diese kann nicht zur Gänze in Körpersubstanz umgewandelt werden, weil jede Pflanze auch Stoffverluste erleidet, einerseits durch Atmung des Stammes und der Wurzeln, andererseits durch Abfall von Blättern, Rinde, Ästen, Wurzeln und Samen.

BOYSEN JENSEN (1932), der Begründer der pflanzlichen Produktionslehre, hat als erster diese Zusammenhänge erkannt und klar formuliert.

Schon die ersten Bilanzuntersuchungen brachten das Ergebnis, daß ein unerwartet großer Anteil des C-Erwerbs im Betriebsstoffwechsel wieder verloren geht. Nach POLSTER (1950) veratmen unsere Waldbäume 40 - 60 % des produzierten Kohlenstoffs. Durch Verlust an Wurzeln, Zweigen und Blättern geht ein weiterer Teil der Bruttoproduktion verloren; bei der Buche beträgt dieser Anteil rund 20 %, so daß auch bei dieser ökonomisch atmenden Holzart nur 34 - 43 % der Bruttoproduktion in bleibenden Zuwachs unter und über der Erde angelegt werden (MÖLLER, MÜLLER, NIELSEN, 1954).

Noch ungünstiger sieht die Bilanz aus, wenn man berücksichtigt, daß nur ein Teil des bleibenden Zuwachses forstwirtschaftlich verwertbar ist und durch Schädlingskalamitäten, bei der Fällung, Zurechtung und beim Transport des Holzes weitere Verluste entstehen. Der verbleibende Nachhaltsertrag beträgt dann selbst in einem guten deutschen Revier nur 23 %, in Nordfinnland 10 %, im tropischen Regenwald gar nur 5 % der Gesamtassimilation (WECK 1960).

Etwas günstiger sieht die Stoffproduktionsbilanz bei landwirtschaftlichen Kulturen aus. Die Gerste veratmet nach MÜLLER (1951) rund 40 % der Bruttoproduktion, ein Solanum nodiflorum-Bestand nach LARSEN (1942) 20 - 40 %. Verschiedene Kartoffelsorten erleiden nach neuesten Untersuchungen von WINKLER (1960) Atmungsverluste von 30 - 40 % der Bruttoassimilation, so daß sie nur 40 - 45 % in Kartoffelknollen anlegen können.

Es war daher interessant, die einzelnen Glieder der Produktionsbilanz junger Zirben näher zu untersuchen.

Ergebnisse

A. Die Bruttoassimilation und der Verlust durch Atmung der oberirdischen Organe am Tage

Um die Bruttoassimilation zu bestimmen, wurde neben der CO₂-Aufnahme, der Nettoassimilation (vergl. Abschnitt 1. F. 2), die CO₂-Abgabe künstlich verdunkelter Versuchsobjekte an mehreren Tagen in jedem Monat bestimmt und auf Grund der fortlaufenden Nadeltemperaturregistrierung (Abb. 135) die Atmung für jeden Meßtag der Vegetationsperiode 1955 berechnet. Die Bruttoassimilation ergab sich dann aus der Summe der Netto-Assimilation und der Atmung. Sie beträgt pro Gramm Nadeln 7830 mg CO₂ im Jahr (Tabelle 1). Der Jahresgang ist in vereinfachter Darstellung in Abb. 142 wiedergegeben.

Ein erheblicher Teil davon, nämlich 1551 mg (20 % der Bruttoassimilation), wird von den Nadeln und Sprossen am Tage sofort wieder veratmet. Der ökonomische Atmungskoeffizient Bruttoassimilation:Atmung beträgt 5.06, liegt also noch über dem der ökonomischsten Holzart POLSTERS, der Buche (4.74). Zum Vergleich sei die relativ stark atmende und schwach assimilierende Kiefer angeführt, die einen Koeffizienten von nur 2.17 hat!

Der Anteil der Atmung an der Bruttoassimilation ist bei der Zirbe im Laufe der Vegetationsperiode beinahe konstant, da Atmung und Assimilation annähernd gleichsinnige jahreszeitliche Veränderungen erfahren (Abb. 142).

B. Der Stoffverlust durch Atmung der oberirdischen Organe in der Nacht

Auch dieser Minusposten wurde laufend bestimmt. Die Meßwerte sind in Abb. 135 wiedergegeben. Die Jahressumme der Nachtatmung beträgt 556 mg CO₂/g, das sind rund 7 % der Bruttoassimilation, also wesentlich weniger als durch Atmung am Tage verbraucht wird. Die in Hochlagen relativ kühlen Nächte halten diesen Verlustposten bedeutend niedriger als in Tieflagen, wo Blätter in warmer Nacht ein Viertel bis fast die Hälfte des im Laufe der hellen Stunden erarbeiteten Stoffgewinns veratmen (TRANQUILLINI 1952, PISEK und TRANQUILLINI 1954).

C. Der Stoffverlust durch Atmung der Wurzeln

Die Wurzelatmung läßt sich am Standort nicht bestimmen, ohne

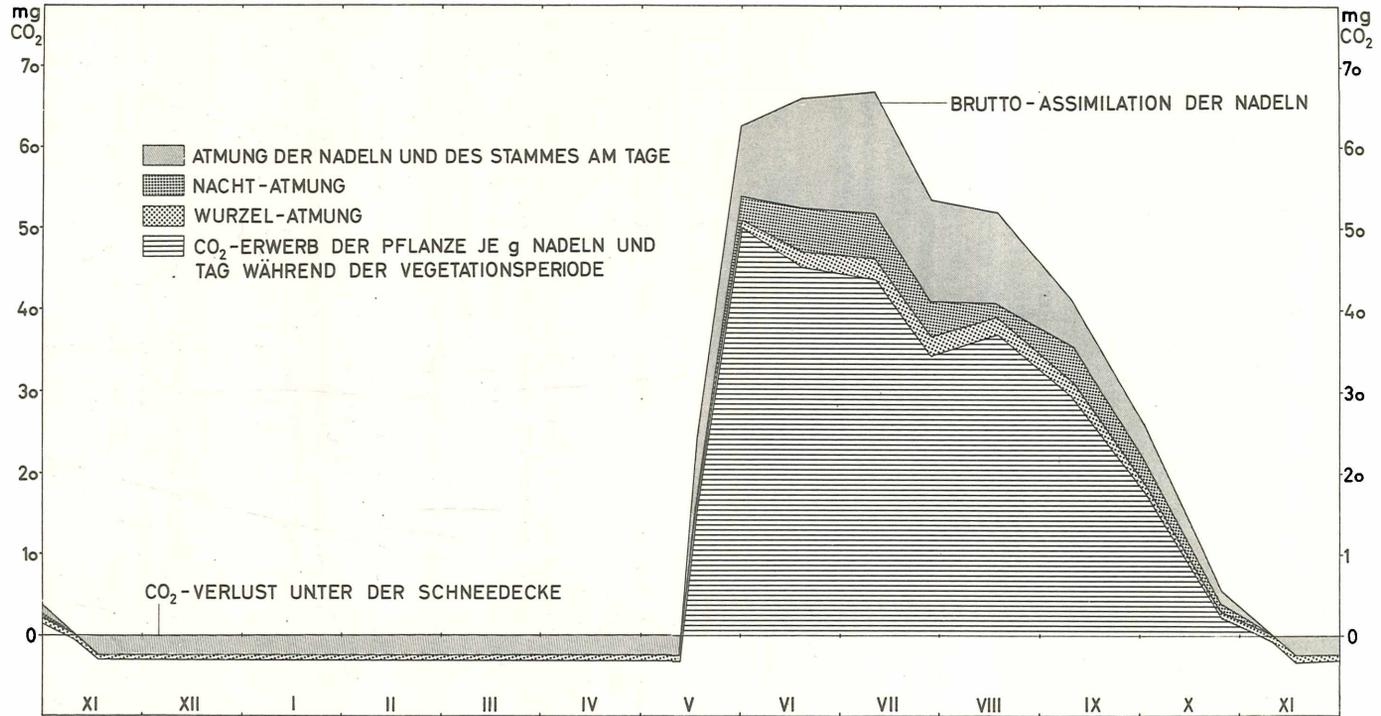


Abb. 142: Jahresgang der CO₂-Bilanz von Jungzirben. Ein Teil des durch Brutto-Assimilation aufgenommenen Kohlendioxyds geht durch Atmung der oberirdischen Teile und der Wurzeln sofort, sowie durch Atmung in den Nächten verloren. Der CO₂-Erwerb der Pflanzen während der Vegetationsperiode wird im Winter durch Atmung der ganzen Pflanze unter der Schneedecke geschmälert. Aus TRANQUILLINI 1959, Planta Bd. 54

Tabelle 1: CO₂- und Produktionsbilanz junger Zirben an der Waldgrenze im Jahre 1954/55.

	mg CO ₂ /g Nadeln x Jahr	% der Brutto Assim.
Bruttoassimilation (Gesamtphotosynthese)	7830	100
minus gleichzeitige Atmung der Blätter und des Stämmchens	1551	20
Nettoassimilation (augenblicklicher Reingewinn)	6279	
minus Nachtatmung der Blätter und des Stämmchens	556	7
minus Wurzelatmung	447	6
minus Atmung des oberirdischen Teils der Pflanze im Winter unter der Schnee- decke	439	6
Gesamtatmung	2993	38
CO ₂ -Jahresüberschuß	4837	
	mg Trockensubstanz/ g Nadeln	
Jahrestrockensubstanzerzeugung (aus dem CO ₂ -Jahres- überschuß berechnet)	2200	
Netto-Stoffproduktion (bleibender Zuwachs)	650	

die Wurzeln aus dem Boden zu isolieren. Wir haben sie daher im Laboratorium an sauber gewaschenen Wurzeln bei verschiedenen Temperaturen bestimmt.

Im Vergleich zu anderen forstlichen Holzpflanzen, deren Wurzelatmung EIDMANN (1943) gründlich untersucht hat, atmen unsere Zirben bei einer bestimmten Temperatur annähernd ebenso schwach wie die Tanne, die am schwächsten atmende Nadelholzart EIDMANNs. Alle anderen Coniferen übertreffen unsere Werte bis um das 4-fache (Lärche).

Auf Grund der Registrierungen der Bodentemperatur (Seite 153 ff) konnte der Jahresgang der Wurzelatmung berechnet werden.

Pro Gramm assimilierender Nadeln veratmen die Wurzeln demnach in einem Jahr 472 mg CO₂ (1 cm Tiefe), bzw. 421 mg CO₂ (10 cm Tiefe), im Mittel 447 mg CO₂. Das sind nur 6 % der Bruttoassimilation.

Der Betrag dürfte in Wirklichkeit wesentlich höher sein, weil die Entnahme der Wurzeln aus ihrem natürlichen Milieu die Atmung stark herabsetzt. So hat EIDMANN (briefliche Mitteilung) mit einer anderen Meßmethode festgestellt, daß die Wurzeln verschiedener Coniferen rund 30 % der Bruttoassimilation veratmen. Man muß jedoch berücksichtigen, daß die Zirbe in der Jugend eine im Verhältnis zur oberirdischen Masse sehr geringe Wurzelmasse besitzt (10 % des

Gesamtkörpergewichtes) und die Bodentemperaturen in 2000 m Seehöhe im Vergleich zu Tieflagen wesentlich niedriger sind.

D. Der Stoffverlust durch Atmung der oberirdischen Teile unter der Schneedecke

Es gelang uns zwar nicht, den CO_2 -Gaswechsel der Pflanzen unter der Schneedecke exakt zu bestimmen, doch können wir auf Grund der Schneepegelaufzeichnungen (Abb. 135) sicher sagen, daß die Pflanzen mindestens 5 Monate hindurch schon allein aus Lichtmangel nicht assimilieren, sondern nur atmen konnten (TRANQUILINI 1957). Die Intensität dieser Atmung dürfte in erster Linie von der Temperatur der Pflanzen abhängen, die wir unter der Schneedecke laufend gemessen haben. Sie schwankt lediglich einige Grade um 0°C weil die Schneedecke den ganzen Winter über gegen die Temperaturschwankungen, welche sich über der Schneedecke ereignen, fast völlig isoliert (Abb. 135). Wir können daher die Atmung der Nadelsprosse unter der Schneedecke hinreichend genau berechnen.

Unter der Schneedecke veratmen die oberirdischen Nadelsprosse $439 \text{ mg CO}_2/\text{g}$, das sind 6 % der Bruttoassimilation, also deutlich weniger, als dieselben Triebe in der schneefreien Zeit während der Nacht, obwohl die Dunkelheit unter dem Schnee ein halbes Jahr ununterbrochen anhält.

Nachdem in dieser Zeit die Stoffaufnahme stillliegt, verlieren die Pflanzen durch Wurzel-, Nadel- und Sproßatmung laufend Gewicht. Die CO_2 -Abgabe beträgt 439 mg (Nadelsprosse) und 112 mg (Wurzeln), zusammen 551 mg/g Nadeln. Das entspricht einem Trockenstanzverlust von 250 mg oder $1/8$ des Gesamtkörpergewichtes. Man könnte diesen Gewichtsverlust direkt bestimmen, indem man vor dem Einschneien und nach dem Ausapern je eine genügend große Stichprobe eines Pflanzenbestandes entnimmt, trocknet und ihr Gewicht feststellt.

E. Die CO_2 -Jahresbilanz der Zirbe

Im Laufe einer Vegetationsperiode werden von den Nadeln $7830 \text{ mg CO}_2/\text{g}$ aufgenommen. Durch Atmung gehen während des ganzen Jahres insgesamt $2993 \text{ mg CO}_2/\text{g}$ verloren; das sind 38 % der Bruttoassimilation. Das ist also trotz der langen Winteratmung nicht mehr als bei vergleichbaren Holzpflanzen in Tieflagen. Der größte Stoffzehrer ist der oberirdische Teil der Jungzirben, der am Tage 20 %, in der Nacht 7 % und während des Winters 6 % der Bruttoassimilation veratmet. Der Stoffverlust durch Wurzelatmung ist demgegenüber sehr gering (6 %).

Für den Ausbau des Pflanzenkörpers standen also während der Vegetationsperiode 1955 pro g Nadeln 4837 mg CO₂ zur Verfügung. Das entspricht 1,3 g Kohlenstoff. Nachdem die Trockensubstanz der Jungzirben nach Untersuchungen unserer bodenkundlichen Abteilung zu 60 % aus C besteht, werden von jedem Gramm Nadeln im Laufe eines Jahres rund 2,2 g Pflanzensubstanz erzeugt.

Um diesen aus den Gaswechselformen abgeleiteten theoretisch zu erwartenden Zuwachs mit dem tatsächlichen Substanzgewinn eines Jahres vergleichen zu können, haben wir an denselben Zirben, deren Gaswechsel gemessen wurde, im Oktober 1955 den im Jahre 1955 gebildeten Zuwachs (neue Sprosse und Nadeln, Jahresring) direkt gewogen. Damit sind wesentliche Stoffverluste (hauptsächlich durch Abfall älterer Nadeln; Rinden-, Ast-, Wurzel- und Samenverluste spielen ja bei unseren jungen Pflanzen noch keine Rolle) die während des Jahres eintreten können, ausgeschlossen.

Die im Jahre 1955 neugebildeten Nadeln und Sprosse wurden abgenommen, getrocknet und gewogen. Zur Ermittlung des Dickenzuwachses wurde der Durchmesser des Holzkörpers und die mittlere Breite des letzten Jahresringes an mikroskopischen Schnitten bestimmt, das Volumen des Hohlzylinders gerechnet und sein Trockengewicht auf Grund des spezifischen Gewichtes von trockenem Jungzirbenholz (0,473 g/cm³) festgestellt. Den Wurzelzuwachs haben wir aus einer Wurzelzuwachskurve abgeschätzt.

Das Ergebnis ist in Tabelle 2 zusammengestellt. Obwohl die untersuchten Zirben sich äußerlich sehr ähnlich waren, auf gleichem Standort nur wenige Meter voneinander entfernt standen und aus derselben natürlichen Verjüngung stammten, ist die individuelle Streuung des Zuwachses unerwartet groß.

Der Anteil der Assimilate, der von den einzelnen Pflanzen jeweils zur Ausbildung der Nadeln, zur Verlängerung und zur Verstärkung des Sprosses und zur Entwicklung der Wurzeln verwendet wird, ist sehr verschieden. Es verwenden zwar alle Zirben die Hauptmenge ihrer Assimilate für die Neubildung der Nadeln (Vergrößerung des Assimilationsapparates), doch schwankt der Anteil von Pflanze zu Pflanze zwischen 44 und 73 %! Sehr ungleich ist auch der Zuwachsanteil der Wurzeln, der zwischen 10 und 29 % betragen kann.

Die einzelnen Pflanzen unterscheiden sich im Gesamtzuwachs zunächst wegen ihres verschiedenen Alters. Vergleichen wir ihn aber mit dem durchschnittlichen Zuwachs im gleichen Lebensjahr (Abb. 143), so zeigt sich, daß dieser von der Einzelpflanze bis um 43 % übertroffen und bis um 41 % unterschritten werden kann (Tabelle 2).

Diese Produktionsunterschiede können nur durch ein verschieden stark entwickeltes Assimilationssystem oder durch konstitutionelle Leistungsunterschiede der Nadeln hervorgerufen werden, weil alle

Tabelle 2: Gewichtszuwachs (g Trockengewicht) verschiedener Jungzirben im Jahre 1955

	Zirbe Nr. 3		Zirbe Nr. 4		Zirbe Nr. 5		Zirbe Nr. 7		Zirbe Nr. 9		Mittel
	mg	in % des Gesamt-zuwachses									
Nadeln	397	73	262	67	389	63	220	44	155	49	
Stammlänge	55	10	40	10	65	11	48	10	41	13	
Stammdicke	31	6	19	5	99	16	90	18	40	13	
Wurzeln	59	11	73	19	61	10	143	29	80	25	
Gesamt (mg)	542		394		614		501		316		473
Alter (Jahre)	6		5		8		6		7		
Mittlerer Zuwachs (mg) dem Alter entsprechend (Abb. 2)	380		330		780		380		540		482
Abweichung vom mittleren Zuwachs (%)	+43		+19		-21		+32		-41		
Zuwachs/g Nadeln (Jahresassimilationsleistung)	0.676		0.611		0.533		0.896		0.535		0.650
Zuwachs/g Nadeln, Abweichung vom Mittelwert (%)	+4		-6		-18		+38		-18		

Zirben stets unter gleichen Umweltsbedingungen standen.

Um zu entscheiden, in welchem Ausmaß die Assimilationsleistung an der Streuung beteiligt ist, wurde der Zuwachs auf die Nadelmenge bezogen, somit von dieser unabhängig gemacht.

Im Mittel produzierten die 5 Zirben im Jahre 1955 pro Gramm Nadeln 0.65 g Trockensubstanz. Die Leistung schwankt von 0.53 - 0.90 g; das sind um 38 % mehr bzw. um 18 % weniger als der Durchschnitt.

Vergleichen wir diese direkt bestimmte Netto-Stoffproduktion mit dem aus dem C-Überschuß errechneten Zuwachs, so ergibt sich, daß nur 30 % der Jahrestrockensubstanzerzeugung in bleibenden Zuwachs angelegt wird (Tabelle 1).

Unter der Voraussetzung, daß die CO₂-Jahresbilanz genügend genau erfaßt wurde, kann daraus geschlossen werden, daß unsere Jungzirben während des Jahres beträchtliche Substanzverluste erleiden, die bei der Bilanz bisher noch nicht erfaßt wurden. Als solche kommen in Frage: Abgabe von organischen Stoffen (z. B. Aminosäuren) an den Boden (LINSKENS und KNAPP 1955), vor allem aber Abtransport von Kohlenhydraten an die Außenmyzelien der Mykorrhizapilze, welche vom Baum mit Kohlehydraten versorgt werden (MOSEK 1959, BJÖRKMAN 1944, MELIN und NILSSON 1957).

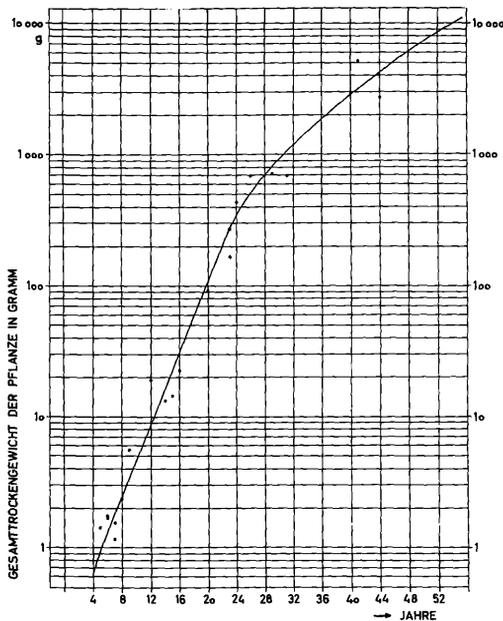


Abb. 143: Gewichtsentwicklung von verschiedenenaltrigen autochthonen Zirben aus der Umgebung der Station Waldgrenze. Aus der Kurve kann der Gewichtszuwachs in den einzelnen Lebensjahren ermittelt werden. Aus TRANQUILLINI 1959, Planta Bd. 54

Zusammenfassung

Vom Betrag der Jahresbruttoassimilation (7830 mg CO₂/g) werden von den oberirdischen Teilen der Pflanze am Tage 20 %, in der Nacht 7 % veratmet. Die Wurzeln sind mit 6 % des Bruttogewinnes an der Gesamtatmung beteiligt. Dieser Anteil dürfte in Wirklichkeit höher liegen. Unter Schnee, der ein halbes Jahr die Pflanzen bedeckt, verlieren sie weitere 6 % oder 1/8 ihres Körpergewichtes. Der Gesamtverlust durch Atmung beträgt demnach mindestens 38 % der Bruttoassimilation.

Dieser Wert stimmt mit Vergleichsangaben in der Literatur gut überein. Er schwankt im Laufe der Vegetationsperiode nur unwesentlich (Abb. 142).

Mit der im Laufe eines Jahres der Pflanze verbleibenden CO₂-Menge könnte sie pro g Nadeln rund 2.2 g Trockensubstanz aufbauen. In Wirklichkeit haben dieselben Pflanzen im gleichen Zeitraum jedoch nur 0.65 g Zuwachs erzeugt.

Der große Unterschied zwischen den beiden Werten ist überraschend, weil die besten Voraussetzungen für eine genaue Berechnung der Stoffproduktion gegeben waren. Die Jungzirben an der Waldgrenze dürften also beträchtliche Assimilatmengen vor allem an die mit ihnen zusammenlebenden Mykorrhizen abgeben. Die im Vergleich zu anderen Holzarten (z.B. *Pinus silvestris*) in Tieflagen außerordentlich geringe Gewichtszunahme der Jungzirben (RUTTER 1957, OVERTON 1957) beruht weder auf einer spezifisch schwachen Assimilation, einer gehemmten Ausbildung des Assimilationssystems, noch auf einem ungünstigen Verhältnis Assimilation : Atmung; sie beruht vielmehr auf der kurzen Vegetationsperiode, die den Bäumen an der Waldgrenze zur Verfügung steht (vgl. PISEK und WINKLER 1958).

Literatur

- BJÖRKMAN E. 1944: The effect of strangulation on the formation of mykorrhiza in Pine. *Svensk Bot. Tidskr.* 38, 1 - 14
- BOYSEN JENSEN P. 1932: Die Stoffproduktion der Pflanze. Jena: Gustav Fischer
- EIDMANN F. 1943: Untersuchungen über die Wurzelatmung und Transpiration unserer Hauptholzarten. *H. Göring-Akad. Dtsch. Forstwiss.* 5, 1 - 144
- LARSEN P. 1942: Vergleich der direkt bestimmten und der aus Messungen der Assimilation und Atmung errechneten Stoffproduktion einjähriger Pflanzenbestände. *Planta* 32, 343 - 363
- LINSKENS H. F. und KNAPP R. 1955: Über die Ausscheidung von Aminosäuren in reinen und gemischten Beständen verschiedener Pflanzenarten. *Planta* 45, 106 - 117
- MELIN E. and NILSSON H. 1957: Transport of C¹⁴-labelled Photosynthate to the Fungal Associate of Pine Mycorrhiza. *Svensk Bot. Tidskr.* 51, 166 - 186
- MÖLLER C. M., MÜLLER D. und NIELSEN J. 1954: Ein Diagramm der Stoffproduktion im Buchenwald. *Ber. schweiz. bot. Ges.* 64, 487 - 494
- MOSER M. 1959: Pilz und Baum. *Schweiz. Z. Pilzkunde* 37, 37 - 53
- MÜLLER D. 1951: Analyse der Stoffproduktion von Gerste. *Bodenkultur* 5, 129 - 135
- OVINGTON J. D. 1957: Dry-matter Production by *Pinus sylvestris* L. *Ann. of Bot., N. s.* 21, 287 - 314
- PISEK A. und TRANQUILLINI W. 1954: Assimilation und Kohlenstoffhaushalt in der Krone von Fichten- (*Picea excelsa* LINK) und Rotbuchenbäumen (*Fagus sylvatica* L.) *Flora* 141, 237 - 270
- 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 - 543
- POLSTER H. 1950: Die physiologischen Grundlagen der Stofferzeugung im Walde. München: Bayr. Landwirtsch.-Verlag
- RUTTER A. J. 1957: Studies in the Growth of Young Plants of *Pinus sylvestris* L. I. The Annual Cycle of Assimilation and Growth. *Ann. of Bot., N. s.* 21, 399 - 426
- TRANQUILLINI W. 1952: Der Ultrarot-Absorptionsschreiber im Dienste ökologischer Messungen des pflanzlichen CO₂-Umsatzes. *Ber. dtsh. bot. Ges.* 65, 102 - 112
- TRANQUILLINI W. 1957: Standortsklima, Wasserbilanz und CO₂-Gaswechsel junger Zirben (*Pinus cembra* L.) an der alpinen Waldgrenze. *Planta* 49, 612 - 661
- WECK J. 1960: Der Holzertrag aus den Wäldern der Erde. *Umschau* 60, 17 - 18
- WINKLER E. 1960: Die Stoffproduktion von Kartoffelpflanzen im Tal (600 m), im Mittelgebirge (900 m) und an der Waldgrenze (1880 m) bei Innsbruck. *Veröff. Museum Ferdinandeum Innsbruck*, 39, 5 - 65

4. Über die Frostresistenz der Zirbe

von W. Tranquillini

Inhalt

	Seite
Einleitung	549
I. Standort und Material	550
II. Methodik	550
Bestimmung der Frosthärte	550
III. Ergebnisse	551
Der Jahresgang der Frosthärte	551
IV. Besprechung der Ergebnisse	558
V. Zusammenfassung und Schlußfolgerung für die Aufforstungspraxis	559
Literatur	561

Gekürzt und verändert aus "Forstwissenschaftl. Centralblatt" 77 (1958, S. 89 - 105) mit Genehmigung des Verlages Paul Parey, Hamburg und Berlin.

Manuskript der Neubearbeitung abgeschlossen Ende 1960

Einleitung

Wie aus den Untersuchungen über die Nadeltemperatur junger Zirben an der Waldgrenze deutlich hervorgeht, erreicht nicht die sommerliche Wärme, sondern die winterliche Kälte u. U. lebensbedrohende Werte (vgl. Seite 127 ff). In der Tat lassen sich beinahe alle am Standort am autochthonen und gepflanzten Jungwuchs unserer Holzart festgestellten Schäden auf Wirkungen des Winters zurückführen (TRANQUILLINI 1956, HOLZER 1959). Es ist jedoch nicht immer die Kälte an sich, die die Pflanzen schädigt, sondern Begleitumstände der tiefen Temperatur wie Deformationen des Protoplasten durch rasches Frieren und Auftauen (vgl. Seite 563 ff) sowie Austrocknung der Pflanzen durch Unterbrechung der Wassernachleitung infolge Frost, die sogenannte Frosttrocknis (LARCHER 1957).

Es war daher zunächst die Frage zu klären, inwieweit schon die Kälte an sich Schäden an Zirben verursachen kann und ob die starken Ausfälle bei der Versuchspflanzung im Stationsgebiet, die bei der natürlichen Verjüngung auch nicht in annähernd demselben Maße auftreten (vgl. Seite 437 ff), u. a. auf größere Frostempfindlichkeit der ersteren zurückzuführen sind (TRANQUILLINI 1958).

Wir sind zwar bezüglich der Frosthärte der Zirbe durch mehrere Untersuchungen am Botanischen Institut der Universität Innsbruck im allgemeinen bereits unterrichtet und wissen, daß diese aus Sibirien stammende Holzart im Hochwinter stärksten Frösten trotz (ULMER 1937, PISEK und SCHIESSL 1939/46); wir wissen jedoch nichts über die Widerstandsfähigkeit junger autochthoner und vor allem aus Forstgärten verpflanzter Zirben gegenüber Kälte.

Über Unterschiede der Frosthärte junger und älterer Waldbäume berichtet JAHNEL (1959).

Bei Frosthärteprüfungen wird der Grad des Schadens isolierter Versuchszweige nach künstlicher Kältung auf Grund des Aussehens ihrer Nadeln bestimmt. Ob diese Zweige, hätte sie am natürlichen Standort der gleiche Frost betroffen, im folgenden Frühjahr trotz ihrer geschädigten Nadeln noch austreiben können, läßt sich aus nachstehender Untersuchung nicht behaupten. An anderen Objekten wurde festgestellt, daß selbst stark geschädigte Zweige zu neuem Treiben fähig waren, wenn nur ein Teil des Kambiums am Leben blieb (PISEK 1958). Andererseits stellt sich im Gefolge eines Frostschadens stets eine Zuwachsminderung bzw. -stockung und damit eine Schwächung der Gesamtpflanze ein, die noch in späteren Jahren als Nachwirkung des Frostschadens zu plötzlichem Absterben der ganzen Pflanze führen kann (JAHNEL und WATZLAWIK 1959).

I. Standort und Material

Die Arbeit begann im Spätwinter 1955 im Bereich des Alpengartens der Universität auf dem Patscherkofel (1920 m ü. d. M.) südlich von Innsbruck, an derselben Stelle, woschon ULMER, PISEK und SCHIESSL ihre grundlegenden Untersuchungen anstellten. Ab 15. IV. 1955 verlegte ich die Versuche in das Stationsgebiet bei Obergurgl.

Um an die früheren Frosthärtearbeiten anzuknüpfen, wurden zunächst erwachsene Zirben-Bäume untersucht. Wir sammelten möglichst gleichartig benadelte Triebe der Kronensüdseite, je nach Fragestellung unmittelbar oberhalb oder unterhalb der Schneedecke. Da reichlich gesunde Zweige zur Verfügung standen (jede Frosthärteprüfung erfordert deren mindestens 15!), waren diese Serien sehr homogen, Später verlegte ich das Schwergewicht der Untersuchung auf 1 dm große Jungpflanzen, von denen meist der gesamte oberirdische Sproß verwendet werden mußte. Die Serien setzten sich hier also zwangsläufig aus verschiedenen Individuen zusammen. Während in der schneefreien Zeit stets eine ausreichende Zahl gesunder Jungzirben aufgefunden wurde, war im Hochwinter die Suche nach geeigneten Proben erschwert. Soweit die Entnahme nicht in windexponierten und daher schneeärmeren Lagen erfolgte, mußten größere Jungpflanzen herangezogen werden, deren Gipfeltriebe gerade noch über die Schneedecke herausragten. Besondere Schwierigkeit bereitete das Auffinden eingeschneiter Jungpflanzen. Es mangelte daher an Material, so daß jede der in der Frosthärteprüfung vorgesehenen Kältestufen mit nur 1 Versuchszweig beschickt werden konnte. Die Inhomogenität der Proben dieser Reihen verursachte manche Unklarheit im Versuchsergebnis und zwang zur Unterscheidung zwischen möglichen und sicheren Schäden.

Zum Vergleich konnten Jungzirben aus dem in 1400 m Seehöhe angelegten Pflanzgarten Stillebach der Bezirksforstinspektion Imst im benachbarten Pitztal zur Untersuchung herangezogen werden. Besonderes Interesse verdiente das Verhalten dieser Zirben nach ihrer Verpflanzung in den Bereich der Station "Obergurgl", die im Oktober 1955 in größerem Maßstab durchgeführt wurde (vgl. Seite 437 ff).

Die Proben kamen binnen 3 Stunden ins Botanische Institut nach Innsbruck. Es wurde darauf geachtet, daß die Zweige vom Zeitpunkt ihrer Entnahme bis zur Frosthärteprüfung den natürlichen Temperaturverhältnissen ausgesetzt blieben.

II. Methodik

Bestimmung der Frosthärte

Die Frosthärtebestimmungen wurden nach der im Prinzip schon von PFEIFFER (1933) benutzten, von ULMER (1937) sowie PISEK und SCHIESSL (1939/46) verfeinerten Methode durchgeführt. Einzelheiten zur Versuchstechnik können diesen ausführlichen Arbeiten entnommen werden. Zur Orientierung sei hier bloß folgendes bemerkt:

Die Proben wurden auf 11 Glasgefäße verteilt und jedes dieser Gefäße mittels bestimmter Eis-Kochsalzgemische (tiefste erreichbare Temperatur - 20°) oder Eis-Kalziumchloridgemische (Tiefsttemperatur - 34°, für Temperaturen darunter CO₂-Schneezusatz) langsam auf eine bestimmte Temperatur abgekühlt. Jede Serie umfaßte also 11 um 2 bis 3° auseinanderliegende Kältestufen. Die tiefste und höchste Kältestufe jeder Serie richtete sich nach der Erfahrung, bei welchem Frost die Objekte zu einer bestimmten Jahreszeit anfangen geschädigt zu werden. Sobald die Proben das gewünschte Temperaturminimum erreicht hatten, wurde es während 2 Stunden möglichst konstant gehalten. Den Temperaturverlauf in jeder Kammer verfolgten wir mit Thermoelementen. Kürzere Einwirkung der Minimumtemperatur täuscht größere Frosthärte vor (ULMER 1937), längere hingegen liefert gleiche Resultate (PISEK und SCHIESSL 1939/46). Noch wichtiger als das langsame Abkühlen der Proben ist ihr

vorsichtiges Auftauen, sollen nicht Schädigungen durch die rasche Erwärmung dazu kommen (ILJIN 1934, PFEIFFER 1933). Nach dem Auftauen kamen die Zweige zusammen mit unbehandelten Kontrollen in Wasser eingestellt in einen hellen, kühlen Raum und verblieben dort bis zur Ausbildung deutlich sichtbarer Schäden.

Die Bonitierung der Versuchszweige erfolgte auf Grund ihres äußeren Aussehens im Vergleich zu den unbehandelten Kontrollen. Es wurde festgestellt, wie tief der Frost sein mußte, daß

1. ein Teil der Nadeln deutliche Schäden, z.B. abgestorbene Spitzen, gelbliche Flecken, Vertrocknung und Mißfärbigkeit (olivgrau), zeigt (Teilschaden),
2. alle Nadeln verfärbt, abgestorben und vertrocknet sind (Totalschaden).

Infolge der schon erwähnten Inhomogenität der Proben kam es manchmal vor, daß bei einer bestimmten Temperatur ein Teil- oder Totalschaden festgestellt wurde, während in der nächsttieferen Stufe keiner auftrat. Es ist also bei dem betreffenden Frost ein Schaden möglich (aber er muß bei einer etwas tieferen Temperatur nicht wiederkehren); er ist sicher, wenn er bei allen tieferen Temperaturen immer wieder in gleicher oder verstärkter Intensität auftritt.

Als Maß für die Frosthärte wurde jene Temperatur (in $^{\circ}\text{C}$) genommen, bei der die Nadeln zu mindest 10 % sicher und deutlich geschädigt waren. Diese Temperaturstufe ist in allen Tabellen unterstrichen und in die Abb.144 eingetragen. Um dem Praktiker das Abschätzen zu erleichtern, ob schon bei einem geringeren Frost Schäden möglich sind, bzw. wann er mit dem Kältetod der ganzen Pflanze zu rechnen hat, sind auch diese Temperaturstufen in die Tabellen eingetragen. Im Mittel aller 23 Meßreihen waren Teilschäden bereits bei einer um 2.0° höheren Temperatur möglich als sie sicher auftraten. Mit der Möglichkeit eines Totalschadens muß allerdings erst bei einer um 4.6° tieferen Temperatur, mit Sicherheit eines solchen Schadens erst bei einer um 7.1° tieferen Temperatur gerechnet werden. Trat auch bei der tiefsten im Versuch hergestellten Temperatur noch kein Schaden ein, wurde diese in die Tabelle eingetragen und mit dem Zeichen "größer als" (z.B. $> -40^{\circ}$) versehen.

III. Ergebnisse

Der Jahresgang der Frosthärte

Die Widerstandsfähigkeit gegen Kälte ändert sich beim selben Individuum im Ablauf des Jahres; sie ist minimal im Sommer und maximal im Winter. Diesem Rhythmus liegt eine innere Periodizität zugrunde, die durch den Klimawechsel der Jahreszeiten zeitlich einreguliert wird. Sie drückt sich in mehr oder weniger tiefgreifenden physiologischen Umstellungen aus und ist von außen her nur beschränkt störbar (PISEK und SCHIESSL 1939/46, PISEK 1952).

Wir sahen uns daraufhin die Ergebnisse der Frosthärtemessungen an autochthonem Jungwuchs und an verpflanzten Forstgartenzirben zu mehreren Terminen während des Winters 1955/56 an.

Die in Abb.144 eingetragenen Frosthärtemeßpunkte bedeuten jene Kältestufe, bei der jeweils mindestens 10 % der Nadeln des Versuchstriebes sichere Schäden erlitten. Die Temperaturverhältnisse des Winters können aus dem Gang der Monatsmittel sowie der täglichen Maxima und Minima entnommen werden. Die Temperaturen sind nach Aufzeichnungen der Wetterstation Obergurgl (englische Hütte, 2 m über dem Erdboden) eingetragen. Ergänzt wurde die Abb.144 durch Eintragung der täglichen Schneehöhenablesungen.

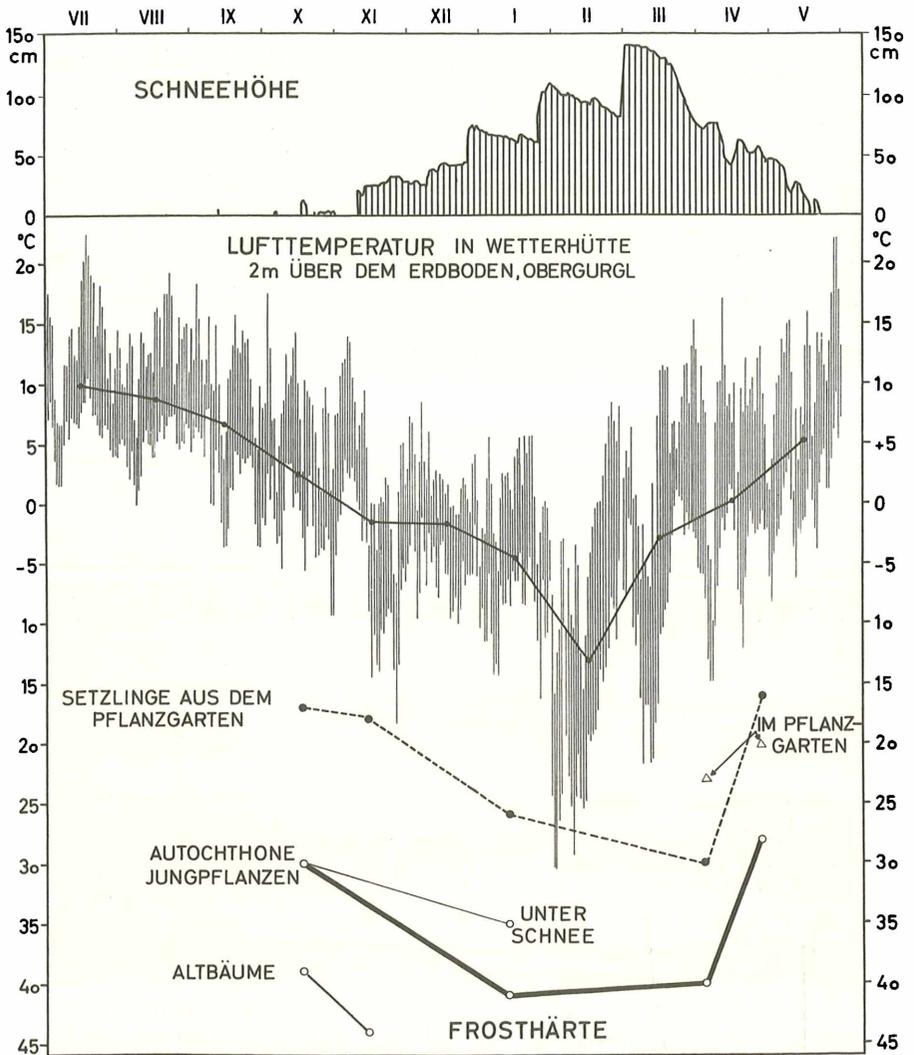


Abb. 144: Verlauf von Schneehöhe, Lufttemperatur und Frosthärte verschiedener Zirben (ein-, zwei- und dreijährige Nadeln) im Winter 1955/56. Aus TRANQUILLINI 1958, Forstwiss. Cbl. Bd. 77

Im Juli, während des Austreibens der Zirbe, ist die Frosthärte der jungen, noch nicht ausgereiften Nadeln äußerst gering. Nach ULMER 1937 und PISEK und SCHIESSL 1939/46 vertragen sie, ohne in größerem Umfang Schaden zu nehmen, bloß um -3° , die einmal überwinterten Nadeln hingegen etwa -6° bis -7° .

Bereits im September und erst recht im Oktober wird die Umstellung zur Winterruhe eingeleitet. Diese Umstimmung läuft auffallend parallel mit der Zunahme der Anzahl der Frosttage, die im August noch 0, im September bereits 7, im Oktober schon 22 beträgt. Wir finden daher am 20. 10. 1955 die Nadeln sowohl der autochthonen Jungpflanzen als auch der Altbäume in Übereinstimmung mit dem Temperaturklima schon so frosthart (Teilschäden im Versuch erst bei -29° bzw. -39°), daß die um diese Zeit auftretenden Lufttemperaturminima von -9° C den Pflanzen sicher nichts anhaben können (Tabelle 1).

Tabelle 1

20. X. 1955	3 m hoher Baum	Jungpflanzen	
		autochthon	gepflanzt
Teilschäden möglich	- 39	- 29	- 17
Teilschäden sicher	<u>- 39</u>	<u>- 29</u>	<u>- 17</u>
Totalschäden möglich	> - 39	- 33	- 24
Totalschäden sicher	> - 39	- 39	- 30

Bei dem Versuch vom 20. X. 1955 wurden erstmalig neben autochthonen auch Pflanzgartenzirben auf ihre Frosthärte geprüft. Die Setzlinge waren vierjährig und entstammten Samen von Pitztaler Zirben aus 1800 bis 1900 m Höhe. Sie wurden 2 Jahre hindurch im Pflanzgarten Stillebach (Pitztal) in 1400 m Höhe verschult und am 3. X. in Moos eingeschlagen so rasch wie möglich zum neuen Standort ins Gurglertal gebracht und dort in 2000 m Höhe ausgepflanzt. Die Pflanzgartenzirben erwiesen sich überraschend empfindlicher als die autochthonen Jungpflanzen (Tabelle 1). Nur bei der relativ geringen Kälte von 14° blieben sie ungeschädigt. Bereits Frost von 17° verursachte Teilschäden, von -24° erste Totalschäden. Unter -30° waren alle Pflanzen völlig abgestorben. Die Frostresistenz lag um 12° niedriger als bei autochthonen Vergleichspflanzen und um 22° niedriger als bei Nadeln des Altbaumes. Trotzdem dürften auch die Pflanzgartensämlinge den Temperaturen während des Oktober gewachsen sein.

Die nächste Frosthärteprüfung fand am 14. 11. 1955 statt. (Tabelle 2). Die Altbäume sind gegenüber Oktober noch frosthärter geworden und mit -44° allen Temperaturgefährdungen des Standorts

gewachsen. Die Setzzirben konnten ihre Frosthärte nur unbedeutend erhöhen. Teilschäden traten im Frostversuch bei 18° , erste Totalschäden bei -22° und sichere Totalschäden bei -27° auf. Der Unterschied der Frosthärte dieser zwei Serien beträgt 26° und dürfte der größte je gemessene Resistenzunterschied zweier Individuen ein und derselben Pflanzenart sein!

Tabelle 2

14. XI. 1955 Zirbe	3 m hoher Baum autochthon	Jungzirben gepflanzt
Teilschäden möglich	- 44	- 18
Teilschäden sicher	<u>- 44</u>	<u>- 18</u>
Totalschäden möglich	> - 47	- 22
Totalschäden sicher	> - 47	- 27

Die zweite Novemberhälfte bringt erstmalig Eistage (Maximum unter 0° C). Das Minimum sinkt bis 18.5° und kommt somit in gefährliche Nähe der Temperatur, bei der Setzzirben im Frostversuch teilweise oder ganz abstarben. Um dieselbe Zeit setzen Schneefälle ein, die eine geschlossene Schneedecke von ca. 20 cm Höhe schaffen (Abb. 144). Zirben, die auf windausgesetzten Geländerippen gepflanzt wurden, wo sich der Schnee nicht lange hält, könnten dieser ersten Kälteattacke des Frühwinters bereits zum Opfer gefallen sein. Dies um so mehr, als die in Abb. 144 eingetragenen Temperaturen für eine englische Hütte in 2 m über dem Erdboden Geltung haben und von den Nadeltemperaturen in 10 cm Höhe über dem Erdboden bzw. der Schneedecke um einiges unterboten werden (vgl. S. 134 ff). Die Unterkühlung ist abhängig von der Bewölkungsdichte. In klaren Strahlungsnächten werden die größten, bei bedecktem Himmel die kleinsten Unterkühlungen beobachtet (Abb. 145). Im folgenden wird versucht, für die kritischen Novembertage die mutmaßlichen Nadeltemperaturminima zu berechnen, denen Jungzirben unmittelbar oberhalb der Schneedecke ausgesetzt waren (Tabelle 3). Die Tabelle zeigt, daß sich bereits am 16. 11. die Nadeln auf -20.6° abkühlten, zwei Tage nach der Frosthärteprüfung, die ergab, daß Setzlinge bei -18° sichere Teilschäden erleiden. Am 26. 11. waren es sogar -24° , die im Frosthärteversuch zu ersten Totalschäden geführt hatten. Wären die Schneefälle nur 5 Tage länger ausgeblieben, hätte die ganze kostspielige Herbstanpflanzung schwerstens geschädigt werden können.

Im Dezember und Januar sank die Lufttemperatur täglich unter 0° C, ohne das Minimum des November zu erreichen. Die Schneedecke war auf 60 cm angewachsen. Kurz nach dem 14. 11. schnitten auch die an schneearmen Stellen gepflanzten Zirben ein, so daß

Tabelle 3

Nov.	Tag	Lufttemperatur- minimum Hütte	Bewölkungsgrad um 7 Uhr morgens	Temperaturdifferenz Hütte Nadeln aus Abb. 145	Mutmaßliches Nadeltemperatur- minimum
	16.	14.6	1 ⁰	- 6	- 20.6
	17.	- 11.0	9 ²	- 2	13.0
	18.	- 13.5	10 ²	1.5	15.0
	19.	- 14.4	0	- 6.5	- 20.9
	20.	- 10.6	0	- 6.5	17.1
	21.	- 10.8	5 ²	- 4	14.8
	22.	9.5	4 ¹	- 4.5	14.0
	23.	8.8	0	- 6.5	15.3
	24.	9.1	10 ²	1.5	- 10.6
	25.	- 14.0	10 ²	1.5	15.5
	26.	18.5	2 ¹	- 5.5	- 24.0
	27.	- 13.5	0	- 6.5	- 20.0

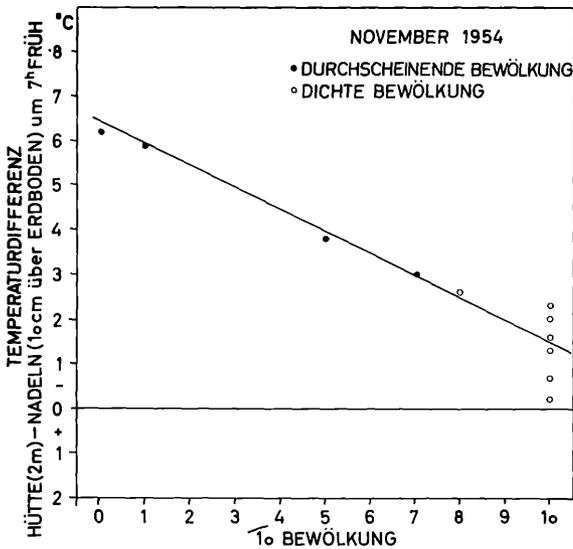


Abb. 145: Abhängigkeit der Unterkühlung von Zirbennadeln in ca. 10 cm Höhe über dem Boden gegenüber der Luft in 2,0 m Höhe (Wetterhütte) vom Bewölkungsgrad. Obwohl die Werte ziemlich streuen, werden im allgemeinen nach klarer Nacht die größten, bei bedecktem Himmel die kleinsten Temperaturdifferenzen gemessen. Aus TRANQUILLINI 1958, Forstwiss. Cbl. Bd. 77

sich zum Zeitpunkt der nächsten Frosthärteprüfung am 13. 1. 1956 die meisten Setzlinge unter Schnee befanden. Um ihre Frosthärte mit autochthonen Jungzirben vergleichen zu können, wurden diesmal

auch eingeschneite Zweige autochthoner Jungpflanzen untersucht. Trotz der Ausgeglichenheit des Temperaturklimas in der Schneedecke (vgl. Seite 147 ff) erhöht sich die Frosthärte der eingeschneiten Pflanzen gemäß dem der Pflanze innewohnenden Rhythmus; sie steigt jedoch nicht so weit wie jene aperer Zweige (Tabelle 4), die durch die täglich auf sie einwirkenden tiefen Temperaturen intensiver "trainiert" werden. Außerdem schützt der Schnee die eingeschneiten Nadeln vor Wasserverlusten. Beide Einflüsse (Abschirmung scharfer Fröste, Erhaltung hohen Wassergehaltes) führen zu einer ausgesprochenen Verweichlichung der Pflanzen unter Schnee. Beim Vergleich zwischen autochthonen und gepflanzten Zirben unter Schnee (Tabelle 4) ergibt sich, daß der Unterschied gegenüber dem Herbst (Tabelle 1) verringert wurde, jedoch nach wie vor beträchtlich bleibt. Teilschäden sind zwar jetzt bei Setzlingen auch schon bei 17° möglich, aber erst bei -26° sicher. Totalschäden traten nun erst unter -31° auf. Autochthone Pflanzen können bei 31° Teilschäden erleiden, während totales Absterben erst unter -47° zu erwarten stand.

Tabelle 4

13. I. 1956 Zirbe: Jungpflanzen	Oberhalb der Schneedecke	Unter der Schneedecke	
		autochthon	gepflanzt
Teilschäden möglich	- 41	- 31	17
Teilschäden sicher	<u>- 41</u>	<u>- 35</u>	<u>- 26</u>
Totalschäden möglich	> - 47	> - 47	31
Totalschäden sicher	> - 47	> - 47	- 31

Am 2. Februar sank das Thermometer in der Hütte auf $-30,6^{\circ}$ und verblieb zwei Wochen fast stets mehr oder weniger unter -20°C . Dieser selbst für kontinentale Gebiete der Alpen extrem strenge Frost wurde in Bodennähe noch gesteigert: Im Februar betrug allerdings die größte Temperaturdifferenz zwischen Hütten- und Nadelminimum nur $4,2^{\circ}$ (vgl. Seite 134 ff), also weniger als die Hälfte des Betrages, der im November vorkommt, da die Nächte wieder kürzer sind. Bedenkt man aber, daß der Morgen des 2. 2. fast wolkenlos war (1^1) und unter diesen Verhältnissen auch maximale Abkühlung der bodennahen Luft und Nadeln eintritt, so kann angenommen werden, daß die Nadeltemperatur an diesem Tag auf mindestens -34° sank. Da dieser Kältesturz plötzlich eintrat und die Vorperiode relativ mild war, dürften die Frosthärtezahlen vom 13. 1. 1956 zu diesem Zeitpunkt noch Geltung haben (Tabelle 4). Setz Zirben, die erst kurz vorher vom Schnee freigelegt worden sind, gingen sicherlich in dieser Nacht total zugrunde. Auch bei freigelegten autochthonen Jungzirben waren an diesem Tag Teilschäden möglich. Nur autochthone Jungzirben, die oberhalb der Schneedecke weitge-

hend gehärtet wurden - von Altzirben gar nicht zu reden - konnten auch diese extreme Kältewelle ohne jeden Schaden überstehen.

Die nächste Frosthärteprüfung fand am 4. 4. 1956 statt. Die erste Hälfte März war nach vorangegangener kurzer allgemeiner Erwärmung wieder sehr kalt (Minimum - 22°). Die zweite Hälfte brachte allerdings drei frostfreie Tage und Erwärmungen bis + 15° C. Die Schneeablation hatte eingesetzt und führte zum raschen Abbau der Schneedecke. Dementsprechend geht die Frosthärte der autochthonen Zirben ober der Schneedecke bereits etwas zurück, während sie unter der Schneedecke bei den Setzpflanzen sogar noch weiter ansteigt und das Jahresmaximum von - 30° erreicht (Abb. 144).

Die nachfolgenden starken Spätfröste bis - 15° Hüttentemperatur hielten alle Zirben aus. In dieser Jahreszeit gibt jedoch ein anderer Umstand zu denken: Die beginnende Umstellung der Pflanzen läßt die Frosthärte gegen Wärmebeeinflussung (Verwöhnung) labiler werden (PISEK und SCHIESSL 1939/46). Berücksichtigt man, daß im März und erst recht im April die Nadeln in Bodennähe sich gegenüber der Luft in der Hütte am Tage stark überwärmen (vgl. Seite 134 ff), könnten die hohen Tagesmaxima Mitte April, erhöht um die Temperaturdifferenz Hütte Nadeln, zu einer raschen, evtl. auch nur vorübergehenden Enthärtung eben ausapernder Zirben führen und dadurch nachfolgenden stärkeren Frösten Gelegenheit geben, Schäden zu verursachen.

Die letzte Frosthärteprüfung fand am 27. 4. 1956 statt. Die Temperatur unterschreitet im April noch fast stets den Nullpunkt, charakteristisch ist jedoch die zunehmende Tageserwärmung, die in einem kontinuierlichen Abtrag der Schneedecke zum Ausdruck kommt. Die Frosthärte nimmt nun ober wie unter Schnee rasch ab und unterschreitet wieder den Ausgangswert vom Oktober. Setzlinge werden schon bei 16° geschädigt, Totalschäden sind ab - 22° möglich, bei - 33° sicher (Tabelle 5). Festgehalten werden muß, daß der Resistenzunterschied zwischen autochthonen und gepflanzten Zirben nach der Ausaperung noch immer gleich groß ist wie kurz nach der Anpflanzung im Herbst. Der Winter und der Einfluß des neuen Lebensraumes hat nicht genügt, um eine merkwürdige Anpassung an die Frosthärte autochthoner Vergleichspflanzen hervorzubringen. Diese Tatsache kommt auch beim Vergleich der Frosthärte im Pflanzgarten verbliebener Zirben zum Ausdruck, deren Nadeln ungefähr dieselbe Kälte aushalten wie die einmal am Standort überwinterten Vergleichspflanzen (Tabelle 5). Es wird daher Aufgabe späterer Versuche bleiben, festzustellen, ob überhaupt eine Anpassung an das Verhalten autochthoner Pflanzen stattfindet und wie lange dieser Vorgang dauert.

Im Mai nimmt die Zahl der Frosttage rapide ab und führt im Verein mit der höheren Einstrahlung und zunehmender Tageslänge zur allgemeinen Ausaperung des Geländes. Die speziellen Temperaturverhältnisse dieses Monats im Jahre 1956 ließen Spätfrostschäden

auch bei Setz Zirben nicht erwarten, könnten aber in einem anderen Jahr aus oben erwähnten Gründen ebenso eintreten wie Frühfrostschäden am Winterbeginn.

Tabelle 5

27. IV. 1956 Zirbenjungpflanzen	autochthon ober Schnee	gepflanzt gerade ausapernd	Pflanzgarten Stillebach aper
Teilschäden möglich	- 20	16	- 20
Teilschäden sicher	- 28	- 16	- 20
Totalschäden möglich	- 37	- 22	- 22
Totalschäden sicher	- 44	- 33	- 22

IV. Besprechung der Ergebnisse

Während die bei den Versuchen gefundene hohe winterliche Frostresistenz erwachsener Zirbenbäume den Ergebnissen früherer Messungen vollkommen entspricht (ULMER 1937, PISEK und SCHIESSL 1939/46), überrascht die große Frostempfindlichkeit der Setzlinge. Es ergibt sich die Frage, wodurch diese hervorgerufen wird. Lokalklimatische Einflüsse können als Ursache ausgeschlossen werden, da Setzlinge und autochthone Jungpflanzen am selben Standort standen. Auch die Umpflanzung kommt als Ursache nicht in Frage, da direkt aus dem Pflanzgarten entnommene Proben sich in bezug auf die Frosthärte im wesentlichen nicht von den verpflanzten unterscheiden (Abb. 144). Der Unterschied kann vielmehr auf die - nur wenig - verschiedene Samenherkunft (Pitztal 1800 bis 1900 m, Ötztal 2000 m?), wahrscheinlicher aber auf Einflüsse zurückgehen, die während der Aufzucht im Forstgarten (1400 m) auf die jungen Sämlinge einwirkten: Es ist anzunehmen, daß bei Pflanzen tieferer Lagen aus klimatischen Gründen der Eintritt in die Winterruhe später, die Umstellung zur sommerlichen Aktivität früher erfolgt und die Strukturänderungen des Plasmas nicht so tiefgreifend sind wie in höheren Lagen (vgl. Strukturänderungen an den Chloroplasten, SCHMIDT 1936, HOLZER 1958). Da jene protoplasmatischen Veränderungen die Grundlage des Abhärtungsvorganges gegen Frost darstellen (KESSLER 1935, KESSLER und RUHLAND 1938, PISEK 1952), wäre zunächst die Erniedrigung der Frosthärte mit abnehmender Standortshöhe durchaus erklärbar (Assimilationsvermögen in verschiedener Höhenlage PISEK und WINKLER 1958). Daß die Pflanzen jedoch auch unter den klimatischen Bedingungen ihres neuen Standorts im frostempfindlichen Zustand verharren, dürfte vorwiegend

auf den Boden- und Ernährungsverhältnissen beruhen, unter denen sie im Pflanzgarten heranwuchsen: Die lebhaft dunkel-, fast blaugrüne Farbe der Nadeln der Forstgartenpflanzen stach deutlich von der hellen, beinahe gelblichgrünen Farbe der Nadeln autochthoner Pflanzen ab. Erstere sind chlorophyllreicher. Sie enthalten pro Trockengewichtseinheit um 62 % mehr Chlorophyll a + b als die gelbgrünen Nadeln der autochthonen. Wir wissen, daß zunehmende Stickstoffgaben eine Erhöhung des Chlorophyllgehaltes bewirken (GASSNER und GOEZE 1934). Sollte eine reichere N-Versorgung der Pflanzen im Forstgarten Ursache sein für ihren höheren Chlorophyllgehalt, so könnte ebenderselbe N-Überschuß zu einer Erniedrigung der Frosthärte beitragen (GESSNER und ZWERENZ 1950). Wie Nährstoffanalysen unserer bodenkundlichen Arbeitsgruppe ergaben (NEUWINGER und CZELL 1959), war die Zirbenbeeterde im Pflanzgarten Stillebach tatsächlich einseitig mit Stickstoff versorgt, während Phosphorsäure fast völlig fehlte und auch Kalium im Vergleich zu Böden von Obergünger Zirbenstandorten mangelte.

Auch Spurenelemente beeinflussen die Frostresistenz (BELTRAM 1956). Nach Zugabe einer 0.5 %igen Boraxlösung waren einjährige Fichten- und Kiefern sämlinge bedeutend frosthärter als unbehandelte Kontrollen.

Schließlich ist auf den höheren Wassergehalt und niedrigeren osmotischen Wert der Setzlinge als mögliche Mitursache ihrer Frostempfindlichkeit hinzuweisen.

Die Tatsache, daß die im Pflanzgarten Stillebach heranwachsenden Jungzirben in einer entscheidenden physiologischen Eigenschaft, der Kälteresistenz, versagten sowie die Vermutung, daß daran die Ernährung schuld sein könnte, ließ den Plan reifen, die Untersuchungen mit Pflanzenmaterial aus anderen Zirbengärten fortzusetzen und die Zusammenhänge zwischen Frostresistenz und Nährstoffversorgung in enger Zusammenarbeit mit unserer bodenkundlichen Gruppe systematisch aufzuklären.

V. Zusammenfassung und Schlußfolgerung für die Aufforstungspraxis

In Übereinstimmung mit allem, was über andere Pflanzen bekannt ist (ULMER 1937, PISEK und SCHIESSL 1939/46, PARKER 1955 und TUMANOV und KRASAVCEV 1955) zeigt auch die Frosthärte der untersuchten Jungzirbenpflanzen bzw. Zirbennadeltriebe jahreszeitliche Zu- und Abnahme, deren grundsätzlicher Verlauf, Minimum im Sommer und Maximum im Winter, z. T. durch eine in der Pflanze gelegene Rhythmik verursacht wird. Die Rhythmik kommt am deutlichsten dort zum Ausdruck, wo der Einfluß des Temperaturablaufes auf die Nadeln praktisch ausgeschaltet ist, also unter einer genügend mächtigen Schneedecke.

Darüber hinaus beeinflußt das Temperaturklima die Frosthärte entscheidend. Auffallend ist der parallele Verlauf der Frosthärtekurven mit der Kurve der Anzahl der Frosttage. Die innere Rhythmik ist vom Jahresgang der Temperatur einreguliert. Der Einwirkung stärkerer und anhaltender Kälte sowie der weitergehenden Austrocknung der Nadeln ist es zuzuschreiben, daß Pflanzen oberhalb der Schneedecke im Winter bedeutend frosthärter werden als unter Schnee. Andererseits ist es der mit fortschreitender Jahreszeit immer stärkeren und anhaltenderen Tageserwärmung zuzuschreiben, daß die Resistenz ober Schnee im Frühjahr früher und stärker abnimmt: Der natürliche Klimaablauf erhöht, der Kälte- und Austrocknungsschutz unter Schnee dämpft die Frosthärteamplitude des Winters.

Die Einwirkung des Klimas konnte jedoch die Unterschiede der Kälteempfindlichkeit zwischen autochthonen Alt- und Jungzirben einerseits und im Pflanzgarten erzogenen Jungzirben andererseits wenigstens zunächst nicht ausgleichen; sie blieben über den ganzen Winter erhalten.

Im Ablauf des Winters 1955/56, der allerdings ungewöhnliche Bedingungen brachte (sehr stark verspätetes, dauerndes Einschneien, Fröste bis -31°C), könnten die aus dem Pflanzgarten Stillebach stammenden und im Oktober im Bereich der Waldgrenze ausgepflanzten Jungzirben im November Teil- oder sogar Totalschäden erlitten haben und ein zweites Mal im Februar an Stellen, die zu diesem Zeitpunkt vom Schnee freigelegt waren. Ob die mehrmals im April und Mai eintretenden Spätfröste Schäden verursacht haben, kann nicht mit Sicherheit beurteilt werden, ist aber im Winter 1956 unwahrscheinlich. Autochthone Jungzirben oberhalb der Schneedecke waren dagegen zu jeder Zeit genügend frosthart, um auch extremsten Temperatureinwirkungen sicher zu widerstehen, nur die unter Schnee weniger gehärteten könnten bei Freilegung im Februar geringfügigen Schaden genommen haben. Stets völlig gesichert gegen Kälteschäden waren die Nadeln alter Bäume.

Daß die Ergebnisse der Frosthärteprüfung auf den Standort übertragbar sind, ergibt sich daraus, daß das dort festgestellte Schadensbild, das sich im Mai nach dem Ausapern des Geländes bot, völlig dem entspricht, was nach der Frosthärteprüfung zu erwarten war: Während Altzirben ausschließlich Schäden aufwiesen, die eindeutig auf Pilzbefall lange eingeschneiter Zweigpartien zurückzuführen sind, waren autochthone Jungzirben häufiger beschädigt. Allerdings dürfte das vorwiegend auf Frosttrocknis, vor allem auf den Luvseiten, beruhen und nur zum geringsten Teil auf Kälte als solcher. Die Herbstpflanzung jedoch zeigte starke Ausfälle, die wohl vorwiegend bereits vor dem Einschneien oder kurz nach diesem eintraten und wenigstens zum Teil rein auf Erfrieren zurückzuführen sind (vgl. Seite 437 ff).

Für Aufforstungen ergibt sich folgende Schlußfolgerung: In tiefer gelegenen Pflanzgärten tritt die Umstimmung zum Winter und damit die Frosthärtung verspätet ein. Die Zirben werden auch nach ihrer Auspflanzung am neuen, höher gelegenen Standort während des ersten Winters bei weitem nicht so hart wie autochthoner Jungwuchs. Als Ursachen für die Frostempfindlichkeit kommen neben dem Klima vor allem die Ernährungsverhältnisse, höchstwahrscheinlich übermäßige bzw. einseitige N-Ernährung infolge eines unharmonischen Nährstoffverhältnisses in Pflanzgärten in Frage. Dadurch werden zwar möglichst schnell schöne und große, dunkelgrüne, chlorophyllreiche Pflanzen herangezogen, jedoch keine unempfindlichen, den klimatischen Verhältnissen eines Waldgrenzenstandorts gewachsene Pioniere.

Wird im Herbst verpflanzt, kann Ausbleiben der Schneefälle und frühes Eintreten scharfer Fröste zum totalen Ausfall einer Aufforstung solcher verwöhnter Zirben führen.

Die Beantwortung der Frage, ob das Pflanzen im Frühjahr weniger Frostrisiko für sich hätte als die Herbstpflanzung, kann noch nicht gegeben werden, soll aber einer späteren Untersuchung vorbehalten bleiben.

Literatur

- BELTRAM V. 1956: Das Spurenelement Bor. Allg. Forstzeitschr. (München) 11. 323
- GASSNER G. und GOEZE G. 1934: Assimilationsverhalten, Chlorophyllgehalt und Transpirationsgröße von Getreideblättern mit besonderer Berücksichtigung der Kalium- und Stickstoffernährung. Zeitschr. f. Bot. 27, 257
- GESSNER F. und ZWERENZ F. 1950: Über die Erhöhung der Kälteresistenz der Pflanzen bei Stickstoffmangel. Naturwissensch. 37, 1
- HOLZER K. 1958: Die winterlichen Veränderungen der Assimilationszellen von Zirbe (*Pinus cembra* L.) und Fichte (*Picea excelsa* LINK) an der alpinen Waldgrenze. Österr. bot. Z. 105, 323 346
- HOLZER K. 1959: Winterliche Schäden an Zirben nahe der alpinen Baumgrenze. Cbl. ges. Forstwesen 76, 232 244
- ILJIN W.S. 1934: The point of death of plants at low temperature. Bull. Assoc. scient. a Prague 1 (6)
- JAHNEL H. 1959: Über Frostresistenz bei Waldbäumen. Archiv f. Forstwes. 8, 697 - 725
- JAHNEL H. und WATZLAWIK G. 1958/59: Weitere Beobachtungen über die im Winter 1955 /56 geschädigten Gehölze des Forstbotanischen Gartens zu Tharandt. Wiss. Z. Techn. Hochschule Dresden 8, 929 932
- KESSLER W. 1935: Über die inneren Ursachen der Kälteresistenz der Pflanzen. Planta 24, 312
- KESSLER W. und RUHLAND W. 1938: Weitere Untersuchungen über die inneren Ursachen der Kälteresistenz. Planta 28, 159
- LARCHER W. 1957: Frosttrocknis an der Waldgrenze und in der alpinen Zwergstrauchheide. Veröff. Museum Ferdinandeum Innsbruck 37, 49 - 81
- NEUWINGER I. und CZELL A. 1959: Standortsuntersuchungen in subalpinen Aufforstungsgebieten. I. Böden in den Tiroler Zentralalpen. Forstw. Cbl. 78, 327 372

- PARKER J. 1955: Annual trends in cold hardiness of Ponderosa Pine and Grand Fir. Ecology 36, 377
- PFEIFFER M. 1933: Frostuntersuchungen an Fichtentrieben. Tharandt. Forstl. Jahrb. 84, 664
- PISEK A. 1952: Zur Kenntnis der Frosthärte alpiner Pflanzen. Naturwiss. 39, 73
- PISEK A. 1958: Versuche zur Frostresistenzprüfung von Rinde, Winterknospen und Blüten einiger Arten von Obsthölzern. Gartenbauwiss. 23, 54 74
- PISEK A. und SCHIESSL R. 1939/46: Die Temperaturbeeinflussbarkeit der Frosthärte von Nadelhölzern und Zwergsträuchern an der alpinen Waldgrenze. Ber. naturwiss.-med. Verein, Innsbruck 47, 33
- 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, 518 543
- SCHMIDT E. 1936: Baumgrenzenstudien am Feldberg im Schwarzwald. Tharandt. Forstl. Jhb. 87, 1
- TRANQUILLINI W. 1956: Vom Existenzkampf des Baumes im Hochgebirge. Jhb. Ver. Schutz Alpenpfl. u. Tiere 21, 105
- TRANQUILLINI W. 1958: Die Frosthärte der Zirbe unter besonderer Berücksichtigung autochthoner und aus Forstgärten stammender Jungpflanzen. Forstwiss. Cbl. 77, 89 105
- TUMANOW I. und KRASAVCEV O. 1955: Die Frosthärte von Baumpflanzen (russisch). Akad. Wiss. USSR, Pfl. phys. 2, 320
- ULLRICH H. 1943: Biologische Kältewirkungen und plasmatische Frostresistenz. Protoplasma 38, 165
- ULMER W. 1937: Über den Jahresgang der Frosthärte einiger immergrüner Arten der alpinen Stufe sowie von Zirbe und Fichte. Jb. wiss. Bot. 84, 553

5. Über den Gefrierbereich von Nadeln der Zirbe

von W. Tranquillini und K. Holzer

Inhalt

	Seite
Einleitung	565
Ergebnisse	
A. Gefrierversuche	565
Die Abhängigkeit des Gefrierbereiches von Wassergehalt und osmotischem Wert	568
B. Auftauversuche	570
Zusammenfassung	571
Literatur	573

Gekürzt und verändert aus "Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft" 71. Jhg. (1958, S. 143 - 156) mit Genehmigung des Verlages Gustav Fischer-Stuttgart.

Manuskript der Neubearbeitung abgeschlossen Ende 1960

Einleitung

Die Kenntnis der Temperatur, bzw. des Temperaturbereichs, innerhalb dessen das Wasser im Boden und im Pflanzenkörper friert, ist für die Beurteilung der Lebensäußerungen der Pflanzen im Winter von großer Bedeutung. Durch das Frieren wird die Wasseraufnahme aus dem Boden und die Wasserleitung in den Gefäßen der Pflanzen unterbrochen. Wenn gleichzeitig das Wasser in den Blättern auch nur vorübergehend nicht gefroren ist, entstehen durch Transpiration Wasserverluste, die nicht ersetzt werden können. Dies kann zur erheblichen Unterbilanz, ja zur letalen Austrocknung führen.

Andererseits wird beim Frieren den Zellen und den Protoplasten Wasser entzogen und dadurch, sowie auch durch die Ausbreitung der Eiskristalle u. U. die Strukturen der Gewebe und Zellen bleibend deformiert (ASAHINA 1956). Wenn das Frieren und das Auftauen sehr rasch erfolgen, kann es zu Schädigungen kommen (ILJIN 1934, KESSLER und RUHLAND 1938).

Nachdem wir über den Gefrierbereich von Pflanzengeweben nicht viel wissen (umfangreiche Untersuchungen stammen von MOLISCH 1897, Zusammenstellung der Literatur bei LEVITT 1956), haben wir vom März bis Mai 1957 an Zirbennadeln eigene Untersuchungen durchgeführt. Die Eismenge bzw. der Eisgehalt wurde im Laboratorium nach der kalorimetrischen Methode bestimmt. Einzelheiten darüber können der Originalveröffentlichung entnommen werden (TRANQUILLINI und HOLZER 1958).

Ergebnisse

A. Gefrierversuche

In der ersten Versuchsserie (5. bis 11. März 1957) wurden die Nadeln auf verschieden tiefe Temperaturen (-1 bis -45° C) abgekühlt. Sofort nachdem die Nadeln die Versuchstemperaturen angenommen hatten, wurde die erste Eisbestimmung durchgeführt und die Bestimmungen nach 10, 20, 30 und 60 Minuten sowie nach 12 Stunden an weiteren Nadelproben wiederholt. Während dieser Zeit wurde die Versuchstemperatur konstant gehalten. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1: Eisgehalt (in % Gesamtwassergehalt) von Zirbennadeln anfangs März bei verschiedenen Temperaturen sofort nach dem Erreichen und nach verschieden langer Einwirkung dieser Temperatur.

Versuchstemperatur in der Kühltruhe Temperatur der Nadeln	Zeit, während der die Versuchstemperatur auf die Nadeln nach Erreichen der Temperatur einwirkte:					
	0'	10'	20'	30'	60'	12 ^h
1		0	0	0	0	0
3		0	0	0	0	0
5		0	0	0	0	0
8,5		49	-			
- 12		54	49	51	51	54
- 15		56	47	54	56	60
- 18			45	49	47	45
- 21			53	51	44	58
- 23		-		46	51	49
- 40		44	39	42	42	39
- 45						55

Noch bei -5° C blieben die Nadeln völlig eisfrei, auch wenn diese Temperatur 12 Stunden einwirkte. Bei $-8,5^{\circ}$ war hingegen schon rund die Hälfte des Wassers, das bei der Wassergehaltsbestimmung ermittelt wurde, gefroren. Bei allen tieferen Temperaturen (geprüft bis -45° C) erstarrte annähernd derselbe Prozentsatz Wasser. Die Eisgehalte schwankten zwischen 44 und 60 %. Auch zwischen den Eisgehalten sofort nach Erreichen der Temperatur (unter $-8,5^{\circ}$) und nach längerer Einwirkung der Kälte (bis zu 12 Stunden) bestand kein Unterschied.

Unter $-8,5^{\circ}$ C konnte weder eine weitere Abkühlung noch eine längere Einwirkung der Kälte den Eisgehalt merklich erhöhen; es blieben mindestens 40 % des Wassers ungefroren.

Diese Tatsache findet, wie uns H. WALTER persönlich mitteilte, eine Erklärung aus der Quellungskurve des Protoplasten. Quellkörper geben schon bei einer Herabsetzung der Hydratur von 100 % auf 95 % (entspricht einer Gefrierpunktserniedrigung von -6° C) den Großteil ihres Wassers ab (vgl. WALTER 1950, Abb. 44). Bei weiterer Herabsetzung der Hydratur unter 95 % sind die Wasserverluste dagegen viel geringer. Es war daher zu erwarten, daß mit abnehmender Temperatur unter etwa -6° C die Eisbildung weiter zunimmt, doch in so geringem Ausmaß, daß die Genauigkeit der Eisbestimmung nicht ausreichte, um diese Gesetzmäßigkeit hervortreten zu lassen. Der untere Knick der Kurve liegt bei etwa 20 - 30 % Hydratur, was einer Temperatur unter -100° C entsprechen würde. Dieser Punkt wurde daher in unseren Experimenten (tiefste Versuchstemperatur -45° C) bei weitem nicht erreicht.

Um den kritischen Temperaturbereich zwischen -5 und $-8,5^{\circ}$ näher zu untersuchen, wurden Anfang April die Bestimmungen bei -8° wiederholt, der Abkühlungsvorgang registriert und der Eisgehalt während der Abkühlung mehrmals bestimmt (Tabelle 2).

Tabelle 2: Eisgehalt von Zirbennadeln Anfang April während der Abkühlung auf -8° C bei Erreichen verschiedener Temperaturen.

Temperatur	$-4,3$	$-4,8$	$-5,5$	$-6,4$	$-7,8$
Zeit ab 0° C	45'	80'	120'	3 ^h 40'	9 ^h
Eisgehalt (% des Gesamtwassergehaltes)	5	7	11	22	49

Die Nadeln ließen sich zunächst bis $-4,4^{\circ}$ C unterkühlen. Dann begann ein mehrmaliger Wechsel zwischen geringfügigen, jedoch deutlich im Temperaturverlauf erkennbaren Erwärmungen und Abkühlungen, so daß die Kurve in mehreren kleinen Wellen erst nach 10 Stunden die Kühlraumtemperatur (-8°) erreichte. Die im Verlauf der Abkühlung durchgeführten Eisbestimmungen (Tabelle 2) ergaben eine laufende Zunahme des Eisgehaltes. Es besteht daher kein Zweifel, daß die Temperatursprünge vom Freiwerden der Wärme beim Ausfrieren herrühren.

Die zahlreichen Sprünge zeigen, daß die Nadeln in mehreren Etappen durchfrieren (vgl. MOLISCH 1897, ULLRICH und MÄDE 1938, MODLIBOWSKA und ROGERS 1955). Die Zirbennadeln zeigen also keinen exakten Gefrierpunkt, sondern einen Gefrierbereich, der von -4° bis -8° C reicht.

Die Temperatur, bei der das Frieren in den Nadeln beginnt, lag im April etwas höher als im März, wo noch bei -5° keine Eisbildung festzustellen war. Diese Verschiebung dürfte mit den saisonbedingten Änderungen des Wassergehaltes und des osmotischen Wertes des Preßsaftes zusammenhängen, wie weiter unten gezeigt wird.

Eine weitere Versuchsserie Anfang April gibt näheren Aufschluß über die Eisbildung im Gefrierbereich (Tab. 3). Dieser beginnt wieder bei -4° C, die Nadeln lassen sich also nicht stark unterkühlen. Wurde diese Temperatur konstant gehalten, so wuchs die Eismenge mit der Dauer der Kälte: während sich nach 15 Minuten noch kein Eis gebildet hatte, waren nach 105 Minuten bereits 36 % des Wassers gefroren; dieser Wert änderte sich auch nach 12 Stunden nicht mehr. Es wird jedoch nicht die maximal mögliche Eismenge (47 bis 58 %) gebildet. Auch bei -6° dürfte die Eisbildung noch nicht abgeschlossen sein, wenngleich dies nicht gesichert ist, da die Einzelwerte stark streuen.

Tabelle 3: Eisgehalt von Zirbenzweigen anfangs April bei Einwirkung verschiedener Temperaturen von unterschiedlicher Dauer. Solange die Nadeln die Truhentemperatur noch nicht erreicht hatten, wurde die Nadeltemperatur zum Zeitpunkt der Eisbestimmung in die Tabelle eingetragen. Die eingeklammerten Werte weichen stark ab.

Truhentemperatur	Dauer der Kälteeinwirkung								
	15'	30'	45'	60'	75'	90'	105'	120'	12h
- 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	7	7	18	11	21	38	36	36
6	25 - 3,0	(51) 4,0	22 4,3	33 4,4	40 - 5,5	42	42	45	38
8	31 - 4,0	38 5,7	45 6,8	45 7,4	49	49	47	47	47
10	36 - 3,8	45 5,1	49 6,2	51 7,8	51	51	49	51	49
12	22 - 6,7	33 - 8,8	(21) 8,5	(54) 8,4	40 - 9,7	47	49	49	54
- 40									58

Es wurde somit festgestellt, daß die Nadeln nicht schlagartig durchfrieren, sondern dazu um so längere Zeit brauchen, je weniger tief die Temperatur unter die obere Grenze des Gefrierbereiches sinkt. Die Nadeln frieren um so rascher durch, je schneller und tiefer sie sich abkühlen.

Sinkt die Nadeltemperatur von - 4 auf - 8^o, so wird immer mehr Eis gebildet. Die Menge des bei einer bestimmten Kälte innerhalb dieses Bereiches ausfrierenden Wassers erhöht sich auch bei langer Einwirkungsdauer derselben nicht. Bei - 8^o friert etwa die Hälfte des Wassergehaltes aus.

Die Abhängigkeit des Gefrierbereiches von Wassergehalt und osmotischem Wert

Wie schon erwähnt, lag der Gefrierbereich der Nadeln im April höher als im März. Da in dieser Zeit stärkere Änderungen des Wassergehaltes und des osmotischen Wertes in den Nadeln einsetzen (TRANQUILLINI 1957), lag die Vermutung nahe, daß diese Änderungen an der Verlagerung des Gefrierbereiches beteiligt sind.

Um diese Frage experimentell zu klären, wurden einige Zweige in Wasser eingefrischt, andere längere Zeit im Keller ohne Wasserversorgung gelagert. Vor Beginn der Frierversuche hatten die wasserversorgten Nadeln einen Wassergehalt von 128 % Trockengewicht, die trockenen nur 85 %. Beide Proben wurden auf $-8,5^{\circ}\text{C}$ abgekühlt und der maximal mögliche Eisgehalt bestimmt. Er betrug bei den wasserreichen Nadeln 56 bis 58 % des Gesamtwassers (73 % des Nadelrockengewichtes), bei den trockenen hingegen nur 38 bis 47 % (36 % Trockengewicht), also ungefähr um 37 % weniger Eis, bezogen aufs Trockengewicht; das ist fast ebensoviel wie der Wassergehalt durch die Austrocknung abgenommen hatte. Daraus kann geschlossen werden, daß jener Wasseranteil, der durch die Transpiration verlorengeht, voll und ganz ausgefroren ist, d.h.: Eisdefizit und Wasserdefizit decken sich annähernd.

Ein weiterer Versuch sollte klären, ob bei wasserreichen Nadeln das Frieren bei geringerer Kälte einsetzt als bei trockenen (vgl. WALTER und WEISMANN 1936). Diesmal hatten die wasserversorgten Proben einen Wassergehalt von 142 %, einen OW von 16,96 at, die trockenen einen Wassergehalt von 117 %, einen OW von 22,60 at. Die Proben wurden bis -13°C abgekühlt und der Eisgehalt während der Abkühlung beim Durchschreiten verschiedener Temperaturstufen bestimmt (Tabelle 4).

Tabelle 4: Eisgehalt von eingefrischten bzw. trockenen Zirbenzweigen bei verschiedenen Temperaturen. In die Tabelle wurde die Zeit eingetragen, die bis zum Erreichen dieser Temperaturen nötig war.

	-3°	-4°	-4°	-5°	-6°	-7°	-13°
eingefrischt:	80'	90''	170'	260'	300'		9 ^h
OW 17,0 at	0	0	21	36	51		60
trocken:	80'	120'		170'	200'	380'	11 ^h
OW 22,6 at	0	0		7	7	37	53

Es zeigte sich wieder, daß die trockenen Nadeln um den gleichen Betrag weniger Eis bildeten, als der Wassergehalt abgenommen hatte. Bezogen auf das Trockengewicht verhielten sich

Wassergehalt	142 %	117 %	Eisgehalt	85 %	62 %
Differenz	25 %		23 %		

Darüber hinaus geht aus Tabelle 4 eindeutig hervor, daß sich durch die Hydraturänderung auch der Gefrierbereich verschob: Während die eingefrischten Zweige - wie wegen des niedrigen OW zu erwarten war - bereits bei -4°C mit dem Ausfrieren begannen und dieses bei -6°C beendet war, setzte das Frieren bei den trockenen Zweigen erst bei etwa -5° zögernd ein, war bei -7° noch nicht beendet, so daß erst bei -13° (Zwischenstufen fehlen leider) die volle Eisbildung gefunden wurde.

Erhöhung des OW durch Entwässerung setzt den Gefrierbereich deutlich herab, ist also sicher maßgeblich daran beteiligt, daß die Gefrierwerte im März (Tabelle 1) höher sind als im April (Tabelle 3).

Dieses Ergebnis läßt vermuten, daß im Hochwinter, dann, wenn der Wassergehalt passiv extrem niedrige und der OW sowohl passiv als auch aktiv extrem hohe Werte erreicht, der Gefrierbereich noch weiter nach unten verschoben ist. Eine experimentelle Prüfung dieser Vermutung steht noch aus.

B. Auftauversuche

Nachdem der Temperaturbereich festlag, in dem die Nadeln frieren, konnte auch ihr Auftauen untersucht werden. Wir haben daher maximal gefrorene Nadeltriebe in Kühltruhen übertragen, die auf Temperaturen zwischen 0 und -5° vorbereitet waren. Vor der Übertragung wurde der Eisgehalt kontrolliert und nach der Übertragung in bestimmten Zeitabständen gemessen, gleichzeitig wurde die Temperatur der Zweige registriert (Tabelle 5).

Wie die Werte zeigen, begann bereits bei der Erwärmung von -11° auf -5° ein Teil des Eises zu schmelzen, bei -4° nahm der Eisgehalt schon merklich ab, blieb aber dann bei dieser Temperatur praktisch konstant. Bei -2° taute das gesamte Eis ab, wenn diese Temperatur längere Zeit einwirkte. Bei Temperaturen über -2° waren die Nadeln in kurzer Zeit eisfrei.

Die Schmelzwerte im Mai lagen also etwas höher als die Frierwerte im April (-4 bis -6°). Dies könnte, wie schon bei dem Unterschied zwischen den März- und Aprilwerten erwähnt, auf die im Mai sich fortsetzende Verringerung des OW und die Zunahme des Wassergehaltes zurückzuführen sein. Daß diese Erklärung wahrscheinlich ist, geht aus Versuchen hervor, die ergaben, daß die Eiswerte in den Nadeln zwischen -2° und -6° im Mai gleich hoch waren, gleichgültig, ob die Temperatur von oben (Frieren) oder von unten (Auftauen) erreicht wurde.

Aus Tabelle 5 kann ferner entnommen werden, daß das Auftauen selbst bei starken Lufttemperaturänderungen (z. B. von -11° auf 0°) schon deshalb einige Zeit beansprucht ($30'$), weil die Nadeltemperatur sich nicht schneller der Temperatur der Umgebung anpaßt.

Tabelle 5: Eisgehalt von Zirbennadeltrieben bei verschiedenen Temperaturen vor und während der Erwärmung (Kühltruhe I und II) im Mai.

Temp. nach der Abkühlung °C Truhe I	Eiswert	Erwärmung auf °C in Truhe II	Zeit nach Übertragung der Proben in Truhe II								
			15'	30'	45'	60'	75'	90'	105'	12 ^h	
- 11	50	0	31 2,7	0 - 1,3	- 0,9	- 0,7	0,0				
8,5	53	- 2	26 - 4,0	36 3,5	15 - 2,5	8 - 2,4	8 - 2,2	3 - 2,0	7 - 1,9	0 - 1,3	
9,0	53	- 4	38 - 5,0	41 - 5,0	32 - 4,5	34 - 3,8	34 - 3,8	34 - 3,8	34 - 3,8	34 - 4,3	
- 11,0	53	- 5	41 - 5,5	48 - 5,2	48 - 5,0	46 - 5,1	43 - 5,3	—	41 - 5,1	41 - 5,3	

Bei der Übertragung von Zweigproben, die auf $- 8,5^{\circ}$ abgekühlt waren, in Luft von $- 2^{\circ}$ dauerte das Auftauen länger als 2 Stunden.

Zusammenfassung

Nadeln von Zirben der Station Waldgrenze beginnen im März bei $- 5^{\circ}$, im April bei $- 4^{\circ}$, im Mai schon bei $- 2^{\circ}$ zu frieren. Sinkt die Temperatur nicht tiefer, so bildet sich in den Nadeln im Laufe mehrerer Stunden eine bestimmte Eismenge, die bei noch längerer Einwirkung dieser Kälte nicht weiter vermehrt wird. Fällt die Temperatur weiter, setzt neue Eisbildung ein, und zwar nicht plötzlich, sondern in mehreren Schüben (Ausfrieren verschiedener Zellgruppen auf Grund unterschiedlicher Zellgröße oder Zellsaftkonzentration, HOLZER 1958). Bei $- 8^{\circ}$ (März) bzw. $- 6^{\circ}$ (Mai) sind rund 50 % der Gesamtwassers gefroren. Weitere Temperatursenkung (geprüft bis $- 45^{\circ}$) sowie längere Dauer der Kälte erhöhen den Eisgehalt nicht mehr wesentlich. Auch das Auftauen erfolgt nicht schlagartig, sondern benötigt längere Zeit. Es spielt sich im selben Temperaturbereich ab, innerhalb dessen die Nadeln frieren. Bleibt bei der Erwärmung die Temperatur in diesem Auftaubereich stehen, so schmilzt nur

ein Teil des gefrorenen Wassers, und zwar um so mehr, je mehr sich die erreichte Temperatur dem Gefrierpunkt der Nadeln nähert.

Mit zunehmender Austrocknung der Nadeln verringert sich die maximal mögliche Eismenge, da jener Anteil des Totalwassers, der nicht friert, gleichbleibt. Daher sind Eis- und Wasserdefizit (auf das Trockengewicht bezogen) annähernd gleich groß. Außerdem wird bei stärkerem Wasserverlust und Anstieg des OW der Gefrierbereich beträchtlich erniedrigt, wodurch sich seine saisonbedingte Verschiebung ergibt. Es wäre daher möglich, daß dieser im Hochwinter noch etwas tiefer liegt.

Die Vermutung, daß die Nadeln bis zum Temperaturminimum ihrer Assimilation, das knapp unter -4° liegt (PISEK und REHNER 1958), eisfrei sind, hat sich durch die Versuche bestätigt. Sosehr die Assimilation durch beginnende Eisbildung in den Nadeln beeinträchtigt zu werden scheint, sowenig vermag diese zunächst die Atmung stillzulegen. Erst wenn die Hälfte des Wassers ausgefroren ist, dürfte auch die Atmung eingestellt werden. Doch bleibt erst zu prüfen, ob zwischen dem Temperaturminimum der Atmung und dem Frieren ein ursächlicher Zusammenhang besteht.

Am natürlichen Standort ist im Winter durch die Gefrierpunktserniedrigung die Eisbildung in Zirbennadeln, solange nicht strenge Kälte herrscht, hinausgeschoben, die Zeit, während der Assimilation möglich ist, verlängert, und der wahrscheinlich schädliche Frostwechsel tritt seltener auf, als wenn der Gefrierpunkt bei 0° C liegen würde (vgl. Seite 142 ff). Aber an kalten, strahlungsreichen Tagen können die Nadeln ihren Gefrierbereich auf und ab rasch durchschreiten und dann auch in kurzer Zeit frieren und auftauen, so daß am Standort festgestellte "Strahlungsschäden" durchaus auch auf diese Vorgänge zurückführbar scheinen (HOLZER 1959).

Literatur

- ASAHINA E. 1956: The freezing process of plant cell. Contributions from the Institute of Low Temperature Science 10, 83 126
- HOLZER K. 1958: Die winterlichen Veränderungen der Assimilationszellen von Zirbe (*Pinus Cembra*) und Fichte (*Picea excelsa*) an der alpinen Waldgrenze. Österr. Bot. Z. 105, 323 346
- HOLZER K. 1959: Winterliche Schäden an Zirben nahe der alpinen Baumgrenze. Centralbl. f. d. ges. Forstw. 76, 232 244
- ILJIN W.S. 1934: The point of death of plants at low temperatures. Bull. Assoc. russe Rech. Sci., Prague 1, 1 26
- KESSLER W. und RUHLAND W. 1938: Weitere Untersuchungen über die inneren Ursachen der Kälteresistenz. *Planta* 28, 159
- LEVITT J. 1956: The hardiness of plants. *Agronomy Bd. 6*. New York: Academic Press Inc. Publ.
- MODLIBOWSKA I. und ROGERS W.S. 1955: Freezing of plant tissues under the microscope. *Journ. of Exp. Bot.* 6, 384 - 391
- MOLISCH H. 1897: Untersuchungen über das Erfrieren der Pflanzen. Gustav Fischer, Jena
- PISEK A. und REHNER G. 1958: Temperaturminima der Nettoassimilation von mediterranen und nordisch-alpinen Immergrünen. *Ber. Dtsch. Bot. Ges.* 71, 188 - 193
- TRANQUILLINI W. 1957: Standortsklima, Wasserbilanz und CO₂-Gaswechsel junger Zirben (*Pinus Cembra* L.) an der alpinen Waldgrenze. *Planta* 49, 612 - 661
- TRANQUILLINI W. und HOLZER K. 1958: Über das Gefrieren und Auftauen von Coniferennadeln. *Ber. dtsh. bot. Ges.* 71, 143 156
- ULLRICH H. und MÄDE A. 1938: Studien über die Ursachen der Frostresistenz. I. Untersuchungen des Temperatúraustausches an Riziniusblättern durch Messung von Oberflächentemperaturen. *Planta* 28, 344 351
- WALTER H. und WEISMANN O. 1936: Über die Gefrierpunkte und osmotischen Werte lebender und toter Pflanzenzellen. *Jahrb. wiss. Bot.* 82, 273 310
- WALTER H. 1950: Grundlagen des Pflanzenlebens. 3. Aufl. Stuttgart: Ulmer

6. Über die Schneeschütte-Krankheit (*Phacidium infestans* Karst.) der Zirbe (*Pinus cembra* L.) und einige Begleitpilze

von E. Donaubauer

Inhalt	Seite
Einleitung	577
I. Standort und Material	577
II. <i>Phacidium infestans</i> Karst.	
A. Die Krankheitserscheinungen auf der Zirbe	578
B. Die Infektion . . .	581
1. Infektion durch Sporen	581
2. Infektion durch Mycel	582
C. Die Fruktifikationsorgane	582
III. <i>Dasyscypha flavovirens</i> Bres.	585
IV. <i>Herpotrichia juniperi</i> (Duby) Petr. (= <i>H. nigra</i> Htg.)	588
V. <i>Lophodermium pinastri</i> (Schrad.) Chev.	589
VI. Standort und Pilzbefall	
A. Die Ansprüche der Pilze	590
B. Die Umweltbedingungen unter Schnee	591
C. Schneeschüttelebefall und Bodenvegetation	592
VII. Vorbeugungsmaßnahmen	
A. Vorbeugung durch Fungizidanwendung	595
B. Bevorzugung der Flächen mit geringer Schneebe- deckung	595
C. Hygiene und mechanische Bekämpfung ("Gesund- schneiden")	596
D. Pflanzenmaterial und Pflanzenabstand .	596
E. Starthilfen .	596
F. Zur Düngungsfrage	597
Zusammenfassung	598
Literatur	598

Einleitung

Unter dem Eindruck großer Schäden durch Wildbäche und Lawinen gewann im Verlaufe der letzten Jahre das Problem der Hochlagenaufforstung in der forstlichen Praxis und Forschung Österreichs zunehmend an Bedeutung (HAMPEL 1954, AULITZKY 1955 u. a.). Die zu bewältigenden Aufgaben und Probleme sind mannigfaltig und ineinander verflochten. So hat man u. a. bisher aus der Beobachtung von Zirben-Naturverjüngungen mit Betrübnis feststellen müssen, daß der Erfolg einer Hochlagenaufforstung noch Jahre nach dem geglückten Anwachsen der Pflanzen durch eine Pilzkrankheit gefährdet und in Frage gestellt werden kann. (Vgl. BAZZIGHER 1956, DONAUBAUER 1961, MORIONDO 1957 und 1958). In vorliegender Arbeit soll nun über einen Teil der bisherigen Untersuchungen auf dem Gebiet der Pilzkrankheiten berichtet und über die Schlüsse daraus diskutiert werden.

I. Standort und Material

Die Untersuchungen und Beobachtungen, die diesem Bericht zu Grunde liegen, wurden im Stationsgebiet Obergurgl (genaue Beschreibung siehe Teil I, Seite 53 - 65) und im Gebiet des Zirbitzkogels/Steiermark vor allem an den Hängen um den oberen und unteren Winterleithen-See (s. a. DONAUBAUER 1961) durchgeführt. Beide Standorte wurden in den letzten fünf Jahren oftmals und zu verschiedenen Jahreszeiten besucht. Krankes Zirbenmaterial wurde überdies aus dem Lungau/Salzburg, aus dem Defereggental/Osttirol und vom Dachstein untersucht.

Die Beobachtungen über den Krankheitsverlauf wurden ausschließlich in natürlichen Verjüngungen verschiedenen Alters gemacht. Um die gleiche Pflanze durch Jahre hindurch genau auf ihren Gesundheitszustand bzw. auf den Fortschritt der Krankheit untersuchen und vergleichen zu können, wurden rund 600 Zirben auf verschiedenen Standorten markiert und jährlich kontrolliert.

II. *Phacidium infestans* Karst.

A. Die Krankheitserscheinungen auf der Zirbe

Nach der Schneeschmelze weisen befallene Nadeln eine fahle Verfärbung auf. Bald geht die Nadelfarbe in ein kräftiges Braunrot über. Etwa im August beginnen schließlich die Nadeln immer mehr auszubleichen, sodaß vor dem neuerlichen Einschneien eine hellgraue Tönung vorhanden ist. Die meisten toten Nadeln bleiben an den Trieben und fallen auch im folgenden Sommer erst zögernd ab. Der Ausdruck Schnee-"Schütte" (snow bligth, snöjskytte) ist daher nicht sehr glücklich gewählt hat sich nun aber einmal eingebürgert.

Das Ausbleichen dürfte spezifisch als Folge von Pilzbefall und nicht beispielsweise durch Sonneneinwirkung allein eintreten, denn die Nadeln von anderweitig geschädigten Trieben behalten selbst nach ihrem Abfall eine rotbraune Färbung.

Während bei kleinen Pflanzen (bis etwa 15 cm) oft die gesamte Nadelmasse befallen ist, bleibt der Schaden bei größeren Pflanzen zumindestens im ersten Jahr auf die unteren Äste und Zweige beschränkt. In den meisten Fällen reicht der Befall auf einer Seite der Pflanze relativ hoch hinauf und ist auf der gegenüberliegenden Seite nur auf den untersten Zweigen oder überhaupt nicht festzustellen. Diese Erscheinung hängt kausal mit der Windrichtung und der leeseitigen Schneeablagerung zusammen (Abb. 146). Die Stärke des Befalles hängt also nicht, wie PETRAK 1955 angibt, von der Exposition ab, sondern von der windrichtungsbedingten, vermehrten Schneeablagerung auf der Leeseite der Pflanze. (Siehe auch weiter unten).

Bisweilen ist im Gelände eine Pflanze zu finden, die nur einen erkrankten Zweig mitten unter grünen aufweist. Wie an markierten Pflanzen beobachtet werden konnte, breitet sich die Krankheit in den folgenden Jahren von diesem Zweig in die Umgebung aus, sodaß sich dann das oben beschriebene Schädigungsbild ergibt. Es handelt sich daher bei einem solchen Befall eines einzigen Zweiges wahrscheinlich um eine Erstinfektion.

Im Stationsbereich Obergurgl war eine Regeneration aus Adventivknospen unterhalb des geschädigten Triebes nur äußerst selten zu beobachten. Im Untersuchungsgebiet Zirbitzkogel stellt das Austreiben von Ersatztrieben eine nicht selten zu beobachtende Erscheinung dar. Es ist dort weiters mitunter zu sehen, daß die Krankheit im ersten Befallswinter lediglich auf die Nadeln beschränkt ist und der Trieb unversehrt bleibt. Im Frühjahr treibt

dann die Terminalknospe normal aus. Dieser gemilderte Verlauf der Erkrankung läßt auf eine kürzere Zeitspanne der günstigen Infektions- und Ausbreitungsbedingungen in der Pflanze schließen (kürzere Ausaperungszeit?).

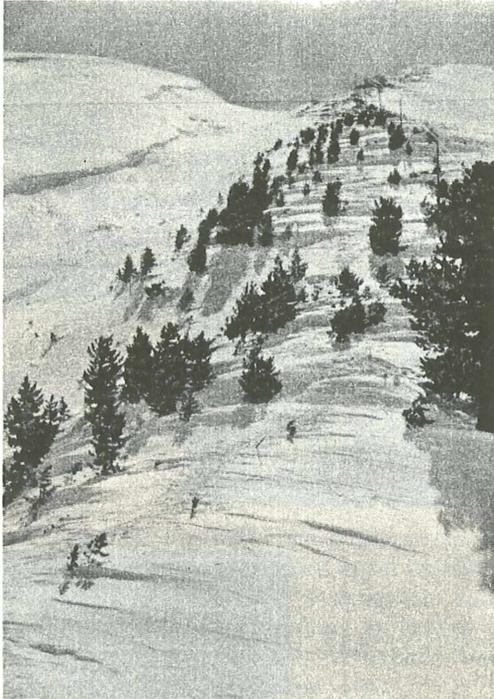


Abb. 146: Wächtenbildungen leeseits von Jungzirben oberhalb der Waldgrenze bei Obergurgl (Detail siehe Abb. 70, Teil I, Seite 228). Auf der windabgekehrten Seite der Zirben reicht der Schneeschütte-Befall höher hinauf als auf der Luvseite

Kleine Pflanzen (ohne nennenswerte Seitenverzweigungen) fallen meist bereits einem erstmaligen Befall zum Opfer. Im Untersuchungsgebiet Zirbitzkogel ist allerdings des öfteren auch bei so kleinen Pflanzen ein Wiederaustreiben zu beobachten. Die Pflanze geht aber noch während des Sommers oder spätestens während des folgenden Winters ein. Größere Pflanzen sterben im allgemeinen erst nach mehrjähriger fortschreitender Krankheit ab (Abb. 147). Nicht selten vermag die Pflanze besonders, wenn sie durch einige schneeärmere Winter begünstigt wird mittlerweile der Gefahrenzone zu entwachsen (Abb. 148). In jedem Fall der Erkrankung einer jungen Zirbe wirkt sich der Verlust an Assimilationsmasse als erheblicher, wachstumshemmender Faktor aus.

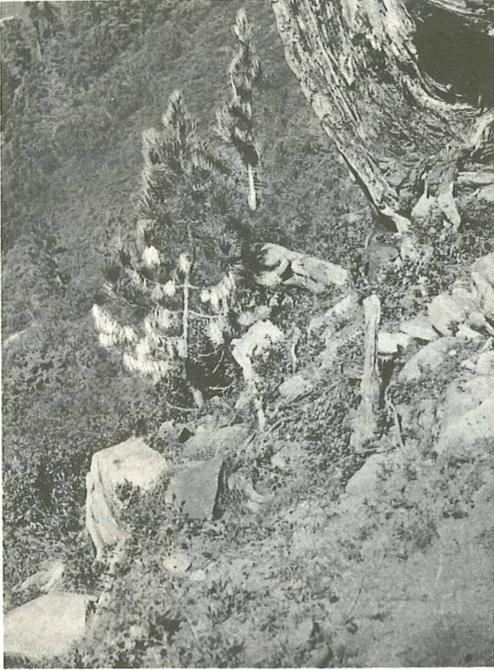


Abb. 147:

Von *Phacidium infestans* befallene Jungzirbe im Lärchen-Zirbenwald bei Obergurgl (2000 m ü. d. M.). Die abgestorbenen Nadeln bekommen die charakteristische hellgraue Tönung und bleiben meist länger als ein Jahr an den Trieben hängen

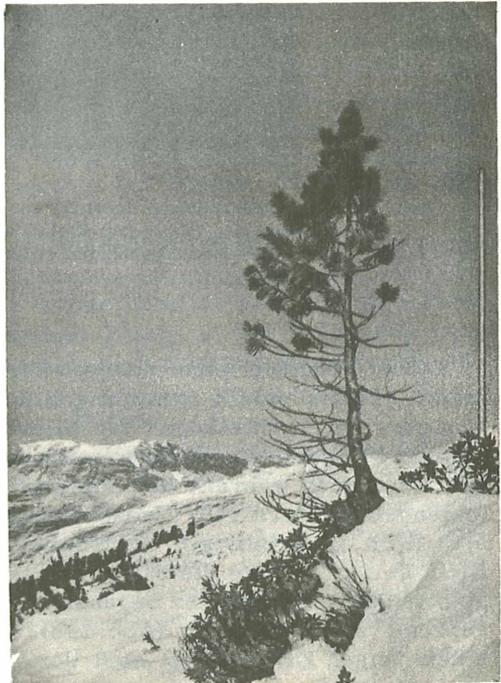


Abb. 148:

Von *Phacidium infestans* befallene Jungzirbe (Angerer Alpe, 2100 m, oberhalb Untergurgl). Die Pflanze ist der gefährlichen Zone entwachsen; in den unteren zwei Dritteln sind alle Zweige durch *Phacidium infestans* getötet

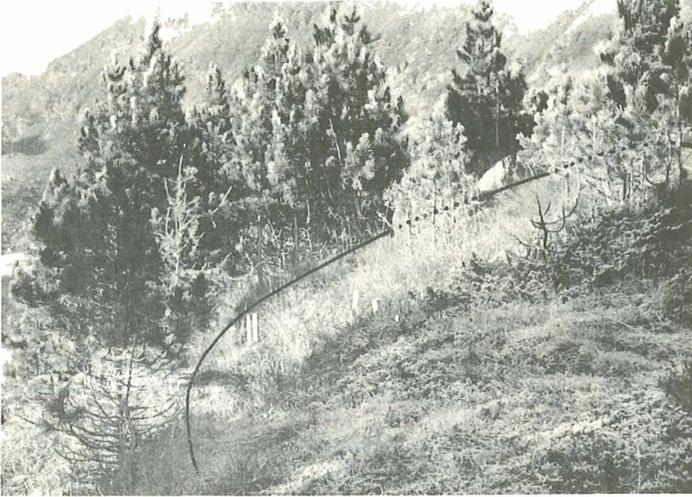


Abb. 149: Zirbenjungwuchs aus natürlicher Verjüngung im Zirbitzkogel-Gebiet (Oberer Winterleithen-See 1900 m). Kleine Pflanzen sind infolge vermehrter Schneeablagerung und verzögerter Ausaperung in einer Kleinlichtung (Schneeloch) vom Schneeschütte-Tod bedroht (vgl. Abb.155). Gefährdete Fläche schwarz umgrenzt

Phacidium infestans ist auf manchen Flächen in der Lage, über lange Zeitperioden jegliches Aufkommen einer Zirbenjungend zu verhindern. Daß auch auf ungünstigen Standorten manchmal in beschränktem Ausmaß eine Naturverjüngung zu finden ist, kann soweit es auf den Pilz ankommt zwei Ursachen haben:

- 1) Jahreslanges Fehlen einer Infektion oder
- 2) eine längere, schneeärmere Periode in diesem Gebiet.

B. Die Infektion

Die Infektion einer gesunden Pflanze kann auf zweierlei Art stattfinden: 1) durch Sporen, 2) durch das Mycel.

1. Infektion durch Sporen

Die Erstinfektion auf weitere Entfernung findet zumeist durch Sporen statt. Die Verbreitung durch Sporen genießt zumindestens innerhalb eines Jahres eine relativ geringe Bedeutung. Auf frisch befallenen Nadeln kommen nur höchst selten Fruchtkörper zur vol-

len Reife bevor die befallenen Pflanzenteile neuerlich unter der winterlichen Schneedecke verschwinden. Unter dem Einfluß der mikroklimatischen Verhältnisse "wachsen" die Fruchtkörper bereits unter Schnee "aus" (vergl. BJÖRKMAN 1948), sodaß nur eine geringe Anzahl von Fruchtkörpern die Möglichkeit besitzt, während der nächsten schneefreien Periode nachzureifen und die Sporen zu entleeren. Es war interessant zu beobachten, daß die Erstinfektion meist auf der gegenüberliegenden Seite der späteren stärksten Ausbreitung (Leeseite) zu finden war.

Manchmal wurde beobachtet, daß Pflanzen im Rhododendretum ferruginei befallsfrei blieben, obwohl sie auf Grund der Schneebedeckungsverhältnisse dort als höchst gefährdet zu bezeichnen wären. Die nächsten befallenen Pflanzen befanden sich erst in ca. 20 30 m Entfernung. Brachte man nun infiziertes Zweigmaterial nur in die Nähe (etwa 1 m entfernt) solcher Zirben, so war im darauffolgenden Winter ein äußerst heftiger Pilzangriff die Folge.

Aus dieser Beobachtung darf man schließen, daß bereits auf die relativ geringe Distanz von 20 30 m eine natürliche Infektion durch Sporen bereits recht selten ist. Außerdem weist diese Beobachtung auf die weitgehende Wirksamkeit mechanischer Bekämpfungsmaßnahmen hin.

2. Infektion durch Mycel

Von alten Befallsstellen aus wächst das Mycel von Phacidium infestans unter Schnee (bei hoher Luftfeuchtigkeit!) oberflächlich weiter und infiziert benachbarte Teile der gleichen oder einer nahen Pflanze. Besonders in den seit langem verseuchten, dichteren Naturverjüngungen spielt diese Art der Infektion eine sehr große Rolle. Eine derart üppige Ausbildung von Luftmycel, wie sie auf Abbildungen bei BJÖRKMAN (1948) zu sehen ist, konnte bisher allerdings nirgends beobachtet werden.

Durch stärkere Luftbewegungen kommt es bis zu einem gewissen Grad auch zu einem Transport befallener toter Nadeln, aus denen dann unter entsprechenden Umweltverhältnissen das Mycel auswächst und zu Neuinfektionen führen kann.

C. Die Fruktifikationsorgane

Im Verlauf des Sommers erscheinen die entstehenden Apothecien als dunkelgrau-schwarze Punkte unter der Nadelepidermis.

Allmählich wölben sich diese dann vor. Während der Fruchtkörperreife zerreißt die Nadelepidermis in meist 4–5 Lappen und läßt die hellgefärbte Fruchtschicht erkennen (Abb. 150).

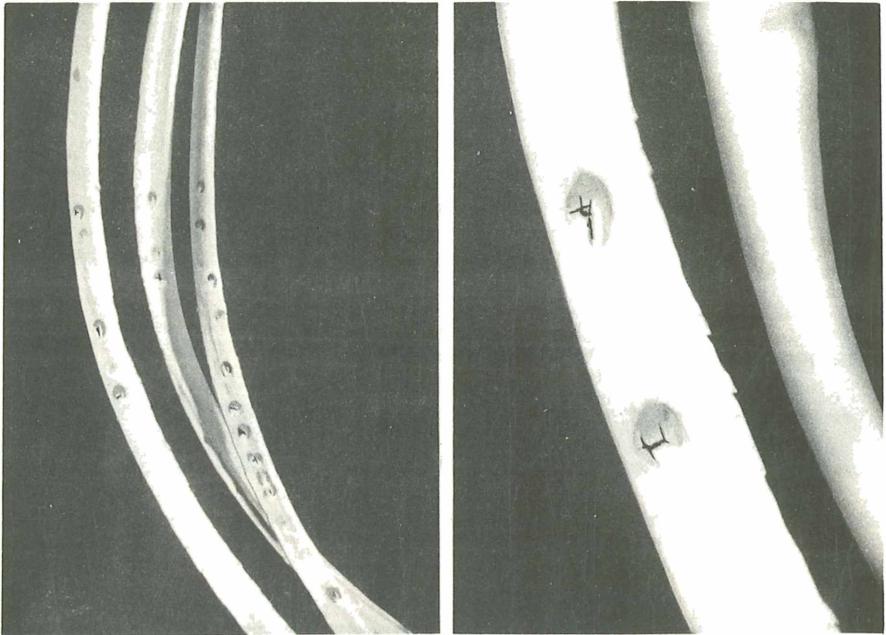


Abb. 150: Durch die Nadelepidermis brechende Fruchtkörper von *Phacidium infestans*

Ausführliche Beschreibungen über den mikroskopischen Bau des Fruchtkörpers findet man bei TERRIER (1942) und MORIONDO (1958). TERRIER hat auf Grund einiger von ihm beobachteter morphologischer Unterschiede das *Phacidium* auf *Pinus cembra* in den Alpen als eigene Art (*Phacidium pini-cembrae* (Rehm) Terrier) betrachtet und stellte fest, daß sich beide Arten leicht nach der Länge der Asci unterscheiden ließen:

Asci schlank, 130–160 μ lang, auf *Pinus*: *Phacidium infestans*,

Asci gedrungen, 85–115 μ lang, auf *Pinus cembra*: *Phacidium pini-cembrae*.

LAGERBERG (1912) hat Schlauchlängen von 98–105 μ gemessen und hätte demnach nicht *Phacidium infestans*, sondern *Phacidium pini-cembrae* (auf Material aus Schweden!) vor sich gehabt.

PETRAK (1955) untersuchte *Phacidium* auf Zirbe und fand bei 2-4-sporigen Asci Schlauchlängen zwischen 60 und 80 μ und bei 8-sporigen Längen zwischen 80 und 130 μ (vereinzelt bis 150 μ). PETRAK (1956) stellt fest, daß er keine morphologischen Anhaltspunkte für TERRIERs Artentrennung gefunden hat.

MORIONDO (1958) gibt für das von ihm untersuchte, ausschließlich 8-sporige Material von *Pinus cembra* Schlauchlängen von 90–140 μ an und schreibt: "... wäre es gewagt, einen scharfen Unterschied zwischen *Phacidium pini-cembrae* (Rehm) Terrier und *Phacidium infestans* Karst. aufzustellen, da beide Arten morphologisch zu ähnlich sind." Trotzdem behält er TERRIERs Benennung bei.

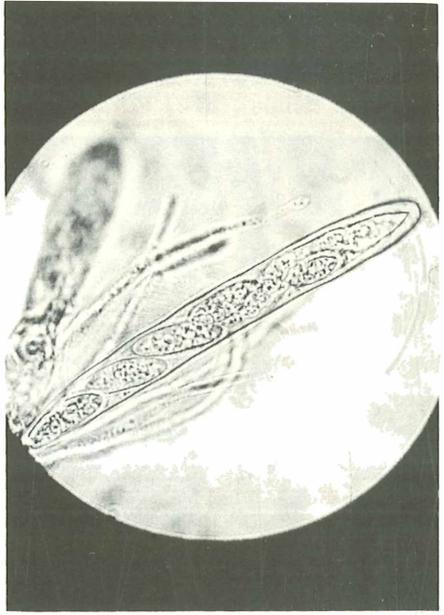
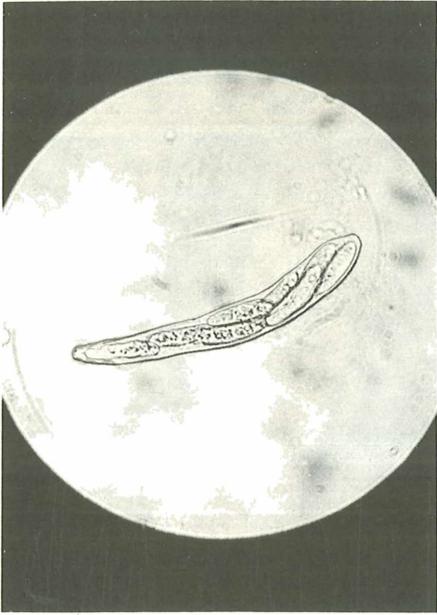


Abb. 151: *Phacidium infestans*: Ascus mit 8 Sporen (Vergrößerung links ca. 370-fach, rechts ca. 500-fach)

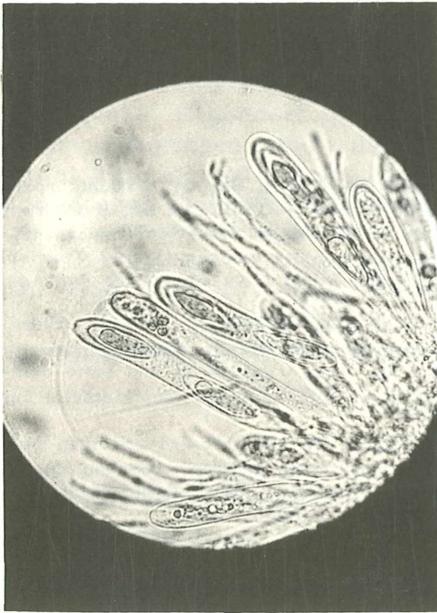


Abb. 152: *Phacidium infestans*: Schlauch mit 2 Sporen (Vergrößerung ca. 370-fach)

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden zahlreiche Schlauchlängenmessungen an Zirbenmaterial verschiedener Gegenden Österreichs vorgenommen und folgende Werte gefunden:

2-sporige Asci: 64,4 104,0 μ lang
4-sporige Asci: 89,6 108,0 μ lang
8-sporige Asci: 73,0 145,5 μ lang.

Am häufigsten wurden 8-sporige Schläuche gefunden (Abb. 151), es folgen dann mit bedeutendem Abstand die 2-sporigen (Abb. 152) und in sehr beschränkter Anzahl 4-sporige.

Aus dem Vergleich der oben genannten Größen und da auch in den übrigen morphologischen Merkmalen kein hinreichend signifikanter Unterschied zu finden war, ergibt sich, daß die Unterscheidung von zwei verschiedenen *Phacidium*-Arten (nach TERRIER) nicht aufrecht zu halten ist. (Vgl. Tab. 1 - 3).

Zur Unterstützung seiner Artentrennung führt TERRIER weiters Unterschiede der biologischen Gegebenheiten an: Er konnte '*Phacidium pini-cembrae*' niemals auf einer anderen Konifere als *Pinus cembra* beobachten. Auch uns ist es bisher nicht gelungen, einen Befall auf anderen Koniferen zu finden. Hierzu muß man allerdings bemerken, daß der skandinavische Hauptwirt, *Pinus silvestris*, bisher noch nie auf einem annähernd mit jenem von *Pinus cembra* vergleichbaren Standort (Höhenlage!) untersucht werden konnte. *Pinus mugo* ist mitunter in der Nachbarschaft von Zirben anzutreffen, allerdings auf solchen Standorten, auf denen auch die Zirbe kaum oder nur selten unter starkem *Phacidium*-Befall zu leiden hat. Die Fichte ist auf den bisher untersuchten Standorten wohl in einigen wenigen, stark kümmernden Exemplaren in unmittelbarer Nachbarschaft kranker Zirben vorhanden, doch konnte noch kein *Phacidium*-Befall nachgewiesen werden. Dies berichtet auch MORIONDO 1958.

Soweit bisher feststeht, sind die Lebensweise und die Art der Schädigung des Pilzes im Alpenraum von jenen von LAGERBERG (1912) und besonders BJÖRKMAN (1948) beschriebenen nicht verschieden. Ob eventuell kleine Unterschiede z. B. in den Feuchtigkeits- und Temperaturansprüchen vorhanden sind, die eine Annahme einer eigenen alpinen Rasse rechtfertigen, müssen erst Versuche klären. Theoretisch müßte die Entstehung einer Rasse durch die gewiß Jahrtausende währende geographische Isolation begünstigt worden sein.

III. *Dasyscypha flavovirens* Bres.

Auf abgestorbenen Zweigen oder Stämmchen junger Zirben sind sehr häufig die Fruchtkörper eines Discomyceten zu finden. Bei trockenem Wetter (Substrat) sind die Fruchtscheiben des Pilzes eingerollt und von unscheinbarer brauner Färbung. Bei genügend hoher Feuchtigkeit wird die dottergelbe (mit fortschreitendem Alter immer heller werdende) Fruchtscheibe sichtbar. Die Apothecien sind mit einem meist 0,5 - 1 mm langen Stiel versehen. Die Dicke des Stieles beträgt 0,25 - 0,35 mm. Der Durchmesser der Scheibe schwankt meistens zwischen 2 und 3 mm (seltener bis 4 mm). Außen, besonders am Rand, sind die Apothecien dicht mit einfachen, septierten, geraden, oben stumpf abgerundeten, braunen

Tabelle 1: Vergleich der Ascii- und Sporendimensionen von *Phacidium infestans* Karst. nach den Angaben verschiedener Autoren. (Angaben in μ).

Autor	Schläuche				Sporen				Anmerkungen
	Länge		Dicke		Länge		Dicke		
LAGERBERG 1912	98	105	13	15	16	23	6	8	Ph. infestans
TERRIER 1942	130	160	13	17	11,4 (17,78)	28,6	4,3 (5,55)	8,6	Ph. infestans
TERRIER 1942	85	115	8	12	15,7 (23,2)	31,4	4,3 (7,2)	10,0	Ph. pini-cembrae
PETRAK 1955	60	80	11	14	28-36 (-43)		6	10	Ph. infestans (2-4-spor. Ascii)
PETRAK 1955	80-130 (-150)		12	18	15	26	5-7,5 (10)		Ph. infestans (8-spor. Ascii)
MORIONDO 1958	90	140	10	18	15,1 (21,2)	28,5	4,1 (6,85)	8,6	Ph. pini-cembrae (8-sporig)
DONAUBAUER	64,4 (85,3)	104	9,8 - 12,6 (11,6)		16,8 (28,4)	36,4	5,6 (10,0)	14,0	Ph. infestans (2-spor. Ascii)
DONAUBAUER	89,6 (99,0)	108,0	9,8 12,6 (11,4)		15,4 (19,0)	22,4	4,2 (6,8)	9,2	Ph. infestans (4-spor. Ascii)
DONAUBAUER	73,0 (109,7)	145,5	9,8 21,1 (14,1)		14,0 (15,6)	33,6	4,2 (6,8)	11,2	Ph. infestans (8-spor. Ascii)

Tabelle 2: *Phacidium infestans* (8-sporige Ascii). Frequenz der Dimensionen in Prozenten. Die Angaben über die Schlauchdimensionen beruhen auf 104 Messungen, jene über Sporendimensionen auf 202 Messungen.

Schlauchlänge μ	-75	-80	-85	-90	-95	-100	-105	-110	-115	-120	-125	-130	-135	-140	-145	-150
Frequenz %	1	0	5	4	4	3	21	11	21	7	9	7	0	5	1	1
Schlauchbreite μ	-10	-12	-14	-16	-18	-20	-22									
Frequenz %	2	14	49	14	16	4	1									
Sporenlänge μ	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-21	-22	-23	-24	-25	-26	-27	-28	-30
Frequenz %	5	0	5	13	0	6	28	7	0	16	7	0	7	2	3	0
Sporenbreite μ	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11	-12	Sporenlänge μ				-31	-32	-33	-34
Frequenz %	4	33	31	11	16	4	0	1	Frequenz %				0	0	0	1

Tabelle 3: *Phacidium infestans* (2-sporige Ascii). Frequenz der Dimensionen in Prozenten. Die Angaben über die Schlauchdimensionen beruhen auf 100 Messungen, jene über Sporendimensionen auf 233 Messungen.

Schlauchlänge μ	-65	-70	-75	-80	-85	-90	-95	-100	-105									
Frequenz %	1	11	10	8	25	8	18	12	7									
Schlauchbreite μ	-10	-12	-14															
Frequenz %	8	56	36															
Sporenlänge μ	-17	-18	-19	-20	-21	-22	-23	-24	-25	-26	-27	-28	-29	-30	-31	-32		
Frequenz %	4	1	0	1	1	0	7	4	0	17	3	21	5	1	18	0		
Sporenbreite μ	-6	-7	-8	-9	-10	-11	-12	-13	-14	Sporenlänge μ				-33	-34	-35	-36	-37
Frequenz %	2	17	19	30	24	3	4	0	1	Frequenz %				3	10	1	0	3

Haaren besetzt, die eine feinpunktierte, rauhe Oberfläche haben. (Die kleinen Wärzchen stellen bis etwa 1μ hohe Erhebungen dar). Die Dicke der Haare beträgt $4,1 - 6,1\mu$ (seltener etwa bis 8μ).

Die keulig-zylindrisch, oben breit abgerundeten Schläuche weisen eine durchschnittliche Länge von $70,2\mu$ (Mittel aus 208 Messungen; Extreme: $53,2\mu - 84,0\mu$) und eine Dicke von durchschnittlich $6,2\mu$ (Extreme $4,2\mu - 8,7\mu$) auf (Tabelle 4). In den Schläuchen befanden sich durchwegs 8 Sporen mit folgenden Dimensionen: $11,4\mu$ lang (Mittel aus 208 Messungen; Extreme: $6,2 - 19,9\mu$) und $4,7\mu$ breit (Extreme: $3,6 - 6,1\mu$) (Tabelle 4). Die Sporen sind einzellig, ellipsoidisch bis länglich eiförmig, hyalin mit feinkörnigem Plasma (nur bei voller Reife; früher mitunter auch vereinzelt gröbere Körnung). Die zahlreich vorhandenen Paraphysen sind fädig, einfach, selten gabelig geteilt, meist $2 - 2,5\mu$ breit (seltener $3 - 3,5\mu$), gelbbraunliche Öltröpfchen enthaltend und überragen die Asci ca. $10 - 13\mu$.

Tabelle 4: Frequenz der Dimensionen in Prozenten. *Dasyscypha flavovirens* Bres.

Schlauchlänge μ	-55	-60	-65	-70	-80	-85											
Frequenz %	6		13	18	18	35	5										
Schlauchbreite μ	-4	-6	-8	-10													
Frequenz %	1	52	37	10													
Sporenlänge μ	-6	-7	-8	-9	-10	-11	-12	-13	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-20		
Frequenz %	1	4	1	22	14	6	16		12			3	1	1	1		
Sporenbreite μ	-3	-4	-5	-6	-7												
Frequenz %	1	25	46	25	3												

Diese Ergebnisse decken sich im wesentlichen mit jenen, die PETRAK (1955) bei der Untersuchung von Zirbenmaterial aus Obergurgl und Salzburg gefunden hat und auf Grund welcher er die Einordnung als *Dasyscypha flavovirens* Bres. vorgenommen hat.

Die Frage nach dem Grad des Parasitismus dieses Pilzes auf der Zirbe wäre von großer Wichtigkeit. Es handelt sich zweifellos um einen sogenannten Schwächeparasiten, doch wäre es für die notwendigen Rückschlüsse auf Vorbeugung und Bekämpfung interessant, die näheren Umstände zu kennen, unter denen es zu einem Befall kommt. Eine endgültige Klärung können erst Infektionsversuche bringen, doch mögen die gemachten Beobachtungen einige Hinweise geben.

Die größte Anzahl von Apothezien läßt sich auf der Rinde des Stämmchens finden, wo es häufig in der Gegend der Astquirreln zu dichteren Ansammlungen kommt. Diese Beobachtung konnte ich allerdings nur auf (meist durch *Phacidium infestans*) total abge-

storbenem, sowohl stehenden als auch am Boden liegenden Material machen.

Nicht viel weniger häufig sind die Apothezien von *Dasyscypha flavovirens* auf der Rinde von ein- bis mehrjährigen Zweigen zu finden, wobei sie vor allem auf dem 1-2-jährigen Trieb öfter vorzukommen scheinen.

Die Fruchtkörper lassen sich nicht nur auf vollkommen abgestorbenen Trieben beobachten, sondern wir konnten sie vielmehr auch des öfteren auf solchen bemerken, die wohl durch *Phacidium infestans* schwer geschädigt waren, aber immer noch mehr oder weniger zahlreiche gesund erscheinende Nadeln aufwiesen. In diesem Fall kann man gewiß nicht mehr von einem Saprophytismus sprechen.

Schließlich sind die Apothezien von *Dasyscypha flavovirens* noch auf abgestorbenen Nadeln anzutreffen. Dieser Fall ist aber gemessen an den oben angeführten Fällen einigermaßen selten.

Es ist hervorzuheben, daß der Pilz offenbar die gleichen Umweltverhältnisse wie *Phacidium infestans* für seine Entwicklung gut nützen kann. Die Fruchtkörper sind nämlich durchwegs nur so hoch an der Pflanze zu finden, wie der Angriff von *Phacidium infestans* reicht.

Im Gegensatz zu *Phacidium infestans* reifen die Fruchtkörper aber bereits kurz nach dem Ausapern und während der ganzen schneefreien Zeit wachsen immer noch neue nach.

Dasyscypha flavovirens ist nach den bisherigen Beobachtungen als Folgeschädling nach *Phacidium*-Befall festzustellen. Die Frage, ob ein primärer Befall möglich ist und für den befallenen Teil tödliche Folgen nach sich zieht, muß vorderhand noch unbeantwortet bleiben (manche Anzeichen sprechen dafür). Es scheint aber zumindestens so zu sein, daß der sekundäre Befall (nach *Phacidium*) zu einer Verstärkung des Schadens an der Pflanze führt.

IV. *Herpotrichia juniperi* (Duby) Petr. (= *H. nigra* Htg.)

Der Schwarze Schneeschimmel (*Herpotrichia juniperi*) gedeiht in der ganzen subalpinen Stufe unter denselben Umweltverhältnissen wie *Phacidium infestans*. Das schwarz-braune Mycel (unter Schnee und knapp nach dem Ausapern grau) umwuchert in erster Linie die Nadeln und Triebe des Zwergwacholders (*Juniperus sibirica* Lodd.). Die Zirbe erweist sich sogar im Rhododendretum *ferruginei* als hoch resistent. Wir trafen den Pilz auf Zirbe nur dann an, wenn mechanisch stark geschädigte oder überhaupt losgetrennte Zweige vom Schnee an den Boden platt angedrückt worden waren. Ein Be-

fall von jungen, kaum aus der Bodenvegetation ragenden Pflänzchen konnte nie beobachtet werden.

Völlig anders ist die Situation bei der Fichte und bei den Legföhren. Diese werden von *Herpotrichia juniperi* auf allen jenen Hochlagenstandorten stark angegriffen, die ungünstige Schneeverhältnisse (analog wie bei *Phacidium*) aufweisen. Der Schwarze Schneeschimmel besitzt ein etwas weiteres Verbreitungsareal als *Phacidium infestans*, das auf subalpinen Standorten etwa die gleiche geographische Verbreitung hat wie die Zirbe; *Herpotrichia* steigt etwas tiefer herab und hat z. B. noch in einer Seehöhe von rund 1000 m erhebliche Schäden an Fichte verursacht.

Da in der Natur fast nie Fruchtkörper des Pilzes zu finden sind, ist anzunehmen, daß die Verbreitung hauptsächlich durch das Mycel erfolgt.

Für die Bekämpfung und Vorbeugung gilt im allgemeinen, was bei *Phacidium* angeführt wird (Abschn. VII). Es ist jedoch die Einschränkung zu machen, daß die mechanische Säuberung einer Fläche von infiziertem Material (besonders Entfernen der Wacholderbüsche) wesentlich weniger Aussicht auf Erfolg hat, da das Pilzmycel auch an den Pflanzen der Bodenvegetation vorhanden ist.

V. *Lophodermium pinastri* (Schrad.) Chev.

Dieser Erreger der Kiefernschütte kommt auch auf der Zirbe vor und ist in der subalpinen Stufe häufig anzutreffen. Von *Lophodermium* befallene Nadeln bleichen im Gegensatz zu den *Phacidium*-befallenen nicht aus und bleiben daher braun. Zum Unterschied vom Krankheitsverlauf in Tieflagen kommt es nicht zu dem bekannten "Schütten", dem mehr oder weniger gleichzeitig einsetzen den Abstoßen der toten Kurztriebe. Die befallenen Nadeln bleiben noch sehr lange am Trieb. Die etwa 1 mm langen ovalen, schwarzen Apothezien (Abb. 153) reifen erst sehr spät, etwa ab September.

Nach den bisherigen Beobachtungen genießt dieser Pilz in den Hochlagen keine wirtschaftliche Bedeutung, da er immer nur an Nadeln von vorher anderweitig geschädigten Trieben (mechanische Verletzungen, Mäusefraß, Viehtrieb u. ä. m.) angetroffen worden war.

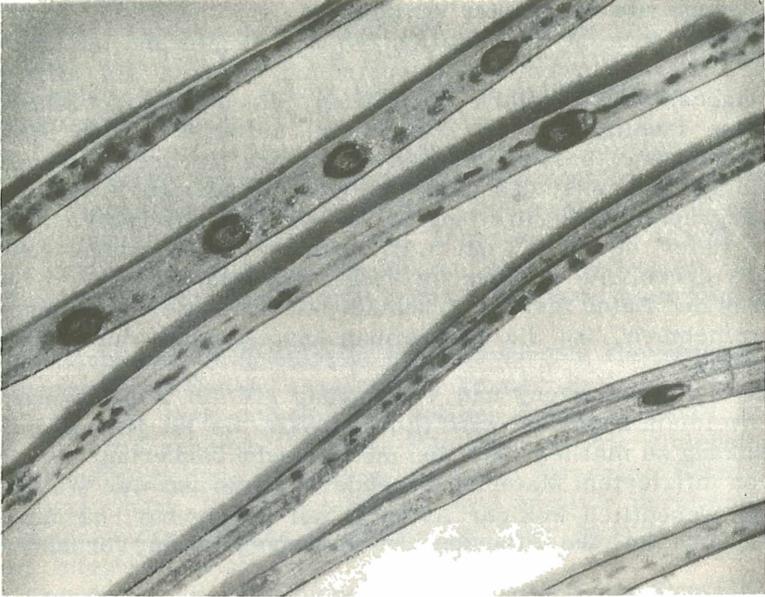


Abb. 153: Fruchtkörper von *Lophodermium pinastri* auf Zirbennadeln

VI. Standort und Pilzbefall

A. Die Ansprüche der Pilze

Nach den Untersuchungen von BJÖRKMAN (1948) benötigt *Phacidium infestans* neben einer hohen Substratfeuchtigkeit (z. B. für die Fruchtkörperbildung auf den getöteten Nadeln) eine hohe relative Luftfeuchtigkeit nahe der Wasserdampfsättigung. Die beste Entwicklung von Luftmycel fand bei 100 % rel. Luftfeuchtigkeit und bei $+15^{\circ}\text{C}$ statt. Bei $+20^{\circ}\text{C}$ wächst das Mycel bereits beträchtlich langsamer als z. B. bei $+10^{\circ}\text{C}$ und bei einer konstanten Temperatur von $+25^{\circ}\text{C}$ stirbt das Mycel nach einiger Zeit ab. Interessant ist vor allem die Tatsache, daß das Wachstum bei $+5^{\circ}\text{C}$ und sogar bei 0°C noch gut ist. Selbst bei -5°C wurde noch Zuwachs festgestellt. (Es zeigen sich demnach deutliche Parallelen zu den Ergebnissen von GÄUMANN et al. (1934), die Ähnliches für *Herporichia juniperi* (= *H. nigra*) gefunden haben).

B. Die Umweltbedingungen unter Schnee

Aus der Beobachtung der Krankheit (*Phacidium infestans*) weiß man, daß ihr Auftreten ursächlich mit einer gewissen Schneebedeckung der befallenen Pflanzenteile zusammenhängt. Es ergeben sich zwei Fragen: Wie ist es möglich, daß *Phacidium infestans* unter Schnee noch eine derartige Pathogenität entfalten kann und warum kommt es außerhalb der Schneedecke zu keinem Pilzschaden?

Zur Beantwortung der ersten Frage genügt uns ein Vergleich der oben angeführten Temperatur- und Feuchtigkeitsansprüche des Pilzes mit jenen Verhältnissen, die dem Schädling unter Schnee geboten werden: Über die Temperaturverhältnisse unter Schnee sind wir durch eine Arbeit TURNERS (1961) unterrichtet. (Vgl. auch GÄUMANN et al. 1934, BJÖRKMAN 1948). Durch die isolierende Wirkung der oberen Schneeschichten herrscht 40 cm unter der Schneeoberfläche auch im Hochwinter eine Temperatur über -5°C (vgl. Abb. 95, Teil I, Seite 310). Kurz nach dem Einschneien tritt unter Schnee in einem bestimmten Abstand vom Boden eine allmähliche Erwärmung ein und ab Mitte April beträgt die Temperatur schließlich durch das eindringende Schmelzwasser bis knapp an die Oberfläche der Schneedecke 0° . TRANQUILLINI und TURNER 1961 (s. a. TRANQUILLINI 1957) fanden ergänzend, daß die Nadeltemperaturen knapp nach dem Einschneien Anfang Dezember nahezu konstant bei -4° bis -5°C lagen. Während der ganzen Dauer der Schneebedeckung schwankte die Nadeltemperatur nur wenige Grade um den Gefrierpunkt. Stärkere Abkühlungen waren lediglich in den obersten Schneeschichten aufgetreten. Im Dezember begann die Nadeltemperatur allmählich zu steigen und wies analog zu dem oben über die Schneetemperatur Erwähnten im Spätwinter bis einige Tage vor dem Ausapern 0° auf.

Es genügt somit bereits eine etwa 40 cm mächtige Schneedecke, um darunter ein Temperaturklima entstehen zu lassen, das Leben und Ausbreitung von *Phacidium infestans* gestattet. Mit steigender Temperatur kann sich auch das Pilzmycel immer rascher entwickeln.

Über die Luftfeuchtigkeit in den Hohlräumen unter Schnee schreibt SAUBERER 1947: "Infolge der Kristallstruktur und der großen Porosität der Schneedecke ist in dieser die Eisoberfläche relativ sehr groß. Daher ist auch die Porenluft praktisch immer mit Wasserdampf gesättigt."

Bezogen auf die Sättigung über Wasser beträgt die relative Luftfeuchtigkeit bei 0° 100 %, bei -2°C 98,1 % und bei -5°C 95,3 %. In und unter der Schneedecke können also nur bei 0° relative Feuchtigkeiten von 100 % erreicht werden (SAUBERER 1947).

Wir können daraus ableiten, daß der Pilz mit fortschreitendem Winter zunehmend günstigere - zuletzt ideale - Feuchtigkeitsbedingungen vorfindet.

Über Schnee sind dem Schädling allein schon durch die niederen Temperaturen Grenzen gesetzt. Im Sommer kann in vielen Fällen ebenfalls die Temperatur als begrenzender Faktor in Erscheinung treten, doch fehlt auch gleichzeitig eine notwendige länger anhaltende Periode hoher relativer Luftfeuchtigkeit (Vgl. AULITZKY 1961, TRANQUILLINI und TURNER 1961).

Inwieweit andere Faktoren, wie z.B. die Ultraviolettstrahlung und die Hochgebirgsstrahlung überhaupt, die Sporenkeimung und das externe Mycelwachstum zusätzlich be- oder verhindern (PIRSCHLE 1941), ist nicht bekannt.

Der Pilz findet also unter Schnee eine Kombination von Umweltbedingungen vor, die ihm nahezu ideale Möglichkeiten für seine Entwicklung bietet. (In tieferen Lagen dürfte es vor allem deswegen auch unter Schnee zu keinen Schäden kommen, da die sommerlichen Temperaturen den kälteliebenden Pilz nicht überleben lassen.)

Faßt man zusammen, so ergibt sich, daß die Stärke des Schneeschütte-Pilz-Befalles in einem Zirbenjungwuchs grundlegend von folgenden Faktoren abhängt:

1. Die Fläche muß bereits einen hohen Grad an Verseuchung mit krankem bzw. mit *Phacidium infestans* behafteten Material aufweisen oder in nächster Nähe eine solche Infektionsquelle besitzen.
2. Entscheidend ist eine lange Schneebedeckung, wobei die Gefahr der Erkrankung erst ab einer gewissen Höhe der Schneedecke (s.o.) gegeben ist. Besonders ungünstig wirken sich abnormal lange Schneeschmelzperioden (0^o und 100 % rel. Luftfeuchtigkeit) aus.

C. Schneeschüttelefall und Bodenvegetation

Für die Hochlagenaufforstung mit Zirbe ist es nun von entscheidender Bedeutung, jene Flächen zu eruieren, auf denen das geringste Risiko eines Schneeschütte-Befalles zu erwarten ist. Die Höhe der Schneedecke nimmt mit dem Niveau zu und ist im einzelnen reliefbedingt (FRIEDEL 1961). Die entscheidende Rolle bei der Schneeverteilung spielt der Wind. Durch die vervielfachte Schneeablagerung auf der Leeseite ist auch die Ausaperung trotz bedeutendem Strahlungseinfluß windfiguriert (TURNER 1961). Den deutlichen Zusammenhang zwischen Vegetations- und Aperlinien hat FRIEDEL (1961) erarbeitet. Die geringste Schneemenge ist dem-

nach im Alectorietum ochroleucae (Windflechtenheide) zu erwarten. Es folgen dann das Loiseleurietum procumbentis (Gemsheide), das Vaccinietum uliginosi (Rauschbeerheide) und schließlich weist das Rhododendretum ferruginei (Rostrote Alpenrosenheide) und der Muldenrasen die mächtigste Schneedecke und längste Schneebedeckungsdauer auf. (Näheres bei TURNER 1961, Teil I, Seite 290 313 und bei FRIEDEL 1961, Teil I, Seite 319 324, 363 368).

Die durchschnittlich stärkste Pilzgefährdung müßte demnach im Rhododendretum ferruginei und die geringste im Alectorietum ochroleucae existieren. Dies ist tatsächlich der Fall, wie auch aus Abb. 154 hervorgeht. Hiezu ist aber zu ergänzen, daß im extrem wind-

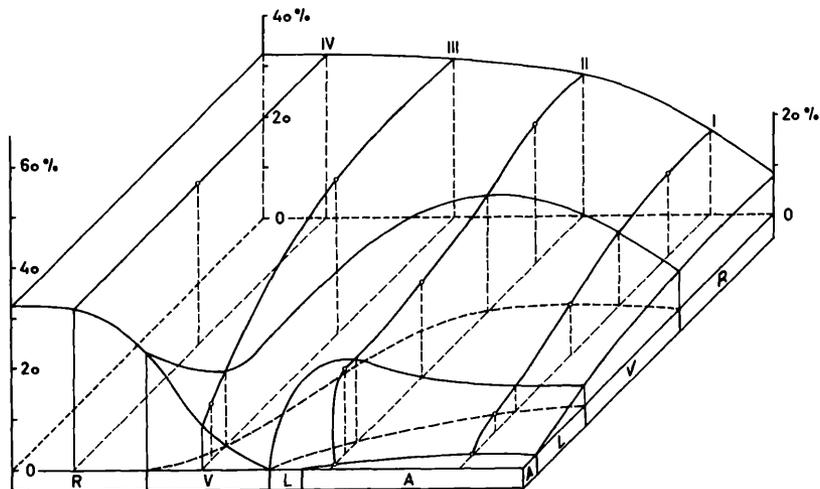


Abb. 154: Häufigkeit des Pilzbefalles (*Phacidium infestans* Karst.) an Jungzirben in Abhängigkeit von den Pflanzengesellschaften in vier isohypsenparallelen Schnitten im Bereich von Kampfzone und Waldgrenze. Die Pilzschäden nehmen deutlich vom Alectorietum (A), wo sie gleich 0 sind, bis ins Alpenrosengebiet (R) zu, also mit der Schneebedeckungsdauer, ebenso mit der Reife der Alpenrosengesellschaft von der Baumgrenze (Schnitt I) über die Kampfzone (Schnitt II) zum Hochwald (III. und IV. Schnitt). Das Zahlenmaterial der Schnitte I III entstammt der Dissertation von STERN (1956). A = Alectorietum, L = Loiseleurietum, V = Vaccinietum uliginosi, R = Rhododendretum ferr. (Aus AULITZKY 1958)

exponierten Alectorietum ochroleucae die Zirbe infolge vorwiegend abiotischer Schadensursachen (z.B. Windtrockenschäden) ebenfalls keine günstigen Bedingungen vorfindet (vgl. HOLZER 1959). Berücksichtigt man daher sowohl den Gesichtspunkt der Schneeschüttelegefährdung im Rhododendretum ferruginei als auch jenen der abiotischen Schä-

den im Alectorietum ochroleucae, so ergibt sich für die Zirbe der Bereich der dazwischen liegenden Pflanzengesellschaften, vor allem das Vaccinietum uliginosi, als günstiger Standort.

Es hat sich aber auch gezeigt, daß die Risikoverteilung nicht immer gleich bleibt. Von jeglichem Risiko eines Phacidium-Befalles ist man auch im Vaccinietum uliginosi nicht befreit, vor allem bei noch kleinen Pflanzen, da in einem extrem schneereichen Winter die oben beschriebene gefährliche Situation auch dort einmal eintreten könnte.

Weit verbreiteter letaler Pilzbefall wurde bisher vor allem nach niederschlagsreichen Wintern, insbesondere im Frühjahr 1955 und 1959, beobachtet. Lawinen-Katastrophenjahre sind in der Regel auch Pilzschaden-Jahre.

Ein weiterer Punkt verdient in der Aufforstungspraxis Beachtung:

Die Zirbe ist schon sehr bald imstande, die Windwirkung dahingehend zu beeinflussen, auf der bestockten Fläche mehr Schnee abzulagern. Tritt dieses Stadium ein, so werden infolgedessen

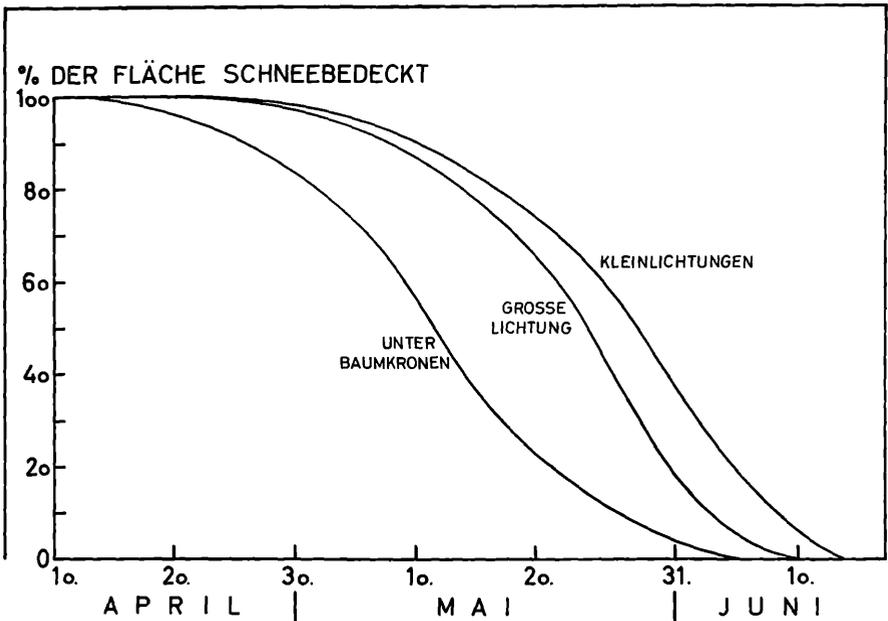


Abb. 155: Der Einfluß von Bestandeslücken auf die Schneehöhe und Schneebedeckungsdauer im subalpinen Lärchen-Zirbenwald, 1890 - 1940 m, bei Poschach/Obergurgl. Die Darstellung beruht auf planimetrischer Auswertung von Ausaperungskartierungen des Untersuchungsgebietes "Lichtung" (Abb. 8, Teil I, Seite 59) im Frühjahr (April bis Juni) 1955 durch H. TURNER. (Aus AULITZKY und TURNER)

die Zirben in ihren unteren Teilen mehr oder weniger stark ihrer Nadelmasse durch Phacidium-Befall beraubt. Mehr oder weniger gleich hohe Pflanzen werden dadurch kaum mehr lebensgefährlich bedroht. Sind aber kleinere, windgeschützte Bestandeslücken vorhanden, in denen erst später eine Verjüngung aufkommt, so wird diese nun da sie kaum über die Schneedecke ragen kann empfindlich dezimiert oder überhaupt ganz zum Verschwinden gebracht (Abb. 149, 155).

Aus diesem Grund (vermehrte Schneeablagerung) ist im subalpinen Zirbenwald eine plenter- oder femelartige Bewirtschaftung allein vom Gesichtspunkt der Schneeschütte-Krankheit fehl am Platze, weil dadurch ein befriedigendes Aufkommen von Verjüngung verhindert wird. Viel eher dürfte ein "Kleinkahlschlag"-Betrieb in der Art eines "Schutzrand-Streifenschlages" (AULITZKY 1962) befriedigen.

VII. Vorbeugungsmaßnahmen

A. Vorbeugung durch Fungizidanwendung

Als wirksame Maßnahme gegen den Befall durch *Phacidium infestans* werden in der Literatur vor allem vorbeugende Spritzungen mit Schwefelkalkbrühe (BJÖRKMAN 1948, BOYCE 1948, BAXTER 1952) oder Pentachlordinitrobenzol-Präparaten (JAMALAINEN 1961) als erfolgreich empfohlen. Die Mittel werden möglichst knapp vor dem Einschneien ausgebracht.

Die Anwendung von Fungiziden kommt jedoch bei Hochlagenaufforstungen wohl nur in Ausnahmefällen in Frage. Ganz abgesehen von den ungeheuren technischen Schwierigkeiten (schwere Begehrbarkeit, Geräte-, Mittel- und Wassertransport) würde die Verwendung von Fungiziden eine untragbare wirtschaftliche Belastung mit sich bringen. Durch das langsame Wachstum der Zirbe bedingt, müßte die chemische Vorbeugung etwa 10–30 Jahre lang durchgeführt werden.

Welche Wege einer wirksamen Vorbeugung stehen uns sonst noch offen?

Für die Praxis der Hochlagenaufforstung ergeben sich aus der bisherigen Darstellung vom Standpunkt der Schneeschütte-Gefahr aus noch folgende Richtlinien (B-F).

B. Bevorzugung der Flächen mit geringer Schneebedeckung

Am aussichtsreichsten ist die Kultur der Zirbe dort, wo auf Grund der Vegetation (Rauschbeerheide, Gamsheide u. a.) eine mittlere, eher geringe Schneeablagerung zu erwarten ist.

Zur Vermeidung anderer Schädigungen auf zu schneearmen Standorten kann eine schützende Schneedecke mittlerer Mächtigkeit durch

technische Mittel, z. B. Schneezäune, erreicht werden (siehe AU-LITZKY 1962, HOPF und BERNARD 1963).

C. Hygiene und mechanische Bekämpfung („Gesundschneiden“)

Um eine fortschreitende Verseuchung der Kultur zu verhindern, soll diese jährlich kurz nach dem Ausapern auf Schneeschütte-Befall kontrolliert werden. Befallene Zweige oder ganze Pflanzen sind abzuschneiden und zu verbrennen. Frühzeitiges Entfernen des befallenen Materials hat den Vorteil, daß noch kaum etwas abgefallen ist und daher eine weitestgehende Säuberung der Fläche gewährleistet ist. Es hat sich gezeigt, daß man die Zweige und Äste nur bis zum gesunden Teil (grünes Kambium) zurückschneiden darf und die Stummeln stehen lassen muß. Die Maßnahme kommt sonst einer Grünastung gleich, die von den jungen Zirben äußerst schlecht vertragen wird.

D. Pflanzenmaterial und Pflanzenabstand

Vom Standpunkt der Pilzausbreitung ist zumindest an schneereichen Standorten ein weiterer Pflanzenabstand einem engen vorzuziehen. Größere Pflanzen ragen schneller aus der Gefahrenzone. Daher möglichst frühzeitig in Jungkulturen nachbessern, da es immer schwerer wird, Pflanzen zu verwenden, die in der Größe jenen der Umgebung entsprechen.

E. Starthilfen

Da die Pflanze erst dann dem Risiko des Schneeschüttetodes entronnen ist, wenn die aus der Gefahrenzone herausreichenden Pflanzenteile zum weiteren Fortkommen genügen, erhebt sich die Forderung, alles zu unternehmen, um in den ersten Jahren das Höhenwachstum zu beschleunigen. Die Verwendung kräftiger und älterer Pflanzen (4–5-jährig) hat sich bereits bewährt (STAUDER 1963). Die pflegliche Behandlung beim Setzen muß nicht besonders betont werden. Als sehr wachstumsfördernd hat sich auch bei anderen Baumarten das Mulchen (Abdecken des Bodens um die

Pflanze mit totem, pflanzlichem Material wie Gras, Flechten u. a.) erwiesen.

Durch das Aufstellen von Winddüsen (Pultdächern) oder Kolktafeln kann mancherorts die Schneeablagerung auf pilzgefährdeten Flächen gemindert, durch Schneezäune auf schneearmen Flächen begünstigt werden.

F. Zur Düngungsfrage

Durch Düngung läßt sich das Wachstum der Zirbe ohne Zweifel erheblich beschleunigen. Es taucht daher dieser Gedanke bei der Diskussion der Starthilfen wiederholt auf. Es ist weiters möglich, daß man durch eine geeignete Düngung gleichzeitig eine Erhöhung der Resistenz gegen die Schneeschütte-Krankheit erreichen kann. BJÖRKMAN (1948) weist darauf hin, daß er eine größere Resistenz bei Kiefernpflanzen nördlicher Provenienz gefunden hat (höherer Trockensubstanz- und Zuckergehalt). Ob eine solche positive Verschiebung der Anfälligkeit durch Düngung zu erreichen ist, müssen erst Versuche klären.

Bevor der Praxis eine bestimmte Düngung zur allgemeinen Anwendung empfohlen werden kann, bedarf die Frage nach der besten Art und Zusammensetzung der zu verabreichenden Dünger noch ausgedehnter Versuchsarbeit.

In diesem Zusammenhang sei ein Beispiel angeführt:

LEYS (1961) berichtet über Düngungsversuche in Hochlagenaufforstungen mit Vollkorn "Linz" rot. Mit 30 g und 40 g pro Pflanze wurden sehr gute Erfolge erzielt. Wir haben im Jahre 1962 im Versuchsgebiet Zirbitzkogel Düngungsversuchsflächen angelegt, auf denen absichtlich überhöhte Gaben an Mineraldüngern gegeben wurden. Darunter wurden auf je einer Detailfläche pro Pflanze 50 g Vollkorn "Linz" rot in das Pflanzloch (mit der Erde etwas durchmischt) verabreicht. Die Auswirkungen dieser Düngung haben sich im Oktober 1962 in folgender Weise gezeigt:

Fläche I: Südosthang, <i>Calluna vulgaris</i> und <i>Loiseleuria procumbens</i> .		
Vollkorn "Linz" rot: Gesetzt 80 Pflanzen . .		Ausfall 64 %
Ungedüngt: " " "		Ausfall 0 %
Fläche II: Nordwesthang, <i>Vaccinium uliginosum</i> .		
Vollkorn "Linz" rot: Gesetzt 80 Pflanzen .		Ausfall 72 %
Ungedüngt: " " "		... Ausfall 6 %
Fläche III: Nordwesthang, <i>Rhododendron ferrugineum</i> , <i>Vaccinium uliginosum</i> .		
Vollkorn "Linz" rot: Gesetzt 80 Pflanzen . . .		Ausfall 96 %
Ungedüngt: " " "		Ausfall 5 %

Dieses kleine Beispiel zeigt einerseits eine äußerst hohe Empfindlichkeit der frisch gesetzten Pflanzen gegenüber der verabreichten Düngermenge (Nährstoffvergiftung) und andererseits eine sehr deutliche Differenzierung der Empfindlichkeit auf verschiedenen Standorten.

Zusammenfassung

Phacidium infestans Karst. verursacht in subalpinen Zirbenverjüngungen auf bestimmten Standorten erhebliche Verluste. Die Stärke des Befalles hängt von der Nähe einer Infektionsquelle und von der Schneebedeckung des Standortes ab; in abnormal langen Schmelzperioden (0° C und 100 % rel. Luftfeuchtigkeit) findet der Pilz ideale Bedingungen für seine Entwicklung vor.

Durch seine charakteristischen Fruchtkörper (Abb. 150) und die hellgraue Verfärbung der abgestorbenen Nadeln (Abb. 147) ist *Phacidium infestans* leicht von weniger gefährlichen Zirben-Schadpilzen zu unterscheiden.

Da eine Anwendung von Fungiziden unter den besonderen Verhältnissen bei der Hochlagenaufforstung (Langsamwüchsigkeit der Zirbe) nicht möglich ist, werden vor allem waldbauliche, pflanztechnische und technische Möglichkeiten der Vorbeugung sowie die mechanische Bekämpfung und Hygiene erörtert. Besonders wichtig ist das jährliche "Gesundschneiden" in verseuchter Zirbenjugend nach dem Ausapern.

Es wird auf die Zusammenhänge zwischen Pilzbefall einerseits und Relief Wind Schnee andererseits hingewiesen. Die pilzgefährdeten Flächen können in der Natur mit ausreichender Genauigkeit an charakteristischen Pflanzengesellschaften erkannt werden.

Literatur

- AULITZKY H. 1955: Die Bedeutung meteorologischer und kleinklimatischer Unterlagen für Aufforstungen im Hochgebirge. Wetter u. Leben 7, 241 252.
- AULITZKY H. 1958: Waldbaulich-ökologische Fragen an der Waldgrenze. Cbl. ges. Forstwesen 75, 18 33.
- AULITZKY H. 1961: Standortsuntersuchungen in der subalpinen Stufe: Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit. Mitt. Forstl. Vers. Anst. Maria-brunn 59, 105 125.
- AULITZKY H. 1962: Welche bioklimatischen Hinweise stehen der Hochlagenaufforstung heute zur Verfügung? Wetter u. Leben 14, 95 117.

- AULITZKY H. u. TURNER H.: Das Bioklima im Lärchen-Zirbenwald (in Vorbereitung).
 BAXTER D.V. 1952: Pathology in Forest Practice. 2. Aufl., 601 S., Verl. J. Wiley & Sons New York.
- BAZZIGHER E. 1956: Pilzkrankheiten in Aufforstungen, Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen. Kurzmitteilung Nr. 12.
- BJÖRKMAN E. 1948: Studier över snöskyttesvampens (*Phacidium infestans* Karst.) biologi samt metoder för snöskyttets bekämpande. Meddelanden från statens skogsforskningsinstitut 37, 2.
 Forest Pathology. 2. Aufl., Mc Graw-Hill Book, 550 S.
- BOYCE J.SH. 1948: Die *Phacidium-infestans*-Nadelkrankheit der Zirbe und deren Bedeutung für die Hochlagenaufforstung. Exkursionsführer "Forstschutz" vom XIII.Kongreß des Internationalen Verbandes Forstlicher Forschungsanstalten (IUFRO) in Wien vom 10. 29. 9. 1961, Druck Merkuria Wien V. 110 114.
- FRIEDEL H. 1961: Standortuntersuchungen in der subalpinen Stufe: Schneedeckenandauer und Vegetationsverteilung im Gelände. Mitt. Forstl. Bundes-Vers. Anstalt Mariabrunn 59, 317 369.
- FROMME G. 1961: Beschreibung des Stationsgebietes in Obgurgl-Poschach. Ebenda, 53 65.
- GÄUMANN E., ROTH C. und ANLIKER J. 1934: Über die Biologie der *Herpotrichia nigra* Hartig. Ztschr. f. Pfl. Krankh. u. Pfl. schutz 44, 97.
- HAMPEL R. 1954: Forschungsarbeiten und Versuche auf dem Gebiet der Wildbach- und Lawinenverbauung. Allgem. Forstzeitg. 65, 288 290.
- HOLZER K. 1959: Winterliche Schäden an Zirben nahe der alpinen Baumgrenze. Chl. f. d. ges. Forstwesen 76, 4, 232 244.
- HOPF J. und BERNARD J. 1963: Windbeeinflussende Bauten in der Lawinenverbauung und -vorbeugung. Mitt. Forstl. Bundesversuchsanstalt Mariabrunn 60, 605.
- JAMALAINEN E.A. 1961: Havupuiden taimistojen talvitufosienivaurio ja niiden kemiallinen torjunta. (Damage by low-temperature parasitic fungi on coniferous nurseries and its chemical control). Silva Fennica 108, 4, 1 15.
- LAGERBERG T. 1912: Studier öfver den norrländska tallens sjukdomar, sörskilid med hänsyn till dess förnyring. Medd. Stat. Skogsförs.-anst. 9, 135 170.
- LEYS E. 1961: Bericht über einen Düngungsversuch zur Hochlagenaufforstung im Gebiet der Taschachalm, Tirol. Presse-Umschau 12, H. 6, 11 14, Österr. Stickstoffwerke A.G.
- MORIONDO F. 1957: Occurrence of *Phacidium pini-cembrae* in Swiss stone pine in Italy. Plant Protection Bulletin FAO 6/2, 22 - 23.
- MORIONDO F. 1958: Sul disseccamento degli aglidi Pino cembra in Alto Adige. Accademia italiana di science forestali, Firenze, 17 S.
- PETRAK F. 1955: Über *Phacidium infestans* Karst., einen gefährlichen Parasiten der Zirbelkiefer und einige andere in seiner Gesellschaft wachsende Pilze. Sydowia, Annales mycologici, Ser. II, 9, 518 526.
- PETRAK F. 1957: Mykologische Bemerkungen. Sydowia, Annales mycologici, XI, S. 337 353.
- PIRSCHLE K. 1941: Weitere Beobachtungen über den Einfluß von langwelliger und mittelwelliger UV-Strahlung auf höhere Pflanzen, besonders polyploide und hochalpine Formen. Biol. Zbl. 61, 452.
- SAUBERER F. 1947: Über die Schneedeckenverhältnisse Niederösterreichs und das Mikroklima im Schnee. Zbl. f. d. ges. Forst- u. Holzwirtschaft 70, 138.
- STAUDER S. 1963: Praktische Erfahrungen bei der Hochlagenaufforstung im vorderen Zillertal. Mitt. Forstl. Bundes-Versuchsanstalt Mariabrunn 60.
- STERN R. 1956: Untersuchungen über die Eignung der Zirbe für die Hochlagenaufforstung. Dissertation a. d. Hochschule für Bodenkultur, Wien.
- TERRIER CH.A. 1942: Essai sur la systematique des Phacidiaeeae (Fr.) sensu Nennfeldt (1932). Bern, Druck Bächler u. Cie. 99 S.

- TRANQUILLINI W. 1957: Standortsklima, Wasserbilanz und CO₂-Gaswechsel junger Zirben (*Pinus cembra* L.) an der alpinen Waldgrenze. *Planta* 49, 612 661.
- TRANQUILLINI W. und TURNER H. 1961: Untersuchungen über die Pflanzentemperaturen in der subalpinen Stufe mit besonderer Berücksichtigung der Nadeltemperaturen der Zirbe. *Mitt. Forstl. Bundesversuchsanstalt Mariabrunn* 59, 127 151.
- TURNER H. 1961: Standortuntersuchungen in der subalpinen Stufe: Die Niederschlags- und Schneesverhältnisse. *Mitt. Forstl. Bundesversuchsanstalt Mariabrunn* 59, 265 315.

II. Auf dem Wege zur Praxis der Hochlagenaufforstung

A. Untersuchungen zur Windverbauung

1. Windbeeinflussende Bauten in der Lawinen- verbauung und -vorbeugung

von J. Hopf und J. Bernard

Inhalt

	Seite
I. Einführung	607
A. Wind und Schneetransport	607
B. Begriff der Windverbauung	609
C. Verwehungsbauten als Aufforstungsschutz	610
II. Bisherige Untersuchungen	610
A. Kolktafeln	611
1. Kolktafeln mit Bodenspalt	612
2. Kolktafeln ohne Bodenspalt	612
B. Verwehungsbauten	614
III. Laufende Versuche des Lawinendienstes	615
A. Wirkweite der Schneezäune	616
1. Einfluß von Elastizität und Rauigkeit	616
2. Einfluß der Zaunhöhe	617
3. Einfluß des Füllungsgrades	618
B. Schneezäune in Beziehung zu Vegetation und Aufforstung	620
C. Auswirkung des Schneesrückhaltes durch Zäune auf die Schneeablagerung in an- schließenden Lawinenhängen	622
D. Wächtenverhinderung durch Kolktafeln und Düsen	622
IV. Zusammenfassung und Hinweise für die Pro- jekt-Erstellung	629
Sicherheitsgrad	631
Literatur	632

I. Einführung

Eine der auffallendsten Erscheinungen der alpinen Schneedecke ist ihre Unregelmäßigkeit. Gräben, Mulden und Flachstellen sind oft schon nach den ersten Schneefällen mit einer bis in den Sommer anhaltenden Schneedecke überzogen, Rücken und Grate sind auch im tiefen Winter schneefrei. Wohl kann sich dieser Zustand als unmittelbare Folge ruhigen Schneefalls zeitweise unter einer gleichmäßigen Schneedecke verbergen, doch wird sich nach ausgeprägten Bewindungszeiten die geländebedingte Ablagerung immer wieder in charakteristischer Form einstellen. Das Niederschlagsangebot tritt also als bestimmender Faktor für Schneehöhe und -bedeckungsdauer zurück hinter den Einfluß der Reliefform und des Windes. Der Wind macht sich demnach durch Schneeabtrag und -anhäufung so geltend, daß er oberhalb der Waldgrenze zu einem ausschlaggebenden Faktor für die Lawinenbildung wird.

Streicht der Wind mit großer Geschwindigkeit über das Gelände, vor allem über Erhöhungen desselben, so findet Abtragung statt, während der aufgenommene und mitgeführte Schnee an Orten geringerer Strömungsgeschwindigkeit wieder abgelagert wird. Dem Wind wohnt also gleich dem Wasser eine bestimmte Schleppkraft inne, deren Größe eine Funktion seiner Geschwindigkeit ist. Lockerer Schnee wird leichter transportiert als dichtgelagerter, trockener eher als feuchter, Neuschnee verweht leichter als umgewandelter Altschnee. Der Transport erfolgt in Bodennähe mit geringerer Geschwindigkeit als in höheren Schichten, Hangaufwind besitzt eine kleinere Schleppkraft als Hangabwind.

A. Wind und Schneetransport

Jeder Wind, der bei bestimmten Schneeverhältnissen mit entsprechender Geschwindigkeit und Intensität weht, ist in der Lage, Schneeverfrachtungen zu bewirken. Es ist daher wesentlich, Auftreten und Stärke der vorherrschenden Winde zu kennen, um Maßnahmen zu ihrer Beeinflussung treffen zu können.

Die durch Oberflächenerwärmung und Höhererstreckung der Gebirge auftretenden periodischen Winde sind für die Schneeverfrachtung im wesentlichen auszuschließen, da sie im Winter nicht in der erforderlichen Stärke wehen. Berg-, Tal- und Hangwinde erlangen für den Schneetransport nur Bedeutung im gleichzeitigen Auftreten und in der Überlagerung mit großräumigen Gradientwinden, deren Intensität dadurch geringfügig verstärkt oder abgeschwächt wird.

Ein Gebiet ist daher im großen in seiner Lage zum vorherrschenden Gradientwind zu beurteilen, wobei die Charakterisierung durch die Frage bestimmt wird, welche großräumige Bewindung überwiegt: Die österreichischen Alpenländer nördlich des Alpenhauptkammes stehen unter vorherrschendem Einfluß von Nordwestwinden, deren Richtung jedoch unterhalb des Gratniveaus weitgehend durch den Talverlauf bestimmt wird. In Nord-Südtälern der inneren Alpen

- z. B. Brennersenke mit Wipptal - kann durch Föhneinfluß die Südkomponente vorherrschen.

Die Bewindung des Geländes durch die Gradientwinde läßt sich also bereits aus der Lage des Tales zur Hauptwindrichtung beurteilen. Täler parallel zu dieser unterliegen starker Bewindung, solche quer dazu stehen unter großräumiger Leewirkung, wodurch auch weitgehend die Niederschlagsmenge und -verteilung bestimmt wird: Großräumige Leelagen weisen eine ausgeglichene Schneedecke auf, deren Mächtigkeitsverteilung in geringerem Maße vom Kleinrelief abhängt, windoffene Gebiete zeigen hingegen extrem unterschiedliche Schneevertelung in Abhängigkeit vom Kleinrelief, welches hier zu differenzierten Standortverhältnissen führt.

Diese Voraussetzungen ergeben zusammen mit Geländeneigung und Exposition die Grundlage für die Schneevertelung, welche in freien Lagen über der Waldgrenze als "statistischer Ausgleich zwischen den Wirkungen der einzelnen Witterungsabläufe" jährlich in ähnlicher Form anzutreffen ist (FRIEDEL 1952). Dies wird durch die zur Zeit der Schneeschmelze jährlich gleichen Ausaperungsformen im Gelände bewiesen.

Im Bereiche des Waldgürtels ist diese Erscheinung nur noch un- ausgeprägt zu erkennen, da sich Windstärke und -beständigkeit mit abnehmender Höhenlage verringern und der Wald der Schnee- verfrachtung durch Hebung des Windfeldes und Herabsetzung der Windgeschwindigkeit entgegenwirkt.

Fehlt die ausgleichende Wirkung des Baumwuchses, so dringt der Wind stärker bis zum Boden durch, bestreicht das Gelände in Abhängigkeit vom Kleinrelief und bestimmt durch Abtrag, Transport und Anlagerung von Schnee dessen Mächtigkeit.

Die dadurch bedingte Schneevertelung nimmt auf das Klima kleinster Flächen entscheidend Einfluß. Es bilden sich ökologische Reihen von Pflanzengesellschaften aus, die in direkter Abhängigkeit von der Schneebedeckungsdauer und somit von Schneehöhe und Windbeeinflussung stehen. Das Wissen um ökologische Reihen von Pflanzengesellschaften muß daher hier soweit Eingang finden, als ihr Auftreten in Beziehung zum Wind, bzw. dessen Effekt, der Schneebedeckungsdauer, zu setzen ist (Abb. 156).

Diese Pflanzengesellschaften kennzeichnen also jene Bereiche, wo der Schneetransport durch Erstellung von Windhindernissen beeinflußt werden kann, d. h., wo die Ablagerung bereits mitgeführten Schnees erzwungen, die Aufnahme von Schnee verhindert oder der Schnee durch Steigerung der Windkraft bis in ungefähliche Geländeabschnitte weitertransportiert werden kann.

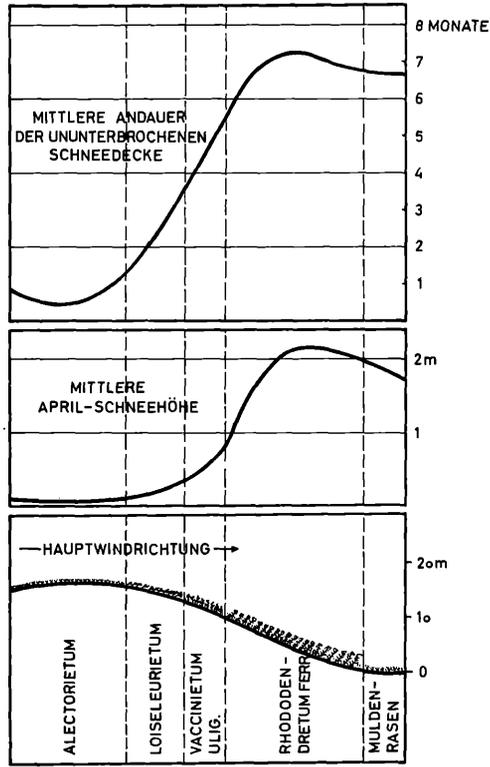


Abb. 156: Schematische Darstellung von subalpinen Pflanzengesellschaften der ökologischen Wind-Schnee-Reihe in Abhängigkeit von Kleinrelief und Schneebedeckung nach Messungen im Untersuchungsgebiet Obergurgl in 2.200 m Höhe, Exposition West, in den Jahren 1954 - 58 (TURNER 1961)

B. Begriff der Windverbauung

Durch den Einfluß des Windes auf die Schneeablagerung im unbewaldeten Gebirge ist die Windverbauung somit ein Bestandteil der Lawinerverbauung, in technischer wie in biologischer Hinsicht. Mit den windbeeinflussenden Bauten kann dabei eine Beeinflussung der Schneeverteilung (quantitativer Effekt) und eine Beeinflussung der Schneebeschaffenheit (qualitativer Effekt) erreicht werden.

Unabhängig von der Überlagerung beider Vorgänge soll daher die Unterteilung des Begriffes der Windverbauung dahin gehen, die Bauten als Verwehungs- oder als Verfestigungsbauten zu bezeichnen, je nachdem, ob eine Beeinflussung der Schneeanlagerung nur in quantitativer Hinsicht also durch die Verwehung - oder

auch in qualitativer Hinsicht durch Verfestigung erreicht werden soll. Dem Begriffsinventar der Lawinenverbauung kann daher neben der Abbruch-, Brems- und Ablenkverbauung die Windverbauung ergänzend hinzugefügt werden.

C. Verwehungsbauten als Aufforstungsschutz

Bei Aufforstungen zur Hebung der Waldgrenze spielt der Wind durch Schaffung extrem unterschiedlicher Schneebedeckung und damit unterschiedlicher bioklimatischer Standortverhältnisse eine entscheidende Rolle: Er wirkt auf exponierten Stellen durch mechanische Beanspruchung direkt schädigend und trägt durch Schneeanhäufungen in Leehängen zur Steigerung des Schneedruckes auf die Aufforstungen bei. Es ergibt sich somit für das Aufkommen der Pflanzen eine optimale Zone, welcher eine mittlere Schneehöhe und auch mittlere Bewindung entspricht und die im Übergang vom Luv- zum Leebereich liegt.

Aufgabe von Verwehungsbauten in windexponierten Lagen innerhalb der möglichen Waldgrenze ist also die Erweiterung dieses Bereiches mittlerer Schnee- und Windverteilung nach Luv- und zugleich Verringerung der Schneeablagerung im Lee von Rücken und Graten. Dies kann fallweise durch Aufstellung von Schneezäunen erreicht werden. Diese sollen eine möglichst gleichmäßige Schneebedeckung der im Lee des Zaunes befindlichen Fläche bewirken.

Die ausgleichende Wirkung der Verwehungsbauten kann also die Amplituden der Windbeeinflussung und Schneebedeckung im baumlosen Gelände abschwächen, wodurch die kleinklimatischen Verhältnisse auf exponierten Aufforstungsflächen jenen im geschlossenen Bestände angeglichen werden. Die eingebrachten Pflanzen finden günstigere Lebensbedingungen vor, die ihnen in den Jahren nach der Pflanzung solange das Aufkommen erleichtern, bis sie - allmählich gestärkt - selbst ihren Schutz übernehmen können, zu welchem Zeitpunkt die Verwehungsbauten die ihnen zugedachte Funktion der Starthilfe erfüllt haben.

II. Bisherige Untersuchungen

Unter unterschiedlichen Voraussetzungen und Motiven hat bisher eine Reihe von Praktikern und Wissenschaftlern Untersuchungen an Windhindernissen durchgeführt. In Freiland- und Windkanaluntersuchungen wurden besonders die Form, der Füllungsgrad (d. i. Verhältnis der wirksamen Fläche zur Gesamtfläche eines Windhindernisses), die Wirkweite und das Material betreffende Fragen unter-

sucht (CROCE 1942 und 1950, NÄGELI 1953, KREUTZ und WALTER 1956 und 1958, GAYL und HECKE 1953, FUCHS 1954, BRANDTNER 1955, KAISER 1960). Neben diesen Versuchen, die vorwiegend die quantitative Beeinflussung der Schnee Verteilung betrafen, wurden Beobachtungen und Messungen über die verfestigende Wirkung von Kolktafeln auf die Schneedecke vorgenommen (CAMPELL 1955, WOPFNER 1956).



Abb. 157: Ausbildung starker Kolke um Kolktafeln ohne Bodenspalt im obersten Abbruchgebiet der Lawine Paidä (1900 m) im Sellraintal

A. Kolktafeln

Kolktafeln sind tafelförmige Windhindernisse (Abb.157), welche im Lawinenabbruchgebiet aufgestellt werden und unter Ausnützung des Windes Kolke (Mulden) in der Schneedecke erzeugen. Durch die Kolke werden zusammenhängende Spannungsfelder in der Schneedecke aufgelöst. Um die Kolke bilden sich durch dichtere Lagerung des Schnees lokale Verfestigungszonen. Dadurch kann das Abbrechen der Schneedecke verzögert oder gar verhindert werden. Ohne ausreichende Bewindung des Geländes bleiben die Tafeln wirkungslos. Der günstigste Anwendungsbereich für Kolktafeln liegt demnach in der Zone zwischen Luv und Lee, wo noch genügend Wind für ihre Funktionsfähigkeit auftritt.

Versuche zur Klärung der Wirkung von Einzeltafeln wurden in den Jahren 1950 - 1955 an der Schneeforschungsstelle Wattener Li-

zum in Tirol in einer Seehöhe von 2.000 - 2.300 m durchgeführt. Um den Auf- und Abbau der alpinen Schneedecke verfolgen zu können, wurde gleichzeitig mit den Untersuchungen ein Schnee-Zeitprofil erstellt, in welchem Schneehöhen, Temperatur, Wind, Sonnenschein, Strahlung und Feuchtigkeit während des ganzen Winters (Oktober - Juni) aufgezeichnet wurden.

Die durchgeführten Untersuchungen, welche in den folgenden Jahren noch durch Aufstellung von Kolktafeln in Lawinenabbruchgebieten ergänzt wurden, ergaben folgendes vorläufige Ergebnis.

1. Kolktafeln mit Bodenspalt

Bei Kolktafeln mit Bodenspalt (Abb. 173 c) reicht das Wirbelfeld im allgemeinen nicht so tief, daß der Kolk bis zum Boden durchgreift. Dies bedingt wohl eine Störung der Homogenität der Schneedecke, doch keine vollständige Unterbrechung der Schichtung. Um den Kolk bildet sich eine ring- oder hufeisenförmige Zone verfestigten Schnees. Der Außenradius dieses Ringes beträgt bei einer Tafelbreite von 2 m 6 - 8 m. Am horizontalen Versuchsfeld wurden gegenüber der unbeeinflussten Schneedecke Festigkeitszunahmen bis zu 100 % festgestellt. In der Verfestigungszone ist der Schnee auch dichter und schwerer. Nach außen klingt diese Häufung allmählich in die unbeeinflusste Schneedecke aus.

2. Kolktafeln ohne Bodenspalt

Durch Tafeln ohne Bodenspalt (Abb. 157, 173 e) wird die Schneedecke empfindlicher und wirksamer gestört als durch solche mit Bodenspalt. Der Kolk reicht tiefer und unterbricht die Schneedecke meist bis zum Boden. Um den Kolk bildet sich die Zone verfestigten Schnees, welche bis in eine Entfernung von 8 - 10 m von der Mitte einer 3 m breiten Tafel reicht. Die Festigkeiten nahmen in diesem Bereich bis 180 % gegenüber der unbeeinflussten Schneedecke zu. In einer Meßreihe am horizontalen Versuchsfeld konnte außerdem eine Zunahme des spezifischen Gewichtes von 172 kg/m^3 in der unbeeinflussten Schneedecke auf 263 kg/m^3 im Verfestigungsring festgestellt werden; das entspricht einer Zunahme von 53 %.

Es muß somit zur Verhinderung von Schneebrettanbrüchen den Kolktafeln ohne Bodenspalt der Vorzug gegeben werden. Sie bewirken tiefere Kolke - wodurch das Spannungsfeld besser aufgelöst wird - und höhere Festigkeiten der sie umgebenden Schneeschichten. Die Ursache für die Verfestigung und die Erhöhung des spezifischen Gewichtes liegt in der Art der Anlagerung der bei Wind abgesetzten Schneeschichten ("Windpressung").

Die beste Wirkung kann unter folgenden Bedingungen erreicht werden:

- 1) Die Tafeln sollen auf die Hauptwindrichtung ansprechen; ist diese nicht eindeutig gegeben, ist eine gekreuzte Tafelform günstig.
- 2) Falllinienorientierte Aufstellung hat den Vorteil, daß die Tafeln bei Einwehung weniger schneedruckgefährdet sind.
- 3) Das Abmaß der Tafeln richtet sich nach Windstärke und Schneeangebot, die Breite von 5 m soll jedoch nicht überschritten werden. Nach CAMPPELL ist es günstig, wenn sich die Tafeln nach unten verzüngen.
- 4) Die beste Wirkung wird mit Tafeln voller Füllung erreicht.
- 5) Ihre Höhe soll mindestens der zu erwartenden maximalen Schneehöhe entsprechen, um auch bei großer Schneemächtigkeit wirksam zu bleiben.
- 6) Für die Ermittlung des Abstandes der Tafeln untereinander kann nach den bisherigen Untersuchungen die Forderung gelten, daß sich die Verfestigungszonen zweier benachbarter Tafeln berühren sollen. Für Tafeln ohne Bodenspalt ist das der Bereich zwischen 15 und 20 m. Sollen die Verfestigungsringe die darüber befindliche Schneedecke abstützen, so muß ein hangnormal wirkendes Widerlager vorhanden sein, durch welches die inneren Scher- und Zugkräfte in den Boden übertragen werden. Auf Hängen geringer Rauigkeit (= hohe Gleitfaktoren) wird daher die lawinenverhindernde Wirkung von Kolktafeln geringer sein als auf reibungsstarken Hängen mit niedrigen Gleitfaktoren.

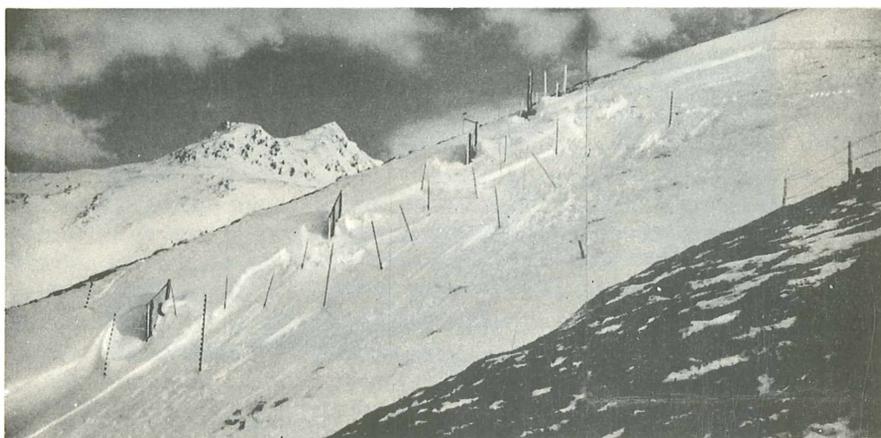


Abb. 158: Das Abbruchgebiet eines Schneebrettes wurde durch vier Versuchskolktafeln eingegengt. Die Abrißlinie des Schneebrettes umfährt deutlich die Schneeverfestigungszonen der Kolktafeln. 20 Meter unterhalb der Kolktafeln (auf dem Bilde nicht mehr sichtbar) erfolgte der Abbruch bis zum Kammrücken (Nordrippe im Versuchsgebiet Obergurgl)

Durch Aufstellung von Kolktafelreihen können auch Lawinenanbruchgebiete voneinander getrennt werden, indem das Übergreifen von Schneebrettanrissen auf benachbarte Höhen verhindert wird (CAMPELL 1955 und Abb.158).

B. Verwehungszaune

Die Aufstellung eines flächenhaften Windhindernisses (Schneezaun, -mauer, -hag, Verwehungszaun) bewirkt durch Verwirbelung und Bremsung des Windes eine Störung des Strömungsbildes. Dadurch wird vom Wind mitgeführter Schnee vor und hinter dem Schneezaun in bestimmter Form abgelagert (Abb.159). Diese durch den Zaun erzwungene Schneeablagerung ist abhängig von der Geschwindigkeit des Windes, der Beschaffenheit des Schnees sowie von Standort, Größe und Material, vorwiegend jedoch vom Füllungsgrad des Windhindernisses. Niedriger Füllungsgrad bewirkt langgezogene und flache Schneeanlagerungen, volle Füllung steile und kurze.

Der Einfluß des Füllungsgrades auf die Ablagerungsmenge vor und hinter dem Zaun zeigt nach CROCE ein Optimum bei Füllungsgraden zwischen 0.25 und 0.50. Er faßte auf Grund von Freilandversuchen auch die Längenwirkung von Verwehungszaunen in Abhängigkeit von Zaunhöhe (h) und Füllungsgrad (f) in eine Distanzformel,



Abb. 159: Ablagerung hinter Schneezaunen aus Zirben- und Wacholderästen (Höhe 1,8 m, Füllung 50 %)

welche für horizontales Gelände in der Form

$$A = \frac{11 + 5h}{k} \quad (+ 5)$$

den Abstand des Zaunes von einem zu schützenden Objekt z. B. Bahn oder Straße angibt. Darin stellt A den erforderlichen Abstand in m, h die Zaunhöhe in m und k einen vom Füllungsgrad abhängigen Beiwert dar, welcher von k = 0,80 bei f = 0,35 bis k = 1,35 bei f = 0,75 ansteigt. Der Beiwert 5 am Ende der Formel ist der Sicherheitsbeiwert.

CROCE fordert möglichst gleiche Verteilung der Füllung über das ganze Windhindernis, was von KREUTZ und WALTER (1956) bestätigt wird. Diese weisen auch auf die zur Turbulenz führenden Vorgänge bei stabilen und undurchlässigen Randzonen (Abrißkanten) hin. Der Energieverlust erfolgt danach gleichmäßiger bei siebartiger Anordnung der Öffnungen als bei streifenweiser Verteilung der Füllung (Holzzaun, Metallhürde).

Von besonderer Bedeutung für die Ausbildung der Leewirbelzone und daher für die Schneeablagerung erweisen sich nach Windkanaluntersuchungen von KREUTZ auch Rauigkeit und Elastizität des Hindernisses: Bei gleicher geometrischer Durchlässigkeit führen bei Schneezäunen mit niedrigem Füllungsgrad größere Rauigkeit und Elastizität zur Hinaufsetzung des leeseitigen Schutzeffektes und zu gleichmäßigerer und längergestreckter Ablagerungsform.

III. Laufende Versuche des Lawinendienstes

Ausgehend von vorhandenen Untersuchungsergebnissen und wegen der Bedeutung des Windes für Lawinenbildung und Aufforstung wurden vom Lawinendienst in den vergangenen Wintern weitere Untersuchungen an Verwehungsbauten und Kolktafeln durchgeführt. Die Versuche sollten auch klären, wie weit die meist in der Ebene durchgeführten früheren Versuche auf Hochgebirgsverhältnisse übertragen werden können. Die Versuchsbauten wurden aufgestellt im Versuchsgelände Obergurgl in 2.150 - 2.250 m (Ötztal), am Paidaer Sonnberg in 1.900 m (Sellraintal) und auf dem Metzentrücken in 2.000 m (Zillertal).

Im einzelnen standen folgende Fragen im Vordergrund:

- A) Wirkweite der Schneezäune,
- B) Schneezäune in Beziehung zu Vegetationsgesellschaften und Schutzwirkung auf Aufforstungen,
- C) Auswirkung des Schneerückhaltes auf die Schneeverteilung in Lawinhängen,
- D) Vergleich von Kolktafeln und Düsen zur Wächtenverhinderung.

A. Wirkweite der Schneezäune

Der Frage nach der Wirkweite der Schneezäune wurde in den laufenden Versuchen breiter Raum gegeben, zumal die von CROCE aufgestellte Distanzformel

$$A = \frac{11 + 5h}{k} \quad (+ 5)$$

vor allem für Zaunhöhen von ca. 2 m und im Flachland ermittelt wurde und somit für variierende Zaunhöhen im Gebirge noch erprobt werden mußte. CROCE wollte ja auch mit seiner Formel eher die Maximallänge einer Ablagerung erfassen der Beiwert 5 am Ende der Formel ist ein Sicherheitsbeiwert während es bei den Versuchen des Lawinendienstes eher um die Frage nach der mittleren Reichweite von Schneezäunen ging.

Auf den genannten Versuchsgebieten wurden in den letzten Jahren etwa 12 verschiedene Zauntypen aufgestellt und in deren Wirkungsbereich die Entwicklung der Schneedecke untersucht. Die Zäune waren von unterschiedlicher Elastizität und Rauigkeit, Höhe (1 - 4 m) und Füllung (0,40 - 1,0). Diese Faktoren zeigten auf die Schneeablagerung die im folgenden beschriebenen Wirkungen.

1. Einfluß von Elastizität und Rauigkeit

Hohe Elastizität der Bauten (z. B. beweglicher Zirbenzaun) wirkt sich auf die Ablagerung dahingehend aus, daß diese bereits bei geringerem Schneeangebot in gleichmäßiger und langgestreckter Form ausgebildet wird, also z. B. bereits im Frühwinter bzw. in schnee-armen Wintern einen guten Schutz für Aufforstungen abgibt. Elastizität der Bauten ergibt bei gleichem Füllungsgrad also eine raschere Erreichung des Nutzeffektes. Durch die Elastizität paßt sich das Windhindernis den verschiedenen Windgeschwindigkeiten besser an (Abb. 159).

Auch die Rauigkeit der Schneezäune wirkt sich ähnlich wie die Elastizität in einer Verstärkung des leeseitigen Effektes aus. Günstig ist es, bei streifenweiser Füllung des Zaunes (Holzzaun) diese in zwei, voneinander etwa 10 - 15 cm entfernten Ebenen mit je halbem Füllungsgrad anzuschlagen, weil damit ein Bremsweg im Zaun erreicht wird (Abb. 160). Dies ist aber nur dann der Fall, wenn der Zaun senkrecht angeströmt wird. Bei schrägem Anströmungswinkel wird der effektive Füllungsgrad dadurch herabgesetzt.



Abb. 160: Ablagerung hinter Schneezaun (Höhe 4 m, Füllung 60 % in versetzter Anordnung) schiebt sich gegen Lee vor (Versuchsverbauung Paida)

2. Einfluß der Zaunhöhe

Bei Zäunen bis zu 4 m Höhe sind ausreichende Bewindung und Schneeangebot vorausgesetzt. Länge und Höhe der Ablagerung von der Zaunhöhe und vom Füllungsgrad abhängig. Die Höhe der Ablagerung ist im allgemeinen begrenzt durch die Höhe des Zaunes. Die Höhe des Zaunes wird von der Schneeablagerung umso rascher erreicht, je höher dessen Füllung ist. Bei erstrebter Schutzwirkung auf Aufforstungen bestimmt somit die für die Pflanzen optimale Schneehöhe unter Berücksichtigung des Schneeangebotes diejenige des Zaunes.

Steht ein Zaun auf einem gegen die Anströmrichtung geneigten Gelände, so wird der Wind stärker aufgeleitet und die Höhe der Ablagerung im Lee des Windhindernisses übersteigt die Zaunhöhe (Abb. 161). Bei fallendem Gelände ist eher eine gegenteilige Wirkung festzustellen.

Absetzung des Zaunes vom Boden (Bodenspalt) hat eine Verschiebung der Schneeablagerung nach Lee zur Folge. Dadurch kann das Einwehen des Zaunes verhindert werden.

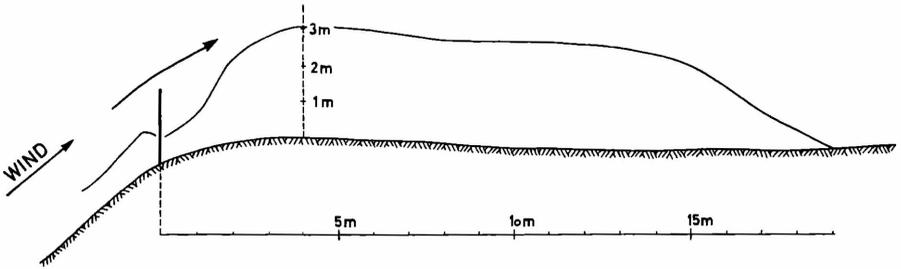


Abb. 161: Starke Aufleitung des Hangaufwindes (Föhn an der Innsbrucker Nordkette, 2.250 m) bewirkt Ansteigen der Schneeeablagerung im Lee des Zaunes (Höhe 2 m, Füllung 60 %) auf dessen anderthalbfache Höhe

3. Einfluß des Füllungsgrades

Der Füllungsgrad ist der bestimmendste Faktor für die Ausbildung der Ablagerung. Zäune mit hohem Füllungsgrad erzeugen im Lee zunächst kurze und steile Ablagerungen, da der Wind über das Hindernis hinweggeleitet wird und hinter diesem eine bodennahe Gegenströmung erzeugt. Abnahme der Füllung hat Streckung der Ablagerung zur Folge (Abb.162). Die Ablagerung erreicht bei hoher

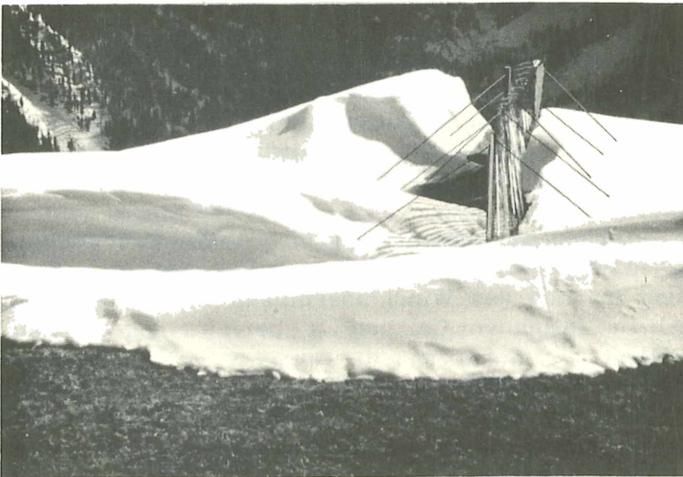


Abb. 162: Schneeeablagerung durch Zäune aus lotrechten Blechstreifen unterschiedlicher Füllung (vorne 50 %, dahinter 80 %)

Füllung in Hindernisnähe rasch die Höhe des Zaunes und schiebt sich dann - ähnlich einer Wächte - langsam nach Lee vor, so daß sich nach großem Schneeangebot im Spätwinter die Unterschiede zwischen Zäunen unterschiedlicher Füllung (0,50 - 0,90) weitgehend verwischen.

Die Frage nach der Art der Füllung wurde durch die Versuche dahingehend beantwortet, daß in technischer Hinsicht eine streifenweise Anordnung am günstigsten ist, wobei die lotrechte Stellung der Lamellen den Vorteil hat, daß die obere Kante des Zaunes rau und durchlässig ist. Dadurch werden ungünstige Verwirbelungen und Gegenströmungen vermieden. Diese Zäune sind auch dauerhafter, da sie bei Einwehung gegen den Setzungs- und Kriechdruck des Schnees unempfindlicher sind.

Nach dem Dargelegten ist also die Wirkweite von Schneezäunen wie CROCE zeigte vorwiegend von deren Höhe und Füllungsgrad abhängig (Abb. 163). Die Auswertung der Versuche ergab dabei

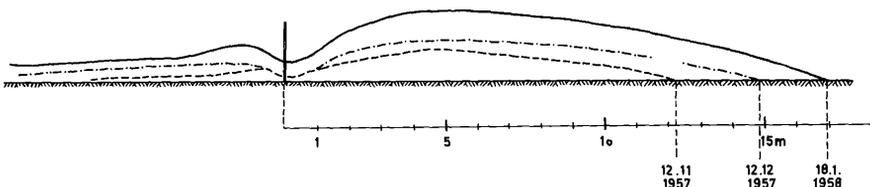


Abb. 163: Aufbau der Schneeeablagerung im Bereiche eines Schneezaunes (Höhe 1,8 m, Füllung 50 %)

für Zaunhöhen (H) von 1 bis 4 m und Füllungsgrade (f) ab 0,4 als empirische Formel für die mittlere Reichweite (L) von Schneezäunen

$$L = \frac{5 H}{f}$$

Untersuchungen über den Zusammenhang von Ablagerungslänge und Hangneigung ergaben, daß die Zungenlänge bei steigendem Gelände ab- und bei fallendem Terrain zunimmt. Nach vorsichtiger Beurteilung der bisherigen Versuche war dabei für $\pm 20\%$ geneigtes Gelände die Beziehung zu erkennen:

$$L = \frac{5 H}{f} \left(1 \mp \frac{p}{100} \right)$$

p Geländeneigung in %

Der Vergleich zwischen der Formel

$$L = \frac{5H}{f}$$

und der Formel von CROCE

$$L = \frac{5H + 11}{k}$$

ergibt gute Übereinstimmung für 2 m und 3 m hohe Zäune, dagegen höhere CROCE-Werte für 1 m bedingt durch die Konstante 11 und niedrigere für 4 m hohe Zäune.

Wie erwähnt, wird die maximale Höhe der Ablagerung umso rascher erreicht, je dichter der Schneezaun ist. Da die zurückgehaltene Schneemenge von Länge und Höhe der Ablagerung abhängt, ergibt sich daraus die Frage nach dem günstigsten Füllungsgrad zur Erreichung einer maximalen Ablagerung. Die Beobachtungen zeigten, daß bei niedrigem Füllungsgrad (unter 0,4) die Höhe der Ablagerung nicht immer diejenige des Zaunes erreicht. Als günstigster Füllungsgrad für die Erzielung der maximalen Ablagerung leeseits des Zaunes kann nach den bisherigen Erfahrungen daher jener von 0,50 bis 0,70 angegeben werden.



Abb. 164: Gesättigte Ablagerung im Bereiche eines Schneezaunes (Höhe 2 m, Füllung 80 %) auf der "Daunmoräne" bei Obergurgl (2.230 m) nach starker Aufleitung des Hangaufwindes

B. Schneezäune in Beziehung zu Vegetation und Aufforstung

In windausgesetzten, schattseitigen Lagen der subalpinen Stufe der Zentralalpen stellen sich in Abhängigkeit vom Kleinrelief und der Schneebedeckungsdauer die in Abb. 156 dargestellten Pflanzengesell-

schaften ein. Aus bereits dargelegten Gründen liegt der optimale Bereich für Zirbenaufforstungen im *Vaccinietum uliginosi* und reicht z. T. bis ins *Rhododendretum ferruginei* (Zone mittlerer Schneebedeckung). In den Versuchswintern im vorgelagerten Bereich des *Alectorietums* aufgestellte Schneezäune mit mittlerem Füllungsgrad hielten den hier sonst aperen Rücken den ganzen Winter hindurch schneebedeckt, wodurch der für die Aufforstung günstige Bereich erweitert und die Schneemenge im *Rhododendretum* verringert wurde (Abb. 165). Im Schutz dieser Zäune wurde eine Versuchsaufforstung mit Zirbe und Lärche durchgeführt, welche mit einer Pflanzung auf dem ungeschützten Rücken daneben vergleichbar ist.

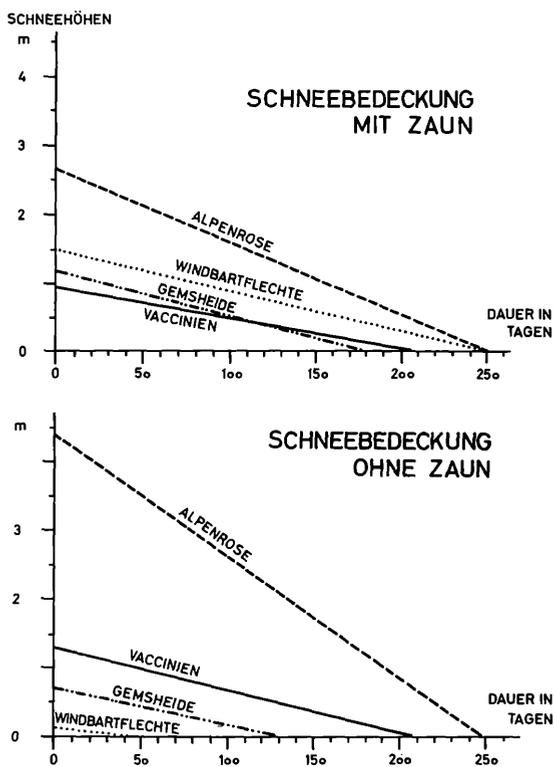


Abb. 165: Beeinflussung der Schneebedeckung verschiedener Pflanzengesellschaften eines zentralalpinen Hangrückens durch Aufstellung eines Schneezäunes (Höhe 2 m, Füllung ca. 70 %) (nach AULITZKY 1963)

Rammprofilaufnahmen ergaben, daß auch die Festigkeit des hinter den Zäunen abgelagerten Schnees wesentlich höher ist als die Festigkeit des auf einer vom Wind unbeeinflussten, horizontalen Fläche abgelagerten Schnees. Die innerhalb eines Winters ermittelten Festigkeitswerte ergaben im Mittel ein Verhältnis von 3 zu 1. Die Zone dieser höheren Festigkeit begann bei einem beweglichen Zaun aus Zirbenästen (2 m Höhe, Füllung 70 %) 3 - 4 m leeseits des Zaunes und klang bei 8 - 10 m wieder aus (Abb. 159). Es ist dies die Zone der größten Schneehöhen im Lee des Zaunes, welche auch am spätesten ausapert.

Als Verwehungsbauten für Aufforstungen sind somit Zäune mit voller Füllung weniger geeignet, da sie steile und kurze Ablagerungen ergeben und durch starke Verwirbelungen im Lee eine gleichmäßige Verminderung der Windgeschwindigkeit nicht stattfindet, während Zäune mit niedrigerem Füllungsgrad durch die Gleichmäßigkeit der Schneeablagerung besser entsprechen und die Verteilung des Schnees auf eine größere Fläche ermöglichen.

C. Auswirkung des Schneerückhaltes durch Zäune auf die Schneeablagerung in anschließenden Lawinhängen

Durch Untersuchungen im Wirkungsbereich von Schneezäunen konnte erwiesen werden, daß der oberste Bereich von Leehängen durch jene Schneemengen weitgehend entlastet wird, welche geeignete Geländebeziehungen vorausgesetzt - durch Schneezäune unmittelbar außer- bzw. oberhalb des Lawinhanges zur Ablagerung gebracht werden. Besonders deutlich war dies dort zu sehen, wo vor Aufstellung der Zäune am Leerand Wächten gebildet wurden. Diese konnten durch Aufstellung von Schneezäunen im Vorfeld des Leehanges nahezu gänzlich verhindert werden (Abb. 166).

Diese Art der Wächtenverhinderung hat den Vorteil, daß der Schnee, der zur Wächtenbildung führt, schon vor dem Wächtenrand abgelagert wird. Die Methode erfordert jedoch ein der Wirkweite des Zaunes entsprechendes Vorfeld. Wo dies nicht vorhanden ist, müssen Kolktafeln oder Düsen verwendet werden (Abb. 166).

D. Wächtenverhinderung durch Kolktafeln und Düsen

Diese Methode ist dort am Platz, wo keine Möglichkeit zur Rückhaltung des Triebsschnees vor dem Leehang besteht, also auf Graten und schmalen Rücken. Der Schnee wird durch die Wirkung der

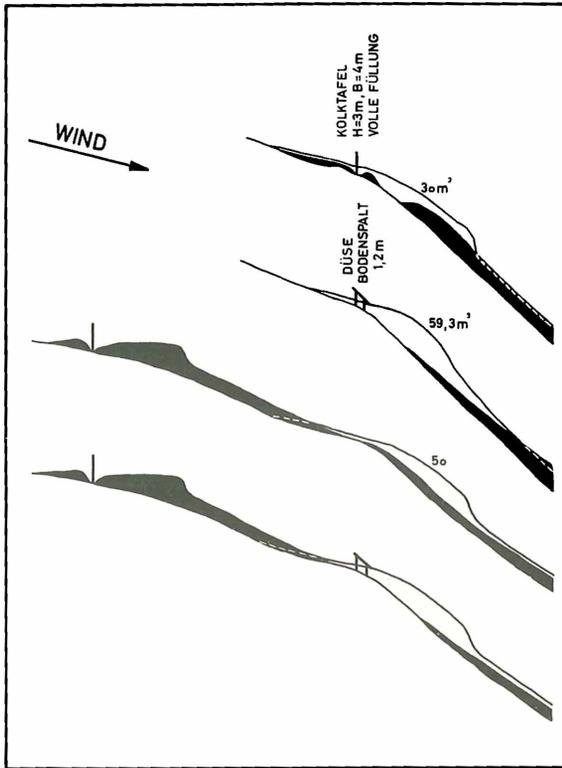


Abb. 166: Schneeverteilung vor und nach Aufstellung von Verwehungsbauten (Kolktafeln, Düsen, Schneezäune). Weiß: Schneeverteilung vor Aufstellung. Schwarz: Schneeverteilung nach Aufstellung

Kolktafeln und Düsen über die Geländekante hinaus und in den Hang hinein verfrachtet.

Kolktafeln: Die beste Wirkung wird erzielt, wenn die Tafeln unmittelbar am Geländebruchrand aufgestellt werden (Abb. 167 und 168). Sie sollen volle Füllung haben, ein Bodenspalt bis zu 1 m ist günstig. Die Höhe der Tafeln soll 3 m, die Breite 4 m und die Zwischenräume 4 m (oder 1-fache Tafelbreite) nicht übersteigen.

Der Vorteil der Kolktafeln zur Wächtenverhinderung besteht darin, daß der über den Grat hinwegbeförderte Triebsschnee im Lee-hang von der Geländekante abwärts weit und gleichmäßig verteilt wird (Abb. 168).

Düsen: Der wirksamste Verwehungsbau zur Verhinderung der Wächtenbildung ist die Düse. Sie ist eine stark gegen den Hang geneigte Kolktafel mit Bodenspalt, wodurch diese ein dachähnliches Aussehen erhält. Wird die Düse am Geländebruchrand, d.h. am



Abb. 167: Kolktafel mit Bodenspalt zur Verhinderung der Wächtenbildung an einem Plateaurand (Versuchsgelände Wattener Lizum)

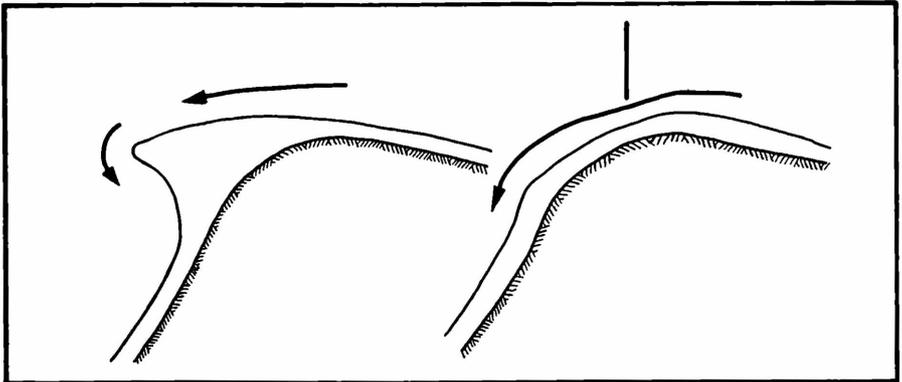


Abb. 168: Schneevertelung vor und nach Aufstellung einer Kolktafel mit Bodenspalt zur Verhinderung der Wächtenbildung an einer Geländekante

Wächtenansatz aufgestellt, so wird der Wind unter dem Düsendach hinweg in den Leehang hinein beschleunigt und der mitgeführte Schnee dorthin verfrachtet (Abb.169). Durch die bodennahe Windströmung bleibt der Bereich unterhalb der Düse schneefrei bis schwach schneebedeckt.



Abb. 169: Wächtenverhinderung durch Düsen in der Versuchsverbauung Paida. Der Triebsschnee wird weit in den Leehang verfrachtet

Der günstigste Effekt wird erzielt, wenn das Dach etwa gleiche Neigung wie der dahinterliegende Hang aufweist und der leeseitige Bodenspalt 1 - 1,5 m beträgt (Abb.170, 171). Die luvseitige Höhe der Düse richtet sich nach der Breite des Daches, welche mit 4 m als ausreichend angesehen werden kann. Die Länge der Düse richtet sich nach der Geländeform: Bei gleichbleibendem Gelände kann sie länger durchgehend sein, bei ungleichförmigem Gelände abgesetzt werden, wobei ein Zwischenraum von 4 Metern nicht überschritten werden soll. Volle Füllung des Daches ist aerodynamisch am günstigsten, doch wirken sich kleine Zwischenräume (bis 2 cm) zwischen den Brettern zur Verhinderung einer Schneeauflage günstig aus.

Durch Düsenwirkung kann ein Lawinengang auf 10 - 15 m unterhalb des Grates schneefrei gehalten werden (Abb.169). Der Nachteil der Düse ist darin zu sehen, daß der sonst hier abgelagerte Schnee in den darunterliegenden Lawinengang verfrachtet wird und dort eine unbeabsichtigte Zunahme der Schneehöhen bewirkt. Es kann vorkommen, daß dadurch die obersten Werksreihen einer Stützverbauung überschneit und überlastet werden. Bei der Wächtenverhinderung mit Kolktafeln wird hingegen auch der oberste Teil des Lawinenganges in noch tragbarem Ausmaß schneebedeckt gehalten.

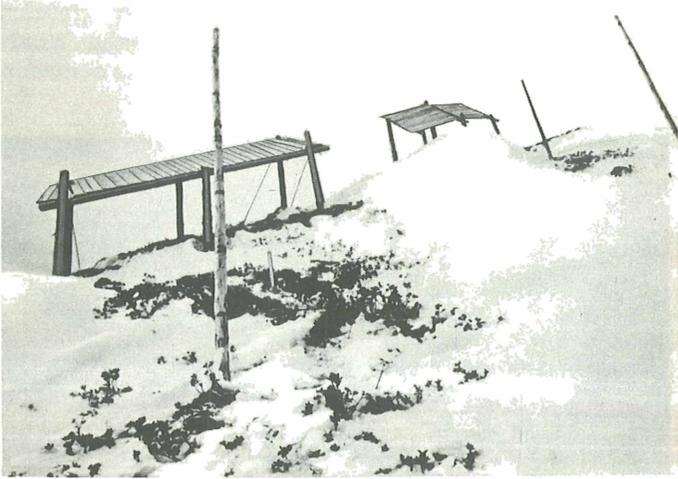


Abb. 170: Düsen halten den obersten Bereich eines Abbruchgebietes schneefrei und verhindern Wächtenbildung



Abb. 171: Beispiel der Windverbauung einer Lawine (Versuchsgelände Paida 1900 m) mit Kolktafeln (oberstes Abbruchgebiet), Düsen und Kolktafeln (Wächtenrand) und Schneezaun (flaches Vorgelände)

Die Verwendung von Düse oder Kolktafel zur Wächtenverhinderung erfordert also eine genaue Beurteilung der Gelände-, Schnee- und Verbauungsverhältnisse. Die Düse wird zweifellos dort vorzuziehen sein, wo der verfrachtete Schnee auf ungefährliche Hangverflachungen abgelagert werden kann.

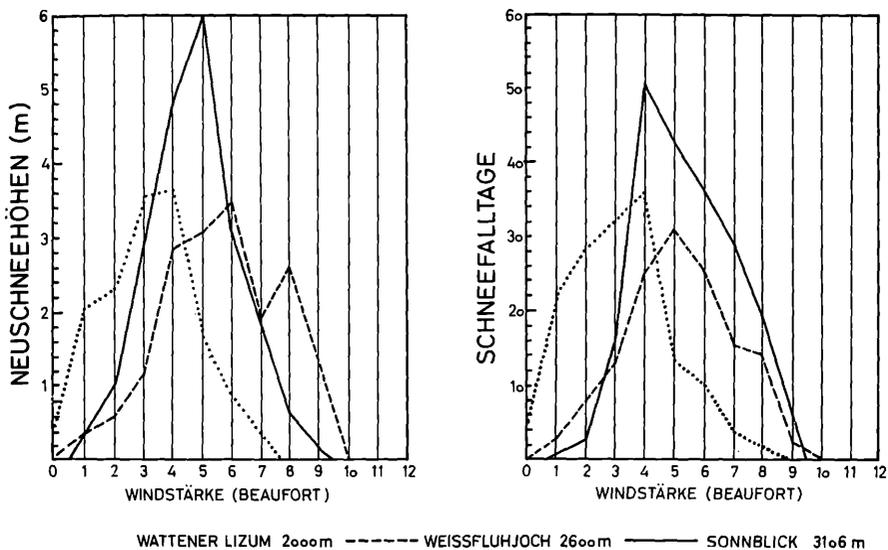


Abb. 172: Windstärke bei Schneefall. Links: Darstellung der Neuschneehöhen bei den verschiedenen Windstärken, rechts: Windstärke an den Schneefalltagen. Nach Messungen im Januar und Februar der Jahre 1950 - 55 an der Schneeforschungsstelle Wattener Lizum, am Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung Weißfluhjoch/Davos (Winterberichte Nr. 14 - 19) und am Sonnblick (Jahrbücher 1950 - 55 der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien)

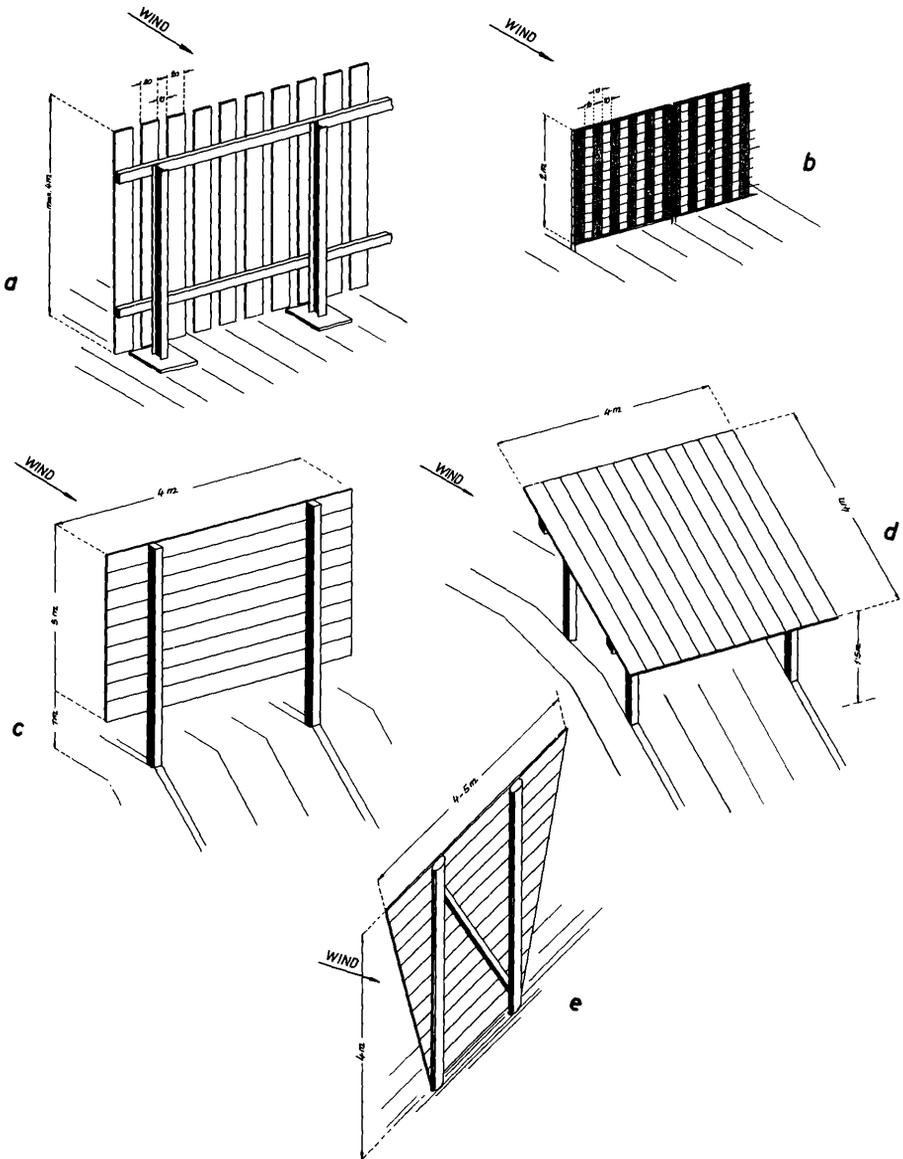


Abb. 173: Einige Windverbauungstypen zur quantitativen und qualitativen Beeinflussung der Schneedecke

- a) Schneezaun aus Holz, Füllungsgrad 0,67
- b) Schneezaun aus Metall, Füllungsgrad 0,50
- c) Kolktafel mit Bodenspalt zur Wächtenverhinderung
- d) Düse zur Wächtenverhinderung
- e) Kolktafel zur Verfestigung der Schneedecke im Anbruchgebiet

IV. Zusammenfassung und Hinweise auf die Projekt-Erstellung

Wind- und Schneeverteilung sind entscheidende Faktoren für die Lawinenbildung. Durch Erstellung von windbeeinflussenden Bauten ist es möglich, die Faktoren an bestimmten Orten so zu ändern, daß die Lawinenbildung verzögert oder hintangehalten wird. Hierzu ist zunächst die Kenntnis der unbeeinflussten Bewindung und Schneeverteilung im Verbauungsgebiet erforderlich.

Der Projektverfassung soll eine mehrjährige Beobachtung der Schneeverhältnisse im Nähr- und Abbruchgebiet der Lawine vorausgehen. Zur Bestimmung der Schneehöhen sind Pegelmessungen erforderlich, wobei bei Aufstellung der Pegel bereits auf Geländeausformung und Vegetation Bezug genommen werden soll. Diese Messungen ergeben zusammen mit den Ausaperungsformen das Bild einer jährlich ähnlichen Schneeverteilung, welches durch Hinzufügen eines auf Katastrophenschneefall bezogenen Zuschlages bereits die quantitative Grundlage für technische Schutzmaßnahmen abgibt. Dieser Zuschlag kann ermittelt werden durch Vergleich der gemessenen Schneehöhen mit den langjährigen Werten einer nahegelegenen Basisstation (vgl. EIDGEN. INSPEKTION FÜR FORSTWESEN 1961: Richtlinien für den permanenten Stützverbau).

Die Anströmrichtung der intensiven - also schneeverfrachtenden Winde kann aus den Wächten ersehen und an der Vegetation auch im Sommer beurteilt werden. Windzugekehrte Seiten kleinerer Erhebungen zeigen z. B. windharten Flechtenbewuchs, während daneben *Loiseleuria procumbens* anzutreffen ist. Größe und Übergang dieser Bereiche lassen auf die Windverhältnisse in Bodennähe schließen.

Aus diesen Erhebungen ergibt sich die Beurteilungsmöglichkeit für die Erstellung einer Windverbauung. Der Anwendungsbereich der Windverbauung wird dabei in der Lawinenverbauung nicht so weitreichend sein wie in der Lawinenvorbeugung, wo es sich vorwiegend um den Schutz von Aufforstungen handelt und daher keine so hohe Sicherheit gefordert wird. In der Lawinenverbauung dienen die windbeeinflussenden Bauten hingegen wegen der verlangten Verbauungssicherheit vorwiegend der Entlastung der Stützverbauung. Die Situierung der Bauten, welche dem Schutz der Aufforstung dienen, muß aus der Verteilung der Pflanzengesellschaften heraus erfolgen, innerhalb welcher eine Schutzwirkung auf die Pflanzen erzielt werden soll. In der zentralalpinen Urgesteinszone ist dies an und über der Waldgrenze das *Alectorietum* und das *Loiseleurietum*. Windverbauungstechnisch schließt sich daran der mögliche Bereich der Verfestigungsbauten (Kolktafeln), während das windschwache *Rhododendretum* der Stützverbauung vorbehalten bleibt.

Die Reichweite der Schneezäune kann nach der empirischen Formel

$$L = \frac{5 \cdot H}{f} \quad (H \text{ Zaunhöhe, } f \text{ Füllungsgrad})$$

ermittelt werden. Zur Erfassung der jeweiligen Standortsbedingungen sind an repräsentativen Stellen einige Schneezäune aufzustellen und einen Winter lang zu beobachten. Die durch die Zäune veränderte Schneeverteilung ist zu kartieren und daraus die weitere Situierung der Bauten abzuleiten sowie die Wirkung auf eine Stützverbauung zu beurteilen (Kostenverminderung durch Reduktion der Werkshöhen!).

Schneezäune mit hohem Füllungsgrad erzeugen zunächst kurze Ablagerungen, welche erst bei zunehmendem Schneeangebot in Lee-richtung weiterwachsen. Abnahme der Füllung hat Streckung der Ablagerung zur Folge. Die Wahl von Füllung und Höhe der Schneezäune hängt weitgehend ab von den örtlichen Verhältnissen und dem erwünschten Effekt. Streifenweise Anordnung der Füllung in lotrechter Stellung der Lamellen ist günstig, weil durch den durchlässigen Charakter der oberen Randzone eine bessere Wirkung des Zaunes erreicht wird. Diese Zäune sind auch dauerhafter, da sie bei Einwehung gegen Setzungs- und Kriechdruck unempfindlicher sind (Abb. 173 a und b).

Elastizität von Schneezäunen bewirkt besonders bei geringem Schneeangebot eine Erhöhung des Nutzeffektes. Räumliche Anordnung der Zaunfüllung ist günstig, wenn der Hauptwind senkrecht zum Zaun streicht. Nach den bisherigen Versuchen wird die größte Ablagerung im Lee von Zäunen bei einem Füllungsgrad von 0,50 0,70 erreicht.

Auch bei erstrebter Wächtenverhinderung durch Kolktafeln und Düsen sind zunächst einige Bauten probeweise aufzustellen und deren Wirkung auf die Schneeverteilung im anschließenden Leehang vor Erstellung von Stützwerken zu beurteilen (Abb. 171). Meistens wird mit Kolktafeln eine günstigere Schneeverteilung im Hang erreicht als durch Düsen (Abb. 173 c und d), durch welche wohl der oberste Teil des Hanges schneefrei gehalten, darunter jedoch umso mehr Schnee angesammelt wird.

Die statische Berechnung der Bauten hat auf Winddruck, bezogen auf die wirksame Fläche des Windhindernisses, zu erfolgen. Daraus ergibt sich eine Kostenabhängigkeit der Bauten vom Füllungsgrad.

Kolktafeln, welche die Schneedecke im Abbruchgebiet verfestigen und deren Abbrechen verhindern sollen (Abb. 173 e), sind so aufzustellen, daß noch eine intensive Kolkbildung gewährleistet ist. Probeweise Aufstellung einer Tafelreihe von Luv nach Lee und Beobachtungen während eines Winters werden Aufschluß über die Bewindung der Tafeln geben. Diese sollen auf die Hauptwindrichtung ansprechen, volle Füllung haben und 1 m höher als die Schneedecke

sein. Die Breite soll 5 m nicht übersteigen, wobei es günstig ist, wenn sich die Tafeln nach unten verjüngen. Der Abstand untereinander soll 15–20 m betragen. Reibungsschwache Hänge sind für Kolktafelverbauungen weniger geeignet als solche mit niedrigen Gleitfaktoren.

Das Material der Schneezäune, Düsen und Kolktafeln wird durch die von den Bauten geforderte Lebensdauer bestimmt.

Sicherheitsgrad

Der Wind ist die entscheidende Voraussetzung für die Wirkung von Verwehungsbauten und Kolktafeln. Diese werden funktionslos, wenn er ausfällt, was jedoch bei Schneefall oberhalb der Waldgrenze nach Aufzeichnungen der Stationen Weißfluhjoch/Davos (2650 m), Lizum/Tirol (2000 m) und Sonnblick (3100 m) als Seltenheit anzunehmen ist (Abb. 172). So waren die Schneefälle, welche zu den Lawinenkatastrophen 1951 und 1954 führten, in Höhen von 2000 m bis 3100 m von starken Gradientwinden begleitet. Dies war sowohl auf der Sonnblick-Gipfelstation und der Weißfluhjoch-Gratstation als auch auf der Lizum-Talstation der Fall.

Richtige Wahl von Material, Größe, Füllungsgrad und Aufstellungsort weist also den Verwehungsbauten einen hohen Wirkungs- und Sicherheitsgrad zur örtlichen Beeinflussung der Schnee-Verteilung zu. Sie sind wirksam, sobald Wind auftritt. Fällt er aus, weist die Schneedecke den gewünschten Zustand der Homogenität auf. Windstille hat hingegen bei Kolktafeln, welche die Schneedecke im Lawinenhang verfestigen sollen, neben Funktionslosigkeit auch Wegfall der Verbauungssicherheit zur Folge. Diese ist jedoch auch bei starker Bewindung nicht mit 1 einzusetzen. Schneefall bei intensivem Wind bewirkt nämlich auch rasches Anwachsen der Schneedecke, wodurch die Spannungskräfte, welche schließlich zu deren Bruch führen, größer werden. Erst mindestens gleiche Zunahme von Festigkeit im Kolktafelbereich und Zug- und Scherspannung in der Gesamtschneedecke würde volle Verbauungssicherheit gewährleisten. Eine derartige Kongruenz kann jedoch nicht mit Sicherheit angenommen werden, zumal hierfür auch die Schneebeschaffenheit entscheidende Bedeutung hat: sehr kalter und trockener Neuschnee wie bei der Lawinenkatastrophe 1954 in Vorarlberg hat nur geringe bindende Eigenschaften.

Die Anwendung von Kolktafeln wird daher beschränkt bleiben auf relativ kleinflächige Anrißzonen in windoffenen Gebieten, wo nach Windeinwirkung Neigung zu Schneebrettanbrüchen besteht und keine großen Werte zu schützen sind.

Infolge der Unbestimmtheit ihrer Prämissen wird diese Verbauungsmethode eher als fallweise Ergänzung denn als Ersatz für eine Stützverbauung anzusprechen sein.

Literatur

- AULITZKY H. 1963: Bioklima und Hochlagenaufforstung in der subalpinen Stufe der Innenalpen, Schweiz, Z. f. Forstwesen, H. 1.
- BRANDTNER W. 1955: Bericht über Versuche mit Windverbauungen im Bereiche der Gebietsbauleitung Bludenz. Unveröffentlichter Bericht der Wildbach- und Lawinenverbauung, Sektion Bregenz.
- CAMPELL E. 1955: Treibschneewände oder Kolktafeln und ihre Anwendung in der Lawinenverbauung. Bündnerwald 8, Nr. 5.
- CROCE K. 1942: Meßversuche an Schneezäunen in den Wintern 1940/41 und 1941/42. Unveröffentlichter Bericht der Schneeforschungsstelle des Gen. Insp. f. d. Dtsch. Straßenwesen, C 1, November 1942.
- CROCE K. 1950: Untersuchungen über Schnee und Schneeschutzanlagen an Straßen. Forschungsarbeiten aus dem Straßenwesen, neue Folge, Heft 6. Erich Schmidt Verlag, München.
- EIDGEN. INSPEKTION FÜR FORSTWESEN BERN 1961: Lawinenverbau im Anbruchgebiet. Richtlinien für den permanenten Stützverbau. Mitt. Eidg. Inst. f. Schnee- u. Lawinenforschung 1961, Nr. 15.
- FISCHER F. und IN DER GAND H.R. 1958: Untersuchungen über den Einfluß der Schneebedeckung auf den An- und Aufwucherfolg von Aufforstungen im Gebirge. Winterbericht des Eidg. Inst. f. Schnee- u. Lawinenforschung 1958, Nr. 21.
- FRIEDEL H. 1952: Gesetze der Niederschlagsverteilung im Hochgebirge. Wetter u. Leben 4, 73 86.
- FUCHS A. 1954: Bericht über Modellversuche mit Kolktafeln im Windkanal. Unveröffentlichter Bericht der Lawinendienststelle Innsbruck, August 1954. Vgl. den Auszug: Abschn. II. A. 3 dieses Buches.
- GAYL A. und HECKE H. 1953: Neuere Erkenntnisse zur vorbeugenden Lawinenbekämpfung. Allg. Forstztg. 64, Folge 7/8, 5 S.
- KAISER H. 1960: Schneeverwehungen an Windschutzanlagen, eine Gefahr für Felder und Wege? Die Umschau in Wissenschaft und Technik 60, Heft 2.
- KREUTZ W. und WALTER W. 1956: Der Strömungsverlauf sowie die Erosionsvorgänge und Schneeablagerungen an künstlichen Windschirmen nach Untersuchungen im Windkanal. Ein Beitrag zur Windschutzfrage. Berichte des deutschen Wetterdienstes Nr. 24 (Band 4), 25 S.
- KREUTZ W. und WALTER W. 1958: Windschutzwirkung in Abhängigkeit von der Breite und Durchlässigkeit des Hindernisses. (Nach Untersuchungen im Windkanal). Zeitschrift für Acker- u. Pfl.,bau 105, Heft 3.
- KUSTER J. 1957: Windwände zum Schutze von Aufforstungen. Schweiz. Ztschr. f. Forstwesen 1957, Nr. 4/5.
- MANNI J. 1962: Kleiner Beitrag zum Verwehungsbau. Bündnerwald 15, Nr. 7.
- NÄGELI W. 1953: Untersuchungen über die Windverhältnisse im Bereich von Schilfröhrwänden. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchswesen 29, Heft 2.
- TURNER H. 1961: Standortuntersuchungen in der subalpinen Stufe: Die Niederschlags- und Schneeverhältnisse. Mitt. Forstl. Bundes-Vers. Anst. Maria-brunn, Heft 59, 265 - 315.
- WILDBACH- UND LAWINENVERBAUUNG, GEBIETSBAULEITUNG MITTELPINZGAU (F. HARTWAGNER) 1952: Bericht über die bisherigen Ergebnisse der Wirkung der auf der Schmittenhöhe eingebauten Schneezäune. Unveröffentlicht.
- WOPFNER H. 1956: Über die Wirkung von Kolktafeln auf die Schneedecke und deren Anwendung in der Lawinenvorbeugung. Unveröffentlichter Bericht der Lawinendienststelle Innsbruck, Forschungsstelle Wattener Lizum. Vgl. den Auszug: Abschn. II. A. 2 dieses Buches.

2. Versuche mit Kolktafeln an der Schnee- forschungsstelle Wattener Lizum (Tirol) in den Jahren 1950—1955

von H. Wopfner und J. Hopf

Inhalt

	Seite
Einleitung	635
I. Ablauf und Anordnung der Versuche	636
II. Begriffliche Einführung	639
A. Erläuterungen und Definitionen	639
B. Typen von Kolktafeln	640
III. Versuche mit Kolktafeln zur Verhinderung von Wächtenbildung	642
IV. Versuche mit Kolktafeln zur Verhinderung von Schneebrettlawinen	644
A. Die Rammfestigkeiten der Schneedecke im Kolktafelbereich	644
1. Vergleichende Messungen der Rammfe- stigkeiten am Kolktafel-Versuchshang	644
2. Untersuchungen der Rammfestigkeiten am horizontalen Versuchsfeld	648
3. Ergebnisse der Rammprofil-Aufnahmen	652
B. Schichtaufbau und spez. Gewicht der Schnee- decke im Kolkbereich	653
C. Kriechbewegung der Schneedecke im Kolk- bereich	654
D. Schneetemperaturen im Kolkbereich	655
E. Lawinenanbrüche im Kolktafelbereich und deren Ursachen	655
F. Versuche am Patscherkofel	660
V. Zusammenfassung und Ausblick	662
Literatur	665

Diese Arbeit ist eine inhaltlich zum größten Teil unveränderte, jedoch gekürzte Fassung des bisher unveröffentlichten Berichtes "Über die Wirkung von Kolktafeln auf die Schneedecke und deren Anwendung in der Lawinenvorbeugung" von Dr. Helmut Wopfner, Jänner 1956; überarbeitet und dem derzeitigen Stand der Kenntnisse angepaßt von Dipl. Ing. Josef Hopf.

Einleitung

Eine Idee von Dipl. Ing. Leo HANDL, Innsbruck, weiterverfolgend, wurde im Winter 1950/51 an der Schneeforschungsstelle in der Wattener Lizum (Abb. 174) damit begonnen, die Wirkung von sogenannten Kolktafeln ¹⁾ auf die Schneedecke zu studieren. HANDL hatte vor Jahren solche Kolktafeln zur Verhinderung von Wächtenbildung im Pagge-Tal (Arlberg-Gebiet) angewandt (HANDL 1955).

Ausgangspunkt für die Anwendung von Kolktafeln in der Lawinenverbauung waren die Beobachtungen an Verwehungszäunen, welche zur Verhinderung von Schnee-Verwehungen an Bahn- und Straßentrassen seit langem verwendet werden (WELZENBACH 1930). Die Beobachtungen an solchen Verwehungszäunen zeigten, daß bei entsprechender Anordnung der Zäune die Morphologie der Schneedecke durch Lenkung der Luftströmung weitgehend beeinflußt werden kann. Zudem weisen die Schneeablagerungen in den unmittelbaren Bereichen von Schneezäunen durchwegs größere Festigkeiten auf als jene der ungestörten Schneedecke.

Von diesen Beobachtungen ausgehend entwickelte sich der Gedanke, durch tafelförmige Windhindernisse, Kolktafeln, die Homogenität der meist gleichmäßigen Schneeablagerungen in Abbruchgebieten von Schneebrettlawinen zu stören und gleichzeitig partielle Verfestigungen der Schneedecke im Tafelbereiche zu erzielen. Verfestigung der Schneedecke und Störung der Homogenität sollten ein Abbrechen von Schneebrettlawinen verhindern.

Der vorliegende Bericht soll an Hand der bisherigen Versuchsergebnisse zeigen, welche Wirkung die einzelne Kolktafel auf die Schneedecke ausübt. Von der Wirkungsweise der Einzeltafel ausgehend, sollen die für die praktische Anwendung von Kolktafeln in der Lawinenverbauung sich ergebenden Schlüsse gezogen werden. Die Versuche erstreckten sich auf die Jahre 1950 1955 und wurden auf Anregung von Josef BERNARD durchgeführt von Dr. Alfred FUCHS (Leiter der Schneeforschungsstelle Lizum), Dr. Helmut WOFFNER und Josef BERNARD. Die Gesamtleitung hatte Dipl. Ing. W. HASSENTEUFEL inne.

Die Untersuchungen verfolgten zwei getrennte Ziele: Einmal sollten mit Kolktafeln Anbrüche von Schneebrettlawinen verhindert werden, zum anderenmale wurde versucht, mittels Kolktafeln die Bildung von Wächten zu unterbinden.

Zu Beginn der Versuche standen wohl die Erfahrungen mit Schneezäunen zur Verfügung (CROCE 1942, WELZENBACH 1930), mit der Untersuchung von Kolktafeln zum Zwecke der Verhinderung von Schneebrettanbrüchen mußte jedoch Neuland betreten werden.

Die Hauptwirkung der Kolktafel erwartete man sich von der Verfestigung der Schneedecke im Kolkbereiche. Wodurch aber wurde diese Verfestigung hervorgerufen? War sie durch eine, einem Vektor (Wind) gehorchende Regelung nach der Korngestalt bedingt? Bestanden Zusammenhänge zwischen Tafelform und Verfestigung und welchen Einfluß hatten Standortbedingungen? Diese und zahlreiche andere Fragen mußten geklärt werden, ehe daraus ein Urteil entstehen konnte. Wenn man zudem bedenkt, daß ein schneearmer Winter die Versuchsergebnisse ganz oder teilweise in Frage stellen kann, wird man verstehen, daß ein verhältnismäßig langer Weg beschritten werden mußte, ehe das vorliegende Ergebnis zustande kam.

1) Der Name "Kolktafel" stammt von HANDL, in der Schweiz sind hierfür auch die Bezeichnungen Stautafeln *panneaux de depot* (HAEFELI) und Treibschneewände (CAMPELL) gebräuchlich.

I. Ablauf und Anordnung der Versuche

Die Versuche mit Kolktafeln an der Forschungsstelle in der Wattener Lizum wurden im Winter 1950/51 begonnen. Als Versuchsgelände wurde ein westlich der Station gelegener Hang mit einer mittleren Neigung von 30 bis 35° gewählt, von welchem bekannt war, daß auf ihm ein- bis zweimal während eines Winters Schneebrettanbrüche erfolgten. Im Folgenden wird dieser Hang als Kolktafel-Versuchshang bezeichnet (Abb. 175). In diesem Winter wurden drei einfache Kolktafeln mit 75 % Füllung und 1,2 m Bodenspalt (Type A in Abb. 177) am Kolktafel-Versuchshang errichtet, die Schneeverteilung in deren Umgebung beobachtet sowie vereinzelt Schicht- bzw. Rammprofile im Kolkbereiche aufgenommen (BERNARD 1952). Weitere Versuchskolktafeln, ebenfalls mit 75 % Füllung, aber größeren Abmessungen, wurden in einem Lawinenhang östlich der meteorologischen Station am Patscherkofel errichtet.

1951/52 wurden die Versuche mit Kolktafeln zur Verhinderung von Schneebrettanbrüchen fortgesetzt. Damit die Tafeln auf alle Windrichtungen gleich ansprechen, wurde ihnen eine gekreuzte Form gegeben (FUCHS 1952). Der Bodenspalt wurde auf 2 m erhöht und ein Füllungsgrad von 100 % gewählt (Type B in Abb. 177, siehe ferner Abb. 175) und die Schneedecke auf ihren Rammwiderstand und ihr spezifisches Gewicht untersucht. Am horizontalen Standard-Versuchsfeld wurden zwei turmförmige Windhindernisse von 4 m Höhe erstellt. Am Kolk des südlichen Hindernisses wurden die Temperaturen im Kolkbereiche gemessen (die Messungen erfolgten thermoelektrisch bei zweimaliger täglicher Ablesung), wogegen am nördlichen Hindernis der Schichtaufbau im Kolkbereiche studiert wurde (FUCHS 1952).

Im Winter 1952/53 wurden am Kolktafel-Versuchshang erneut vier gekreuzte Tafeln aufgestellt. Um den Einfluß der Höhe des Bodenspaltes auf die Kolkform unter möglichst gleichen und ungestörten Bedingungen untersuchen zu können, wurden außer den Versuchen am Kolktafel-Versuchshang auch am horizontalen Versuchsfeld gekreuzte Tafeln mit verschiedener Breite und verschieden großem Bodenspalt errichtet (5 Tafeln mit Bodenspalten von 1,50 m bis 3,20 m; Abb. 176). Im Bereiche aller Tafeln sowohl am Kolktafel-Versuchshang als auch am horizontalen Versuchsfeld wurden Ramm-, Schicht- und Dichtprofile aufgenommen. An einer Tafel am horizontalen Versuchsfeld (Bodenspalt 2,00 m) wurden, wie im Winter 1951/52, die Temperaturen im Kolkbereich gemessen.

Im Herbst 1953 wurden von A. FUCHS und H. WOPFNER Modellversuche im Windkanal der Technischen Hochschule in Wien durchgeführt (FUCHS 1954). Zweck dieser Studien war die Untersuchung der Strömungsverhältnisse um eine Kolktafel in Abhängigkeit von Anstellwinkel, Strömungsgeschwindigkeit und Größe des Bodenspaltes.

1953/54 wurden am Kolktafel-Versuchshang Kolktafeln verschiedener Formen erstellt, wogegen die Versuchsanordnung am horizontalen Standard-Versuchsfeld gleich wie 1952/53 belassen wurde. Zudem wurde am sogenannten "Oberem Ausmelkboden" ein zweites horizontales Versuchsfeld eingerichtet. Hier wurden Versuche mit drei einfachen Tafeln (Bodenspalt 1,70 m, Füllungsgrad 100 %) in verschiedenen Anstellwinkeln (60°, 90°, 120°) und mit einer lotrechten Tafel ohne Bodenspalt durchgeführt. Auch in diesem Winter wurde die Schneedecke in der Umgebung der einzelnen Kolktafeln mit der Rammsonde untersucht. Weiters wurden 1953/54 vier einfache Kolktafeln im Pluderling-Hang erstellt und deren Wirkung beobachtet.

Um die Rammwiderstände der Schneedecke am Kolktafel-Versuchshang ohne Kolktafel-Einwirkung studieren zu können, blieb dieser im Winter 1954/55 ohne Verbauung. In diesem Winter wurden zwei gekreuzte Tafeln, eine davon mit 2 m Bodenspalt, eine mit Spitz, am horizontalen Versuchsfeld erstellt; zwei weitere Kolktafeln mit Spitz (Type D in Abb. 177) wurden an einem Hang südöstlich unterhalb des Mölser Berges errichtet; in den Kolkbereichen wurden Ramm- und Schichtprofile aufgenommen.



Abb.174: Schneeforschungsstelle Lizum, 2000 m ü.d.M., im Wattentale bei Innsbruck. Blick nach SW gegen die Tarntaler Köpfe



Abb. 175: Der Kolktafel-Versuchshang im Winter 1951/52 mit vier gekreuzten Kolktafeln im südlichen Hangbereich. In den Wintern 1950/51 und 1953/54 wurden auch im rechten Teil des Hanges Versuchsbauten errichtet. Blickrichtung NW, Hauptwindrichtung von links nach rechts (Föhn)

Außer den Versuchen mit Kolktafeln zur Verhinderung von Schneebrettanbrüchen wurden in den Wintern 1950/51 und 1951/52 an einem nach NW abbrechenden Plateaurand, WSW der Station gelegen (Abb. 178 und 179), an welchem im Laufe jedes Winters eine mächtige Wächte aufgebaut wurde, Versuche mit Kolktafeln zur Wächtenverhinderung durchgeführt. Es wurden jeweils drei einfache Tafeln mit Bodenspalt (Type A in Abb. 177, Bodenspalt 80 cm) versuchsweise erstellt. Während im ersten Versuchswinter die Tafeln im östlichen Teil des Plateaurandes errichtet wurden, wurde im Winter 1951/52 der westliche Bereich als Aufstellungsort gewählt.

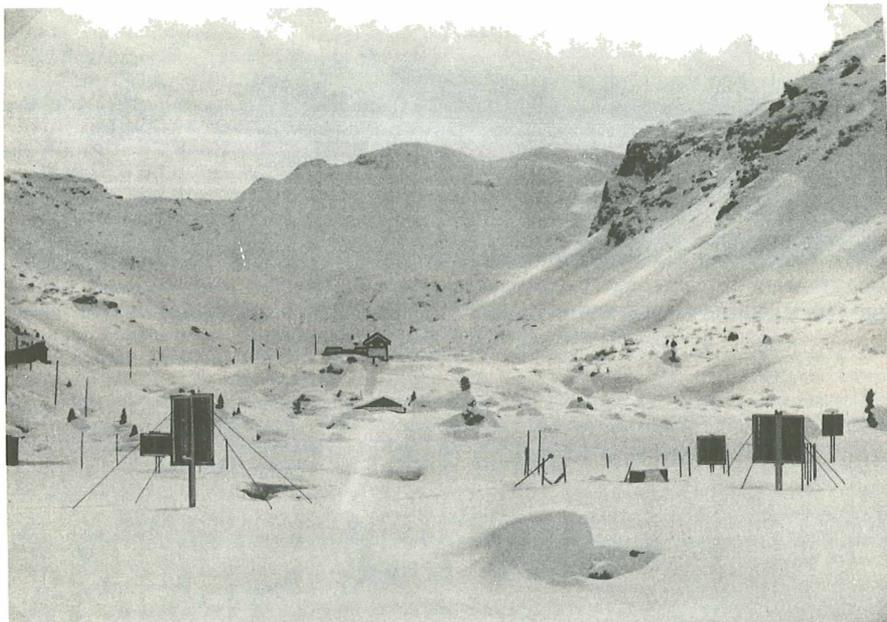


Abb. 176: Das horizontale Standard-Versuchsfeld im Winter 1952/53 mit gekreuzten Kolktafeln verschiedener Breite und mit verschiedenen hohen Bodenspalten

In den beiden Wintern wurden die Versuchsobjekte speziell nach größeren Föhnperioden laufend beobachtet. Fallweise wurden Messungen der Schneedecke vorgenommen. Untersuchungen über Schneefestigkeiten (Rammprofile usw.) wurden nicht durchgeführt. Bei dieser Art von Versuchen, wo die Wirkung so augenscheinlich ist, erwiesen sich durch Photographien belegte Beobachtungen als ausreichend.

In den Versuchswintern von 1950/51 bis 1954/55 wurden 23 Kolktafeln an Hängen, 17 Kolktafeln sowie 2 turmförmige Windhindernisse an horizontalen Versuchsfeldern und 6 Kolktafeln an Wächtenkanten errichtet. An diesen Versuchsbauten wurden insgesamt 863 Rammprofile sowie 182 Schicht- und Dichtprofile aufgenommen.

In diesem Bericht muß darauf verzichtet werden, das gesamte, im Laufe der verschiedenen Versuchswinter gesammelte Zahlenmaterial graphisch oder in Tabellenform darzustellen. Dies würde nur zu einer unnötigen Länge führen. Es wurden deshalb nur soweit graphische Darstellungen aufgenommen, als für das Verständnis und zur Erläuterung des Textes notwendig schien.

II. Begriffliche Einführung

A. Erläuterungen und Definitionen

Anstell- winkel	Winkel zwischen Anströmrichtung und Kolktafel. Hierbei liegen die Werte 0° bis 90° nach Luv, 90° bis 180° nach Lee.
Boden- spalt	Freier Raum zwischen Boden-Oberfläche und Unterkante der Kolktafel.
Füllungs- grad	Prozentzahl als Verhältnis zwischen wirksamer Tafelfläche zur Gesamttafelfläche (einschl. Zwischenräume).
Grenzflä- chenge- füge	Gefüge, welche durch auf Grenzflächen lokalisierte Vorgänge bedingt und nur aus den Symmetrien dieser Vorgänge verständlich sind. In unserem Falle handelt es sich um die Grenzfläche Luft-Schneeoberfläche.
Kolk	Ein dem Winde entgegengesetztes Hindernis bedingt eine Verwirbelung in dessen Bereich, wodurch um das Hindernis eine Vertiefung in der Schneedecke entsteht. Diese Vertiefung bezeichnet man als Kolk.
Schwimm- schnee	Aus becherförmigen Kristallen (Hohlformen) bestehendes Schneekristall-Aggregat; Endstadium der aufbauenden Metamorphose. Wird vorwiegend in Bodennähe angetroffen.
Windgepreß- ter Schnee	Durch Windeinfluß verfestigter Schnee. Die Verfestigung erfolgt durch dichte Lagerung der Schneekörner zufolge Regelung nach der Korngestalt; typisches Grenzflächengefüge mit vorwiegend monokliner Symmetrie. Von einer "Pressung" kann somit nicht gesprochen werden, doch ist der Ausdrück "windgepreßt" bereits so stark eingebürgert, daß er beibehalten wird. "Windverfestigter Schnee" wäre besser.

B. Typen von Kolktafeln

Die Art der zu untersuchenden Materie brachte es mit sich, daß im Laufe der Versuche mit Kolktafeln sehr verschiedene Tafelformen erprobt werden mußten. Zu Beginn der Versuche war es durchaus nicht klar, welche Tafelform, einerseits zur Unterbindung von Wächtenbildung, andererseits zur Verhinderung von Schneebrettlawinen, die wirksamste sei. Die einzelnen Formen mußten erst erprobt und ihre Wirkung auf die Schneedecke untersucht werden. Versuche am Modell, wie beispielsweise Untersuchungen der Strömungsverhältnisse um eine Kolktafel im Windkanal, gaben wohl wertvolle Hinweise, die letzte Bestätigung mußte jedoch dem Versuch in der Natur vorbehalten bleiben. So bewährten sich z. B. die einfachen Tafeln mit Bodenspalt und 75 % Füllung (Type A, Abb.177) zur Verhinderung von Plateauwächten schon auf den ersten Antrieb, wogegen andere Tafelformen, z. B. Type C (Abb.177), unter den gegebenen Voraussetzungen die an sie gestellten Forderungen nicht erfüllten.

Um kurz die in der Entwicklung der Kolktafel-form beschrittenen Wege aufzuzeigen, wurden in den Zeichnungen A bis F der Abb.177 die wichtigsten Formen von Kolktafeln, wie sie bislang verwendet wurden, in Übersicht gebracht. Die in Abb.177 dargestellten Kolktafeln hatten folgende Abmessungen:

- A Gesamthöhe 320 cm, Größe der Tafel 400 cm x 200 cm, Bodenspalt 120 cm, Füllungsgrad 75 %.
- B Gesamthöhe 400 cm, Größe der Tafel je 200 cm x 200 cm, Bodenspalt 200 cm, Füllungsgrad 100 %.
- C Gesamthöhe 430 cm, Größe der Tafel 230 cm x 230 cm, Bodenspalt 200 cm, Füllungsgrad 100 %.
- D Gesamthöhe 350 cm, Größe der Tafel je 200 cm x 200 cm, Höhe der Spitze 150 cm, Füllungsgrad 100 % bei Ausführung in Holz, etwa 80 % bei Ausführung in Aluminium.
- E Gesamthöhe 300 cm, Größe der Tafel 300 cm x 300 cm, kein Bodenspalt, Füllungsgrad 100 %.
- F Gesamthöhe 300 cm, Seitenlänge unten 200 cm, Seitenlänge oben 300 cm, kein Bodenspalt, Füllungsgrad 100 %.

In der weiteren Folge dieses Berichtes wird auf die hier angegebenen Maße sowie auf die Zeichnungen A bis F der Abb.177 Bezug genommen.

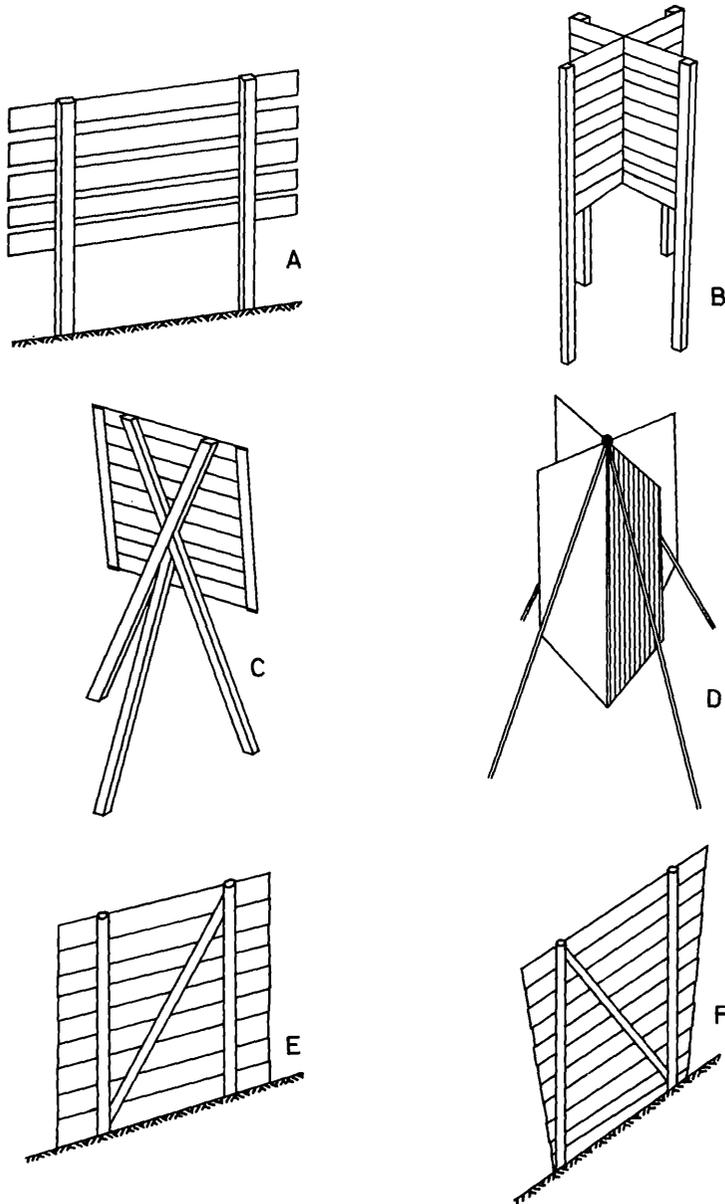


Abb. 177: Typen von Kolktafeln. A: Einfache Tafel, 1,20 m Bodenspalt, Füllungsgrad 75 %; B: Gekreuzte Tafel, 2 m Bodenspalt, Füllungsgrad 100 %; C: Einfache abgestrebte Tafel, 2 m Bodenspalt; D: Gekreuzte Tafel mit Spitz; Ausführung in Holz oder nach AVI-Graz in Baustahlgewebe mit eingeflochtenen Alu-Folien und zentralem Zuganker. E: Einfache Tafel ohne Bodenspalt, Rhombus oder Quadrat, Füllungsgrad 100 %; F: Schweizer Form der Kolktafel nach HAEFELI und CAMPELL, ohne Bodenspalt, Füllungsgrad 100 %

III. Versuche mit Kolktafeln zur Verhinderung von Wächtenbildung

Abbrechende Teile von Wächten können im darunter liegenden Hang Lockerschnee- bzw. Schneebrettlawinen auslösen. Errichtet man nun an der die Wächte bedingenden Geländekante (Grat, Plateaurand usw.) ein Windhindernis, so wird der Ablagerungsbereich



Abb. 178: Der Plateaurand, an welchem die Versuche mit Kolktafeln zur Unterbindung von Wächtenbildung durchgeführt wurden, im Winter 1952/53, ohne Kolktafeln. Die durchgehende Wächte ist deutlich erkennbar

des Tribschnees soweit nach Lee hinaus verschoben, daß ein Aufbau der Wächte nicht mehr stattfindet. An Stelle der Wächte wird im Bereiche des Windhindernisses ein nach Lee offener Kolk entstehen.

Unsere wie bereits beschrieben an einem WSW der Station gelegenen Plateaurand durchgeführten Versuche haben die oben angeführten Überlegungen voll bestätigt.

An dem steil nach Nordost abbrechenden Plateaurand des Versuchsgeländes wurde vornehmlich durch Föhnstürme in jedem Winter eine mächtige, 2 bis 3 m überhängende Wächte aufgebaut (Abb.178). Im Winter 1950/51 wurden im östlichen Bereiche drei Kolktafeln vom Typ A (Abb.177), vom Plateaurand etwas nach Luv versetzt, errichtet.

Während nun in den unverbauten Bereichen, wie immer, eine mächtige Wächte aufgebaut wurde, wurde in dem mit den Kolktafeln versehenen Teil des Plateaurandes keine Wächte gebildet (Abb.179).

Der im Winter 1951/52 im westlichen Teil des Versuchsgeländes durchgeführte Kontrollversuch brachte einwandfrei dasselbe Ergebnis.

Diese Versuche wurden mit Kolktafeln mit Bodenspalt durchgeführt. E. CAMPELL (1955) hat das gleiche günstige Ergebnis

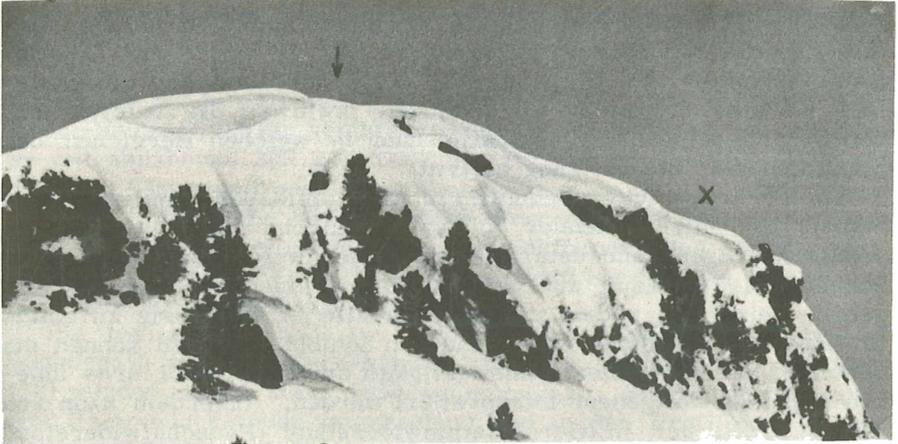


Abb. 179: Dasselbe Gelände wie in Abb.178 im Winter 1950/51. Durch drei Kolktafeln, welche am Plateaurand errichtet wurden, ist die Wächtenbildung im Kolktafelbereich verhindert worden. Der senkrechte Pfeil zeigt die Stelle an, an welcher die Wächte unterbrochen ist; als Vergleich die Wächtenbildung an derselben Stelle in Abb.178. Der Kontrollversuch im Winter 1951/52 an der mit x bezeichneten Stelle bestätigte das Ergebnis des Versuchswinters 1950/51

mit Tafeln ohne Bodenspalt (Type F, Abb.177) erzielt. Es scheint somit nur von geringem Einfluß zu sein, ob zur Verhinderung von Wächtenbildung Tafeln mit oder ohne Bodenspalt verwendet werden. Dies ist insoferne verständlich, als ja die wesentlichste Wirkung allein im Vorhandensein eines Kolkes begründet ist.

IV. Versuche mit Kolktafeln zur Verhinderung von Schneebrettlawinen

A. Die Rammfestigkeiten der Schneedecke im Kolktafelbereich

1. Vergleichende Messungen der Rammfestigkeiten am Kolktafelversuchshang

Die Hauptwirkung der Kolktafel erwartete man sich von der Verfestigung der Schneedecke im Kolkbereiche. Es war somit naheliegend, in erster Linie die Festigkeit der Schneedecke um eine Kolktafel zu messen, um so zu erfahren, inwieweit die Tafelwirkung den Schnee tatsächlich verfestigt und in welchen Bereichen das Maximum der Verfestigung auftritt.

Für derartige Untersuchungen ist die Rammsonde am besten geeignet. Bei entsprechender Wahl von Fallhöhe und Schlagrhythmus erhält man genügend detaillierte Profile, welche den Aufbau der Schneedecke in bezug auf den Rammwiderstand sehr gut wiedergeben. Setzt man zudem die Rammprofile in Beziehung zu einem im Untersuchungsbereich gewonnenen Schichtprofil, so können die Schichten verschiedener Rammfestigkeit auch bezüglich ihres inneren Aufbaues weitgehend interpretiert werden. Außerdem kann von jedem Profil der mittlere Rammwiderstand (Pauschalwiderstand über die gesamte Schneemächtigkeit) rechnerisch ermittelt werden, welcher besonders für Vergleichszwecke gut geeignet ist.

Rammprofilaufnahmen um eine gekreuzte Kolktafel mit Bodenspalt (rechte obere Kolktafel in Abb.175) am Kolktafel-Versuchshang im Winter 1952/53 ließen erstmals erkennen, welche Bereiche größerer Verfestigung auf die Wirkung der Kolktafel zurückzuführen waren.

Im Winter 1953/54 wurden an zwei Kolktafeln verschiedener Typen Rammprofile parallel und senkrecht zur Fall-Linie aufgenommen. Die Profilserien verliefen jeweils durch die Kolkmitte.

Da für einen absoluten quantitativen Vergleich zwischen verbautem und unverbautem Hangbereich kein entsprechendes Gelände zur Verfügung stand (hiezuh wäre ein entsprechend großer, in bezug auf Windexposition vollkommen gleichmäßiger Hang erforderlich), versuchte man, zumindest einen qualitativen Vergleich zu erhalten.

Im Versuchswinter 1954/55 haben wir daher am unverbauten Kolktafel-Versuchshang an denselben Stellen die Schneedecke mit der Rammsonde untersucht, an welchen im Winter 1953/54 die Rammprofilserien im Kolktafelbereiche aufgenommen worden waren. Die Ergebnisse des Vergleiches der Rammfestigkeiten 1954 und 1955 zwischen verbautem und unverbautem Hang sind in Abb. 180 und 181 graphisch dargestellt.

Ehe auf die Ergebnisse dieses Vergleiches eingegangen wird, noch einiges über die Grenzen, welchen einem solchen Vergleich zukommen. Wenn auch die mittleren Rammwiderstände vom horizontalen Versuchsfeld in beiden Wintern gleich waren, so sind diese für einen unter intensivem Lee-Einfluß stehenden Hang, wie dem Kolktafel-Versuchshang, dessen Festigkeitswerte und die Verteilung derselben in erster Linie von der Intensität und der Richtung der Winde bedingt sind, nicht quantitativ vergleichbar. Er ermöglicht uns aber, den Verlauf der Festigkeiten um eine Kolktafel dem Festigkeitsverlauf ohne Kolktafel an derselben Stelle gegenüberzustellen. Bei Berücksichtigung der Exposition und der jeweils während der Vergleichswinter beobachteten Windverteilung können daraus vorsichtige quantitative Schlüsse gezogen werden.

Das Gelände, in welchem die Profilaufnahmen für Abb. 180 erfolgten (es handelt sich um den nördlichen Teil des Kolktafel-Versuchs-Hanges), ist ein seichter, wannenförmiger Hang, dessen Achse mit annähernd 30° gegen NE einfällt. Im oberen Teil verflacht sich der Hang und geht allmählich in eine sanft gerundete Kuppe über. Die nördliche bzw. südliche Begrenzung bildet jeweils ein sehr flacher Rücken. Die Hauptwindrichtungen sind Süd bis Südwest bei Föhn (vorwiegend hangab) und Nord bis Nordost bei Schneefall (vorwiegend hangauf) (Abb. 175).

Die Rammwiderstände im Bereiche einer gekreuzten Tafel mit Bodenspalt am Kolktafel-Versuchshang (im Vordergrund von Abb. 188) wurden am 24. März 1954 aufgenommen. Sie wurden in mittlere Rammwiderstände umgerechnet und in den Profilen 5 (in der Schichtenlinie) und 7 (in der Fallinie) dargestellt. Zum Vergleich sind die mittleren Rammwiderstände, aufgenommen am 11. März 1955 an den gleichen Stellen wie 1954, in Serie 6 und 8 gegenübergestellt (Abb. 180).

Die Kurven der ungestörten Profilserien 6 und 8 steigen von der leeseitigen Hangkante (SE bzw. SW) gegen die Hangmitte allmählich an, erreichen am Ende des Lee-Einflusses ein Maximum und sinken dann wieder ab.

Dagegen zeigen die in der von der Kolktafel beeinflussten Schneedecke gewonnenen Rammwiderstände (Profilserien 5 und 7) jeweils ein sehr ausgeprägtes Festigkeitsmaximum etwa 8 m vor und nach der Kolktafel (Kolkmitte) und ein Minimum im eigentlichen Kolkbereich. Die geringsten Festigkeiten wurden unterhalb der Kolktafel beobachtet.

Die Werte der Abb. 181 wurden unter denselben Bedingungen wie jene von Abb. 180 aufgenommen. Zum Unterschied von Abb. 180 war jedoch die Kolktafel, in deren Umgebung im März 1954 die Rammprofile aufgenommen worden waren, eine einfache abgestrebte Tafel mit Bodenspalt (Type C, Abb. 177, in Abb. 188 rechts im Hintergrund). Die Kolktafel stand senkrecht zur Fallinie. Als Versuchsgelände diente der südliche Teil des Kolktafel-Versuchshanges.

Im Gegensatz zum nördlichen Bereich ist diese Hangpartie stärker konkav, die Muldenachse fällt mit 35° gegen ENE ein. Der wesentliche Unterschied liegt aber in der südlichen Begrenzung, die von einem stark gekrümmten, teilweise felsigen, glazial abgeschliffenen Rücken gebildet wird, in dessen Lee ein sehr mächtiger "Schneeschild" (in der Paulcke'schen Fassung des Begriffes) abgelagert wird. Hauptwindrichtungen Süd (quer zum Hang und hang-ab) bei Föhn und Nord bis Nordost bei Schneefall (vorwiegend hang-auf).

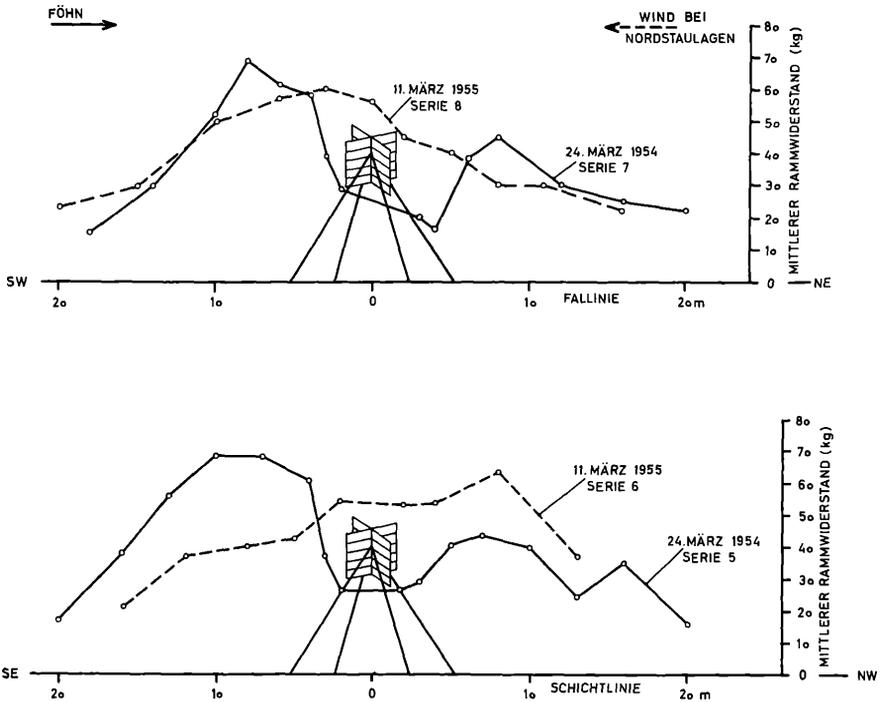


Abb. 180: Vergleich der mittleren Rammwiderstände im verbauten und unverbauten Kolktafel-Versuchshang in den Jahren 1954 und 1955 (gekreuzte Tafel mit Bodenspalt). Profilserien 5 und 7 mit Kolktafel, 6 und 8 ohne Kolktafel

Die Rammprofile im Kolktafelbereich wurden ebenfalls am 25. März 1954 (Profilserien 1 und 3), im unverbauten Hang am 12. März 1955 (Profilserien 2 und 4) aufgenommen. Die Werte der beiden Profilaufnahmen sind in gleicher Weise wie in Abb. 180 gegenübergestellt. In der Profilvereihe SW NE wurde außerdem noch die Kurve der mittleren Rammwiderstände vom 3. März 1952 (Serie 0) vergleichsweise beige gestellt. Diese Reihe wurde nicht genau an der gleichen Stelle aufgenommen wie Serie 3, sondern etwa 5 m westlich.

Auch für den in Abb. 181 dargestellten Bereich ergibt sich Ähnliches wie bei den Werten der Abb. 180. Betrachten wir zunächst die Profilreihen SW NE (Fallinie). Sie zeigen die nun schon bekannten Festigkeitsmaxima vor und hinter der Kolktafel und das ausgeprägte Minimum in der Kolkmitte. Die Kurve vom unverbauten Hang läßt ein Maximum unmittelbar im Lee der Hangkante erkennen, sinkt dann ab, um in einem leichten Bogen hangab zu verlaufen. Das zweite Maximum im NE des Bereiches ist aus den am

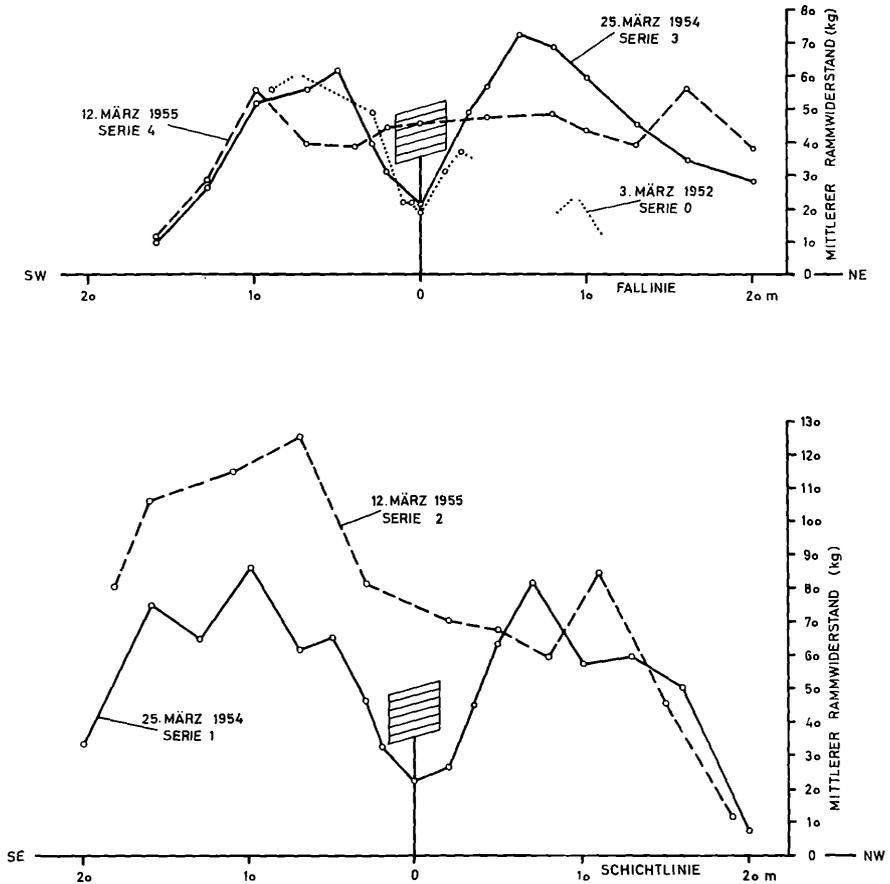


Abb. 181: Vergleich der mittleren Rammwiderstände im verbauten und unverbauten Kolktafel-Versuchshang in den Jahren 1952, 1954 und 1955 (einfache Tafeln mit Bodenspalt). Profilserien 0, 1 und 3 mit Kolktafel, 2 und 4 ohne Kolktafel

Hang herrschenden Bedingungen nicht eindeutig erklärbar.

Die Kurve der Serie 1 (SE NW) zeigt erneut die Maxima im Luv und Lee der Kolktafel und das Minimum in der Kolkmitte. Auffallend sind die extrem hohen Werte der Serie 2 (12. März 1955) im SE des Bereiches, also knapp im Lee der Hangkante. Dort beobachten wir ein sehr rasches Ansteigen der Rammwiderstände unmittelbar im Lee der Kante. Die extreme Spitze der Serie 2 kann wohl auf die Lee-Wirkung der Hangkante bei Föhn zurückgeführt werden.¹⁾

Die Werte maximaler Verfestigung im Kolktafelbereiche liegen auch bei Abb. 181 zwischen 6 und 10 m von der Kolkmitte entfernt, in der Mehrzahl bei 8 m.

2. Untersuchungen der Rammfestigkeiten am horizontalen Versuchsfeld

Von den zahlreichen Rammprofilserien, welche in den drei Versuchswintern 1952/53, 1953/54 und 1954/55 im Bereiche von Kolktafeln an den horizontalen Versuchsfeldern (Standard-Versuchsfeld Melkboden) aufgenommen wurden, sind zwei mit typischem Verlauf dargestellt (Abb. 182). Bei den Versuchen auf einem horizontalen Versuchsfeld können Beeinflussungen der Festigkeitswerte durch Geländeformen weitgehend ausgeschaltet werden, wenn auch, wie die Erfahrung gezeigt hat, schon geringe Bodenwellen genügen, um die Werte zu verändern, d. h., daß zufolge geänderter Ablagerungsbedingungen die festgestellten Festigkeitswerte nicht mehr allein auf die Beeinflussung der Schneedecke durch eine Kolktafel zurückgeführt werden können (vgl. als Beispiel den nördlichen Bereich in Profilserie I, Abb. 182). Außerdem muß man sich darüber klar sein, daß die Versuchsergebnisse eines horizontalen Feldes nur qualitativ, aber nicht quantitativ mit jenen vom Kolktafel-Versuchshang verglichen werden können.

Für die Charakterisierung der Verhältnisse wurde einmal eine Profilserie um eine gekreuzte Kolktafel mit Bodenspalt, aufgenommen am horizontalen Versuchsfeld Melkboden am 18. März 1954, gewählt.²⁾ In Abb. 182 wurden die Rammprofile jeweils in einer durch die Kolktafelmitte und parallel zur jeweiligen Hauptwindrichtung verlaufenden Profilserie in Übersicht gebracht. Zusätz-

1) Gerade der Frühwinter des Winters 1954/55 war, ähnlich dem Winter 1952/53, besonders reich an Föhnstürmen.

2) Die Tafeln hatten folgende Abmessungen:

Tafel mit Bodenspalt am horizontalen Standard-Versuchsfeld: 3 x 2 m, Bodenspalt 2 m, Gesamthöhe 4 m.

Tafel ohne Bodenspalt am Versuchsfeld Melkboden: Höhe 2,20 m, Breite 3 m.

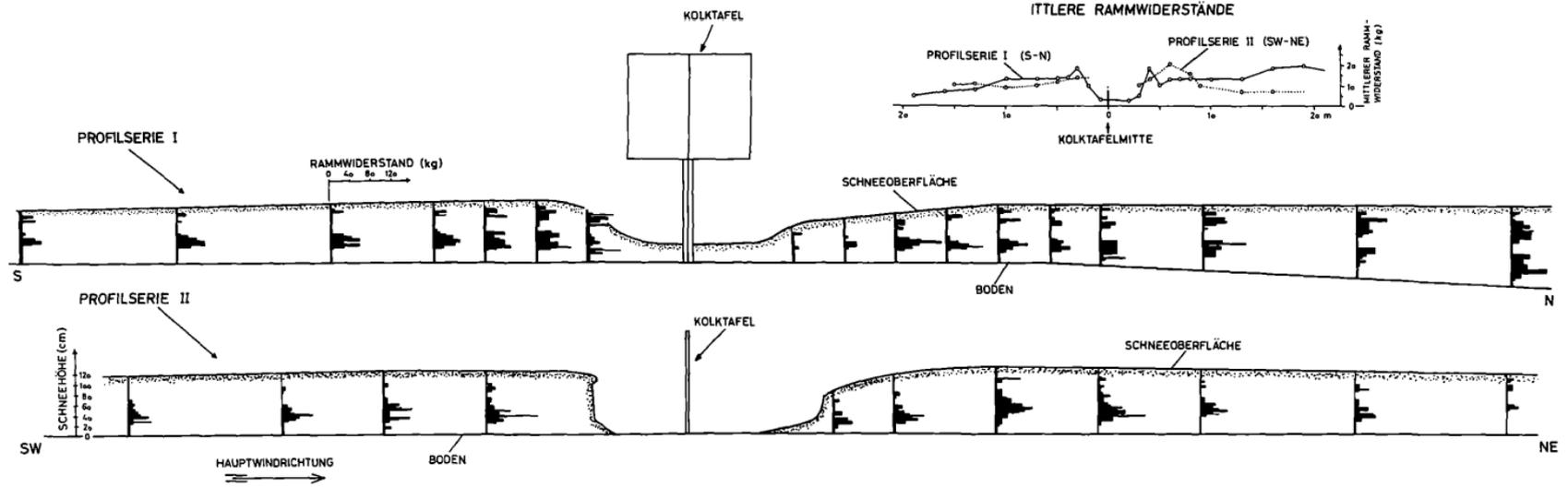


Abb. 182: Die Rammwiderstände um eine Kolktafel mit und eine Tafel ohne Bodenspalt. Profilsérie I: Gekreuzte Kolktafel mit Bodenspalt 2 m; Standard-Versuchsfeld 29. März 1954. Profilsérie II: Einfache Tafel ohne Bodenspalt; Versuchsfeld Melkboden 18. März 1954

lich wurden (wie in Abb.180 und 181) auch die mittleren Rammwiderstände graphisch dargestellt.

Die Profile im Kolkbereiche einer Tafel mit Bodenspalt zeigen analoge Ergebnisse, wie sie bereits bei den Profilserien vom Kolktafel-Versuchshang beobachtet werden konnten. Auch hier begegnet man knapp außerhalb des Kolkrandes jenen Spitzen in der Kurve des mittleren Rammwiderstandes, welche den ringförmigen Bereich der maximalen Verfestigung kennzeichnen. Den niederen Werten der Normalprofile entsprechend sind auch die Spitzen im Bereiche des Verfestigungsringes hier nicht so hoch wie am Kolktafel-Versuchshang. Werden die Werte der Normalprofile (mittlerer Rammwiderstand aus 6 Rammprofilen 9 kg) als 100 % angenommen, so beträgt die maximale Verfestigungszunahme im Kolktafelbereiche ca.100 %.

Der Verlauf der Festigkeitskurve im Bereiche der Kolktafel ohne Bodenspalt vom Versuchsfeld Melkboden zeigt gegenüber den oben beschriebenen nur geringe Unterschiede. Im Nordosten der Tafel ist die Spitze des mittleren Rammwiderstandes etwas höher und weiter von der Kolkmitte entfernt; die Kurve sinkt nach beiden Seiten der maximalen Verfestigung nicht so steil ab, wie bei der Tafel mit Bodenspalt. Im Luv (SW) der Tafel ist dagegen die maximale Verfestigung nicht sehr ausgeprägt. Die Ursache für diese Erscheinung dürfte sein: Das Versuchsfeld Melkboden liegt am nordwestlichen Ende eines engen, SW NE verlaufenden Hochtales, wodurch am Aufstellungsort der Tafel fast ausschließlich SW-Winde wirksam sind. Winde aus dem Nordsektor dagegen erlangen nur sehr geringe Bedeutung.

Der mittlere Rammwiderstand, gewonnen aus 4 Profilen betrug hier 7 kg. Die maximale Festigkeitszunahme macht annähernd 180 % aus. Im Kolk selbst fehlen Festigkeitswerte, da dieser schneefrei war.

Bei den Aufnahmen ließ sich eine halbkreisförmige Zone maximaler Festigkeit im NE der Tafel (vorwiegend Lee) erkennen (Abb.183). Der Radius des Halbkreises beträgt 6 bis 9 m. Sehr auffallend ist eine starke Ausbuchtung dieser Verfestigungszone zur Kolktafel hin.

Die Längsachse dieser Ausbuchtung verläuft annähernd parallel zur Hauptwindrichtung. Sie liegt somit in jenem Bereich, wo im Lee der Kolktafel die stärkste Verwirbelung, der sogenannte Wirbelzopf auftritt (FUCHS 1954). Durch diesen Wirbelzopf wird von der Kolktafel nach Lee bei starken Winden eine regelrechte Rinne ausgeblasen, welche, vom Boden des Kolkes ansteigend, nach einer gewissen Länge, die von der Tafelgröße und von der Windgeschwindigkeit abhängig ist, die Schneeoberfläche erreicht. Diese Vertiefung, welche in typischer Form nur bei geringem oder fehlendem Bodenspalt auftritt, wird als Wirbelrinne oder Wirbelgasse

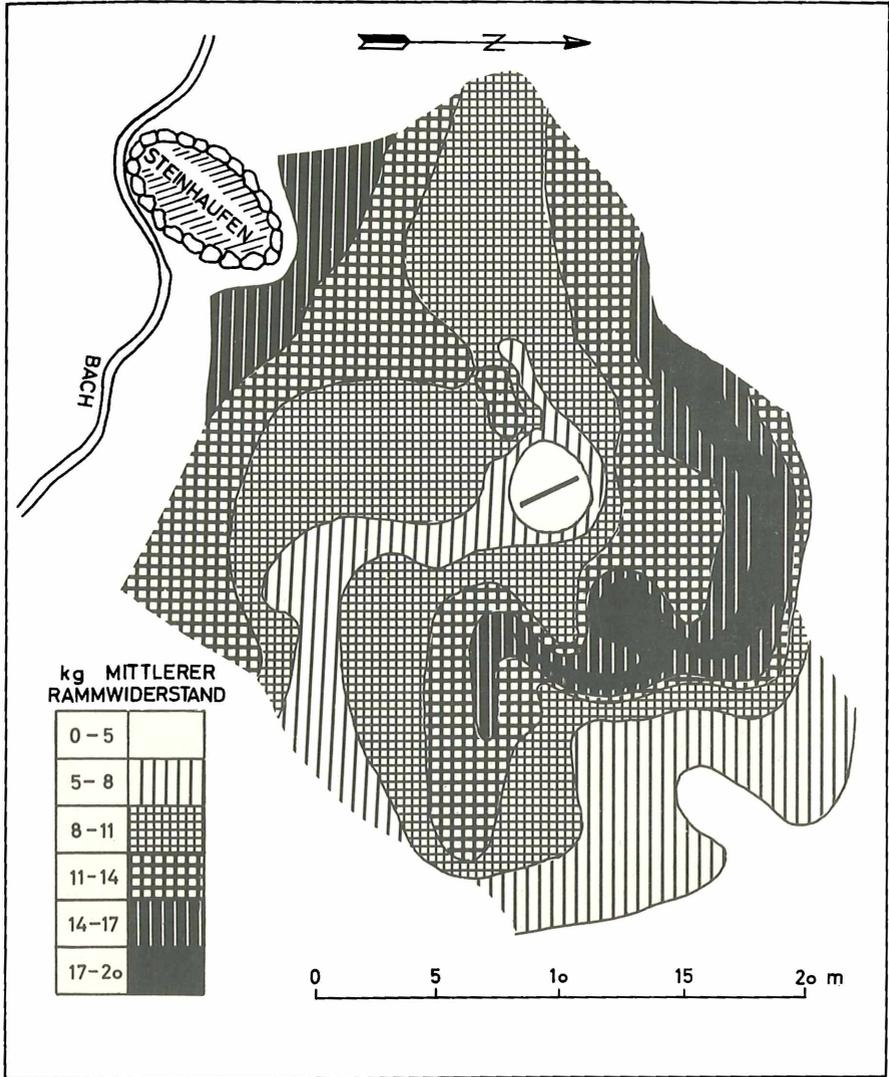


Abb. 183: Verteilung der mittleren Rammwiderstände um eine Kolktafel ohne Bodenspalt am 18. März 1954 (horizontales Versuchsfeld Melkboden). Die Darstellung in Linien gleichen Rammwiderstandes beruht auf 72 Meßpunkten. Der durch die Kolktafelwirkung bedingte hufeisenförmige Bereich größerer Rammfestigkeit im Lee der Tafel (Hauptwindrichtung Südwest) ist deutlich erkennbar. Die starke Ausbuchtung der Verfestigungszone zur Kolktafel hin dürfte auf die sogenannte "Wirbelgasse" zurückzuführen sein. Der Bereich größerer Schneefestigkeit im SW der Abbildung ist durch den eingezeichneten Steinhaufen bedingt

bezeichnet. Jene Stelle, an der die Wirbelrinne die Schneeoberfläche erreicht, fällt annähernd mit der Ausbuchtung der Verfestigungszone zusammen. Es wurde bereits erwähnt, daß am Versuchsfeld Melkboden praktisch nur Winde aus Südwest wirksam sind, was wohl der Grund dafür sein mag, daß hier der Verfestigungsbereich der Wirbelrinne besonders klar zum Ausdruck kommt. Ob auch die von der Südkante der Kolktafel sich zungenförmig nach Osten erstreckende Verfestigungszone auf jenen Wirbelzopf (Wirbelrinne) zurückzuführen ist, konnte nicht geklärt werden.

3. Ergebnisse der Rammprofil-Aufnahmen

Fassen wir die Ergebnisse der Rammfestigkeits-Untersuchungen der Schneedecke im Kolktafelbereich kurz zusammen.

In allen untersuchten Fällen konnte um die Kolktafel ein ring- bzw. hufeisenförmiger Bereich festgestellt werden, in welchem die Rammwiderstände ein Maximum erreichen, d. h., in diesem Bereich liegen die Rammwiderstände über den in unbeeinflussten Teilen der Schneedecke festgestellten Werten. Der Radius dieses Verfestigungsringes schwankt zwischen 6 m und 10 m. Im allgemeinen war der Radius bei Kolktafeln ohne Bodenspalt (Type D und E, Abb. 177) am größten, mit Zunahme des Bodenspalt wird er kleiner. Diese ringförmige Zone größerer Festigkeit kann auch nach einer Seite hin offen sein, dann, wenn ausschließlich eine einzige Windrichtung wirksam ist.

Die maximale Zunahme der Verfestigung gegenüber dem Normalprofil betrug am horizontalen Versuchsfeld annähernd 100 % bei einer Tafel mit Bodenspalt, annähernd 180 % bei einer Tafel ohne Bodenspalt.

Für die Zunahme der Festigkeiten am Hang liegen keine absoluten Vergleichswerte vor. Nach vorsichtiger Schätzung, bei Berücksichtigung von Exposition und Winddiagramm, dürfte die Festigkeitszunahme 30 bis 50 % betragen.

Diese Zahlen, gleich ob vom horizontalen Feld oder vom Hang, dürfen nicht als Regel angesehen werden. Die Verfestigung entsteht durch Windbeeinflussung. Sie ist die Summe aller im Laufe eines Winters auftretenden Windwirkungen und kann somit genau so wenig konstant sein, wie es die Abfolgen der verschiedenen Windperioden sind.

Noch extremer waren die Unterschiede an einer Tafel ohne Bodenspalt (Type D, Abb. 177) am horizontalen Versuchsfeld, aufgenommen im März 1955. Am Normalprofil wurde ein spezifisches Gewicht von 0,172 (arithmetisches Mittel) festgestellt, gegenüber einem spezifischen Gewicht von 0,263 in der Verfestigungszone der Kolktafel.

Um diese Erscheinung zu erklären, wurde der Schichtaufbau der Schneedecke im Kolkbereiche untersucht. Die Ergebnisse zeigen, daß die Ursache für die Verfestigung bzw. die Erhöhung des spezifischen Gewichtes in der Art der Ablagerung der einzelnen bei Wind abgesetzten Schneeschichten liegt. Zwischen verhältnismäßig wenig verfestigten Schichten beobachtet man linsen- oder zungenförmige Lagen stark verfestigter Schichten. Diese festeren Lagen entsprechen dem jeweils an der Kolkoberfläche angelagerten "windgepreßten" Schnee einer Windperiode. Die größte Mächtigkeit dieser Schichten beobachtet man durchwegs 2 bis 6 m außerhalb des Kolkrandes. Von dieser Anlagerungszone sowohl kolkwärts als auch nach außen nimmt die Mächtigkeit dieser verfestigten "windgepreßten" Schichten meist auf wenige cm Dicke ab oder die Schicht fällt somit in ihrer Lage mit der Zone der maximalen Rammwiderstände bzw. der Zone maximalen spez. Gewichtes zusammen. Es ist durchaus möglich, ja sogar wahrscheinlich, daß die einzelnen windgepreßten Schichten selbst, auch im Streichen, d.h. in ihrer Längserstreckung, verschieden fest sind. Sie unterliegen ja im Kolkbereich ganz anderen Anlagerungsbedingungen als im freien Felde und demnach wird auch der Grad ihrer Packung verschieden sein.

Das Resultat ist prinzipiell das gleiche, ob es sich um Kolke von Tafeln mit oder ohne Bodenspalt handelt. Bei den Tafeln ohne Bodenspalt reichen die zungenförmigen, verfestigten Lagen nur bis zum Kolkrand, wo sie dann durch die Winderosion späterer Windperioden beseitigt werden. Ein Verlaufen der verfestigten Schichten ist jeweils nur in der Wirbelrinne zu beobachten.

C. Kriechbewegung der Schneedecke im Kolkbereich

Im Jänner 1953 wurden am Lawinenhang westlich der Station in der Umgebung einer Kolktafel 85 vertikale Löcher in die Schneedecke bis zum Boden gebohrt und mit Sägemehl ausgefüllt. Diese Sägemehlsäulen wurden Anfang April ausgegraben und ihre durch das Kriechen verursachte Abweichung von der Lotrechten bestimmt. Als Maß der Kriechbewegung wurde der Tangens des Winkels der Säulenabweichung von der vertikalen Ausgangsstellung gewählt. Trotz starker Streuung der Werte ergab sich folgendes Bild: Oberhalb Luv der Kolktafel liegt in einem durchschnittlichen Abstand von 10 m von dieser ein Bereich stärkerer Kriechbewegung. Im Lee

schließt unmittelbar an die Tafel eine etwa 12 m reichende Zone geringerer Kriechbewegung an. Es erscheint somit der Einfluß der Kolktafel mit einem starken Absinken der Kriechbewegung bei Annäherung von Luv gegeben zu sein.

D. Schneetemperaturen und Schwimmschneebildung im Kolkbereich

Die täglichen Schwankungen der oberflächennahen Schneeschichten reichen bei Strahlungswetter etwa 50 cm tief. Längere periodische Schwankungen (Kälteperioden, längere Dauer von Föhn) reichen tiefer. Diese Zone ist annähernd parallel zur Oberfläche des Schnees im Bereiche eines Kolkes zu denken. Wegen der fehlenden Isolierung durch die Schneedecke greift die Frostgrenze hier in den Boden ein und ist größeren Schwankungen unterworfen. Es kommt im Kolk nicht zur Schwimmschneebildung, da Schneemächtigkeit und Temperaturgradient als Voraussetzung für die Umkristallisation fehlen.

E. Lawinenanbrüche im Kolktafelbereich und deren Ursachen

In den vorhergehenden Abschnitten wurde gezeigt, welchen unmittelbaren Einfluß Kolktafeln auf die Schneedecke ausüben, d.h., in welcher Weise der Schichtaufbau, das spez. Gewicht und der Rammwiderstand durch die Wirkung einer Kolktafel beeinflußt wird. Wie sich die durch die Kolktafel bedingten Veränderungen der Schneedecke in der Natur auswirkten, konnte nur rein empirisch durch Beobachtung ermittelt werden. So wurden vor allem Anbrüche von Lockerschnee- bzw. Schneebrettlawinen, Bildung von sogenannten Lawinenmäulern und ähnliches genau beobachtet. Derartigen Beobachtungen kommt zumindest gleiche Bedeutung zu wie den reinen Messungen. Erst aus der Gegenüberstellung beider wird sich ein endgültiges und abgerundetes Bild ergeben.

Wie erwähnt, war der Kolktafel-Versuchshang vom Winter 1950/51 bis zum Winter 1953/54 mit Kolktafeln verschiedener Typen, jedoch immer solchen mit Bodenspalt, versuchsweise verbaut worden. In jedem dieser Winter konnten im Bereiche der Kolktafeln Anbrüche von Schneebrettern verschiedener Größe beobachtet werden. Die Anbrüche erfolgten immer in unmittelbarer Umgebung der Kolktafeln, entweder am Ober rand oder am Unter rand des Kolkes.

Als Beispiel sei hier ein Schneebrett kurz beschrieben, welches am 30. Dezember 1952 zwischen 9,00 und 10,00 Uhr am Kolktafel-Versuchshang abbrach (Abb. 185).

Durch heftigen Südwind (5 bis 6 Beaufort) in der Nacht vom 29. auf 30. Dezember war auf dem lockeren Neuschnee (Schneefallperiode vom 20. bis 23. Dezember) windgepreßter Schnee abgelagert worden. Im unteren Bereich des Hanges betrug die Mächtigkeit dieser windgepreßten Schicht 3 bis 5 cm. Hangaufwärts nahm die Mächtigkeit allmählich zu und erreichte am Anbruch 35 bis 40 cm. Bei dem beobachteten Schneebrett war die windgepreßte Lage abgerutscht und hatte die darunterliegende lockere Schneeschicht mitgerissen. Der Anbruch selbst verlief vom oberen Kolktrand der mittleren Kolktafel (Tafel 3 in Abb. 185) zum unteren Kolktrand der westlich oberhalb stehenden Tafel (Tafel 2 in Abb. 185). Der Bereich über dem Anbruch war durch Klüfte in große Schollen zerteilt, doch kamen diese nicht mehr zum Abgleiten. Zum Zeitpunkt des Abbrechens waren die Kolke bereits gut ausgebildet.

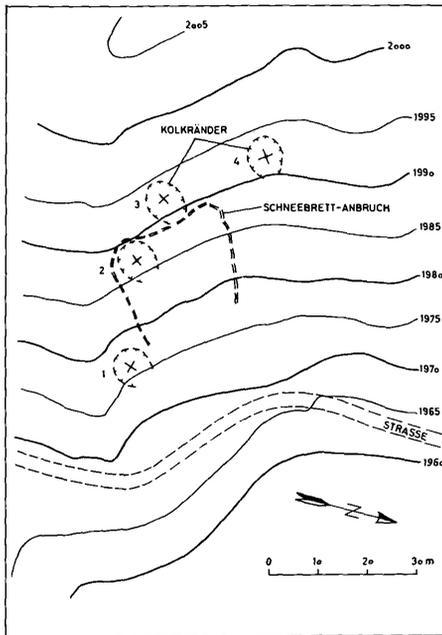


Abb. 185: Darstellung des Schneebrett-Anbruches am 30. Dezember 1952 im Bereich zweier Kolktafeln am Versuchshang. Die Auslösung dieses Schneebrettes kann aus dem Zusammenwirken der Zugspannungen am oberen Kolktrand der Tafel 2 und denen am unteren Kolktrand der Tafel 3 erklärt werden

Während in den ersten beiden Wintern diesen Anbrüchen keine Bedeutung beigemessen wurde, zeigte es sich jedoch mehr und mehr, daß diese Anbrüche mit den Kolktafeln in Zusammenhang stehen mußten. Letzten Einblick in die Zusammenhänge gaben uns aber erst die Beobachtungen am Kolktafel-Versuchshang und am Pluderling-Hang im Versuchswinter 1953/54.

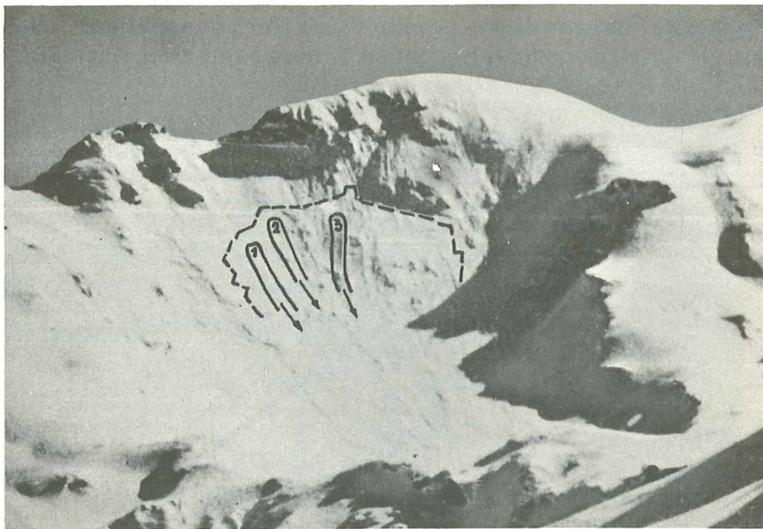


Abb. 186: Der Pluderling mit dem Lawinenhang, auf dem drei Kolktafeln mit Bodenspalt stehen. Die Vorgänge vom 13. Jänner 1954 sind in das Bild eingezeichnet. Zuerst brachen die drei kleineren Lawinen um die Kolktafeln (1, 2, 3) ab, kurz darauf das große Schneebrett (strichliert eingezeichnet)

Außer am üblichen Kolktafel-Versuchshang waren in diesem Winter auch am Pluderling-Hang vier einfache Kolktafeln mit 2 m Bodenspalt errichtet worden. Der Pluderling-Hang ist 40° bis 45° geneigt, leicht konkav nach NW, und als ausgesprochener Lawinenhang zu bezeichnen (Abb. 186). Nach großen Schneefällen vom 9. bis 12. Jänner 1954 brachen am 13. Jänner vormittags um jede der drei Kolktafeln (eine Tafel wurde im Dezember durch Steinschlag zerstört) kleine Lawinen mit schneebrettähnlichen Anbrüchen ab. Kurze Zeit nachher brach oberhalb der Kolktafeln in der gesamten Hangbreite ein großes Schneebrett nach (Abb. 186). Der gleiche Vorgang wurde nach einem Schneefall am 7. März 1954 beobachtet.

Das Abbrechen von Lawinen im Bereiche von Kolktafeln mit Bodenspalt konnte nach all diesen Beobachtungen nicht mehr zufällig sein.

Die Erklärung dieser Erscheinung ergibt sich aus der besonderen Gestalt eines Kolktes um eine Tafel mit Bodenspalt. Der Kolk um eine Tafel mit Bodenspalt ist nie bis zum Boden eingetieft. Seine Form ist dadurch gekennzeichnet, daß der Übergang von der Normaloberfläche der Schneedecke zur Kolkmitte ein allmählich gerundeter ist. Es erfolgt bei dieser Kolkform keine Unterbrechung der Schichtung, sondern nur eine Mächtigkeitsänderung innerhalb der einzelnen Schneeschichten (Abb. 187). Mit zunehmender Schneehöhe werden die Kolkkränder, namentlich die bergseitigen, immer steiler ausgebildet. Hiedurch kommt es in den darüberliegenden Schneeschichten zur Ausbildung

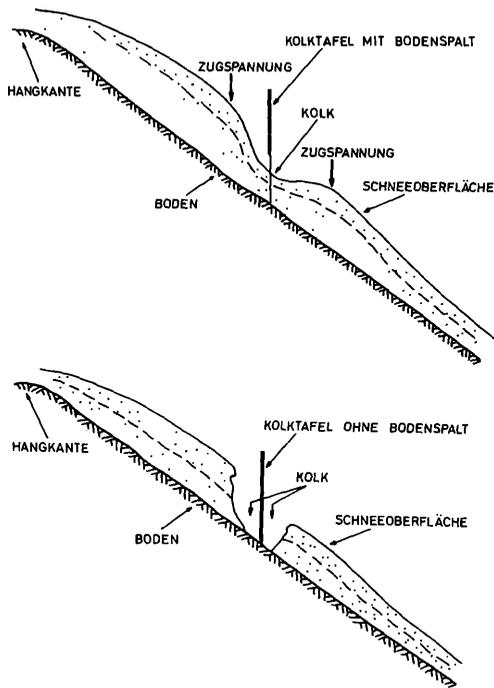


Abb. 187:

Oben: Schnitt durch einen Kolk um eine Tafel mit Bodenspalt. Der Kolk zeigt gerundete Formen mit allmählichen Übergängen. An den Kolkkrändern werden die Schneeschichten mit zunehmender Mächtigkeit immer steiler angelagert, wodurch es in oberen Teilen der Schneedecke zur Ausbildung von Zugspannungen kommt.

Unten: Schnitt durch einen Kolk um eine Tafel ohne Bodenspalt. Der Kolk ist scharf abgesetzt und bis zum Boden durchgehend. Die Schichtung innerhalb der Schneedecke wird durch den Kolk unterbrochen. Hauptwindrichtung von links nach rechts

von Zugspannungen, welche ihr Maximum am Kolkrand, also am Gefällsbruch, erreichen. Überschreiten diese Zugspannungen die Festigkeit einer Schneeschichte, so bricht diese ab. Diesen Vorgang veranschaulicht Abb.188, wo nach einem Schneefall von 15 cm auf windgepreßter Unterlage um alle drei Tafeln am Kolktafel-Versuchshang der Neuschnee abrutschte. Die Abbruchränder dieser Schneerutscher haben schneebrettähnliche Form, ihre Lage entspricht jeweils der Zone maximaler Zugspannung.

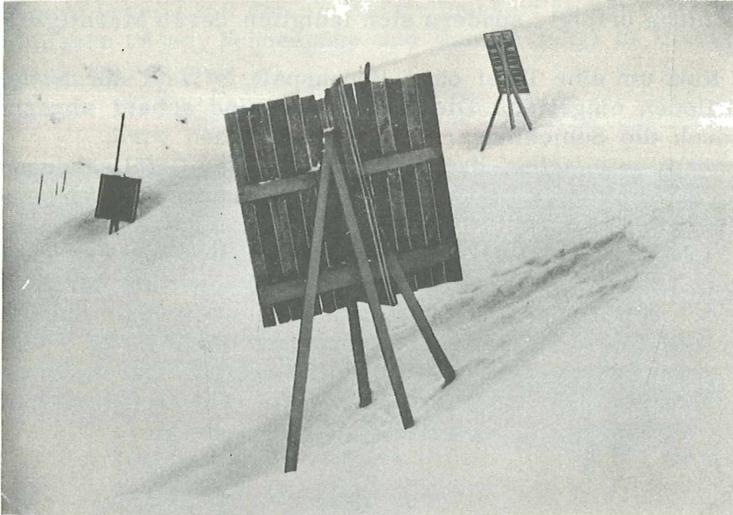


Abb. 188: Die Kolktafeln am Versuchshang im Winter 1953/54. Auf einer windgepreßten Schicht wurden 15 cm Neuschnee angelagert. Um jede der 3 Tafeln ist diese oberste Schneeschicht abgerutscht. Die Anbruchflächen, welche Schneebrettanbrüchen sehr ähnlich sind, entsprechen der Zone maximaler Zugspannung am oberen Kolkrand

Diese Zugspannungen werden umso größer sein, je größer die Schneemächtigkeit und damit die Übersteilung der Kolkkränder ist. Mit fortschreitender Ausbildung des Kolkes kann der obere Rand des Kolkes so steil werden, daß hier die Kontinuirung der Schichten unterbrochen wird. Die Kolkform wird dann ähnlich jener eines Kolkes um eine Tafel ohne Bodenspalt.

Bei den Kolktafeln ohne Bodenspalt, welche im Winter 1954/55 in Lizum erprobt wurden (Type D, Abb.177), konnte dagegen ein Abbrechen von Lawinen im Kolkbereiche nicht beobachtet werden.

Wenn auch diesen Angaben nur Beobachtungen eines Versuchswinters zugrundeliegen, werden sie aber von den Beobachtungen CAMPPELLs (1955), welcher zu ganz ähnlichen Ergebnissen kam, bestätigt.

Der Unterschied im Verhalten zwischen Kolktafeln mit und Kolktafeln ohne Bodenspalt ist also aus dem Unterschied in der Kolkform erklärbar.

Der Kolk um eine Tafel mit Bodenspalt ist nie bis zum Boden eingetieft. Der Übergang von der Normaloberfläche zum Kolk ist allmählich und gerundet, wobei keine Unterbrechung der Schichtung erfolgt, sondern sich lediglich deren Mächtigkeit ändert.

Der Kolk um eine Tafel ohne Bodenspalt ist fast durchwegs bis zum Boden eingetieft. Die Kolkkränder sind scharf abgegrenzt, wodurch die Schichtung radikal unterbrochen wird.

Während, wie schon dargelegt wurde, die Gefällsänderung an Kolken um Tafeln mit Bodenspalt die Ausbildung von Zugspannungen innerhalb einzelner Schichten im Kolkbereiche fördert, ist eine solche bei Kolken um Tafeln ohne Bodenspalt im Kolkbereiche kaum möglich. Durch die scharf abgesetzten und bis zum Boden hinreichenden Kolke wird die Schichtung unterbrochen. Somit fehlt das für die Ausbildung von Zugspannungen wichtige Element, die Gefällsänderung bzw. die Mächtigkeitsänderung, der Kolk verhält sich also unter der Voraussetzung einer gleichmäßig geneigten Hangoberfläche "quasi neutral".

F. Versuche am Patscherkofel

Schon in den Wintern 1949/50 und 1950/51 wurden am Patscherkofel, in dem östlich der meteorologischen Beobachtungsstation gelegenen Lawinenhang, von J. BERNARD Versuche mit Kolktafeln durchgeführt. Der für diese Versuche gewählte Aufstellungsort war äußerst windexponiert (Föhn) und die Tafeln konnten vollkommen ungehindert vom Wind angeblasen werden. Es waren also optimale Verhältnisse für Kolktafelversuche gegeben. Im Kolktafelbereiche wurden periodisch die Schneehöhen, die Länge der Wirbelrinne und die Kolktiefe gemessen.

Die Versuche am Patscherkofel zeigten vor allem, daß die Kolkwirkung auch bei sehr mächtigen Leeablagerungen voll zur Geltung kommt, wenn zwei Voraussetzungen erfüllt sind: Einmal muß die Kolktafel eine entsprechende Größe besitzen, zum anderenmale muß der Aufstellungsort der Tafel stark windexponiert sein.

Die Versuchskolktafeln am Patscherkofel waren 6 m hoch und 4 m breit ohne Bodenspalt und hatten nur etwa 75 % Füllung.

Abb.189 zeigt eine solche Kolktafel Ende März 1950. Der Kolk war zu diesem Zeitpunkt noch immer bis zum Boden ausgeblasen und hatte bergseits eine Tiefe von 2,20 m. Die Kolkkränder waren scharf aus der Schneedecke herausmodelliert und verliefen hangabwärts als seitliche Begrenzung der Wirbelrinne. Diese Wirbelrinne erreichte eine Länge von 23 m, wobei der Schnee in der Umgebung der Wirbelrinne immer fester war als der Schnee im seitlichen, ungestörten Teil der Schneedecke.

Der Versuch am Patscherkofel zeigt, daß die Dimensionierung der Kolktafeln nicht nach einem Einheitsschema erfolgen kann, sondern jeweils mit den am Aufstellungsort zu erwartenden Verhältnissen (Wind, Schneehöhe und Hangneigung) in Einklang gebracht werden muß.

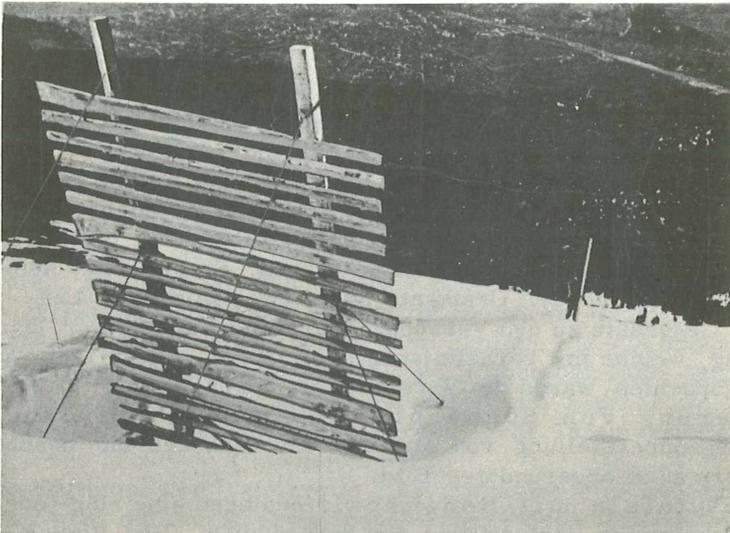


Abb. 189: Versuchskolktafel am Patscherkofel. Das Bild zeigt deutlich den scharf abgesetzten Kolk (typische Kolkform für Tafeln ohne Bodenspalt) und die lange Wirbelrinne

V. Zusammenfassung und Ausblick

Am augenfälligsten sind die Ergebnisse bei den Versuchen mit Kolktafeln zur Wächtenverhinderung. Wenn während zweier Versuchswinter im Bereiche der Kolktafeln keine Wächte gebildet wurde, so ist diese Beobachtung eine eindeutige Aussage, welche die positive Wirkung beweist (Abb. 178 und 179). Die Versuche haben gezeigt, daß durch einfache Tafeln mit 1 m bis 1,20 m Bodenspalt und 75 % bis 80 % Füllung (Type A in Abb. 177) die Wächtenbildung im Tafelbereiche unterbunden werden kann. Hierbei werden die Aufstellungspunkte der Tafeln am günstigsten so gewählt, daß die Tafeln direkt am Wächtenansatz oder bis 1 m von der Gratkante nach Luv errichtet werden. Ist eine eindeutige Hauptwindrichtung gegeben, sollen die Tafeln senkrecht zu dieser erstellt werden, wenn nicht, parallel zum Grat. Der Abstand von Tafel zu Tafel ist davon abhängig, ob die Wächtenbildung ganz verhindert oder die Wächte nur "zersägt", d. h. in einzelne Teilstücke aufgelöst werden soll. Im erstgenannten Fall kann der Abstand von Tafel zu Tafel bis 100 % der Tafelbreite betragen. Einfache Tafeln genügen zur Wächtenverhinderung vollauf. CAMPPELL (1955) hat bei Wächten an verhältnismäßig sanften Gratprofilen auch mit Tafeln ohne Bodenspalt sehr gute Erfolge erzielt. Er errichtet seine Tafeln direkt an der Gratkante oder nur wenig nach Lee.

Im Gegensatz zu den Versuchen zur Unterbindung der Wächtenbildung, welche mit verhältnismäßig einfachen Mitteln gute Ergebnisse brachten, waren die Versuche mit Kolktafeln zur Verhinderung von Schneebrettlawinen komplizierter. Erst die Gegenüberstellung von Messung und Beobachtung brachte ein einigermaßen abgerundetes Bild.

Kolktafeln mit Bodenspalt bedingen eine ring- oder hufeisenförmige Verfestigung der Schneedecke. Der Radius dieses Ringes größerer Festigkeit beträgt 6 bis 8 m. Im Kolkbereiche selbst liegt die Festigkeit des Schnees unter dem Normalwert der ungestörten Schneedecke (Abb. 180, 181, 182). Die Kolkform ist allmählich verlaufend, das Wirbelfeld reicht nicht so tief, daß der Kolk bis zum Boden eingetieft würde. Bei Vergrößerung des Bodenspaltes wird der Kolk immer flacher und verliert seine typische Form. Der Kolk bedingt wohl eine Störung der Schichtung der Schneedecke, doch keine Unterbrechung derselben. Durch die spezielle Kolkform um Tafeln mit Bodenspalt entstehen außerdem Zugspannungen an den Kolkkrändern, wodurch Tafeln mit Bodenspalt die Lawinenbildung unter Umständen fördern können (Abb. 185 188).

Bei Tafeln ohne Bodenspalt beobachtet man ebenfalls eine Verfestigung, welche in 8 bis 10 m von der Kolkmitte ihr Maximum erreicht. (Die Entfernung ist abhängig von der Lage der Tafel zum Hang, der Größe der Tafel, der Windgeschwindigkeit und dem Winkel zwischen Hauptwindrichtung und Tafel). Durch die tief ausgeblasenen Kolke wird die Homogenität der Schneedecke viel empfindlicher und wirksamer gestört als bei den Tafeln mit Bodenspalt, die Schneedecke wird meistens bis zum Boden unterbrochen (Abb. 187, 189).

Die Wirkung der Kolktafeln im Anbruchgebiet von Schneebrettlawinen beruht einmal in der Störung und Auflösung des Spannungsfeldes, zum anderenmale in einer Stützfunktion durch den Verfestigungsring. Eine Verfestigung der Schneedecke bewirken beide Kolktafeltypen, die Auflösung des Spannungsfeldes dagegen nur die Kolktafel ohne Bodenspalt. Eine Auflösung des Spannungsfeldes ist nur dann gewährleistet, wenn die Schneedecke unterbrochen wird, was aber nur bei Kolken um Tafeln ohne Bodenspalt zu erwarten ist.

Somit kann gesagt werden, daß zur Verhinderung von Schneebrettanbrüchen der Kolktafel ohne Bodenspalt der Vorzug zu geben ist. Außer den erwähnten Vorteilen enthebt einem die Verwendung von Tafeln ohne Bodenspalt der sehr heiklen Wahl der Größe des Bodenspaltes.

Bei den Versuchen hat sich gezeigt, daß sowohl zu breite als auch zu schmale Tafeln ihren Zweck nicht voll erfüllen. Werden die Tafeln zu breit, können sich die randlichen Wirbelfelder nicht mehr erreichen und in der Tafelmitte bleibt ein Raum, wo Schnee angelagert wird. Die Tafel wirkt dann ähnlich wie ein Schneezaun. Sind die Tafeln dagegen zu schmal, wird auch der Kolk einen entsprechend kleinen Durchmesser aufweisen und rascher im Schnee "ersaufen". Für dieselbe Fläche werden mehr Tafeln benötigt werden als bei größerer Dimensionierung.

Das Optimum der Tafelbreite liegt zwischen 3 m und 4 m. Die Höhe muß auf die zu erwartenden Schneehöhen abgestimmt werden, wobei die Kolktafel die maximalen Schneehöhen um 1 m überragen soll. Dabei hat es sich sowohl nach den Berichten CAMPPELLs als nach eigenen Erfahrungen (Type D, Abb. 177) als günstig erwiesen, die Tafel unten schmaler als oben zu gestalten.

Ob im Einzelfalle einfache oder gekreuzte Tafeln anzuwenden sind, hängt von den am Aufstellungsort herrschenden Windverhältnissen ab. In der Mehrzahl der Fälle wird sich eine Hauptwindrichtung feststellen lassen, welche für die Schneeumlagerung ausschlaggebend ist. In solchen Fällen sind gekreuzte Tafeln nicht notwendig. Sie sind dann am Platz, wenn keine bevorzugte Windrichtung feststellbar ist.

Modellversuche im Windkanal haben gezeigt, daß das Strömungs-

bild weitgehend unabhängig ist von der Windstärke, vom Anstellwinkel der Tafel (im Bereich 90 ± 20 Grad) und vom Bodenspalt, wenn dieser nicht kleiner als $1/3$ der Kantenlänge der Tafel ist (FUCHS 1954).

Die größte Wirkung wird mit Tafeln voller Füllung erreicht, da diese eine größtmögliche Störung des Windfeldes bewirken.

Die Wirkung einer Kolktafel steht und fällt mit der örtlich vorhandenen Windbeeinflussung. Es wird nur dort eine Wirkung zu erwarten sein, wo die Tafel intensiven Winden ausgesetzt ist.

Daraus geht hervor, daß Kolktafeln nicht überall wirksam angewendet werden können. Sind Wind- und Schneeverteilung nicht bekannt, müssen sie mindestens während eines Winters beobachtet werden.

Bei einer Tafelbreite von 3 bis 4 m wird die optimale Wirkung dann erreicht werden, wenn die Kolktafeln gestaffelt in Abständen von 15 bis 20 m aufgestellt werden, so daß sich die Verfestigungszonen der einzelnen Tafeln berühren. Diese werden als relativ starre Körper eine gewisse Stützfunktion übernehmen, wobei auch das Spannungsfeld der Schneedecke durch die Kolke in einzelne Teilspannungsbereiche aufgelöst wird. Dadurch können jedoch örtlich neue Spannungen auftreten. Sollen die Verfestigungsringe - das "liegende Gewölbe" - die oberhalb befindliche Schneedecke abstützen, so muß ein - hangnormal wirkendes - Widerlager vorhanden sein, welches diese Kraft in den Boden überträgt. Gleiten der Schneedecke auf dem Untergrund soll daher nicht stattfinden.

Es wäre über das Ziel geschossen, wollte man in der Kolktafel ein stets und überall wirksames Mittel gegen Lawinen sehen. Erste Voraussetzung für ihr Funktionieren ist der Wind, welcher mit dem Hindernis (Kolktafel) den Kolk, die Aufgliederung der Schneedecke und die Verfestigung im Tafelbereich schafft. Die Kolktafel bleibt wirkungslos, wenn Schnee ohne Wind abgelagert wird. Wenn dies im Hochgebirge auch selten vorkommt, so ist mit dieser Möglichkeit doch zu rechnen.

Es kann aber mit keinem Erfolg gerechnet werden, wenn Kolktafeln auf Grund der Geländeformen kaum oder nur sporadisch freien Windströmungen ausgesetzt sind. Ihre Anwendbarkeit ist daher auf bestimmte Bereiche zwischen Luv und Lee beschränkt.

Richtige Aufstellung der Kolktafeln vorausgesetzt, werden diese in der Wächtenbekämpfung dagegen mit Erfolg eingesetzt werden können. An Stellen, wo sich Wächten bilden, herrscht - zumindest in den Zeiten, in denen die Wächte aufgebaut wird - Wind. Denn ohne Wind entsteht keine Wächte und nur während des Aufbaues der Wächte braucht die Kolktafel zu wirken.

Während also zur Wächtenverhinderung die Kolktafel gut brauchbar ist, kann sie zur Verhinderung von Schneebrettanbrüchen nur örtlich und mit dem Vorbehalt herangezogen werden, daß fallweise Lawinenabgänge in Kauf genommen werden.

Die Wirkung der Einzeltafel auf die Schneedecke konnte weitgehend geklärt werden, es fehlen aber noch ausreichende Erfahrungen aus dem praktischen Einsatz der Tafeln. CAMPPELL (1955) hat die Kolktafeln als erster in einer ihrer Wirkung entsprechenden Verteilung zur Bekämpfung von Schneebrettlawinen eingesetzt und über seine Erfahrungen berichtet. Diese waren durchwegs zufriedenstellend.

Die Wirkungsweise der Kolktafeln ist vor allem darin zu sehen, daß durch die Verfestigung Spannungsspitzen in der Schneedecke abgebaut werden, wodurch zumindest die Ganghäufigkeit von Schneebrettlawinen herabgesetzt wird. Hingegen werden sie Lockerschneelawinen als Folge besonderer Witterungs- und Geländeverhältnisse nicht verhindern können.

Es gilt aber noch manche Fragen zu klären. So würde die minimale Windstärke interessieren, bei welcher Kolktafeln noch wirksam sind. Die Frage, wie weit nach Lee eine Kolktafel aufgestellt werden kann, ohne im Schnee zu "ersaufen" (d.h., daß die Anlagerung bei Schneetrieb größer ist als die auskolkende Wirkung des Windes um die Tafel), muß weiter geprüft werden. Schließlich wird es einer engen Zusammenarbeit von Forschung und Praxis bedürfen, um zu einer gültigen Abklärung des Problems zu kommen.

Literatur

- BERNARD S. 1952: Über erste Versuche mit Kolktafeln als Verwehungsbauten zur Verhinderung von Schneebrettlawinen. Arbeitsbericht 1950/51 der Forschungsstelle Lizum (unveröffentlicht).
- CAMPELL E. 1955: Treibschneewände oder Kolktafeln und ihre Anwendung in der Lawinenverbauung. Bündnerwald 8, Nr. 5, Chur.
- CROCE K. 1942: Meßversuche an Schneezäunen in den Wintern 1940/41 und 1941/42, Arbeitsbericht der Schneeforschungsstelle des Gen. Insp. f. d. Deutsche Straßenwesen, C 1 (unveröffentlicht).
- FUCHS A. 1952: Bericht über weitere Untersuchungen an Kolktafeln am Lawinengang (Winter 1951/52). Bericht der Forschungsstelle Lizum (unveröffentlicht).
- FUCHS A. und WOPFNER H. 1953: Arbeitsbericht Winter 1951/52. Bericht der Forschungsstelle Lizum (unveröffentlicht).
- FUCHS A. 1953/54: Probleme der Schnee- und Lawinenkunde. Ski-Sport, Mitt. Blatt d. Österr. Skiverbandes 2, Folge 1.
- FUCHS A. 1954: Bericht über Modellversuche mit Kolktafeln im Windkanal. Bericht der Forschungsstelle Lizum (vgl. den Auszug: Abschn. II. A. 3 dieses Buches).
- GAYL A. und HECKE H. 1953: Neuere Erkenntnisse zur vorbeugenden Lawinenbekämpfung. Allg. Forstztg. 64, Folge 7/8.
- HAEFELI R. 1939: Schneemechanik. In "Der Schnee und seine Metamorphose", Geol. d. Schweiz, Geotechn. Serie Hydrologie, Lieferung 3, Bern.
- HAEFELI R.: Neuere Entwicklungstendenzen und Probleme des Lawinenverbau im Anbruchgebiet. Mitt. d. Versuchsanstalt f. Wasserbau und Erdbau, Nr. 21, Verl. Leemann, Zürich.

- HAMPEL R. 1954: Forschungsarbeiten und Versuche auf dem Gebiete der Wildbach- und Lawinenverbauung. Allgem. Forstztg. 65, Folge 23/24.
- HANDL L. 1955: Praktische Schnee- und Lawinenkunde. Wagner'sche Univ. Buchhandlung, Innsbruck.
- HASSENTEUFEL W. 1954: Stand der Schnee- und Lawinenforschung in Österreich Ende 1953. Schweiz. Ztschr. f. Forstwesen 105, Nr. 7.
- HASSENTEUFEL W. 1954: Der Österreichische Lawindienst und seine Forschungsstelle in der Wattener Lizum. Der Bergsteiger u. Berge u. Heimat, Heft 11.
- PAULCKE W. 1938: Praktische Schnee- und Lawinenkunde. Verl. J. Springer, Berlin.
- de QUERVAIN R. 1954: Protection contre les avalanches. Journal forestier suisse 105, Nr. 7.
- WELZENBACH W. 1930: Untersuchungen über die Stratigraphie der Schichtablagerungen und die Mechanik der Schneebewegungen nebst Schlußfolgerungen auf die Methode der Verbauung. Dr. Diss., Wiss. Veröffentlichungen d. D & ÖAV, Nr. 9.
- WOPFNER H. 1955: Bemerkungen zu den von der ALPENLÄNDISCHEN VEREDELUNGS-INDUSTRIE GES. m. b. H. hergestellten Metall-Kolktafeln. Bericht Nr. 1/55 der Forschungsstelle Lizum (unveröffentlicht).

3. Modellversuche mit Kolktafeln im Windkanal

von A. Fuchs

Inhalt

	Seite
I. Die Anordnung und Durchführung der Versuche	669
II. Zur Auswertung und Darstellung der Versuchsergebnisse	669
III. Die Versuchsergebnisse	670
A. Das Strömungsbild um eine quadratische Tafel auf ebener Bodenfläche ..	670
1. Der Einfluß des Anstellwinkels	670
2. Der Einfluß des Bodenabstandes	676
3. Der Einfluß der Windgeschwindigkeit	676
B. Das Strömungsbild um eine quadratische Tafel in einem Kolk	677
C. Das Strömungsbild um dreieckige Tafeln auf ebener Bodenfläche und Vergleich mit flächengleichen rechteckigen Tafeln	678
D. Das Strömungsbild um eine gekreuzte Tafel ..	681
Zusammenfassung	681

Diese Arbeit ist eine auszugsweise Wiedergabe des "Berichtes über Modellversuche mit Kolktafeln im Windkanal" von Univ. Doz. Dr. Alfred Fuchs (August 1954)

I. Die Anordnung und Durchführung der Modellversuche

Bei Beginn unserer Kolktafeluntersuchungen trat bald die Frage nach der wirksamsten Stellung gegenüber dem anströmenden Wind und nach der günstigsten Tafelform auf. Wegen der wechselnden Windverhältnisse wären solche Versuche im Freiland schwierig auswertbar und sehr zeitraubend gewesen. Wir haben aus diesem Grunde Versuche mit Modellen im Maßstab 1 : 10 bis 1 : 20 im geschlossenen Windkanal der Technischen Hochschule Wien (Institut Prof. Magyar) gemacht mit dem Ziele, auf unsere Großversuche anwendbare Gesetzmäßigkeiten zu erkennen. Der dortige Windkanal hat uns gestattet, alle uns interessierenden Faktoren zu beherrschen und zu variieren. Wir haben versucht, die Wirkungsweise von Windhindernissen in Form einer Bestimmung der Stromlinien und Wirbelbereiche und einer Messung der relativen Geschwindigkeiten in Abhängigkeit von Windstärke, Tafelform, Anstellwinkel gegenüber dem Wind und Bodenabstand zu kennzeichnen.

Soweit nicht Einzelheiten später folgen sei hier die Versuchseinrichtung kurz beschrieben:

In der offen zugänglichen Meßstrecke des Windkanals strömt die Luft von oben nach unten. Parallel zur Strömung wurde eine Hartholzfaserplatte so als Bodenplatte eingesetzt, daß diese von der Luft unverwirbelt überströmt wurde, wenn kein Hindernis eingebracht war. An der Bodenplatte oder an einer Haltevorrichtung am gegenüberliegenden Rande des Kanals wurden die Tafelmodelle befestigt und konnten in gewünschter Weise eingestellt werden.

Die Stromlinien und Wirbelbereiche um das Hindernis wurden durch kurze weiße Wollfäden, welche sich wie Fähnchen in die Strömung einstellten, sichtbar gemacht. Die Anordnung dieser Fäden ist am besten in Abb. 194 zu erkennen: Zwischen zwei Stäben eines Rahmens waren in Abständen von 1 dm sehr dünne Drähte gespannt (Spiralfedern an einer Seite), welche ihrerseits 9 cm lange weiße Fäden in Abständen von 1 dm trugen. Das Gitter mit den Fäden konnte in verschiedenen Abständen von der Bodenplatte angebracht werden.

Während des Versuches wurden die Fäden von zwei Seiten (schräg vorne und seitlich) gleichzeitig fotografiert (Abb. 194).

Zur Bezeichnung der einzelnen Fäden waren die Drähte mit Buchstaben und die senkrechten Fadenreihen mit Ziffern versehen.

Die Geschwindigkeitsmessungen wurden mit einem kleinen Staurohr gemacht, welches, an einem Stab befestigt, an die Fäden gehalten wurden. Durch die jeweilige Lage des Fadens war die richtige Stellung des Staurohres bestimmt.

Die unbeeinflusste Anströmungsgeschwindigkeit wurde in Zeitabständen an einem fest eingebauten Staurohr gemessen.

II. Zur Auswertung und Darstellung der Ergebnisse

Aus den mit dem Staurohr gemessenen Druckdifferenzen Δp wurden die Geschwindigkeiten v nach der vereinfachten Formel

$$v = 4\sqrt{\Delta p}$$

berechnet (Luftdruck und Lufttemperatur wurden nicht beobachtet, da es sich letztes Endes um relative Werte handelte).

Die Geschwindigkeiten v wurden in % der Anströmungsgeschwindigkeiten v_0 umgerechnet. Als v_0 wurde der Mittelwert der im Zuge einer Versuchsreihe gemessenen Einzelwerte genommen.

Die relativen Werte von v wurden auf mm-Papier im Maßstab 1 : 10 eingetragen. Die Bereiche gleicher relativer Geschwindigkeiten wurden in Stufen von 5 zu 5 % zusammengefaßt und mit Linien (Isotachen) umgrenzt. Die schnelleren Bereiche wurden blau gefärbt, die langsameren sind braun gerastert.

III. Versuchsergebnisse

A. Das Strömungsbild um eine quadratische Tafel auf ebener Bodenfläche

Für diese Versuche wurde eine quadratische Tafel mit einer Seitenlänge von 25 cm verwendet. Sie wurde von einem an ihrer Oberkante angebrachten Halter getragen, welcher in einem festklemmbaren Gelenk geführt war. So konnte der Anstellwinkel der Tafel verändert werden. Der Bodenspalt wurde durch Verschieben der ganzen Haltevorrichtung verstellt.

Durch diese Versuchsreihe soll das Strömungsbild um eine Tafel bei kaum ausgeprägtem Kolk in der Schneedecke, wie es den Verhältnissen des Frühwinters entspricht, in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren (Anstellwinkel, Bodenspalt, Windgeschwindigkeit) studiert werden. Die ebene Bodenfläche schafft einfache Verhältnisse; hier können die Einflüsse der genannten Faktoren am besten geklärt werden.

1. Der Einfluß des Anstellwinkels

Bei der Untersuchung dieser Frage wurde das Kolktafelmodell in sieben verschiedenen Lagen gegenüber der Anströmrichtung, 30 Grad bis 120° geneigt, in den Windkanal gestellt. Der Bodenspalt war durchwegs 20 cm; die Windgeschwindigkeit v_0 war 11 m/s. Die relativen Geschwindigkeiten v wurden in 4 Ebenen gemessen: 7 cm, 13 cm, 20 cm über dem Boden sowie in der Kolktafelmitte, d. i. je nach Neigung der Tafel 26 33 cm über dem Boden.

Bei der Betrachtung des Strömungsbildes gehen wir von der Tafelstellung 90°, also senkrecht zur Windrichtung, aus. Der schematische Längsschnitt Abb. 190 (A) zeigt einen in bezug auf eine Horizontalebene nahe der Tafelmitte einigermaßen symmetrischen Verlauf der Stromlinien. Auch der sich scharf abgrenzende eigentliche Wirbelbereich mit rückwärtsgerichteter Strömung (Abb. 190 F; im Folgenden kurz "Wirbelraum" genannt) und der anschließende Bereich stärkerer Verwirbelung bei von der allgemeinen Windrichtung nicht weit abweichenden Strömungsrichtung, welcher in die unverwirbelte Umgebung ohne scharfe Grenze übergeht (im Folgenden kurz "Wirbelzone" genannt), zeigen eine nahezu symmetrische Anordnung in bezug auf die genannte Ebene. Der Wirbelraum ist etwa 75 cm lang; die Länge der Wirbelzone konnte wegen Raummangel im Windkanal nicht bestimmt werden.

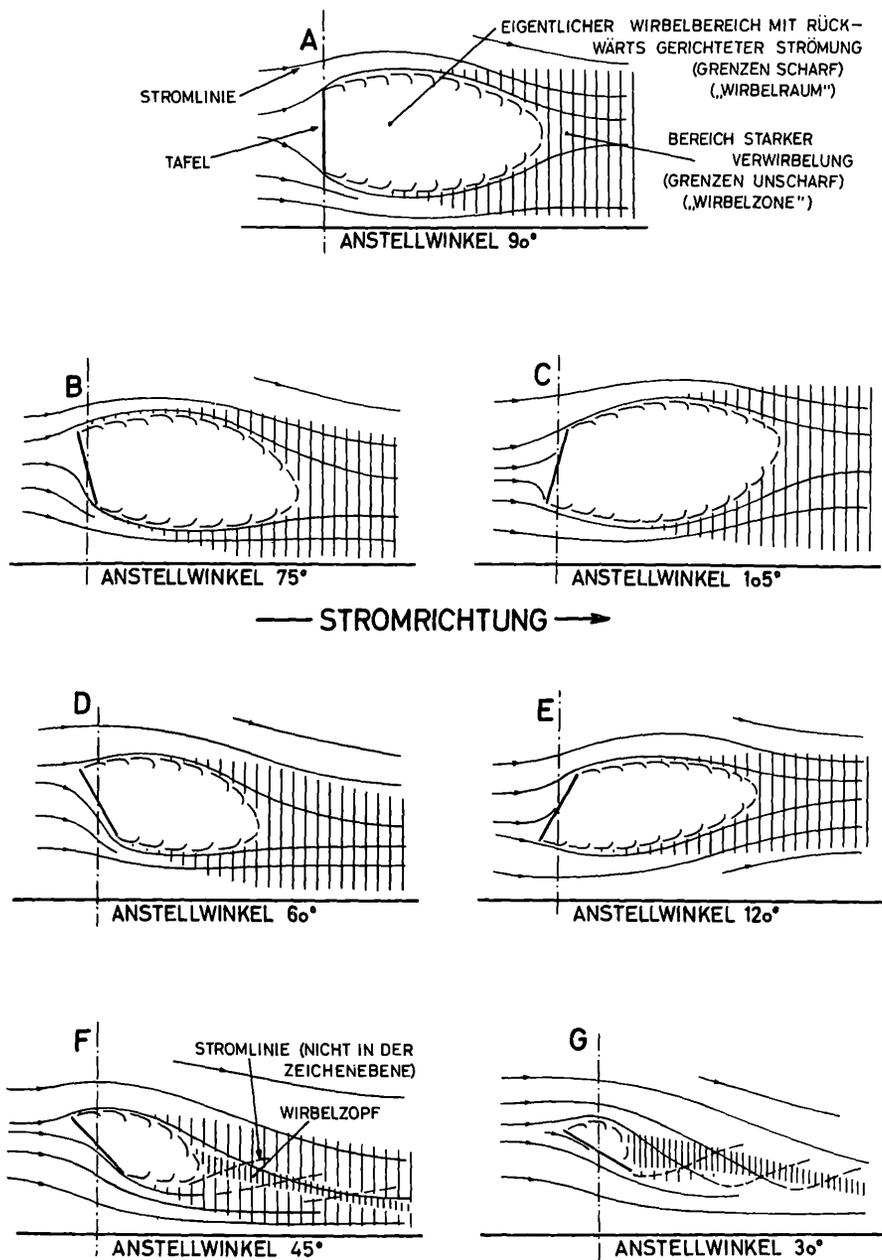


Abb. 190: Einfluß des Anstellwinkels auf das Strömungsbild um eine quadratische Tafel von 25 cm Seitenlänge bei einem Bodenspalt von 20 cm. Die Strömungsbilder sind aus den Lichtbildern gewonnene, grob schematische Skizzen. Sie stellen den Längsschnitt im Abstand von 5 cm von der Mittelebene dar

ANSTELLWINKEL 90°

LÄNGSSCHNITTE

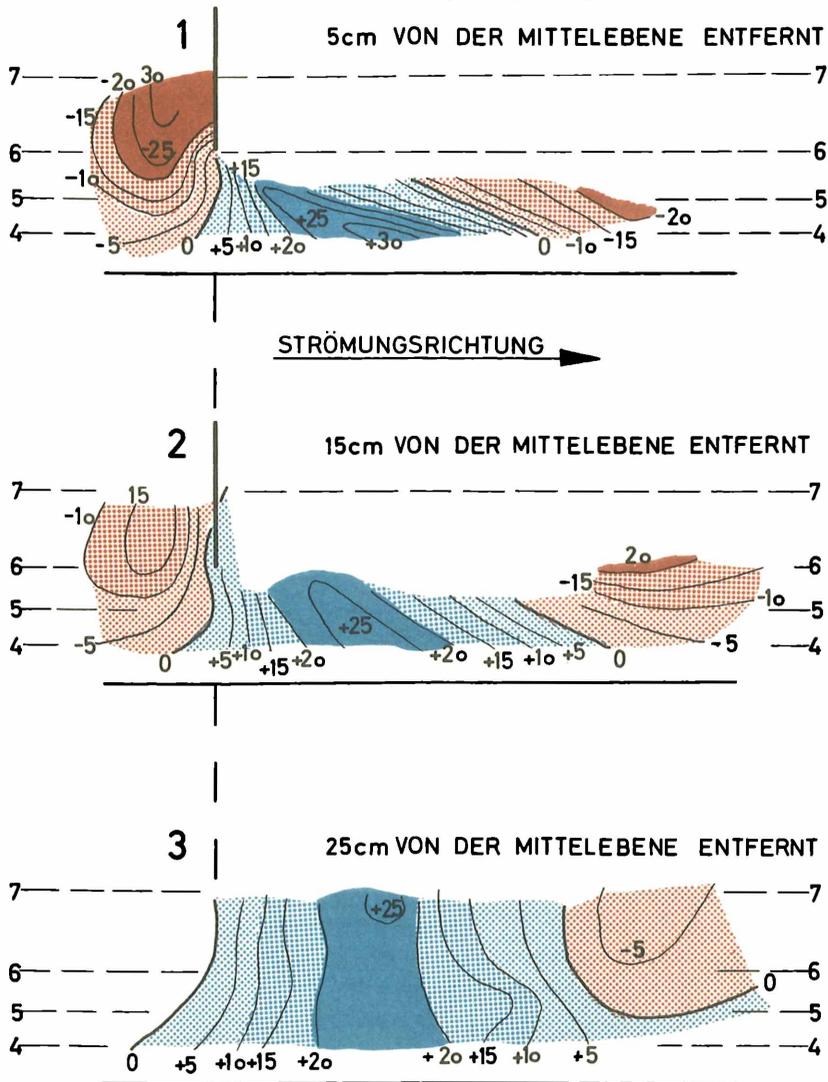


Abb. 191: Linien gleicher Strömungsgeschwindigkeit (Isotachen) um eine quadratische Tafel 25 x 25 cm in Längsschnitten (5, 15 und 25 cm von der Mittelebene entfernt). Anstellwinkel 90°, Bodenspalt 20 cm. Die Geschwindigkeitsbereiche sind in % der Anströmgeschwindigkeit angegeben (blau: schneller, braun: langsamer)

ANSTELLWINKEL 90°

HORIZONTALSCHNITTE

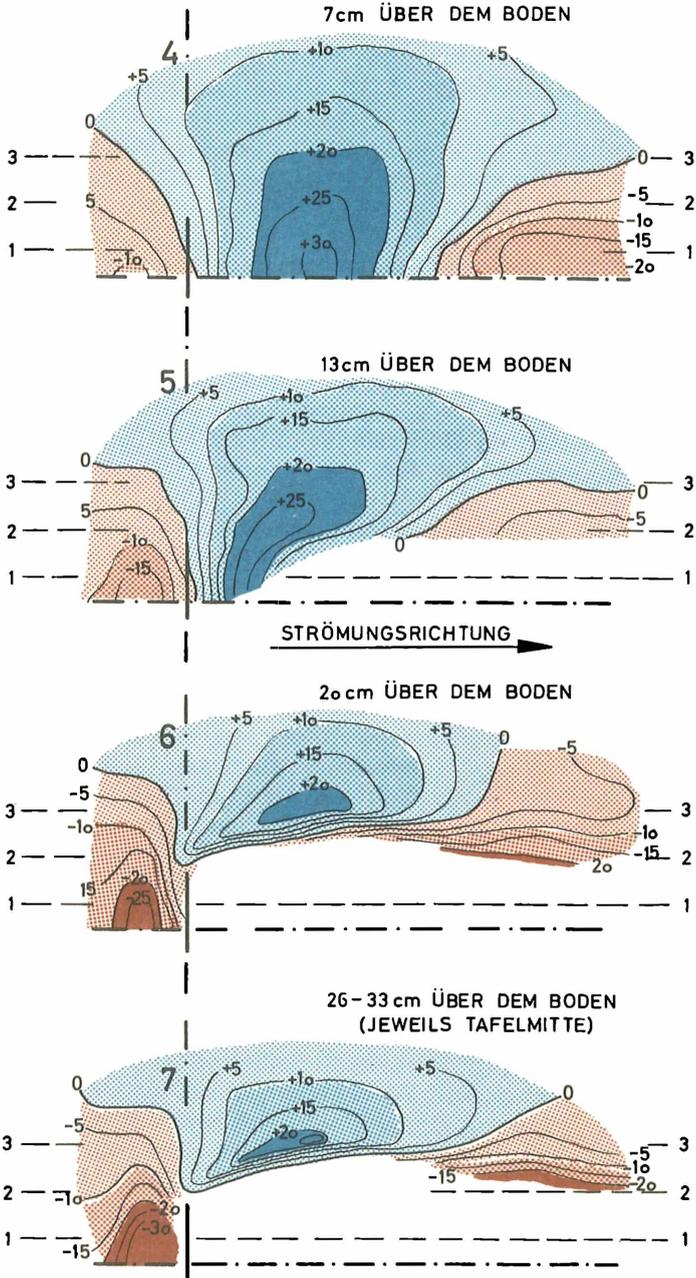


Abb. 192: Isotachen in Horizontalschnitten (7, 13, 20 und 26 33 cm über dem Boden). Sonstige Daten wie bei Abb. 191

Die Verteilung der relativen Geschwindigkeiten in der nächsten Umgebung der Tafel ist in Form von Isotachen in den Längsschnitten Abb.191 und in den Horizontalschnitten Abb.192 dargestellt.

Abb.192 zeigt 7 cm über dem Boden einen schnelleren Bereich von ovalem Schnitt, dessen Kern 30 cm hinter der Tafel liegt. Geht man in höhere Lagen, so teilt sich dieser in Bodennähe durchgehende, schnellere Bereich in zwei, an die scharf umströmten Tafelkanten anschließende, lappenförmig erscheinende Bereiche, welche durch den Wirbelraum voneinander getrennt sind. Mit einem Blick über sämtliche Schnitte (Abb.191 und 192) erkennt man die räumliche Gestalt dieses schnelleren Bereiches.

Vor der Tafel staut sich die Luft. Hier ist ein langsamerer Bereich, dessen Gestalt wieder aus den Schnitten ersichtlich ist. Sein Kern liegt unmittelbar vor der Tafel (Abb.191 und 192).

Ein zweiter langsamerer Bereich schließt an den Wirbelraum (in welchem keine Geschwindigkeiten gemessen wurden) nach hinten an. Er hat eine in der Längsrichtung gestreckte Form. Bei den Versuchen konnte nur sein vorderster Teil gemessen werden (Abb.190 192).

Verstellt man nun den Anstellwinkel mit einer Abweichung von je 15° beiderseits der Lotrechten (gegen den Wind geneigt: 75° , vom Wind abgeneigt: 105° , so ergeben sich Stromlinienbilder, welche einander spiegelbildlich sehr ähnlich sind (Abb.190 B und C). Die Spitze des Wirbelraumes ist leicht nach unten oder oben verschoben. Die Verteilung der Isotachen weicht voneinander und von dem Isotachenbild bei Anstellwinkel 90° kaum ab.

Wenn bei dem beschriebenen Abweichen des Anstellwinkels um beiderseits 15° von der Lotrechten eine sehr geringe Änderung des Strömungsbildes gegeben ist, so ist diese bei 30° schon etwas stärker (Abb.190 D - Anstellwinkel 60° und Abb.190 E Anstellwinkel 120°). Wieder sind die Stromlinien und Wirbelbereiche spiegelbildlich sehr ähnlich, die Länge des Wirbelraumes beträgt aber nur mehr etwa das Doppelte der Kantenlänge der Tafel. Im Großen ist bei einem Anstellwinkel von 60° ein deutliches Absinken und bei einem Anstellwinkel von 120° ein Aufsteigen, also ein Abheben vom Boden, gegeben. Die Isotachen aber zeigen noch eine große Ähnlichkeit mit jenen bei Anstellwinkeln von 75° und 105° .

Zwei Versuchsreihen mit Anstellwinkel 45° und 30° sollten uns zeigen, wie das Strömungsbild bei noch stärkerer Neigung der Tafel gegen den Wind aussieht. Praktisch werden solche Anstellwinkel kaum in Frage kommen. Es zeigte sich, daß der Wirbelraum mit zunehmender Neigung wesentlich kleiner wird; auch die Wirbelzone wird schlanker. Beiderseits der Tafel treten ausgeprägte Wirbelzöpfe auf (Abb.190 F und G).

Je geringer der Anstellwinkel ist, desto geringer sind auch die Unterschiede der relativen Geschwindigkeiten.

Während die Isotachen bei 45° noch einigermaßen jenen bei Anstellwinkeln von 60 , 75 , 90 , 105 und 120° ähnlich sind, zeigen Isotachen bei 30° ein stark abweichendes Bild mit geringen Geschwindigkeitsunterschieden.

Gegen den Anstellwinkel 0° (Kolktafel parallel zur Strömung) würde die Beeinflussung der Strömung bei theoretisch zweidimensionaler Tafel gleich Null.

Planimetriert man die in den Längsschnitten Abb. 190 von dem Wirbelraum eingenommenen Flächen und setzt diese Maße in Beziehung zum Anstellwinkel, nachdem man sie in % der Tafelfläche umgerechnet hat, so ergibt sich das in Abb. 193 dargestellte Bild:

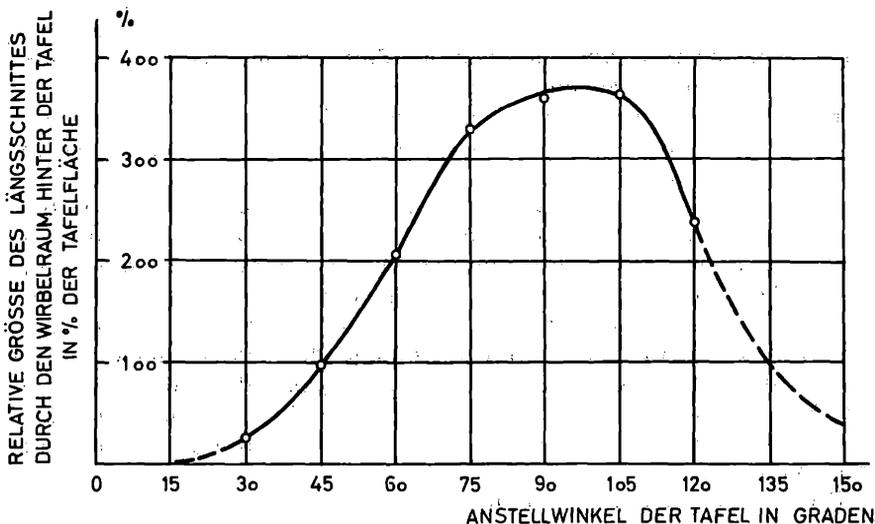


Abb. 193: Relative Größe des Längsschnittes durch den "Wirbelraum" (Längsschnitte in Abb. 190) in % der Tafelfläche in Abhängigkeit vom Anstellwinkel der Tafel. Der Wirbelraum ist der von der Tafel bewirkte leeseitige Bereich mit rückwärtsgerichteter Strömung

Die relative Größe des Wirbelraumes nimmt mit steigendem Anstellwinkel zuerst langsam, dann rasch zu und erreicht zwischen 90° und 105° ihren höchsten Wert. Mit weitersteigendem Anstellwinkel sinkt die Kurve wieder steil ab und erreicht gegen 180° (= 0°) wieder Null. Man sieht: Bei einem Anstellwinkel zwischen 71° und 114° ist die Fläche des Längsschnittes durch den Wirbelraum größer als 300 % der Tafelfläche; zwischen 65° und 119° ist sie größer als 250 %. Der flache Gipfel der einer Sinusfunktion ähnlichen Kurve zeigt uns, daß im Bereiche von $90^\circ \pm 20^\circ$ das Strömungsbild in bezug auf den Wirbelraum konstant bleibt.

2. Der Einfluß des Bodenabstandes

Zur Klärung dieser Frage wurden einige Versuchsreihen gemacht. Bei einer konstanten Windgeschwindigkeit von 11 m/sec und den Anstellwinkeln 30° , 45° , 60° , 75° und 90° wurde der Bodenabstand der Tafel verändert. Es wurden dabei folgende Stufen des Bodenabstandes gewählt: 7 cm, 13 cm, 20 cm und 27 cm. Beim Anstellwinkel 90° wurde auch der Abstand Null untersucht. Das Gitter mit den Fäden wurde in verschiedenen Abständen vom Boden bis zur Tafelunterkante, zum Teil auch bis zur Tafelmitte, eingehängt und von vorne und von der Seite fotografiert. Geschwindigkeitsmessungen wurden nicht gemacht.

Es ergab sich, daß der Bodenabstand der Tafel bei jedem Anstellwinkel von sehr geringem Einfluß auf die Stromlinien und Wirbelbereiche ist.

In den Horizontalschnitten in verschiedener Lage (an der Unterseite der Tafel und oberhalb davon) bleiben die Verhältnisse weitgehend konstant, gleichgültig ob der Bodenabstand 7 cm oder 27 cm ist. Anders gesagt: Das um die Tafel oberhalb deren Unterseite gegebene Strömungsbild ändert sich sehr wenig, wenn man diese Tafel bis auf etwa $1/3$ ihrer Kantenlänge dem Boden nähert. Das unterhalb der Unterseite gegebene Strömungsbild wird bei kleinerem Bodenabstand durch die Randbedingungen in der Nähe des Bodens beeinflußt; dieser Bereich unter 7 cm Bodenlänge wurde nicht untersucht.

Die Stromlinien und Wirbelbereiche wurden nicht abgebildet. Die Abb. 190 ergäbe annähernd das Bild, wenn man die Grundlinie entsprechend verschieben würde. So erreicht z. B. die Wirbelzone in Abb. 190 (A) schon 2 cm hinter der Tafel den Boden, wenn man den Bodenabstand auf die Hälfte verkleinert.

3. Der Einfluß der Windgeschwindigkeit

Bei Anstellwinkeln von 45° , 60° und 90° und einem gleichbleibenden Bodenabstand der Tafel von 20 cm wurde das Strömungsbild (ohne Windgeschwindigkeitsmessungen) bei folgenden Windgeschwindigkeiten untersucht: 2 m, 6,9 m, 11 m und 16,2 m/sec. Das Gitter mit den Fäden wurde in 5–7 Stellungen bis 5 cm über der Oberseite der Tafel eingehängt und fotografiert. Insgesamt wurden 85 Doppelaufnahmen gemacht.

Es ergab sich in dem untersuchten Geschwindigkeitsbereich in allen Fällen eine weitgehende Unabhängigkeit des Strömungsbildes von der Windgeschwindigkeit.

B. Das Strömungsbild um eine quadratische Tafel in einem Kolk

Im Hoch- und Spätwinter haben sich um Kolktafeln im Freien tiefe Kolke gebildet. Die Strömungsverhältnisse in der Umgebung eines solchen Kolkes wurden in einer eigenen Modellversuchsreihe untersucht. Die Gestalt der Kolke im Freien ist je nach den Winden und deren Aufeinanderfolge eine verschiedene. Beim Bau des Modells wurde die bei bleibender vorherrschender Windrichtung am häufigsten beobachtete Form gewählt. Die Tiefe des Kolkes war etwa 12 cm; der Rand des Kolkes schloß an die Bodenplatte an, in welche er eingesenkt war. Die quadratische Tafel von 25 cm Seitenlänge war mit der Unterkante von der ebenen Bodenplatte 2,5 cm entfernt.

Die Tafel wurde mit den Anstellwinkeln 60° , 75° , 90° , 105° und 120° in den Kolk gestellt. Die Anströmgeschwindigkeit war gleichbleibend 11 m/sec. Das Gitter mit den Fäden wurde in Abständen von 2,5 cm, 7 cm und 13 15 cm (Tafelmitte) vom Boden eingehängt und von 2 Seiten fotografiert. Die Geschwindigkeiten wurden für alle Versuchsreihen an gleichbleibenden Stellen gemessen.

Die Strömungsverhältnisse in der Tiefe des Kolkes wurden ohne Gitter untersucht, indem an einigen Stellen 5 cm lange Fäden 3 cm über dem Boden an eingesteckten Nadeln angebracht wurden. Die dort gemessenen Geschwindigkeiten konnten wegen zu geringer Dichte in das Isotachenbild nicht eingefügt werden.

Vergleicht man die Ergebnisse mit dem Strömungsbild um eine Tafel auf ebener Bodenfläche, so sieht man, daß durch den Kolk der Wirbelraum in tieferen Bereichen (Tafelmitte und darunter) verkürzt wird, in höheren Bereichen (Tafeloberkante) bei Anstellwinkel 105° und 120° verkürzt, bei 75° und 60° aber verlängert wird. Dies erklärt sich durch die Wirkung der aus dem Kolk heraussteigend abströmenden Luft, welche den Wirbelraum vom Boden etwas abhebt.

Im Kolk ist ein Strömen parallel zur Oberfläche gegeben. Nur an der Luvseite der Tafel bildet sich in der Nische des Kolkes ein kleiner Wirbelraum mit sehr geringen Geschwindigkeiten.

Die Isotachenbilder sind untereinander sehr ähnlich: es ist also wie bei Versuchsreihe ohne Kolk (Abb. 190 192) eine geringe Abhängigkeit von der Tafelstellung gegeben.

Es zeigte sich demnach, daß das Strömungsbild um eine von einem Kolk umgebene Tafel in bezug auf die Wirbelbereiche etwas verschieden ist von einer Tafel ohne Kolk, im Isotachenbild dieser aber sehr ähnlich ist.

C. Das Strömungsbild um dreieckige Tafeln auf ebener Bodenfläche und Vergleich mit flächengleichen rechteckigen Tafeln

Von dem Gedanken ausgehend, daß bei niedriger Schneedecke ein geringer Bodenspalt der Kolktafel gut wirkt, dieser aber im Hochwinter leicht zugeschnitten werden kann, wurden gleichschenkelig-dreieckige, mit ihrer Spitze auf dem Boden stehende Tafeln als Modelle im Windkanal untersucht. Die Schenkel des Dreiecks bilden nämlich, wenn der Basiswinkel etwas größer ist, mit dem Boden eine Art Bodenspalt in Form von einspringenden Winkeln beiderseits der Tafel: Damit wäre ein bei jeder Schneehöhe gleich wirkender Bodenspalt gegeben (Abb. 194).

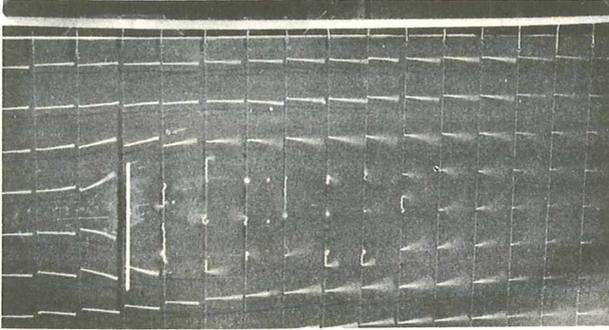
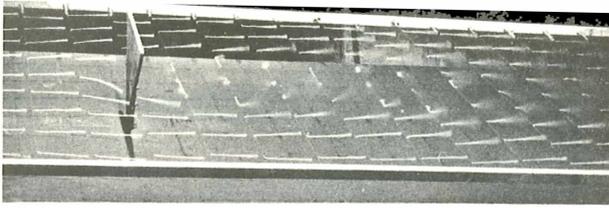
Bei den Modellversuchen im Windkanal wurden gleichschenkelige Dreiecke von gleichbleibender Höhe 20 cm mit folgenden Basiswinkeln verwendet: 30° , 45° , 60° , 75° . Die Dreiecke wurden mit ihrer Spitze auf die Bodenplatte gestellt (Abb. 194). Um einen Vergleich mit rechteckigen Tafeln zu haben, wurden vier, den Dreiecken flächengleiche Rechtecke mit gleichbleibender Höhe 20 cm und verschiedener Breite in einer zweiten Versuchsreihe studiert (Abb. 194).

Das Gitter mit den Fäden wurde in Bodenabständen von 5 zu 5 cm eingehängt und von zwei Seiten fotografiert. Die relativen Geschwindigkeiten wurden in immer gleichbleibenden Fadenreihen gemessen. Bei den rechteckigen Tafeln wurden nur bei der breitesten und bei der schmalsten Tafel solche Geschwindigkeitsmessungen gemacht.

Die Wirbelbereiche und Stromlinien erscheinen fürs erste bei dreieckigen und rechteckigen Tafeln ziemlich ähnlich. Zeichnet man aber die Grenzen des Wirbelraumes in den einzelnen Horizontalschnitten, so zeigt sich, daß der Wirbelraum bei den dreieckigen Tafeln in der Nähe des Bodens schmaler ist und seine größte Breite in der Höhe der horizontalen Oberkante der Tafel hat. Im Schnitt quer zur Strömung sieht der Wirbelraum wie ein auf die Spitze gestelltes Dreieck mit stark ausgebauchten Seiten aus.

Bei den rechteckigen Tafeln hat der Wirbelraum seine größte Breite in der Nähe des Bodens, wird nach oben hin schmaler und schließt sich gewölbeähnlich. Die Länge des Wirbelraumes ist bei beiden Tafelformen annähernd gleich.

Die Horizontalschnitte bei dreieckigen Tafeln zeigen eine Ähnlichkeit, wenn auch ein Dichterwerden der Isotachen mit größerem Basiswinkel der Tafel (also größere Geschwindigkeitsunterschiede auf kleinem Raum) gegeben zu sein scheint.



□ - Tafel

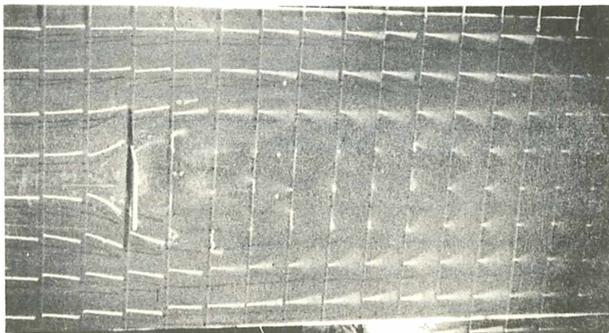
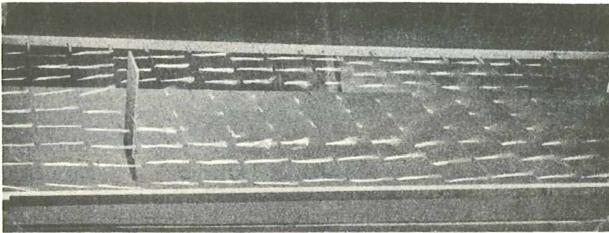


Abb. 194: Lichtbilder der Versuchsreihe mit dreieckiger Tafel (Basiswinkel 75°) im Vergleich mit flächengleicher rechteckiger Tafel. Gitter mit Faden 10 cm über dem Boden. Die Lichtbilder sind jeweils gleichzeitig aufgenommene Bildpaare

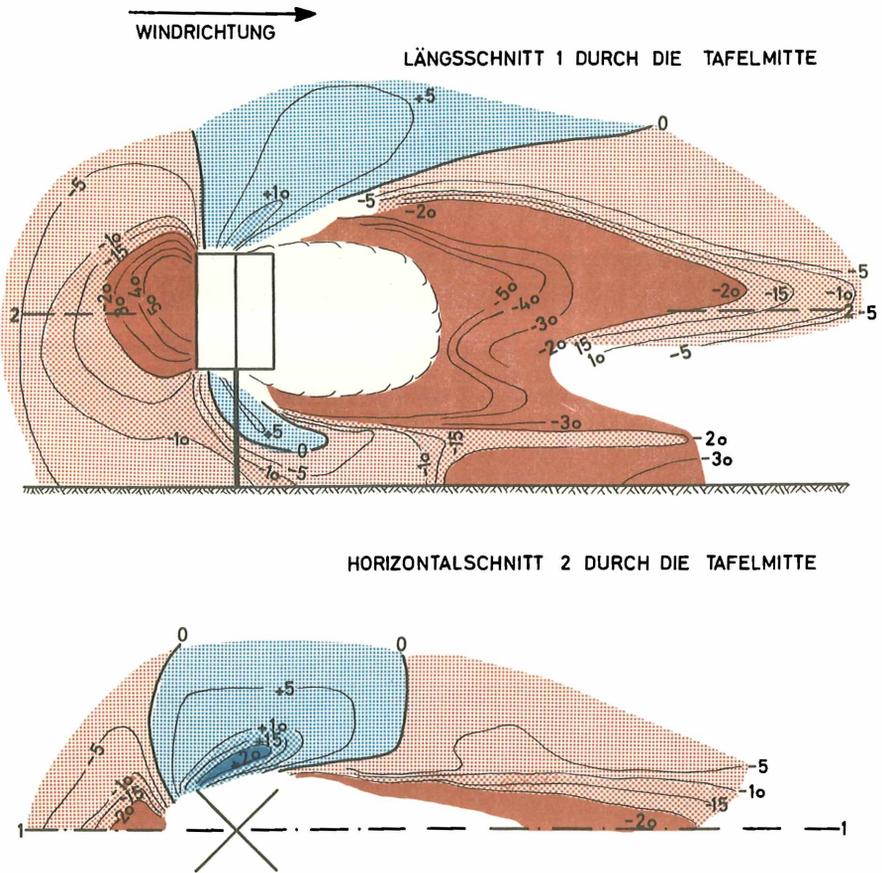


Abb. 195: Isotachen um eine gekreuzte Kolktafel in einem Längs- und einem Horizontalschnitt durch die Tafelmitte. Die Linien umgrenzen die Bereiche gleicher Geschwindigkeit v , welche in % der Anströmgeschwindigkeit v_0 angegeben sind. Stufung der Isotachen bis ± 20 % von 5 zu 5 %, darüber von 10 zu 10 %. Farbstufung bis ± 20 von 10 zu 10 %; oberhalb ± 20 % ist die Färbung einheitlich (blau: schneller, braun: langsamer). Im Horizontalschnitt ist nur die linke Hälfte gezeichnet

Die rechteckigen Tafeln geben in allen Schnitten wieder ein ähnliches Bild der Isotachen.

Man sieht, daß die Unterschiede zwischen den beiden Tafelformen in bezug auf die Isotachen und die Größe des Wirbelraumes nicht sehr groß sind. Die Gestalt des Wirbelraumes bei dreieckigen Tafeln zeigt Ähnlichkeit mit Tafeln mit Bodenspalt, so daß also eine ähnliche Wirkung im Schnee erwartet werden kann.

D. Das Strömungsbild um eine gekreuzte Tafel

Die Abbildung 195 zeigt die Isotachen um eine gekreuzte Tafel, welche in Richtung ihrer Winkelsymmetrale angeströmt wurde. Im Horizontalschnitt durch Tafelmitte zeigt sich das uns wohl bekannte Bild mit zwei schnelleren Bereichen beiderseits der Tafel und langsameren vor und hinter ihr. Auch der Längsschnitt durch die Tafelmitte gibt uns ein Bild, welches den anderen Versuchsreihen sehr ähnlich ist.

Zusammenfassung

Es war Aufgabe der Modellversuche, das Strömungsbild um Kolktafeln in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren zu studieren. In der Natur wären solche Untersuchungen sehr zeitraubend gewesen, da der Faktor Wind in bezug auf Richtung und Stärke nicht beherrscht werden kann.

Die vorliegenden Ergebnisse lassen folgende Gesetzmäßigkeiten erkennen:

- 1) Das Strömungsbild ist weitgehend unabhängig von der Windstärke.
- 2) Das Strömungsbild ist bei gleichbleibendem Querschnitt der Tafel nicht sehr abhängig von der Gestalt der Tafel, wenn diese Unterschiede in der Gestalt nicht zu groß sind (z. B. Quadrat langgestrecktes schmales Rechteck; die zu vergleichenden Tafelformen müssen eine gleiche Grundgestalt, z. B. beide mehr isometrisch oder beide mehr oblong, haben).
- 3) Der Anstellwinkel der Tafel hat im Bereich $90^{\circ} \pm 20^{\circ}$ auf das Strömungsbild wenig Einfluß. Außerhalb dieses Winkelbereiches ändern sich die Verhältnisse in zunehmendem Maße.
- 4) Das Strömungsbild um eine Tafel ist unabhängig vom Bodenspalt, wenn dieser nicht kleiner als $1/3$ der Kantenlänge der Tafel ist.

B. Mikrobiologie des Bodens und Forstwirtschaft

von M. Moser

Die Mikrobiologie befaßt sich mit der Erforschung der Kleinlebewesen wie Bakterien, Pilze, Algen und einzelligen Tiere (Protozoen). Sie hat in den letzten Jahrzehnten und besonders in der Zeit nach dem zweiten Weltkrieg durch verschiedene wesentliche Entdeckungen ganz erheblich an Bedeutung gewonnen, nicht nur für die biochemische Industrie, Pharmazie und Medizin, sondern auch für Land- und Forstwirtschaft.

Solche Kleinorganismen kommen in großer Zahl mit Forstpflanzen sowohl am Sprossystem als im Wurzelbereich in Berührung und können diese in schädigender oder auch fördernder Weise beeinflussen.

Kontakte an oberirdischen Teilen eines Baumes verlaufen entweder neutral oder sehr häufig in schädigender Weise, sie rufen Erkrankungen hervor. Fast jeder Baum hat seine pilzlichen oder bakteriellen Schädlinge, so etwa die Fichte im Wuchsbereich der Alpenrose den Blasenrost (*Chrysomyxa rhododendri*); Jungzirben werden oft stark durch die Schneeschütte (*Phacidium infestans* und *Lophodermium pinicolum*) beeinträchtigt (PETRAK 1955, GREMMEN 1953).

Möglichkeiten von Schutzmaßnahmen sind in der Forstwirtschaft meist ziemlich beschränkt. Spritzmittel und andere Maßnahmen können nur in Forstgärten mit vertretbaren Kosten zur Anwendung gebracht werden. Die Möglichkeiten der Resistenzzüchtung sind infolge der zu langen notwendigen Züchtungszeiträume und der starken Tendenz vieler Mikroorganismen zur Mutierung und Rassenbildung (und damit der Bildung virulenter Rassen) sehr beschränkt.

So bleibt in erster Linie die Anzucht möglichst kräftigen, widerstandsfähigen Pflanzenmaterials. Durch unsachgemäße Pflanzgarden düngung werden oft scheinbar kräftige Pflanzen, jedoch mit ungünstigem Wurzel-Sproß-Verhältnis erzielt, die im Freiland besonders unter schwierigeren Bedingungen für den Konkurrenzkampf untauglich und gegen Krankheiten anfällig sind. Eine das natürliche Bodenleben fördernde Behandlung mit hierfür geeigneter mäßiger Düngung wird in dieser Hinsicht meist zu besseren Resultaten führen.

Erkrankungen des lebenden und toten Holzes berühren ebenfalls den Aufgabenbereich des Forstmannes. Vom mikrobiologischen Standpunkt aus gesehen sind daran (abgesehen von tierischen Schädlingen) vorwiegend Pilze beteiligt, vor allem Polyporales (Porlinge) und Thelephoraceen, aber auch manche Blätterpilze und Ascomyceten. Bakterien spielen hierbei eine geringere Rolle. Interessenten seien auf die Spezialliteratur verwiesen (CARTWRIGHT u. FINDLEY 1956, LOHWAG K. 1955 u. a.).

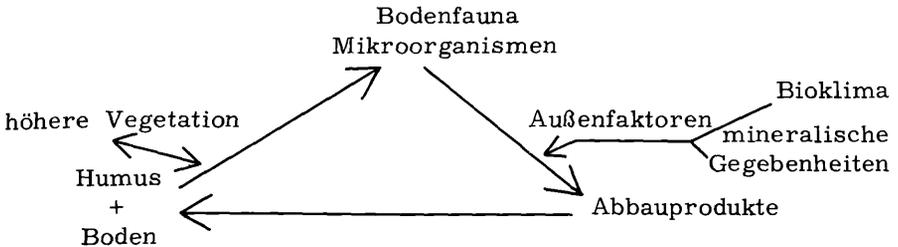
Wesentlich komplexer und umfangreicher als die Erscheinungen am Sprosssystem liegen jedoch die Verhältnisse im Boden und speziell im Bereich der Wurzeln (Rhizosphaere). Die ganzen komplexen Ab- und Umbauvorgänge, ohne die ein Kreislauf der Stoffe und ein Leben von Pflanzen und Tieren nicht möglich wäre, fallen hier herein. Und schon daraus erhellt, daß Störungen in diesen Komplexen auch nachhaltige Störungen im Leben der Bäume nach sich ziehen können. Aber nicht nur Ab- und Umbauerscheinungen von Stoffen, sondern auch wieder Erkrankungen von Wurzeln, antagonistische Wirkungen von Pilzen, Bakterien und höheren Pflanzen untereinander durch Hemmstoffe und giftig wirkende Ausscheidungsprodukte, symbiotische Beziehungen von Pflanzen mit Mikroorganismen und von Mikroorganismen untereinander u. a. mehr fallen hier herein und schaffen ein System von Kettenreaktionen und Wechselwirkungen, die den Boden zu einer Art Riesenorganismus machen, der in einem gesunden oder erkrankten Zustand sein kann.

Die Entstehung von Wurzelerkrankungen und -fäulen ist nicht nur vom Vorhandensein eines pathogenen Organismus (Bakterium, Pilz) im Boden abhängig, sondern es müssen für diesen Organismus optimale oder zumindest geeignete Bedingungen herrschen, die ein Zustandekommen einer Seuche erlauben. Bodenfeuchte und -temperatur, Durchlüftung und Chemismus des Bodens, Anfälligkeit der Wirtspflanzen und deren Ernährungszustand sind maßgebende Faktoren. Schutzmaßnahmen können entweder Spritzungen mit Fungiziden etc. umfassen, die jedoch immer eine + weitgehende Schädigung auch der Mykorrhiza und der positiven Bodenflora mit sich bringen, sie können aber auch in mechanischen Maßnahmen, welche die Lebensbedingungen im Boden verändern, bestehen, etwa Bodenverdichtungen, Auflockerungen, Abdecken, Änderungen des pH-Wertes usw., doch setzen sie eine genaue Kenntnis der Physiologie des Parasiten voraus, die heute vielfach noch fehlt. Eine Förderung der Mykorrhiza kann auch hier vorbeugend wirken 1. durch bessere Ernährung der Pflanze und damit erhöhte Widerstandskraft, 2. durch den Pilzmantel, der einmal eine mechanische Barriere für den Parasiten darstellt und außerdem u. U. noch antibiotisch wirksam sein kann.

Was die Abbaukraft der im Boden wirksamen Organismen betrifft, so fassen wir ihre biologische Abbauwirksamkeit als biologische Bodenaktivität zusammen. Daran sind sowohl Tiere als auch Pflanzen beteiligt und von letzteren vor allem Pilze und Bakterien, ferner noch Algen und auch die Wurzeln höherer Pflanzen.

Im Idealfalle wird in einem Jahresablauf die gesamte anfallende Streu abgebaut. Durch Störungen dieses Gleichgewichtes infolge klimatischer, biologischer oder menschlicher Einflüsse kommt es zu Anreicherungen ungebauter Stoffe, zu Rohhumusbildungen verschiedener Art.

Auf die Bildung des Humus wirken neben der Art des anfallenden Streumaterials die mechanische Zusammensetzung und chemische und mineralische Beschaffenheit des Bodens, Umweltfaktoren wie Temperatur, Feuchtigkeit, Durchlüftung und Säuregrad des Bodens, vor allem aber auch die Art der Mikroorganismen und der Bodenfauna, die am Abbau beteiligt sind, ein. Diese Faktoren wirken nur teilweise in Art einer Kettenreaktion, vorzugsweise handelt es sich um Wechselwirkungen, die man grob in folgender Skizze darstellen könnte:



Ungemein mannigfaltig sind die Arten der im Boden enthaltenen Stoffe und Verbindungen und man kann etwa die folgenden als wichtigste Gruppen herausheben:

1. Mineralische Bestandteile Phosphate, Silikate, Sulfate, Carbonate, Chloride, Nitrate, Kalium, Magnesium, Calcium u. a.
2. Kohlenhydrate in größter Vielfalt (z. B. Zucker, Hemizellulosen, Zellulosen, Gummi, Schleime, Pectine, Polyuronide)
3. Lignine
4. Eiweißverbindungen und deren Derivate (Proteine, Polypeptide, Aminosäuren, Amine u. a.)
5. Organische Säuren (Fettsäuren, ungesättigte Säuren)
6. Fette, Öle, Wachse, Steroide, Terpene
7. Aldehyde, Ketone, Alkohole
8. Zyklische Verbindungen wie Phenole, Gerbstoffe, Chinone
9. Alkaloide, Purinbasen, Pyridine, Piperidine
10. Fermente, Hormone, Vitamine, Wachststoffe, Antibiotika, Farbstoffe.

Diese werden nun von Mikroorganismen mit Hilfe von Fermentensystemen ziemlich verschieden rasch angegriffen und abgebaut. Vielfach sind dazu ganze Fermentketten notwendig, zu deren Bildung bisweilen eine Reihe ernährungsphysiologisch streng spezialisierter Mikroorganismen erforderlich ist. Daraus erhellt schon, daß oft ganz geringe Eingriffe (Düngung, Bodenverwundung, Schlägerungen, Brände, Beweidung) zu Änderungen und u. U. auch Störungen im Gleichgewicht des Bodenlebens führen können. Fällt ein Glied in einer Kette aus, so kann ein ganzer Abbauvorgang blockiert wer-

den und durch Anreicherungen von sonst weiter zerlegten Stoffen andere Vorgänge beeinflussen.

Für die Praxis ist es daher nicht unwichtig, näheres über die Zusammensetzung und die Größenordnung des Bodenlebens, der Bodenaktivität in Wald- und Aufforstungsböden in seiner Gesamtheit oder auch manchmal von speziellen Vorgängen zu erfahren. In der Praxis ist es jedoch wesentlich, hierfür Methoden zu besitzen, die bei geringem Aufwand an Zeit und Mitteln noch weitestgehende derartige Schlüsse ermöglichen.

Durch die Isolierung der Bodenorganismen mit Hilfe der verschiedensten Plattenmethoden erhält man zwar Einblicke in die Zusammensetzung einer Bodenpopulation und wir erhalten manche wertvolle Grundlage für weitere Arbeiten, jedoch werden durch sie einerseits sowohl aktive Bodenorganismen als auch latent im Boden ruhende Sporen erfaßt, andererseits geben sie infolge der verschiedenen ernährungsphysiologischen Ansprüche der Organismen nie ein vollständiges Bild. Ähnliches gilt auch für alle Arten von Aufwuchsmethoden Glasplatten, Nylon, Zelluloidstreifen etc. (GAMS 1950), die jedoch nur das aktive Bodenleben erfassen.

Messungen, die bereits eine Lebensäußerung des gesamten Bodenlebens erfassen und in gewisser Beziehung zur Menge des Bodenlebens stehen, sind etwa Atmungsmessungen, bei denen der O₂-Verbrauch oder die CO₂-Abgabe einer bestimmten Bodenmenge unter Standardbedingungen gemessen wird. Aber auch sie liefern für die Praxis keine befriedigenden Resultate, da die Ergebnisse zu sehr durch die augenblicklich vorangegangenen Witterungsverhältnisse (vor allem Temperatur und Bodenfeuchtigkeit) beeinflußt werden und sehr starke Schwankungen zeigen. Erst langperiodische kontinuierliche Messungen könnten hier einiges für die Praxis aussagen, doch würde der erforderliche Aufwand in keinem tragbaren Verhältnis zum Ergebnis stehen.

E. HOFMANN und seine Mitarbeiter (1951, 1955) versuchten für die Bodenaktivität von Landwirtschaftsböden eine Meßmethode mit Hilfe der Fermentwirksamkeit zu entwickeln. Die Methode geht von der Voraussetzung aus, daß die von Mikroorganismen abgeschiedene Menge an Fermenten (die im Boden an Kolloide adsorbiert sind) in einem direkten Verhältnis zur Menge an Bodenorganismen steht. Die Methode arbeitet so, daß eine bestimmte Menge einer zu testenden Substanz (etwa Rohrzucker-, Stärke-, Gelatinelösung etc.) der Wirkung einer Standardbodenmenge, in der zuvor das Bodenleben abgetötet wurde, ausgesetzt wird. Nach einer bestimmten Zeit wird die Menge der abgebauten Substanz bestimmt und man erhält so für die einzelnen Böden typische, untereinander vergleichbare Werte. Wenn auch dieser Methode noch manche Mängel anhaften, so liefert sie doch praktisch recht brauchbare Resultate und erlaubt die Beurteilung der Böden in biologischer Hinsicht, mit gewissen Vorbehalten auch die Kontrolle von chemischen und mechanischen Eingriffen und deren Wirkung. Wir kommen auf diese Frage in einer gesonderten Arbeit zu sprechen (Seite 411).

Erwähnt seien schließlich noch die Erscheinungen der Antagonismen. Es sind darunter Hemmwirkungen im weitesten Sinne zu verstehen, die durch Bildung von Antibiotikas und Ausscheidung giftig wirkender Stoffe durch Mikroorganismen oder auch höhere Pflanzen zustandekommen und so eine gewisse Selektion der Bodenpopulation und deren Zusammensetzung beeinflussen. Auch in das Gebiet der Mykorrhizabildung kann diese Erscheinung hereinspielen, doch ist allgemein in forstlicher Hinsicht noch sehr wenig darüber bekannt.

Das Zusammenleben von Pilz und Baum. Es gilt heute als erwiesene Tatsache, daß durch das Zusammenleben von Pilz und Baum die meisten Waldbäume \pm stark gefördert werden. Besonders augenfällig wird diese Erscheinung auf ärmeren Böden, auf denen die Forstpflanze allein infolge Nährstoffmangels nur schlecht gedeihen kann. Aufforstungen gelingen auf manchen Ödlandböden oder dem Wald entfremdeten Böden nur dann mit befriedigendem Erfolg, wenn die Ausbildung der Mykorrhiza durch künstliche Maßnahmen gefördert wird, sei es durch Impfung mit Waldstreu, Reinkulturen oder Maßnahmen, die eine Aktivierung von Pilzen im Boden herbeiführen. Denn die natürliche Mykorrhizabildung stellt sich auf solchen Böden oft sehr stark verzögert oder gar nicht ein. Jungpflanzen im Bereich zwischen der heutigen Wald- und Baumgrenze erreichen oft erst nach 10 bis 20 oder mehr Jahren eine einigermaßen ausreichende Wurzelverpilzung.

Durch geeignete Behandlungsmethoden im Forstgarten wie Impfung mit für das Aufforstungsgelände besonders geeigneten Mykorrhizapilzen und Förderung einer starken Mykorrhizaentwicklung, ferner durch entsprechende Pflanzmethoden, kann ein günstiges Wachstum der Forstpflanzen auch auf solchen Böden erzielt werden. Über die entsprechenden Methoden wird im nächsten Abschnitt berichtet.

Literatur

- GAMS W. 1959: Die Isolierung von Hyphen aus dem Boden. (Sydowia XIII, 87-93).
- CARTWRIGHT K. St. G. und FINDLAY W. P. K. 1956: Decay of timber and its prevention.
- GÄUMANN E. 1951: Pflanzliche Infektionslehre. 2. Aufl.
- GREMMEN J. 1953: Some noteworthy discomycetous fungi on coniferous hosts., (Sydowia VII, 141-145.)
- HOFMANN E. und SEEGERER 1951: Über das Enzymsystem unserer Kulturböden, I. Saccharase. (Biochem. Zeitschr. 322, 174-179)
- HOFMANN E. und HOFFMANN Gg. 1955: Über Herkunft, Bestimmung und Bedeutung der Enzyme im Boden. (Zeitschr. f. Pflanzenern. Düngung u. Bodenkunde, 70, 9-16.)
- LOHWAG K. 1955: Erkenne und bekämpfe den Hausschwamm und seine Begleiter. (Wien - München.)
- PETRAK F. 1955: Über Phacidium infestans Karst., einen gefährlichen Parasiten der Zirbelkiefer und einige andere in seiner Gesellschaft wachsende Pilze. (Sydowia IX, 518-526.)

C. Förderung der Mykorrhizabildung in der forstlichen Praxis

von M. Moser

Inhalt

	Seite
Vom Wesen der Baummykorrhiza	693
Mykorrhizaprobleme für die Praxis	693
I. Wo und wann soll man für eine Förderung der Mykorrhizausbildung sorgen?	693
II. Was kann zur Förderung der Mykorrhizabildung unternommen werden?	694
A. Herstellung eines günstigen Nährstoffgefälles im Boden	696
B. Zufuhr organischen Materials	697
C. Förderung der Bodendurchlüftung	698
D. Künstliche Zufuhr von Mykorrhizapilzen (Impfung)	698
1. Impfung mit Waldstreu	698
2. Reinkulturimpfung	699
3. Halbreinkultur	699
4. Die Herstellung von Reinkulturen und ihre Pflege	699
5. Die Streukultur	705
6. Einfluß der Jahreszeit auf die Kultur	707
7. Kulturen in großem Maßstab	707
8. Temperaturansprüche von Mykorrhiza- pilzen	707
9. Liste der in unserem Laboratorium bis- her kultivierten Pilze	708
10. Die Impfmethode im Forstgarten	710
11. Transport des Impfgutes	712
12. Impfzeiten	713
13. Die Provenienz der Pilze	713
E. Förderung der Mykorrhiza am Standort nach dem Auspflanzen	714
III. Die wichtigsten Begleitpilze von Zirbe und Lärche	714
Begleitpilze der Zirbe	715
Begleitpilze der Lärche	717
Zusammenfassung	719
Literatur	720

Vom Wesen der Baummykorrhiza

Daß Pilze und die Wurzeln der Waldbäume in einer engen Lebensgemeinschaft existieren, ist eine seit langem bekannte Erscheinung. Auch daß beide Partner aus dieser Gemeinschaft zumindest unter bestimmten Bedingungen eine Förderung in ihren Wachstumserscheinungen erfahren, konnte aus verschiedenen Beobachtungen geschlossen werden. Welcher Art diese Förderung aber ist, wie weit sie gehen kann und ob ihr eine praktische Bedeutung zukommt, war lange umstritten und die Meinungen gingen stark auseinander. Erst in neuerer Zeit konnte zumindest ein Teil des Wesens der Mykorrhiza eindeutig geklärt werden.

Einer der Hauptpunkte, soweit dies die forstliche Praxis interessiert, liegt wohl auf dem Ernährungssektor. Mit Hilfe von Nadelanalysen konnte schon HATCH (1937) nachweisen, daß Pflanzen mit guter Wurzelverpilzung in den Nadeln 234 % mehr Phosphor, 86 % mehr Stickstoff und 75 % mehr Kalium enthielten. Mit Hilfe von moderner Isotopentechnik konnten nunmehr MELIN (1953, 1954) und NILSSON (1952, 1958) nachweisen, daß die Pilze aus dem Boden derartige Verbindungen aufnehmen, in ihren Hyphen transportieren und an die Baumwurzel abgeben. Im ganzen gesehen kann dies eine bis um das dreifache gesteigerte Nährstoffaufnahme bedeuten und damit besseres und kräftigeres Wachstum, eine ausgeglichene Nährstoffbalance in der Pflanze zur Folge haben und damit gesünderes Aussehen und größere Widerstandskraft gegenüber Krankheitsbefall, Frost etc.

Faktoren, die die Wirkung der Mykorrhiza auf den Baumpartner beeinflussen, sind im allgemeinen solche, die ihre Ausbildung fördern oder hemmen. Es sind dies bestimmte Nährstoffverhältnisse im Boden, der Säuregrad des Bodens, die Durchlüftung des Bodens etc., um nur die wichtigsten herauszuheben.

Mykorrhizaprobleme für die Praxis

I. Wo und wann soll man für eine Förderung der Mykorrhizabildung sorgen?

Zur Beantwortung dieser Frage kann gesagt werden, daß der Ort, an dem für eine gute Ausbildung der Mykorrhiza in erster Linie gesorgt werden muß, der Forstgarten ist. Im Freiland wird man nur selten und meist nur lokal begrenzt, eventuell unter extremen Bedingungen, fördernde Maßnahmen für die Mykorrhizaentwicklung treffen können. Hat die Jungpflanze im Forstgarten eine für ihren Standort geeignete Mykorrhiza erhalten und diese gut ausgebildet, so behält sie diese auch späterhin am Standort.

Eine künstliche Förderung der Mykorrhizaausbildung ist dann notwendig, wenn z. B. in einem Forstgarten ein schlechtes Wachstum der Pflanzen festzustellen ist, welches auf das Fehlen des nötigen Bodenlebens zurückgeführt werden muß. Dies ist meist daran kenntlich, daß die Pflanzen klein und kümmerlich bleiben, daß aber manchmal dazwischen lokale kleine Flecken mit gutwüchsigen Pflanzen auftreten (Stellen, wo zufällig Bodenpilze vorhanden sind). Zusätzlich wird man sich stets auch noch über das Fehlen oder Vorhandensein der Wurzelverpilzungen vergewissern. Eine Frage, die dabei immer wieder vom Praktiker gestellt wird, ist die, wie man die Wurzelverpilzung erkennen kann. Am besten ist dies an Hand der folgenden Abbildungen zu erklären. Abb. 196 und 197 zeigen Typen, wie sie bei allen Kiefernarten auftreten. Es ist entweder ein sogenannter Gabeltypus, die Kurzwurzeln sind typisch dichotom verzweigt, oder wir finden den sogenannten Knöllchentypus, der eigentlich aus dicht verknäuelten gestauchten Gabeln besteht. Abb. 198 zeigt den Typus, wie er bei Fichte und Buche zu finden ist, kleine bäumchenartige, monopodiale Strukturen. An jungen Fichtenpflanzen im Forstgarten sind allerdings solche Strukturen noch selten, sie sehen mehr wie auf Abb. 199 aus. Bei Lärchen (Abb. 200) zeigt sich die Verpilzung häufig in Form von mehr wolligen, knäueligen Verpilzungen, ohne daß die Wurzeln sich sonderlich von anderen unterscheiden würden.

Eine Förderung der Mykorrhizabildung ist vor allem aber auch dann notwendig, wenn die Pflanzen auf ökologisch extreme Standorte kommen sollen, die seit langen Perioden waldentfremdet waren. In diesen Böden können aktive Mykorrhizapilze oft ganz fehlen oder nur in geringer Menge vorhanden sein. Auch wenn Forstgärten auf Acker- oder Wiesenboden neu angelegt werden, empfehlen sich Maßnahmen zur Herstellung eines geeigneten Bodenlebens.

II. Was kann zur Förderung der Mykorrhizabildung unternommen werden?

Um eine Mykorrhizaausbildung in ausreichendem und gesundem Verhältnis zu erhalten, kann dies abhängig vom gegebenen Fall und den örtlichen Verhältnissen und Möglichkeiten durch folgende Maßnahmen erreicht werden:

A) Im Forstgarten.

- 1) Herstellung eines günstigen Nährstoffgefälles im Boden.
- 2) Zufuhr organischen Materiales.
- 3) Förderung der Bodendurchlüftung.
- 4) Künstliche Zufuhr von Mykorrhizapilzen (Impfungen).

B) Am Standort nach dem Auspflanzen.

- 1) Ergreifen geeigneter Maßnahmen, damit der mit den Jungpflanzen im Forstgarten vergesellschaftete Pilz der Pflanze



Abb. 196: Gabelmykorrhiza von Zirbe. Ähnlich auch an Kiefer zu finden

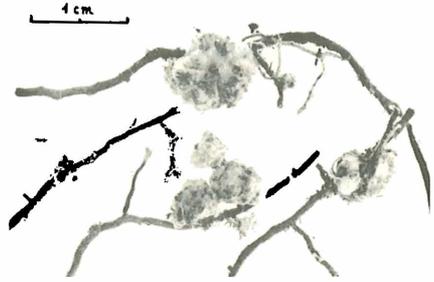


Abb. 197: Knollenmykorrhiza von Zirbe. Ähnlich auch an Kiefer

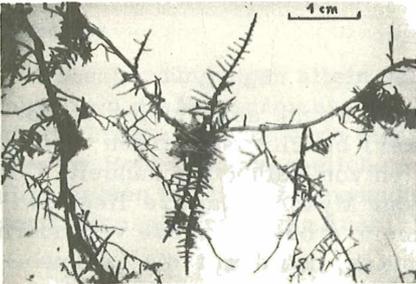


Abb. 198: Monopodiale Mykorrhiza von Buche. Ähnlich, aber schwächer, auch an Fichte zu finden

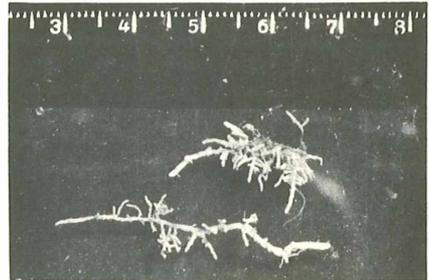


Abb. 199: Mykorrhiza von Fichte an der Waldgrenze. Oben gut entwickelt, unten schwach ausgebildet

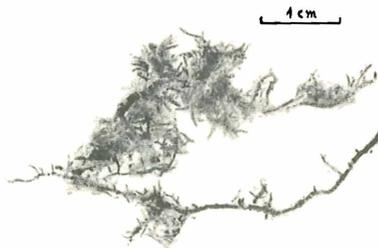


Abb. 200: Mykorrhiza von Lärche

- auch am Standort erhalten bleibt und sich weiter entwickelt.
- 2) Durch Aktivierungsmaßnahmen können allenfalls im Boden vorhandene Mykorrhizapilze aktiviert werden.

Im folgenden werden nun diese Punkte im Detail betrachtet:

A. Herstellung eines günstigen Nährstoffgefälles im Boden

Wir wissen heute noch relativ wenig über die Zusammenhänge zwischen der Mykorrhizausbildung und dem Nährstoffgehalt im Boden und es bleibt gerade auf diesem Gebiet noch sehr viel Forschungsarbeit zu leisten, welche für die Praxis ganz wesentliche Ergebnisse liefern wird. Denn gerade durch unsachgemäße Forstgärtendüngung wird vielleicht am meisten auf diesem Gebiet geschädigt und die Pflanze für ihr späteres Fortkommen geschädigt. Es sollen daher wenigstens diejenigen Punkte hier herausgehoben werden, die bisher bekannt sind und deren Beachtung dem Forstwirt empfohlen werden muß.

1. Kalk

Der Kalk kann als ausgesprochener Feind sehr vieler Mykorrhizapilze (vor allem der Nadelhölzer) bezeichnet werden, sofern es sich nicht um ausgesprochene Arten von Kalkböden handelt. Der günstige pH-Wert für den Großteil der Mykorrhizapilze liegt zwischen 3.5 und 5.5 (6). Kalkdüngungen in größerem Maße verändern meist den pH-Wert des Bodens so stark, daß damit die Lebensbedingungen für die im Boden vorhandenen Mykorrhizapilze unmöglich gemacht werden. Lediglich bei Pilzen von an sich kalkhaltigen Böden ist dies ohne Schädigung nötig, in solchen Fällen aber wohl auch durchwegs überflüssig. Sollen Pflanzen für Kalkböden auf einem kalkarmen Standort im Forstgarten gezogen werden, empfiehlt sich auf alle Fälle eine Impfung des Bodens mit kalkholden Mykorrhizapilzen. In solchen Ausnahmefällen kann allenfalls eine vorsichtige Kalkung angewandt werden. In allen übrigen ist sie überflüssig und führt zu schlechter Mykorrhizausbildung oder unterdrückt diese völlig.

2. Stickstoff

Eine ganz wesentliche Rolle bei der Entwicklung der Mykorrhiza spielt der Stickstoff. Aus zahlreichen Beobachtungen und Versuchen vieler Forscher geht eindeutig hervor, daß stickstoffreiche Böden und Stickstoffdüngungen die Mykorrhizausbildung hemmen und auch völlig unterdrücken können. Besonders stark tritt dieses Phänomen ein, wenn gleichzeitig auch reichlich Phosphor zur Verfügung steht.

Zu erklären ist diese Erscheinung nach BJÖRKMAN (1942) damit, daß der Baum in diesem Falle keine überschüssigen Assimilate an den Pilz liefert, da alle Kohlenhydrate mit dem reichlich aufnehmbaren Stickstoff und Phosphor in Verbindungen innerhalb der Pflanze überführt werden. Es werden somit keine Kohlenhydrate ausgeschieden, bzw. stehen dem Pilz in der Wurzel keine zur Verfügung, so daß für diesen der Anreiz zur Symbiose fehlt.

Eine weitere Erklärungsmöglichkeit bietet vielleicht der Umstand, daß durch hohen Stickstoffgehalt die Bildung gewisser Wuchsstoffe durch den Pilz unterdrückt wird, die vielleicht auch zum Zustandekommen einer Mykorrhiza erforderlich sind (MOSER 1959 b).

Die praktische Folgerung daraus ist, Stickstoffdüngungen in Forstgärten nur mit äußerster Vorsicht anzuwenden und nur nach vorheriger genauer Analyse des N-Gehaltes des Bodens. Und auch dann darf Stickstoff stets nur in stark suboptimalen Dosen gegeben werden. Dabei ist N in organischer, komplexerer Form vorzuziehen, da er zum größten Teil nicht direkt von der Pflanze, sondern auf dem Umweg über Mikroorganismen und speziell Mykorrhizapilze dieser zugeführt wird.

3. Phosphor

Phosphordüngungen allein schädigen nach unseren bisherigen Erfahrungen die Mykorrhizausbildung nicht, bzw. eben nur dann, wenn gleichzeitig entsprechende Mengen Stickstoff gedüngt werden, wenn also im Boden ein ausgeglichener N-P-Spiegel hergestellt wird. Im allgemeinen scheint die Anwendung von Phosphor, vor allem in Form von Thomasphosphat, die Ausbildung der Mykorrhiza eher zu fördern.

B. Zufuhr organischen Materials

Die Zufuhr organischen Materials fördert meist die Mykorrhiza-bildung ziemlich stark, doch muß auch hier beachtet werden, daß dieses Material nicht zu reich an leicht freisetzbarem Stickstoff ist (Vorsicht bei Stallmistdüngung!). Kompost (nicht gekalkter!), Torfmüll und selbst unzersetzte Streu, in die oberen Bodenschichten eingearbeitet, fördern die Mykorrhizabildung. Das Einarbeiten soll nicht zu tief erfolgen, etwa in die oberen 10 cm, da dort die beste Durchlüftung stattfindet und die Pilze, günstige Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse vorausgesetzt, dort am aktivsten wachsen und arbeiten. Dieses Material wird vorwiegend von Mikroorganismen und auch Mykorrhizapilzen abgebaut, Bestandteile davon aufgenommen und teilweise an die Baumwurzel weitergeleitet. Auch das Mulchierungsverfahren kann hier als fördernd angeführt werden.

C. Förderung der Bodendurchlüftung

Dies ist ein Problem auf schweren, oft lehmigen Böden, das besonders bei der Anlage von Forstgärten auf ehemaligem Ackerboden (dort oft gleichzeitig mit zu hohem pH-Wert) auftritt. Solche Böden sind für Mykorrhizabildung meist sehr ungünstig, abgesehen davon, daß geeignete Mykorrhizapilze auf ihnen oft überhaupt fehlen. Die im Hinblick auf Mykorrhizabildung günstigsten Maßnahmen dürften auch hier die reichliche Einarbeitung von (möglichst saurem) organischem Material sein, vor allem von unzersetzter oder halbzersetzter Nadel- oder Laubstreu, Torfmuß etc.

D. Künstliche Zufuhr von Mykorrhizapilzen (Impfung)

1. Impfung mit Waldstreu

Die einfachste Art der Impfung eines Forstgartens mit Mykorrhizapilzen ist die, daß entsprechende Waldstreu eingebracht wird. Es eignet sich dazu vor allem die eigentliche Streuschicht, vermengt mit der obersten Bodenschicht (etwa die obersten 5 cm des Bodens). In dieser Schicht befinden sich ziemlich reichlich verpilzte Wurzeln und auf diese Weise kommen dann Mykorrhizapilze mit anderen Bodenorganismen in den Forstgartenboden. Dabei soll der Forstgartenboden mit einer mindestens 1 cm dicken Streuschicht bedeckt und diese möglichst rasch eingearbeitet werden, um ein Austrocknen zu verhindern. Die Methode hat in manchen Fällen den Vorteil, daß relativ leicht und ohne besondere Kosten große Mengen von Streu beschafft werden können. Da jedoch jede Baumart sehr viele spezifische Pilzbegleiter hat, außerdem z.B. Pilze in Hochlagen kälterestanter sind und sein müssen als jene aus Talagen (MOSER 1958), ist es in spezielleren Fällen bereits wieder schwierig, größere Mengen an Streu zu beschaffen, bzw. die Kosten steigern sich sehr (Lärche, Zirben, Hochlagenstreu etc.).

Ein weiterer Nachteil ist der, daß man die Pilze nicht kennt, die man in den Boden einbringt, daß neben Mykorrhizapilzen eine große Anzahl anderer Bodenorganismen mit eingebracht werden, die teils förderlich, teils aber auch schädlich sein können. Und es sind bereits Fälle bekannt, daß dabei sonst latent im Boden ruhende pathogene Keime in den neuen Böden unter vielleicht günstigeren Lebensbedingungen aktiv wurden und Seuchen im Forstgarten erregten. Solche Waldstreuimpfungen sind vor allem auf ehemaligen Acker- oder Wiesenböden, auf Böden, die einen stark verschiedenen pH von dem haben, aus dem die Streu entnommen wurde, mit größter Vorsicht durchzuführen.

2. Reinkulturimpfungen

Gegenüber der Waldstreuimpfung besteht die Möglichkeit der Verwendung von im Laboratorium herangezüchteten Reinkulturen von Mykorrhizapilzen, ähnlich wie man dies auch auf dem Gebiete der Landwirtschaft in zunehmendem Maße bei Leguminosen mit Reinkulturen von stickstoffbildenden Knöllchenbakterien handhabt. Besonders dürften sich in unseren Gegenden Kulturen auf Torfmull für praktische Zwecke eignen.

Die Reinkulturimpfung hat den Vorteil, daß man zunächst einmal den Pilz kennt, den man als Mykorrhizapartner impft, daß man für den Baum besonders wirksame Pilzpartner auswählen kann und daß man die gleichzeitige unbeabsichtigte Infektion mit pathogenen Organismen ausschalten kann. Diese beiden letzteren Gründe erscheinen uns dabei als die wichtigsten. Denn es hat sich nun schon verschiedentlich erwiesen, daß die einzelnen Pilzpartner eines Baumes für diesen verschieden stark fördernd sein können. So sind mit *Suillus plorans* geimpfte Zirbenpflanzen durchwegs stärker entwickelt als solche, die mit *Suillus placidus* beimpft wurden.

Die Nachteile der Reinkulturimpfung liegen bisher in der mühsameren und teureren Herstellung des Impfgutes. Das sind derzeit noch bestehende Nachteile, deren Überwindung durch stark verbesserte und rationalisierte Methoden zu erwarten ist.

3. Halbreinkultur

Wir verstehen darunter Kulturen, ebenfalls auf Torf gezogen, bei denen wir den Mykorrhizapilz kennen, die aber durch niedere Pilze nicht pathogener Natur infiziert oder auch absichtlich mit solchen mitbeimpft sind. Da derartige niedere Pilze an der Zersetzung organischen, oft schwer abbaubaren Materials im Boden stark beteiligt sind, z. T. auch verschiedene vom Mykorrhizapilz verwertbare Vorstufen von Wuchs- und vielleicht auch Nährstoffen liefern, haben sich verschiedentlich derartige Impfungen solchen mit Reinkulturen in ihrer Wirkung auf den Baum als überlegen gezeigt. Derartige Halbreinkulturen müssen aber von Fachkundigen überwacht oder überprüft werden, um das Aufkommen von pathogenen Infektionen zu verhindern.

4. Die Herstellung von Reinkulturen und ihre Pflege

Auf Grund langjähriger Freilandbeobachtungen kann man Schlüsse ziehen, welche Pilze mit welchen Bäumen vergesellschaftet sind. Derartige Freilandbeobachtungen ergeben aber auch Anhaltspunkte

über das vorzugsweise Auftreten von Pilzen in bestimmten Vegetationstypen, vor allem in Abhängigkeit von Kleinklima- und Bodenfaktoren. Sie sind also die Voraussetzung für eine richtige Auswahl des Impfgutes für die Forstgärten und können späteren Mißerfolgen vorbeugen.

Von diesen Pilzen werden Reinkulturen in der Weise hergestellt, daß man aus den Fruchtkörpern Gewebestücke steril mittels eines ausgeglühten Rasiermessers heraus-schneidet (Abb. 201, 202, 203), diese dann mit einer Nadel auf geeignete, vorbereitete Nährböden in Petrischalen überträgt. Kommen diese Impfstücke zum Aushyphen und sind sie ohne Infektion geblieben, dann werden sie in Eprovetten mit Nährboden über-tragen und als Stammkulturen aufbewahrt. Der Labortest muß dann endgültig beweisen, ob es sich tatsächlich um einen Mykorrhizapilz handelt. Hierzu werden Reinkulturen und steril aufgezogene Jungpflanzen in Kolben zusammen kultiviert, sodaß eine Fremd-infektion und damit allfällige Mykorrhizabildung durch andere Pilze ausgeschlossen wird.

Weitere oft ziemlich zahlreiche Tests müssen dann über die Qualität des Pilzstam-mes Aufschluß geben, seine Eignung für die Vermehrung in größerem Maßstabe und seine Wirkung auf die Baumpflanze erweisen.

a) Geeignete Nährböden

Im Laufe der Jahre haben sich aus Versuchsreihen mit verschiedenen Nährmedien folgende Nährböden als für unsere Zwecke am geeignetsten erwiesen:

B IV: Bohnenmehl 10 g, Malzextrakt 50 g, Pepton 1 g, KH_2PO_4 0.5 g, MgSO_4 0.5 g, FeCl_3 1 ml einer 1 %igen Lösung, Hefeextrakt 0.1 g, Aqua dest. 1.000 ml, Agar 15 g.

b: Maltose 20 g, Glukose 10 g, Pepton 2 g, KH_2PO_4 0.5 g, MgSO_4 0.5 g, ZnSO_4 0.5 ml (einer Lsg. 1:500), FeCl_3 1.0 ml (Lsg. 1 %ig), CaCl_2 5.0 ml (Lsg. 0.1 m), MnSO_4 0.5 ml (Lsg. 1 %ig), Hefeextrakt 0.2 g, Aneurin 50 gamma, Biotin 1 gamma, Inosit 50 mg, Aqua dest. 1.000 ml, Agar 15 g.

BAF: unterscheidet sich von b lediglich durch den Zusatz von 100 gamma Folsäure.

Von diesen Nährböden lassen sich bei Bedarf natürlich auch gewisse Variationen oder Kombinationen herstellen. So empfiehlt es sich, für Erstisolierungen vom Frucht-körper weg nur etwa die halbe Konzentration zu verwenden und erst bei der Weiter-kultur zur vollen Konzentration überzugehen. Oder es ist manchmal günstig, die Wuchs-stoffe Aneurin, Biotin, Folsäure etc. dem B IV-Boden zuzusetzen.

Als besonders günstige Kohlenstoffquelle hat sich Malzextrakt für die Kultur von Mykorrhizapilzen erwiesen, da dieses neben dem Zucker auch noch verschiedene Verunreinigungen enthält, die sich positiv auf das Pilzwachstum auswirken, so Spuren mancher Wuchsstoffe. Bei den Nährböden b und BAF wird das Malzextrakt durch Maltose + Glukose ersetzt, wodurch stärkere Wuchsstoffzusätze erforderlich werden. Diese Böden dienen vorwiegend spezifischen Untersuchungen, bei denen die Zusammensetzung der Nährböden bekannt sein mußte. Sie haben sich als für die Kultur günstig erwiesen und werden deshalb auch weiterhin bei uns sehr viel verwendet.

An Stickstoffquellen werden vorzugsweise organische Verbindungen verwendet, wie Pepton oder das ziemlich stickstoffreiche Bohnenmehl (die im Falle exakter ernährungsphysiologischer Untersuchungen durch anorganische N-Quellen bzw. organische bekannter Zusammensetzung ersetzt wurden). Bohnenmehl haben wir deshalb vorzugsweise gewählt, da es durch die Pilze allmählich abgebaut wird und vor allem für praktische Zwecke auch die Billigkeit in Betracht gezogen werden muß. Schließlich ergaben die meisten Mykorrhizapilze damit ein recht günstiges Wachstum.

Eine wesentliche Rolle bei der Kultur der Mykorrhizapilze kommt den Wuchsstof-fen zu. Als wesentlichster Faktor muß hier auf jeden Fall das Aneurin genannt werden, ohne das nur wenige Mykorrhizapilze auskommen. Eine Anzahl kann zwar



Abb. 201: Das Aufschneiden eines Pilzfruchtkörpers mittels ausgeglühten Rasiermessers



Abb. 202: Gewebestücke werden steril entnommen und auf Petrischalen mit Nährböden übertragen

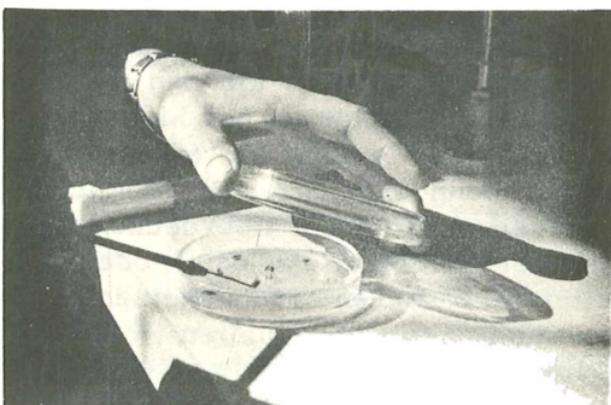


Abb. 203: Das Beimpfen der Petrischalen

ohne diese Substanz wachsen, wird aber durch Zusätze in ihrer Wachstumsleistung wesentlich gesteigert. Eine dritte Gruppe ist unbedingt darauf angewiesen. Viel kleiner ist bereits die Gruppe, die Biotin benötigt. Auch Folsäure ist für verschiedene Pilze stark fördernd, Abb. 204 gibt hierfür ein Beispiel. Inosit kann noch in gewissem Sinne als Wuchsstoff genannt werden. Alle anderen bekannten Wuchsstoffe haben sich als von geringem Einfluß auf Mykorrhizapilze gezeigt und können bei der Praxis-Kultur vernachlässigt werden.

Diese Wuchsstoffe erhalten die Pilze in der Natur wohl vorwiegend durch die Tätigkeit anderer Bodenorganismen (niedere Pilze, Bakterien) im Bereich der Wurzel, wie das aus neueren Arbeiten LOCHHEADS (1958) angenommen werden kann, und höchstens in einem sehr untergeordneten Maße aus den Wurzeln der Baumpartner. Da nun bei der Kultur der Mykorrhizapilze die raschwüchsigen Konkurrenten (niedere Pilze) durch verschiedene Sterilisierungsmaßnahmen ausgeschaltet bzw. stark zurückgedrängt werden müssen (dies gilt besonders für die im folgenden beschriebene Streukultur), werden damit die Wuchsstofflieferanten beseitigt und es wird der Zusatz von Reinpräparaten notwendig. Die Präparate an sich sind zwar relativ teuer, doch sind die benötigten Mengen derartig gering, daß die Kosten überhaupt nicht ins Gewicht fallen. (1 g Biotin reicht z.B. für 1 Million Liter Nährlösung!).

b. Stammkulturen

Von jedem Mykorrhizapilz-Stamm werden 2 - 3 Abimpfungen als Stammkulturen aufbewahrt und gepflegt. Vor allem ist es notwendig, durch regelmäßiges Umimpfen für eine Verjüngung der Stämme zu sorgen. Dies muß je nach Art in Abständen von ein bis drei Monaten erfolgen. Häufigere Umimpfungen erhalten den Pilz vitaler. Vor allem raschwüchsige Stämme überaltern leichter und erfordern öfteres Umimpfen. Um bei größeren Kulturensammlungen durch die nötigen Umimpfungen keinen zu großen Zeitaufwand zu haben, kann man versuchen, durch verschiedene Mittel die Alterung der Stammkulturen zu bremsen, indem man trachtet, ihre Wachstumsgeschwindigkeit etwas herabzudrücken. Dies kann vor allem durch Aufbewahrung der Kulturen bei tieferen als den normalen Kulturtemperaturen geschehen, am günstigsten bei Mykorrhizapilzen bei etwa 8 - 12 - (15) Grad C. Dies erfolgt am idealsten in einem Temperaturkonstantraum, wenn man dazu die Möglichkeit hat.

Auch hat man versucht, durch Überdecken der Kulturen in den Eprovetten mit sterilisiertem Paraffin- oder anderem Mineralöl die Lebensaktivität der Kulturen herabzusetzen und sie dadurch über viel längere Zeiträume aktiv zu erhalten (WERNHAM 1946, STEBBINS und ROBBINS 1949). Die Wirkung dieser Methode ist auf Mykorrhizapilze bisher noch zu wenig erprobt, um ein richtiges Urteil zu erlauben. Dasselbe gilt für die Methode, bei der die Stopfen der Eprovetten mit Paraffin verschlossen werden, also der

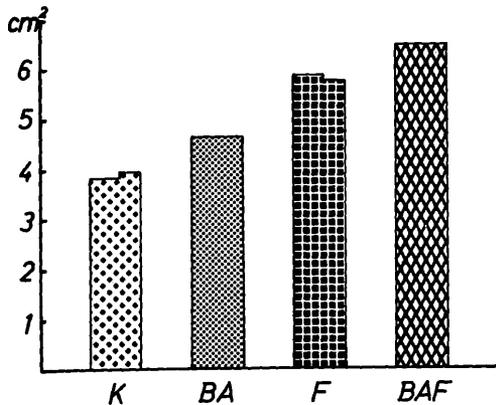


Abb. 204:
Flächenzuwachs in cm² eines Mykorrhizapilzes der Fichte (*Phlegmacium elegantior*) in 30 Tagen mit Zusätzen von verschiedenen Wuchsstoffen.

Zeichenerklärung:

K Kontrolle, A 50 µg Aneurin/l,
B = 1 µg Biotin/l, F = 100 µg Folsäure/l

Luftzutritt unterbunden wird. Vor allem ist die Frage noch nicht geklärt, ob der Pilz bei diesen Behandlungsmethoden in einem mykorrhizaaktiven Zustand bleibt, d.h. ob er nach dieser Aufbewahrungsmethode noch die Fähigkeit besitzt, Mykorrhiza zu bilden.

c. Degeneration von Stämmen

Bisweilen machen sich bei einzelnen Stämmen Degenerationerscheinungen bemerkbar; sie bilden ihre natürliche Farbe nicht mehr aus, sie wachsen dünner, lockerer oder schlechter oder hyphen nach dem Überimpfen nur unwillig aus. Sicherlich gibt es dazu auch noch physiologische oder biochemische Degenerationerscheinungen, die äußerlich nicht erkennbar sind. Diesen Erscheinungen kann sehr oft durch Wechsel des Nährbodens mit Wechsel der Kohlenstoff- oder Stickstoffquelle, mit Wuchsstoffzusätzen oder Extrakten aus Böden etc. begegnet werden. In allen Fällen gelingt jedoch die Abhilfe noch nicht. Solche Stämme sind dann von der Verwendung in der Praxis auszuschließen.

d. Subkulturen

Kulturen, die für Forstgartenimpfungen herangezogen werden sollen, müssen häufiger als Stammkulturen überimpft werden, raschwüchsige Arten in 2 - 3wöchigen Abständen, die anderen in mindestens 4 - 5wöchigen Intervallen. Durch derartige öftere Verjüngung werden die Stämme wesentlich vitaler, raschwüchsiger, bilden auch meist die natürlichen Pigmente kräftiger und bilden nach der Impfung in diesem Zustand viel leichter Mykorrhizen.

e. Flüssigkeitskulturen

Um von den für Praxiszwecke viel zu zeitraubenden und kostspieligen Methoden der Vermehrung der Kulturen in Eprouvetten auf festen (Agar) Nährböden abzukommen, arbeiten wir darauf hin, die bei der biotechnischen Verwendung von niederen Pilzen heute allgemein gebräuchliche Submerskultur auf flüssigen Nährsubstraten auch hier anzuwenden. Daß Mykorrhizapilze submers in Flüssigkeiten gedeihen können, ließ sich unschwer nachweisen. Die submerser Flüssigkeitskultur bietet den großen Vorteil, daß man auf geringerem Raum eine bessere Ausnützung des Nährmediums und damit höhere Mycelerträge bei geringerer Arbeit erzielen kann. Da sie auch die Verwendung größerer Gefäße erlaubt, wird damit u.U. bis 75 und mehr % an Arbeitszeit und Kosten eingespart.

Im einfachsten Fall, bei kleineren Kulturmengen, kann die Kultur in Erlenmeyerkolben (100 - 300 ml) durchgeführt werden. Diese erhalten pro 100 ccm Rauminhalt etwa 20 ccm Nährlösung und werden dann mit größeren Mycelstücken beimpft. Dabei ist zu berücksichtigen, daß das Wachstum des Mycels solange ein ziemlich langsames ist, solange es nicht die Flüssigkeitsoberfläche erreicht. Es muß also für eine möglichst flache Verteilung der Lösung gesorgt werden oder für eine Sauerstoff- bzw. Luftzufuhr. Der Sauerstoff ist hiebei der begrenzende Faktor. Man kann dementsprechend die Tiefe der Lösung erhöhen bei gleichzeitig gesteigertem submersen Wachstum, wenn man der Kulturlösung Luft oder Sauerstoff zuführt. Dies kann geschehen durch:

1. Durchleitung gefilterter Luft durch die Nährlösung,
2. ständiges oder zumindest periodisch wiederholtes Schütteln der Kulturen,
3. ständiges bzw. zeitweises Rühren der Kulturen (ev. bei gleichzeitiger Durchleitung gefilterter Luft),

Praktisch von Interesse sind nur die letzten beiden Möglichkeiten, da die erste sowohl eine kompliziertere Anlage erfordert als auch die dadurch erzielte Ertragssteigerung zu gering bleibt.

Die Schüttelkultur wird auf einem Schütteltisch durchgeführt, auf dem eine größere Anzahl von Kolben befestigt und in ziemlich rascher Frequenz bewegt werden kann. Dadurch gelangt ständig Luft in das Nährmedium und etwas Sauerstoff wird gelöst. Doch unterliegt diese Methode insofern einer Begrenzung, als eine gewisse Gefäßgrenze (1 l Erlenmeyerkolben oder 1.8 l Fernbachkolben) kaum überschritten werden kann. Doch ist sie dort am Platze, wo geringere Mengen benötigt werden, da die apparative Ausrüstung einfacher ist und billiger kommt.

Werden jedoch sehr große Mengen von Impfmateriel benötigt, so wird man zur Tankkultur übergehen müssen. Bei dieser erfolgt die Belüftung durch ein Rührwerk, das die Lösung in Bewegung hält und bei größeren Tanks noch durch zusätzliche gefilterte Luftpassage. Bei Mykorrhizapilzkulturen dürften sich am besten Kleintanks mit 10 - 25 Liter Inhalt bewähren.

Die Nährlösung für Flüssigkeitskulturen ist dieselbe wie für feste Medien (B IV b, BAF etc), doch bleiben die Gelierungsmittel (Agar, Gelatine etc) weg. Die Beimpfung erfolgt entweder mit größeren Mycelstücken oder man beimpft mit Mycelsuspensionen.

Mycelsuspensionen werden nach WIKEN (WIKEN, KELLER, SCHELLING u. STOECKLI 1951) hergestellt, indem man in einer Steilbrustflasche mit gut schließendem Gummistopfen von 1/3 bis zur Hälfte Glaskugeln von 4 - 6 mm Durchmesser einfüllt, mit destilliertem Wasser dann bis auf 2/3 auffüllt. Die Gläser werden dann mit Watte verschlossen und ebenso wie die Gummistopfen sterilisiert. Nach Öffnen des Autoklaven werden die Wattestopfen entfernt und die Gummistopfen sofort leicht aufgesetzt. Durch das Abkühlen kommt dann der Stopfen richtig fest.

Gleichzeitig sterilisiert man Impfpipetten (d. s. graduierte Pipetten mit erweiterter Spitze). In die Spitze der Pipette wird ein etwas festerer Wattedropf etwa 3 cm unterhalb der Öffnung eingebracht, der während des Arbeitens drinnen bleibt und eine ungefilterte Luftverbindung zwischen Pipette und Mund verhindern soll. Die Pipetten werden in großen, unten geschlossenen (eprouvettenförmigen), oben mit Watte verstopften Glasröhren sterilisiert.

Nach dem Abkühlen der Gläser und Pipetten kann mit dem Arbeiten begonnen werden. Die Ausgangskulturen von festen oder flüssigen Medien werden mittels der Impfnadel in die Schüttelflaschen eingebracht, wobei der Gummistopfen möglichst wenig geöffnet wird. Das Material wird dann auf einem Schüttelapparat, notfalls auch von Hand so lange geschüttelt, bis es einigermaßen gut zerkleinert ist. Auf eine homogene Verteilung kommt es bei Praxisarbeiten dabei nicht an. Mit den sterilen Pipetten wird dann das Impfgut entnommen und in die gewünschten Kulturgefäße, Tanks, Torf- oder Streukulturen geimpft. Dabei wird eine Pipette mit der Öffnung zwischen die Glaskugeln gesteckt. Es ist vorteilhaft, darauf zu achten, daß man Glaskugelgrößen wählt, die nicht die Pipette verstopfen können, also etwas größer als deren Öffnung. Auch soll eine genügende Anzahl Impfpipetten zur Verfügung stehen, um jede einzelne nicht öfter als 1 bis 2 mal zu verwenden. Bei Beimpfung großer Gefäße etc. kann man zweckmäßig auch ungraduierte Pipetten, jedoch größerer Dimensionen, verwenden.

Diese Methode hat den Vorteil einer gleichmäßigeren Verteilung und eines gleichmäßigeren Wachstums, einer rascheren Ausbreitung durch das ganze Medium. Doch sind manche Arten ihr gegenüber etwas empfindlich und erleiden sichtlich einen Schock, den sie nur langsam überwinden.

5. Die Streukultur

Eine direkte Ausbringung von Mycelmaterial, sei es vom festen oder flüssigen Medium weg, in den Forstgarten ist nicht zu empfehlen. Impfversuche auf diese Art sind uns zwar manchmal gelungen, doch sind damit viel zu viele Unsicherheitsfaktoren verbunden, vor allem eine große Empfindlichkeit gegen Austrocknung der Hyphen. Man muß also das Hyphenmaterial auf einem Medium weiterziehen, das die direkte Einbringung des Mycels in den Boden ohne Schädigung erlaubt. Gleichzeitig kann man damit noch den Vorteil verbinden, den Pilzen für die erste Zeit Nähr- und Wachstumsstoffe mitzugeben und ihnen so das Einleben in den neuen Boden zu erleichtern, vor allem für den Zeitraum, bis der Kontakt mit den Wurzeln hergestellt ist.

Als besonders geeignet hat sich für unsere Gegenden dafür Torfmull oder Torfstreu erwiesen, doch kann dieses Substrat u. U. nach örtlichen Gegebenheiten auch etwa durch Sägemehl (vermischt mit geeigneter lockerer Erde) u. ä. ersetzt werden. Wesentlich ist, daß das Substrat locker und leicht durchlüftbar ist, ferner soll es organischer Natur sein.

Der Torfmull bzw. die verwendete Streu muß unbedingt einer Sterilisierung unterzogen werden. Sonst kommen niedere Pilze derart rasch auf, daß sie die Mykorrhizapilze meist völlig verdrängen. Haben diese jedoch genügend Vorsprung erhalten, so können leichtere Infektionen meist ohne weiteres in Kauf genommen werden (siehe weiter unten). Die bisher für Torfkulturen vorwiegend verwendeten Gurkengläser (5 l) wurden einer Hitzesterilisierung im Autoklaven unterworfen. D.h. es wurde eigentlich zweimal sterilisiert, zunächst der angefeuchtete Torf in den Gläsern, dann nocheinmal nach einem Tag mit der Nährlösung 20 Minuten bei einer Atmosphäre Überdruck.

Für die Kultur der Mykorrhizapilze benötigt der Torf noch gewisse Zusätze, um ein optimales Wachstum der Pilze zu ermöglichen. Vor allem wird Kohlenhydrat benötigt, da dieses die Pilze ja sonst von der Pflanze erhalten, mit der sie in Symbiose leben. Am geeignetsten ist für diesen Zweck die Verwendung von Glukose technischer Qualität. Des weiteren wird eine Stickstoffquelle benötigt und zwar verwenden wir gerne Ammoniumtartrat oder auch Ammoniumsulfat technischer Qualität. Schließlich ist ein Zusatz von Kaliumphosphat (KH_2PO_4) günstig. Aus unseren Erfahrungen hat sich folgende Nährlösung als gut geeignet erwiesen: 20 g Glukose, 3 g Ammoniumtartrat oder -sulfat, 0.5 g KH_2PO_4 pro Liter Leitungswasser. Dazu kommen noch Wuchsstoffzusätze, Spuren von Stoffen, die im Boden von Mikroorganismen gebildet werden, hier im sterilisierten Medium jedoch fehlen. Nach mehrjähriger Erfahrung können wir nunmehr sagen, daß es am rationellsten ist, die Nährböden generell mit Wuchsstoffzusätzen zu versehen, auch wenn nicht alle Arten diese verlangen. Wir verwenden pro Liter Nährlösung 50 gamma Aneurin, 1 gamma Biotin, 100 gamma Folsäure.

Grundsätzlich lassen sich folgende drei Gruppen von Mykorrhizapilzen im Hinblick auf ihren Wuchsstoffbedarf unterscheiden:

1. Arten, die keine Wuchsstoffzusätze benötigen und durch solche nicht gefördert werden.
2. Arten, die Aneurin (und eventuell auch Biotin oder Folsäure) brauchen bzw. durch diese gefördert werden.
3. Arten, die durch weitere Wuchsstoffe, welche im Boden (Torf) enthalten sind oder von der Baumwurzel geliefert werden (Faktor M von MELIN), eine + starke Förderung erfahren. So wird z. B. *Paxillus involutus*, der kahle Krempling, bei Kultur auf Torf weit mehr gefördert als durch bloße Zusätze von Aneurin und Biotin oder Folsäure zu normalen Medien.

a. Kalkholde Pilze

Es gibt eine Anzahl Arten, die vor allem auf Kalkböden auftreten und nur dort Baumbegleiter sind. So etwa der Lärchenbegleiter

Suillus tridentinus. Diese werden in der Kultur ziemlich stark durch Zusätze von Calcium gefördert (50 ml einer 0.1 m Lösung CaCl_2 pro 20 g Trockentorf).

Hat man es nur mit einer dieser Pilzgruppen zu tun, so wird man natürlich den Nährboden generell dieser Gruppe anpassen.

Die Nährlösungsmenge richtet sich nach dem Feuchtigkeitsgrad des Torfs. Bei lufttrockenem Torf kann man durchschnittlich 1 l Nährlösung auf 300 g Torf rechnen.

Die Beimpfung des Torfs erfolgt mit Mycelstücken oder Suspensionen, die dann im Torf untergerührt werden. Für diesen Zweck haben sich lange, aber schmale Eisenspachteln mit gekrümmtem, flachem Ende, Impfspachteln, die während des Gebrauches immer wieder ausgeglüht werden, als am günstigsten erwiesen.

6. Einfluß der Jahreszeit auf die Kultur

Es hat sich nunmehr aus Erfahrung mit den Kulturen deutlich gezeigt, daß auch die Wachstumsintensität der Mykorrhizapilze bei gleichbleibenden Außenfaktoren einer deutlichen jahreszeitlichen Periodizität unterliegt. So erweist sich die Periode von Ende Oktober bis Ende Dezember - Anfang Jänner als deutlich am ungünstigsten. Ab Jänner nimmt die Wachstumsintensität wieder stärker zu und erreicht etwa April bis Juni ihr Maximum. Eine exakte Untersuchung über diese Verhältnisse dürfte noch von Interesse sein. Und es sind Umstände, die bei der Anlage von Kulturen berücksichtigt, einkalkuliert und mit den Impfzeiten im Forstgarten in Einklang gebracht werden müssen.

7. Kulturen in großem Maßstab

Das bisher angewandte Verfahren der Anzucht des Mykorrhiza-impfgutes in Gurkengläsern genügt im allgemeinen nur für kleinere Forstgärten bzw. Teile von größeren. Wir arbeiten daher derzeit an einem Verfahren, um das Impfgut auf wesentlich rationellerer Basis und in erheblich größeren Mengen, die auch für große Forstgärten ausreichen, herstellen zu können. Die Kultur in Gläsern wird dadurch jedoch keineswegs überholt, weil sie als Ausgangskultur zur Beimpfung der Großkulturen nötig ist.

8. Temperaturansprüche von Mykorrhizapilzen

Es ist auch vom praktischen Standpunkt gesehen nicht uninteressant, einige Worte zu diesem Thema einzuflechten, zumal wenn es sich um Hochlagenaufforstungen handelt. Aus unseren Untersuchungen (MOSEK 1958) geht deutlich hervor, daß z. B. Hochlagenpilze unempfindlicher sind gegenüber tiefen Temperaturen als Tal-

lagenpilze. Auch verschiedene Stämme ein und derselben Art verhalten sich in dieser Hinsicht so.

Dabei erscheint wesentlich, daß Hochlagenstämme bei Kultur im Tal diese Eigenschaft behalten, hingegen Talstämme sich in Hochlagen nicht umstellen. Es ist deshalb praktisch ein wesentliches Erfordernis, daß für Hochlagenaufforstungen bestimmte Pflanzen mit Hochlagenpilzen beimpft werden. Diese sind entweder in der Lage, lange Einfrierungsperioden zu überdauern, oder sie können bei Temperaturen um null Grad bereits wieder aktiv wachsen. Dies befähigt sie, sofort nach dem Auftauen des Bodens wieder in höhere Bodenschichten hinaufzuwachsen und die stark verkürzte Vegetationsperiode voll auszunützen.

9. Liste der in unserem Laboratorium bisher kultivierten Pilze

Nach dem Namen geben wir die Baumarten, mit denen sie in Symbiose leben, durch Abkürzungen an. Es bedeuten hierbei: Fi Fichte, Ki Kiefer (*P. silvestris* und *mugho*), LÄ = Lärche, Zi Zirbe, Bi Birke, Bu Buche. Ein + vor dem Namen bedeutet, daß die Art im Kapitel III näher beschrieben und abgebildet ist (Abb. 207).

Mykorrhizapilze	Baumart
<i>Amanita muscaria</i> (L. ex Fr.) Hooker	Fi, Zi
<i>Amanita spissa</i> (Fr.) Quel.	Fi
<i>Amanita rubescens</i> (Pers. ex Fr.) Gray	Fi
<i>Amanita citrina</i> (Schff.) Gray	Ki
+ <i>Boletinus cavipes</i> (Opat.) Kalchbr.	LÄ
<i>Boletus edulis</i> Bull. ex Fr.	Fi
<i>Boletus erythropus</i> Fr.	Fi
<i>Gomphidius rutilus</i> (Schff. ex Fr.) Lund. & Nannf.	Ki
<i>Hydrocybe armillata</i> (Fr.)	Bi
+ <i>Lactarius porninsis</i> Roll.	LÄ
<i>Lactarius torminosus</i> (Schff.) Fr.	Bi
<i>Lactarius rufus</i> (Scop.) Fr.	Fi?, Zi?
<i>Leccinum scabrum</i> (Bull. ex Fr.) S. F. Gray	Bi
<i>Leccinum aurantiacum</i> (Bull.) S. F. Gray	Populus tremula
<i>Leucopaxillus mirabilis</i> (Bres.) Mos.	Ki
<i>Myxadium delibutum</i> (Fr.) Ricken	Bu
<i>Paxillus involutus</i> (Batsch) Fr.	Fi, Zi
<i>Phlegmacium glaucopus</i> (Fr.) Blytt	Fi, Ki
<i>Phl. fuscomaculatum</i> J. Schff.	Fi
<i>Phl. allutum</i> (Secr.) Ricken	Fi, Zi
<i>Phl. caesiocanescens</i> (Mos.) Mos.	Ki, Fi?
<i>Phl. varium</i> (Fr.)	Fi
<i>Phl. cephalixum</i> (Secr.)	Fi

Phl. purpurascens (Fr.)	Fi
Phl. elegantior (Fr.)	Fi
Phl. orichalceum (Fr.) Ri.	Fi
Phl. infractum (Fr.) Wünsche	Fi, Bu?
Phl. vitellinopes (Secr.)	Bu
Phl. corrosum (Fr.)	Fi
Phl. calochroum (Fr.) Wünsche var. coniferarum Mos.	Fi
Phl. aureopulverulentum Mos.	Fi
Phl. coerulescentium (Hry.)	Bu
Phl. coerulescens (Schff. ex Fr.)	Bu
Phl. pseudosulphureum (Hry.)	Bu
Phl. elotum (Fr.)	Fi
Phl. fulvoochrascens (Hry.)	Bu?, Fi?, Ki?
Phl. cumatile (Fr.)	Fi
Phl. caesiostamineum Hry. var. amarissimum Mos.	Fi
Phl. russeoides Mos.	Ki
Phl. platypus Mos.	Bu
Phl. rufoolivaceum (Fr.)	Bu
Phl. talus (Fr.)	Bu
Phl. atrovirens (Kalchbr.)	Fi?
Phl. arcuatorum (Hry.)	Bu
Phl. saporatum (Britz).	Ki
Phl. aureoturbinatum (Secr.) ss. Lge.	Bu
Phl. oliveum (Hry.)	Fi?
Phl. corruscans (Fr.)	Fi
Phl. claricolor (Fr.)	Fi
Phl. aureofulvum Mos.	Fi
Phl. (Inoloma) anomalum (Fr.)	Zi?, Fi?
Rhizopogon luteolus Fr.	Ki
Suillus variegatus (Sow. ex Fr.) Kuntze	Ki
S. granulatus (L. ex Fr.) Snell	Ki
+ S. placidus (Bon.) Sing.	Zi, Weymouthskiefer,
+ S. plorans (Roll.) Sing.	Zi
+ S. aeruginascens (Secr.) Snell	Lä
+ S. Bresadolae (Quel.)	Lä
S. luteus (L. ex Fr.) S. F. Gray	Ki
+ S. Grevillei (Klotsch) Sing.	Lä
S. piperatus (Bull. ex Fr.) Kuntze	Ki
+ S. tridentinus (Bres.) Sing.	Lä auf Kalkborden
+ S. sibiricus Sing.	Zi
S. flavus ss. Bres.	Lä
Tricholoma robustum (A. & S. ex Fr.), Ri.	Ki
T. saponaceum (Fr.) Quel.	Fi, Zi?

T. vaccinum (Pers. ex Fr.) Quel.	Ki, (Fi?)
Xerocomus subtomentosus (L. ex Fr.) Quel.	Fi, Zi?
X. badius (Fr.) Kühn.	Fi

Dazu kommen noch eine Anzahl von Arten, deren Mykorrhiza-charakter noch nicht sicher erscheint.

10. Die Impfmethode im Forstgarten

Der vom Pilzmycel reichlich durchsetzte Torf wird in den Forstgartenboden geimpft. Je reichlicher man das Material impfen kann, desto besser und vor allem rascher und gleichmäßiger wird sich der Erfolg einstellen. Die beiden hauptsächlich in Frage kommenden Methoden sind die Impfung zugleich mit der Aussaat und die Impfung zugleich mit der Verschulung. Denn in diesen beiden Fällen kann die Impfung mit ohnedies notwendigen Arbeitsgängen gekoppelt werden und dies bedeutet für die Praxis kaum ein Mehr an Arbeit und Kosten.

a. Impfung zugleich mit der Aussaat

Diese ist dann zu empfehlen, wenn es sich um raschkeimende Samen handelt, also bei Fichte, Lärche, Kiefer und bei einigen Laubhölzern.

Sie erfolgt in der Weise, daß die sonst üblichen Saatrillen etwas tiefer gezogen werden und in diese Rillen zunächst der Mykorrhizatorf eingestreut wird. Die Aussaat erfolgt dann direkt auf den Torf und die Rillen werden dann je nach Saatgut wie üblich bedeckt.

Die Mykorrhizabildung tritt zwar bei Keimlingen nicht sofort ein, sondern erst nach mehreren Monaten. Doch kann man schon an den Sämlingen eine Förderung der Wurzelbildung und Wurzelverzweigung durch die Anwesenheit der Mykorrhizapilze im Boden feststellen, besonders bei Fichte und Kiefer (MOSEK 1959 a). Ein Beispiel, das den deutlich besseren Zuwachs geimpfter gegenüber ungeimpften Pflanzen zeigt, bietet Abb. 205 u. 206.

b. Impfung bei Verschulung

Bei langsam keimenden Samen (Zirbe, Buche etc) empfiehlt sich die Impfung erst zugleich mit der Verschulung. Besonders interessiert uns dabei die Zirbe und hierbei erwies sich folgendes Vorgehen als am günstigsten:

Die Zirben werden im Keimbeet gekeimt und nach dem Verholzen der Sprosse in die Beete verschult. Hierbei wird mit dem Hackerschen Verschulrechen gearbeitet, doch kann man nach örtlichen Gegebenheiten auch zu entsprechenden Varianten greifen. In die je-



Abb. 205: Zuwachsunterschiede zwischen geimpften und ungeimpften Pflanzen (rechts geimpft, links ungeimpft)

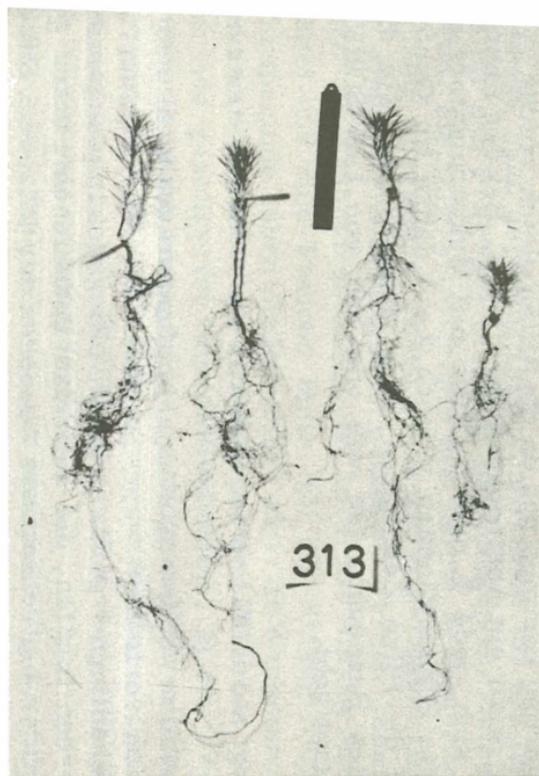


Abb. 206: Zuwachsunterschiede zwischen geimpften und ungeimpften Pflanzen (ganz rechts ungeimpft, die anderen geimpft)

weils geöffnete Rille wird der Mykorrhizatorf eingestreut, so daß dieser in eine Tiefe von höchstens 10 cm kommt. Damit ist die Gewähr gegeben, daß möglichst viele Wurzeln direkt mit dem Pilztorf in Berührung kommen und da die Rillen gleich wieder geschlossen werden, wird ein Austrocknen vermieden. Bei der Impfung genügt es an sich, jede 3. oder 4. Rille mit Mykorrhizatorf zu versehen, da die Zirbenpflanzen ja noch 2 - 4 Jahre im Garten verbleiben und die Pilze Zeit haben, sich auszubreiten, wie dies aus verschiedenen Beobachtungen von uns und von LEVISOHN (1956) deutlich hervorgeht.

c. Impfung von älteren Pflanzen ohne Verschulung

In Sonderfällen werden manchmal Impfungen auch an älteren Pflanzen in Beeten vorteilhaft sein. So etwa wenn zur Bekämpfung irgendeines Schädling irgendwelche Schädlingsbekämpfungsmittel angewandt werden mußten, die auch das Bodenleben + stark geschädigt haben. Oder bei schlechtem Aussehen der Pflanzen, Sitzenbleiben von Saaten etc, wenn dies auf Mykorrhizamangel zurückzuführen ist. In solchen Fällen wird das Impfgut zwischen die Reihen gebracht und dann so gut als möglich eingearbeitet, so daß es nach Möglichkeit mit Wurzeln in Berührung kommt. Dabei benötigt man bei unverschulden Pflanzen etwas weniger Impfgut, da der Kontakt mit den Wurzeln infolge des dichteren Standes leichter zustandekommt. Wurzelverletzungen, die bei dieser Methode nicht zu vermeiden sind, sind aber keineswegs nachteilig, sondern im Gegenteil fördernd, da hiedurch neue Wurzelbildung angeregt wird und Mykorrhizabildung an jungen Wurzeln leichter ansetzt, außerdem eine förderliche Bodenlockerung erfolgt.

11. Transport des Impfgutes

Da der Transport in Gläsern immer eine unangenehme Sache ist, haben wir versucht, dies mit Plastiksäcken zu bewerkstelligen. Dies hat sich auch bewährt. Wir verwenden dazu vorteilhaft Plastikschräuche (bis 1/2 m Durchmesser), die man in Längen nach Bedarf zuschneiden und abbinden kann. Das Material kann so nicht austrocknen, doch ist es vor Überhitzung zu schützen. Also darf es nicht in der Sonne gelagert werden, auch soll es nicht allzu lange lagern. Je rascher es verarbeitet wird, desto besser ist dies (Lagerung 2 - 3 Tage). Was die benötigte Menge betrifft, so variiert diese nach dem Alter und Stand der Pflanzen und nach dem Boden. Böden mit wenig Bodenleben benötigen mehr (gleichzeitig aber auch meist stärkere Zufuhr organischen Materials!), ältere Pflanzen benötigen ebenfalls mehr, da die Pilze nicht mehr so viel Zeit zur Entfaltung haben. Im Durchschnitt kann man sagen, daß pro m² etwa 2 - 5 kg des feuchten Materials benötigt werden. Bei Saatimpfungen kann man auch noch auf kleinere Mengen herabgehen.

12. Impfzeiten

Die Frage nach der günstigsten Jahreszeit für die Impfung kann in einer für den Praktiker ziemlich befriedigenden Weise beantwortet werden. Sie fällt nämlich mit den Zeiten der Aussaat bzw. der Verschulung zusammen, sodaß sie auch von diesem Gesichtspunkt aus mit diesen Arbeitsvorgängen gekoppelt werden können. Es sind dies also die Frühjahrsmonate von April bis Anfang Juni, (je nach Höhenlage) und eine Periode Ende Juli bis Anfang August. In der Frühjahrsperiode haben die Pilze ihre aktivste Wachstums- und Entwicklungszeit, ebenso auch die Wurzeln der Pflanzen, dazu kommt eine Periode gesteigerter Nährstoffaufnahme. In der zweiten Periode finden wir noch einmal eine gesteigerte Wurzelbildungsaktivität auf Seite der Pflanze, ferner aber auch bereits eine erhöhte Assimilatanreicherung in den Wurzeln, also wieder Umstände, welche die Mykorrhizabildung fördern.

Daß bei Anwendung aller dieser Methoden die eingangs erwähnten Düngeprobleme Beachtung finden müssen, soweit wir die Zusammenhänge heute überblicken, dürfte an sich klar sein. Eine Nichtbeachtung kann zu völligem Mißerfolg von Impfungen führen.

13. Die Provenienz der Pilze

Es handelt sich dabei um eine Frage, die dann berücksichtigt werden muß, wenn es sich um Aufforstung von Standorten mit extremen ökologischen Bedingungen handelt, so etwa bei Aufforstungen in Hochlagen mit langen Wintern und langer Gefrierungsdauer des Bodens, an trockenen, heißen und nassen Standorten etc. Denn nicht jeder Pilz ist in der Lage, überall zu gedeihen. Über das Verhalten gegenüber tiefen Temperaturen wurde bereits gesprochen. Ähnliche Untersuchungen über hohe Temperaturen sowie das Verhalten gegenüber geringer Bodenfeuchtigkeit laufen derzeit bzw. sind noch vorgesehen.

Es sind dies also Faktoren, die bei der Auswahl des Impfgutes berücksichtigt werden müssen und es empfiehlt sich, bei Impfungen auch Impfmateriale von gleichen oder ähnlichen ökologischen Standorten zu verwenden, wie jene, auf die die Pflanzen ausgesetzt werden sollen.

Es gibt eine Anzahl Mykorrhizapilze, die mit sehr vielen Bäumen und an sehr vielen Standortstypen vergesellschaftet sind. Doch wissen wir derzeit noch nicht, ob es sich dabei nicht um spezifische Rassen dieser Arten handelt. Auch erscheint es möglich, daß solche Arten mit weiter ökologischer Valenz als Mykorrhizapartner nicht so hochwertig sind (für den Baum), wie spezialisiertere.

E. Förderung der Mykorrhiza am Standort nach dem Auspflanzen

Um die Erhaltung von im Forstgarten geimpften Mykorrhizapilzen zu gewährleisten ist die sicherste Methode, standortsgemäßes Impfgut bereits bei der Impfung zu verwenden. Um eine genaue Kenntnis über die Eignung verschiedener Pilzarten für bestimmte Vegetations- und Geländetypen zu erlangen, werden von uns seit Jahren umfangreiche soziologische Freilandbeobachtungen durchgeführt (MOSER 1959 c). Aus diesen können dann die entsprechenden Schlüsse gezogen werden über die Abhängigkeit bestimmter Pilze von bestimmten Umweltfaktoren wie Feuchtigkeit, Temperatur, Vegetationsgesellschaft, Boden, Schnee- und Gefrierverhältnisse etc. Es liegt in dieser Hinsicht bereits eine Reihe von Ergebnissen vor, doch soll darüber erst später zusammenhängend berichtet werden.

Vor allem auf Böden, die arm an organischem Material sind, sollte die Mykorrhiza-Entwicklung durch Zufuhr organischen Materials begünstigt werden. Dies kann in Form von Abdeckung der Pflanzlöcher mit Streu erfolgen, dies kann z. T. auch dadurch geschehen, daß man die vom Pflanzloch abgehobene Vegetationsdecke in zwei bis drei kleinere Teile zerlegt und zur seitlichen Abdeckung des Pflanzloches verwendet. Dies ist umso mehr zu befürworten, als ja auch aus der Arbeit von NEUWINGER und CZELL (1959) klar hervorgeht, daß es sich dabei um die nährstoffreichsten Schichten handelt. Die Pilze und die Mykorrhizen entwickeln sich besonders gern in solchen Schichten, die ihnen Material zur Zersetzung bieten.

Düngungen am Standort kommen im allgemeinen zumindest in Hochlagen kaum in Frage. In besonderen Fällen jedoch kann etwa durch Thomasphosphat eine Förderung der Mykorrhizabildung erzielt werden. Auf jeden Fall sind Kalkungen und Stickstoffdüngungen zu vermeiden.

III. Die wichtigsten Begleitpilze von Zirbe und Lärche

Wenn der Laie den Ausdruck "Mykorrhizapilz" hört, hat er meist die Vorstellung, daß es sich dabei um ausschließlich mikroskopisch kleine und nur mit Hilfe des Mikroskopes bestimmbare Pilze handelt. Tatsächlich aber sind die Begleitpilze unserer Waldbäume vorwiegend sogenannte höhere Pilze, gemeinhin als "Schwammerln" bezeichnet. Dabei herrscht häufig eine ziemlich strenge Spezialisierung von Pilzarten auf bestimmte Baumpartner. Nicht alle wirken in gleicher Weise auf die Baumart ein, vom menschlichen Standpunkt aus gesehen können wir von "nützlicheren" und "weniger nütz-

lichen", eventuell auch von "schädlichen" sprechen. Da es manchmal nicht unwichtig sein kann, in einem Bestand zu erkennen, ob geeignete Mykorrhizapartner vorhanden sind, soll im folgenden der Versuch unternommen werden, die nach dem heutigen Stand unserer Kenntnisse wichtigsten Pilzpartner von Zirbe (*Pinus cembra*) und Lärche (*Larix europaea*) zu beschreiben und auf einer Farbtabelle zusammenzustellen. (Die Nummern der nachfolgenden Beschreibung decken sich mit den Nummern der Pilze in Abb. 207).

Begleitpilze der Zirbe

1. *Suillus plorans* (Roll.) Sing., Zirbenröhrling

Hut 2 12 cm, jung halbkugelig, später flacher gewölbt, alt auch der Rand etwas verbogen und selbst nach oben aufgebogen, häufig und besonders jung dunkel schokoladebraun, später heller, häufig aber auch (und alt fast immer) gelbbraun, selbst strohgelblich, feucht schmierig, trocken schwach schimmernd bis ± matt. Die Röhren an der Hutunterseite etwa 2 15 mm lang, von gelb- oder orange-olivlicher bis olivbräunlicher Farbe, besonders jung und bei feuchtem Wetter kleine, milchige Tröpfchen ausscheidend. Der Stiel ist ± gleichdick, zylindrisch oder an der Basis leicht verdickt, orangebräunlich, an älteren Stücken gelbbraunlich, mit violettrotlichen bis purpurbräunlichen punktförmigen Drüsen, die ebenfalls besonders an der Stielspitze oft milchige Tröpfchen absondern. Das Fleisch ist orange(-bräunlich), gelbbraun, seltener schmutzig weißlich. Geschmack mild. Das Sporenpulver zeigt einen olivlichen Farbton. Sporen 5,5-11/3-4 μ .

Die Art ist bei Zirben in der subalpinen Stufe fast überall verbreitet und ist auch noch in der Kampfzone oft reichlich vorhanden. Es dürfte sich wohl um den wichtigsten Begleitpilz der Zirbe handeln, mit einem sehr weiten ökologischen Bereich, daher vielseitig anwendbar.

2. *Suillus placidus* (Bon.) Sing., Elfenbeinröhrling

Eine durch ihre weiße Farbe und den zuspitzenden Stiel bereits gut gekennzeichnete Art. Im einzelnen ist sie durch folgende Merkmale ausgezeichnet:

Hut 3 12 cm, jung rein weiß, dann mehr elfenbeinweiß, älter oft gelblich und selbst gelbbraun verfärbend, Hutrand manchmal jung mit grauviolettlichen Tönen, älter auch mit zitronengelben, jung halbkugelig, später flach gewölbt bis verbogen, feucht schmierig. Röhren und Poren jung weiß und oft "tränennd", dann gelblich bis olivgelblich werdend. Stiel fast immer wurzelartig zuspitzend, oft etwas verbogen, weiß mit purpurviolettlichen bis -bräunlichen, älter schwärzlichen Drüsen, die Stielbasis oft zitronengelblich, an der Stielspitze jung milchige Tröpfchen absondernd, Fleisch weiß. Das Sporenpulver hat einen mehr zimtfarbenen Ton. Sporen 7 10/2,5-3,5 μ .

Dieser Pilz zeigt seine üppigste Entwicklung meist in jüngeren, moosreichen, feuchteren Zirbenbeständen, kommt aber auch in trockeneren (auch an Südhängen) vor. Er ist außerdem auch mit der Weymuthskiefer (*Pinus strobus*) vergesellschaftet, einer weiteren fünfnadeligen Kiefernart.

3. *Suillus sibiricus* Sing., Sibirischer Röhrling

Hut 3-10 cm, meist flacher gewölbt, strohgelblich, blaß, älter auch dunkler bräunlich fleckig oder eingewachsen faserig, schmierig. Jung ist der Hutrand durch einen flockig-wolligen, weißen bis bräunlichen Schleier (oder Häutchen) mit dem Stiel verbunden, später bleiben meist einzelne Fetzen davon am Hutrand hängen. Die Röhren und Poren sind gelb. Der Stiel gelblich, an der Spitze lebhafter, gegen die Basis zunehmend bräunlich, in der Mitte durch Schleierreste + deutlich beringt, im übrigen ebenfalls durch dunklere Drüsen punktiert. Sporen 9-12/3,5-4,5 μ .

Ein anscheinend im sibirischen Zirbenareal häufigerer, im Alpengebiet seltenerer Zirbenbegleiter, über dessen ökologische Ansprüche noch wenig bekannt ist.

4. *Gomphidius helveticus* Sing., Filziger Schmierling

Hut halbkugelig bis flach gewölbt, bisweilen mit kleiner Papille, 2-8 cm, lebhaft orange-gelb, Druckstellen weinrötlich verfärbend, typisch bei trockenem Wetter filzig, bei feuchtem Wetter aber auch fast schmierig werdend, jung der Hutrand durch orangefarbenen, spinnwebigen Schleier mit dem Stiel verbunden. Die Lamellen bogig, am Stiel herablaufend, stark entfernt, dicklich, jung orangebräunlich, später mit zunehmend bräunlichem Ton. Stiel orange, gegen die Basis gelblich, aber mit orangegelbem bis karminrotem Basisfilz, zylindrisch oder gegen die Basis verjüngt. Fleisch orange, in der Stielbasis gelb. Sporen schwärzlich, 17-23/6,5-8 μ .

Diese Art ist ein häufiger Zirbenbegleiter, bildet aber interessanter Weise auch mit Fichte Mykorrhiza. Sie kann eventuell mit dem Kupferroten Schmierling (*Gomphidius rutilus*) verwechselt werden, der mit *Pinus silvestris* und *Pinus mugho* zusammen wächst und nie einen filzigen Hut besitzt.

Weitere Arten, denen bei Zirbe vielleicht mehr Bedeutung zukommt, wären etwa der Rotbraune Milchling (*Lactarius rufus*), und eine weitere *Lactarius*-Art, die beide aber in der Reinkultur noch ziemliche Schwierigkeiten machen und über deren Bedeutung daher wenig gesagt werden kann. Schließlich dürften eine Anzahl von Wasserkopf-Arten (*Hydrocybe* spp.) Beachtung verdienen, doch ist die Systematik dieser Gattung (mit in Europa etwa 500 Arten) noch sehr unsicher, auch lassen sich noch die wenigsten dieser Arten kultivieren.

Abb. 207: Die wichtigsten Mykorrhizapilze von Zirbe und Lärche (etwa 1/2 nat. Größe).
Zirbenbegleiter: 1: *Suillus plorans*, Zirbenröhrling; 2: *Suillus placidus*, Elfenbeinröhrling; 3: *Suillus sibiricus*, Sibirischer Röhrling; 4: *Gomphidius helveticus*, Filziger Schmierling.

Lärchenbegleiter: 5: *Suillus grevillei*, Goldröhrling; 6: *Suillus tridentatus*, Rostroter Lärchenröhrling; 7: *Suillus aeruginascens*, Grauer Lärchenröhrling; 7a: *Suillus aeruginascens* var. *bresadolae*, Brauner Lärchenröhrling; 8 und 8a: *Boletinus cavipes*, Hohlfußröhrling; 9: *Lactarius porninsis*, Lärchenreizker, Lärchenmilchling; 10 und 10a: *Hygrophorus lucorum*, Lärchenschneckling.



Begleitpilze der Lärche

5. *Suillus grevillei* (Klotzsch) Sing., Goldröhrling

Hut jung halbkugelig, dann flach gewölbt, 2–10 cm breit, von lebhaft zitronengelb bis satt orangebraun, ziemlich einheitlich, feucht stark schmierig, trocken glänzend. Jung ist der Hutrand durch eine fast schleimige, oft fast durchsichtige Haut (mit gelblicher Tönung) mit dem Stiel verbunden. Röhren und Poren satt zitronengelb. Stiel gleichdick oder gegen die Basis schwach keulig, an der Spitze zitronengelb, darunter bildet der zusammenfallende Schleier einen Ring, unter diesem auf gelbem Grunde ± orangebräunlich marmoriert oder gefasert. Fleisch im ganzen Pilz lebhaft zitronengelb, in der Stielbasis manchmal etwas violettlich oder blaugrünlich verfärbend.

Wohl der häufigste Lärchenbegleiter, mit der breitesten ökologischen Valenz, der sowohl auf Kalk- als auch auf Silikatböden, vom Tal bis in die Kampfzone hinauf verbreitet ist.

6. *Suillus tridentinus* (Bres.) Sing., Rostroter Lärchenröhrling

Hut halbkugelig bis flach gewölbt, 3–10 cm, eigenartig orange-zimtbräunlich, alt blasser und mehr gelbbraun mit zimtfarbigem Beiton, eingewachsen radial faserig, feucht schmierig, trocken glänzend. Röhren und Poren jung leuchtend orange, älter schmutziger, mehr gelborange, ausgewachsen ziemlich großporig. Stiel schwach keulig oder gleichdick, orange-zimtbräunlich, gegen die Basis heller, mit mehr gelblichen Tönen, im oberen Teil mit ringförmigen Resten des blassen Schleiers, der an jungen Exemplaren Stiel und Hutrand verbindet. Fleisch gelb, mit rötlichem Ton, besonders gegen die Stielbasis. Sporen 8-14/4-6,5 μ .

Im Bereich der Kalkalpen ein häufiger Lärchenbegleiter, außerhalb der Alpen seltener und nur auf kalkhaltigen Böden.

7. *Suillus aeruginascens* (Secr.) Snell, Grauer Lärchenröhrling

Hut halbkugelig bis flach gewölbt, 3–8 cm, hell grau, gelblichgrau, bräunlichgrau, des öfteren mit grünlichen oder violettlichen Tönen, fein gemasert-marmoriert oder eingewachsen faserig, feucht schleimig, jung der Hutrand durch grau-schleimigen Schleier mit dem Stiel verbunden. Röhren und Poren von Jugend an grau, ziemlich großporig, die Wände zwischen den Poren ziemlich dicklich. Stiel keulig, gleichdick oder auch Basis etwas verjüngt, schwach spindelig, hell grau, ähnlich oder heller wie der Hut, an der Basis oft grünlich verfärbend. Sporen 8-15/3,5-6 μ .

Lärchenbegleiter auf Kalk und Silikatböden.

7a. *Suillus aeruginascens* var. *bresadolae* Quel., Brauner Lärchenröhrling

Unterscheidet sich von der vorigen Art durch dunkler graubraunen bis schokoladebraunen Hut, einen stets gelblichen Schleier. Die Poren sind jung blaß gelblich, später gelblichgrau und werden schließlich vom Stiel her grau, sodaß zuletzt nur am Hutrand eine gelbliche Zone bleibt. Das Fleisch ist gelblich, auch rosa getönt, alt grauviolett. Sporen 9-15/4-7 μ

Sowohl auf sauren als auch kalkhaltigen Böden, doch bevorzugt die Art eher saure Böden.

8. *Boletinus cavipes* (Opat.) Kalchbr., Hohlfußröhrling

Hut halbkugelig bis sehr flach gewölbt, 2–8 cm, stark filzig und fein schuppig, in Farbe sehr variabel, von lebhaft zitronengelb, goldgelb bis orange und bei uns besonders häufig satt zimtbraun, jung der Hutrand durch einen trockenen, filzigen blaß ockerlichen oder gelblichen Schleier mit dem Stiel verbunden. Die Röhren sind im Vergleich zu anderen Röhrlingen sehr kurz und die Poren sehr weit, am Stiel herablaufend, gelblichgrünlich bis olivgrün. Der Stiel ist dem Hut ± gleichfarbig, etwas blasser, von den Schleierresten im oberen Teil beringt, und als wesentliches Artmerkmal von Jugend an hohl. Sporenpulver hell gelbgrün, Sporen 6-10/3-4 μ . Auf Kalk- und Silikatböden überall verbreitet.

9. *Lactarius pominis* Roll., Lärchenreizker, Lärchenmilchling

Hut flach gewölbt, meist in der Mitte ± stark niedergedrückt, Rand längere Zeit eingerollt bleibend, älter auch etwas verbogen, 3–8 cm, lebhaft orange, karottenrot, manchmal leicht dunkler konzentrisch gezont, fein gemasert, feucht etwas schmierig. Die Lamellen ocker bis alt orangegelb, entfernt stehend, der Stiel ist zylindrisch, an der Basis oft etwas zusammengezogen, orange, aber blasser als der Hut, fast immer kürzer als der Hut breit, das Fleisch blaß orangegelblich bis weiß, verletzt immer einen weißen, unveränderlichen Milchsaft ausscheidend. Geruch etwas apfelähnlich. Der ganze Pilz, wie alle Milchlinge, ziemlich brüchig.

Bei Lärchen, vorzugsweise auf sauren Böden.

Ein Doppelgänger des Pilzes mit mehr weißlichem Stiel und oft graugrünlich verfärbender, anfangs aber auch weißer Milch mit bitterem Geschmack wächst bei Fichten.

10. *Hygrophorus lucorum* Kalchbr., Lärchenschneckling

Hut 2–6 cm, flacher gewölbt, Rand jung eingerollt, dann ganzer Hut ziemlich flach, manchmal am Rande lebhaft chromgelb und in der Mitte satt rotbraun, manchmal auch nur einheitlich zitronengelblich. Feucht stark schleimig und der Hutrand jung durch dicken Schleimschleier mit dem Stiel verbunden. Lamellen dicklich, bogig am Stiel angewachsen, ziemlich entfernt stehend, weiß. Der Stiel ist unterhalb des Schleimschleiers (der eine ringartige Zone bildet) dem Hut ± gleichfarbig blaß bis satt gelb, aber blasser, feucht ebenfalls stark schleimig.

Die lebhaft gefärbte Form mit dem rotbraunen Hutscheitel wird oft als eigene Art (*H. bresadolae* Quel.) betrachtet. Sie ist aber durch alle Übergangsformen mit der blaßgelben verbunden und kann höchstens als Standortsform betrachtet werden.

Eine Reihe weiterer Schnecklings-Arten sind noch Lärchenbegleiter (Bsp. *H. queletii*, *calophyllus*). Sie sind aber als selten zu bezeichnen und es kommt ihnen praktisch nur eine unbedeutende Rolle zu.

Zusammenfassung

Die fördernde Wirkung von Mykorrhizapilzen auf das Wachstum von Forstpflanzen ist sowohl experimentell wie auch praktisch bereits vielfach erwiesen. Wenn man in der Praxis daran denkt, Methoden zur Förderung der Mykorrhizabildung anzuwenden, muß man sich jedoch zunächst darüber klar sein, in welchen Fällen der Praktiker eine Förderung von Forstpflanzen durch Mykorrhizapilze erwarten kann (z. B. Aufforstung von Ödland und waldentfremdeten Gebieten, in Forstgärten bei Wechsel der Baumart etc.). Man muß aber vor allem auch die Ursache zu ergründen trachten, warum an den betreffenden Stellen die Mykorrhizabildung ausbleibt. Ist es nur deshalb, weil in den entsprechenden Böden der Mykorrhizapilz fehlt oder weil die Lebensbedingungen für den Pilz ungeeignet sind? Erst wenn diese Fragen klargestellt sind, kann man sich für geeignete Methoden zur Förderung der Mykorrhizabildung entscheiden.

Als solche kommen in Frage: In allen Fällen, wo der Boden die gesunde Entwicklung von Mykorrhizapilzen zuläßt und diese nur fehlen, genügt eine Impfung des Bodens mit Pilzmaterial, sei es nun mittels Waldstreu oder mittels Reinkulturen bzw. Halbreinkulturen (d. h. unter Mitimpfung von boden- und streuaufschließenden Mikroorganismen). In allen anderen Fällen werden zusätzliche Maßnahmen (oder bisweilen auch nur diese allein) zur Aktivierung inaktiv im Boden vorhandener Pilze erforderlich sein. So können sich hier die Änderung des Nährstoffgefälles, des pH-Wertes, eine Verbesserung der Bodendurchlüftung oder die Zufuhr organischen Materials positiv auswirken.

Bei Verwendung von Reinkulturen bzw. Halbreinkulturen zur Impfung von Forstgärten wird am vorteilhaftesten die Torfstreukultur angewandt, da auf diesem Substrat gezogene Mykorrhizapilze weniger empfindlich gegen Austrocknung sind, etwas organisches Material mit in den Boden eingebracht wird und sie sich außerdem so am leichtesten in den Forstgartenboden einarbeiten lassen, sei es zugleich mit der Saat (Frühjahr) oder mit der Verschulung (Juli - Anfang August). Diese Zeitpunkte haben sich auch als am günstigsten für das Zustandekommen der Verbindung zwischen Pilz und Baum erwiesen. Auch der Transport des Impfgutes läßt sich auf diese Weise am leichtesten, - etwa in Plastiksäcken, - bewerkstelligen, wobei es allerdings nicht zu lange in den geschlossenen Säcken lagern soll. Beachtet muß ferner zumindest in manchen Fällen die Herkunft der Pilze werden, da nicht jeder Pilz für jeden Standort geeignet ist (abgesehen davon, daß jede Baumart ihre bestimmten Partner hat). So können sich in Hochlagen nur solche Pilze auf die Dauer halten, die aus diesen Gebieten stammen, da ihnen die entsprechende Anpassung an lange Winterperioden eigen ist.

Literatur

- BJÖRKMAN E.** 1942: Über die Bedingungen der Mykorrhizabildung bei Kiefer und Fichte. Symb. Bot. Ups. 6, 2.
- HATCH A. B.** 1937: The physical basis of mycotrophy in Pinus. The Black Rock Forest Bull. 6
- LEVISOHN I.** 1956: Growth stimulation of forest tree seedlings by the activity of free-living mycorrhizal mycelia. Forestry 29, 53 - 59
- LOCHHEAD A. G.** 1958: The soil microflora, the plant, and the root pathogen. Trans. Royal Soc. Canada, 3. Ser. LII, Sect. V. 17 - 24
- MELIN E.** 1953: Transfer of labelled nitrogen from glutamic acid to pine seedlings through the mycelium of *Boletus variegatus* (Sw.) Fr.. Nature 171, (42) 134.
- MELIN E.** 1954: Transport of labelled phosphorus to pine seedlings through the mycelium of *Cortinarius glaucopus* (Schff, ex Fr.) Fr. Sv. Bot. Tidskr. 48, 555 - 558
- MELIN E. und NILSSON H.** 1952: Transport of labelled nitrogen from an ammonium source to Pine seedlings through mycorrhizal mycelium. Sv. Bot. Tidskr. 46, 281 - 285
- MELIN E. und NILSSON H.** 1958: Translocation of nutritive elements through mycorrhizal mycelia to pine seedlings. Bot. Notiser, 111, 251 - 256.
- MOSER M.** 1958: Der Einfluß tiefer Temperaturen auf das Wachstum und die Lebenstätigkeit höherer Pilze mit spezieller Berücksichtigung von Mykorrhizapilzen. Sydowia XII, 386 - 399.
- MOSER M.** 1959: a) Die künstliche Mykorrhizaimpfung an Forstpflanzen. III, Die Impfmethodik im Forstgarten. Forstw. Cbl. 78, 193 - 202.
- MOSER M.** 1959: b) Beiträge zur Kenntnis der Wuchsstoffbeziehungen im Bereich ectotropher Mykorrhizen I. Arch. f. Mikrobiol. 34, 251 - 269.
- MOSER M.** 1959: c) Pilz und Baum. Sondernummer 36 d. Schweiz. Zeitschr. f. Pilzkunde.
- NEUWINGER I. und CZELL A.** 1959: Standortsuntersuchungen in subalpinen Aufforstungsgebieten. I. Böden in den Tiroler Zentralalpen. Forstw. Cbl. 78, 327 - 374.
- STEBBINS M. E. und ROBBINS W. J.** 1949: Mineral oil preservation of fungus cultures. Mycologie XLI, 632 - 636.
- WERNHAM C. C.** 1946: Mineral oil as a fungus culture preservative. Mycologia XXXVIII, 691 - 692.
- WIKEN T., KELLER H. G., SCHELLING C. L. und STOECKLI A.** 1951: Über die Verwendung von Mycelsuspensionen als Impfmateriale in Wachstumsversuchen mit Pilzen. Experientia VII, 237 - 239.

D. Das Projekt „Wildbach- und Lawinenvorbeugung Vorderes Zillertal“ und seine wirtschaftliche Bedeutung

von S. Stauder

Inhalt	Seite
Lage und allgemeine Beschreibung des Arbeitsgebietes	723
A. Topographie	723
B. Geologie	723
C. Klima und Vegetation	723
Das forstliche Projekt "Wildbach- und Lawinenvorbeugung Vorderes Zillertal" aus dem Jahre 1953	724
I. Einführung.....	724
II. Geplante Maßnahmen und ihre Durchführung	731
A. Alpwirtschaft	731
B. Forstwirtschaft	732
III. Die Auswirkungen des Projektes im Gesamtgebiet ..	734
a) Wildbachverbauung.....	734
b) Alpwirtschaft	734
c) Forstwirtschaft	734
IV. Die Auswirkungen des Projektes im Finsingtal	736
A. Allgemeine Beschreibung	736
B. Wirtschaftliche Auswirkungen	738
a) Wildbach- und Lawinenvorbeugung	738
b) Alpwirtschaft	738
c) Forstwirtschaft	739
Zusammenfassung	741
Literatur.....	741

Lage und allgemeine Beschreibung des Arbeitsgebietes

A. Topographie

Ungefähr 4 km inntalabwärts von Jenbach tritt rechtsufrig bei Straß in einer Breite von 1.500 m das Zillertal gleichsohlig in das Inntal aus. In seinem Hauptteil zwischen Straß und Mayrhofen verläuft es auf einer Länge von 30 km fast geradlinig in Nord-Süd Richtung und löst sich dann nach Süden in 4 Seitenarme auf, die bis an den Alpenhauptkamm heranreichen.

In seinem vorderen Teil (Abb.208) erstreckt sich linksufrig ein Gebiet, für das im Jahre 1953 ein generelles Projekt mit Maßnahmen zur Vorbeugung von Wildbach- und Lawinenkatastrophen ausgearbeitet wurde. Dieses Gebiet dehnt sich über eine Fläche von 10.700 ha aus und erfaßt auf einer Tallänge von 13 km und einer mittleren Breite von 7,5 km die Gebiete der Gemeinden Fügen, Fügenberg, Uderns, Ried, Kaltenbach und Aschau. Die Umgrenzung bilden im Osten der Ziller, im Süden das Wetterkreuz (2417 m), der Marchkopf (2500 m) und das Sidanjoch, im Westen der Pfaffenbühel (2431 m) und Gilfertsberg (2505 m) und im Nordwesten bis Norden das Metzjoch, Onkeljoch (2050 m) und Arzjoch.

B. Geologie

Das Arbeitsgebiet liegt in der Grauwackenzone, die im Süden an die Schieferhülle und den Zentralgneis des Alpenhauptkammes angrenzt und im Norden durch das Inntal von den nördlichen Kalkalpen getrennt ist. Im Norden des Bereiches (Rischbach - Geolsalpe) tritt Grauwackenschiefer mit Auflagerung von Schwazer Dolomit auf, während der Hauptteil des Gebietes von Quarzphyllit gebildet wird, der im rückwärtigen Finsingtal von Chloritschiefern durchsetzt ist und im Bereiche des Kellerjoches und am Riedberg vom Schwazer Augengneis überlagert wird. In den tieferen Lagen, besonders zum Ziller hin, ruhen stellenweise mächtige Terrassenschottermassen auf dem eigentlichen Felsuntergrund.

C. Klima und Vegetation

Das Zillertal liegt klimatisch in der ozeanisch getönten Lücke zwischen dem Öztaler- und Tauern-Massiv. Es ist durch den nahen Inntalausgang bei Kufstein und die Furche des Achentales mit dem Alpenvorland verbunden, daher relativ temperaturausgeglichen, hangnebel- und niederschlagsreich. Deshalb herrscht hier zum Unterschiede vom Öztal statt der Lärche die Fichte vor und noch am Anfang des Tuxertales (dem westlich orientierten der erwähnten vier Seitentäler südlich Mayrhofen) findet man wie am Talausgang bis über 1.300 m Seehöhe Buchen, Tannen und Eiben, bis über 800 m Seehöhe Linden, Eichen und Ulmen.

Zusammenfassend muß gesagt werden, daß dieses Gebiet durch das Klima und vor allem die geologischen Verhältnisse einen ausgeprägten Wildbachcharakter besitzt. Die leicht verwitterbaren kristallinen Schiefer, insbesondere Quarzphyllit, ergeben fruchtbare, sandiglehmige Böden, die jedoch sehr wasserzünftig sind und in ungünstigen Lagen zu Versumpfungen und Rutschungen neigen. Hieraus ergibt sich einerseits durch die große Fruchtbarkeit eine umfangreiche Landwirtschaft und dichte Besiedlung, andererseits eine sol-

che Häufung von Wildbächen, daß dieses Gebiet zu den wildbachintensivsten von Tirol gerechnet werden muß. Es befinden sich im vorderen Bereiche des Tales auf einer Strecke von ca. 10 km linksufrig 6 aktive Wildbäche (Abb. 208 u. 209), in denen Verbaubarbeiten in Ausführung begriffen sind und deren Einzugsgebiete in einem forstlichen Sanierungsprojekt zusammengefaßt wurden. Die anschließenden Ausführungen unterziehen das genannte Gebiet einer genaueren Betrachtung.

Das forstliche Projekt „Wildbach- und Lawinenvorbeugung Vorderes Zillertal“ aus dem Jahre 1953

I. Einführung

Im Projektsgebiet befinden sich 4 große und 2 kleinere Wildbäche, die zum Teil schon seit langer Zeit die auf ihren Schuttkegeln liegenden Dörfer vermuren.

Bis zur Begründung der österreichischen Wildbachverbauung im Jahre 1884 wurden von den Interessenten selbst Verbauungen durchgeführt und seitdem von der staatlichen Wildbachverbauung systematische Verbauungen auf Grund von Projekten, wobei bis 1945 13,8 Mill. S (Wert 1959) investiert wurden (Tabelle 1). Durch den Einbau von vorwiegend hölzernen Querwerken gelang es, einen Teil der Geschiebeherde zu fixieren und zu beruhigen, sodaß der Geschiebeanfall in den Gräben bedeutend eingeschränkt werden konnte. Um diese Verbauungen vor dem Verfall zu schützen, wurden nach 1945 Projekte ausgearbeitet, die Instandsetzungen bzw. Neubauten in Mauerwerk an Stelle des kurzlebigen Holzes der zum großen Teil schon 50 Jahre alten Verbauungen vorsahen. Die Projekte sind in Ausführung begriffen. Die erforderlichen großen Aufwendungen haben einen Umfang von 63,4 Mill. S (Tabelle 1). Dieser Betrag wirft die Fragen nach dem erstrebten Ziel, dem Wert der gefährdeten Objekte und vor allem nach den Ursachen der Wildbachkatastrophen auf.

Das erstrebte Ziel ist Schutz für die am Talboden befindlichen Dörfer, die sich vorwiegend aus landwirtschaftlichen Betrieben (167 Stk.) und Siedlungshäusern (272 Stk.) zusammensetzen (Tabelle 2). Da in früheren Jahrhunderten der Talboden versumpft war, mußten die Anwesen auf den Schuttkegeln der Wildbäche errichtet werden, woraus sich das heutige Bild erklärt, daß sich ausgerechnet auf jedem Schuttkegel ein Dorf befindet. Jedoch die zwischen den Schuttkegeln sich ausdehnenden Kulturgründe werden auch heute noch durch Murgänge entwertet, da der Vorfluter (Ziller) aufgelandet wird, was eine Hebung des Grundwasserspiegels und Versumpfung

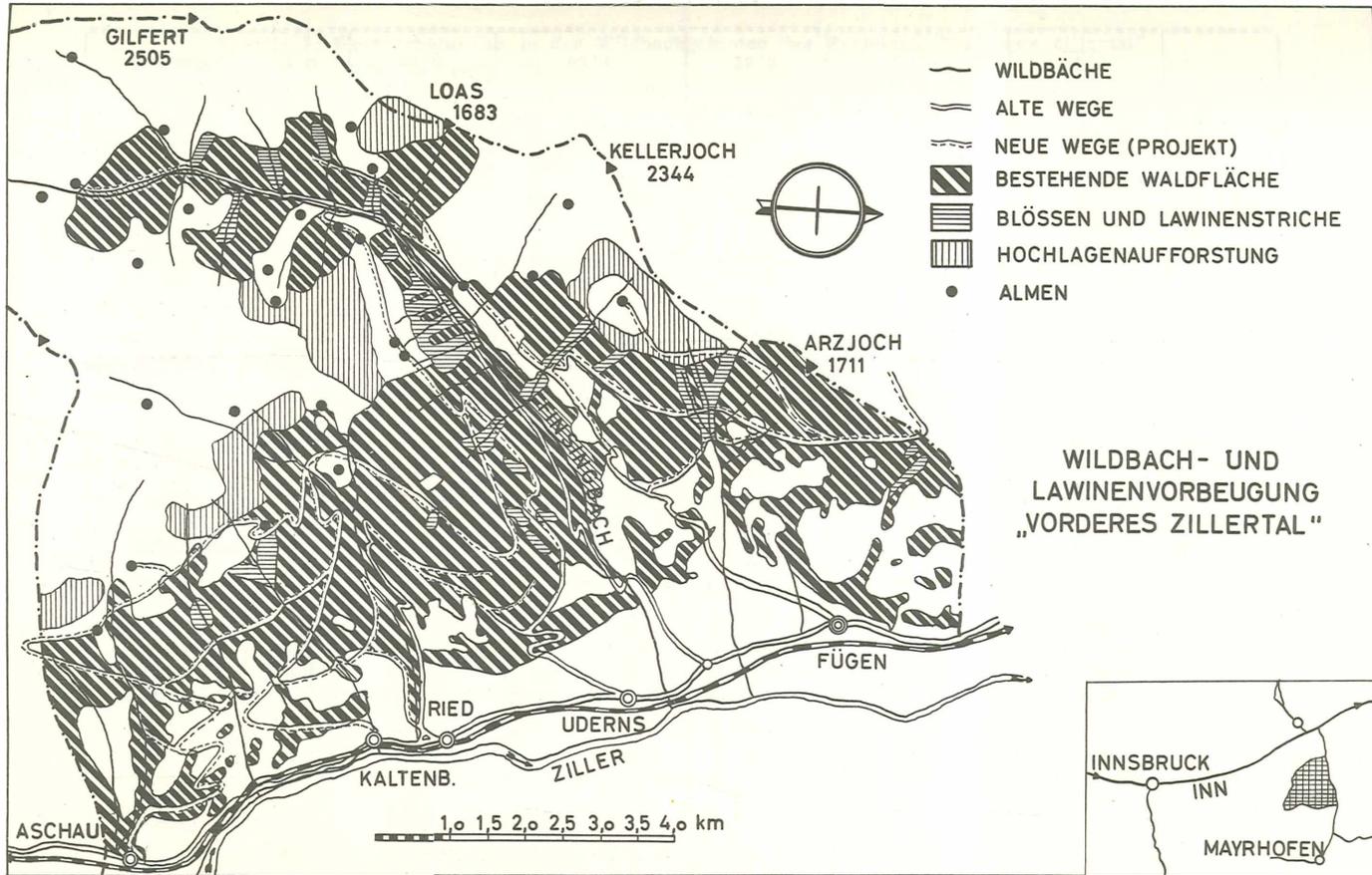


Abb.208: Karte des Projektgebietes "Vorderes Zillertal" (Maßstab 1 : 100.000)

Tabelle 1: Verbauungskosten und Ersparnis durch das Vorbeugungsprojekt "Vorderes Zillertal". Stand vom Jahre 1959.
Das Areal von mehreren Gemeinden zugleich kann einem Wildbachgebiet angehören.

1	2	3	4	5	6	7	8
Wildbachgebiet des	Einzugsgebiet km ²	Verbauungskosten 1884 - 1945. Mill. öS	Kosten der neuen technischen Projekte nach 1945. Mill. öS	Aufwand von technischen Projekten	Noch zu leistender Aufwand Mill. öS	Von 6 durch Vorbeugungsprojekt eingespart. Mill. öS	Gemeinde
I. Rischbach	4,4		kein Projekt				Fügen - Fügenberg
II. Finsingbach	46,6		30,6	8,4	22,2	<u>17,0</u>	Fügen - Fügenberg Uderns
III. Riedbach	12,0	10,2	21,4	13,4	8,0	<u>3,0</u>	Ried
IV. Kaltenbach	3,0	1,7	2,7	1,4	1,3		Kaltenbach
V. Angererbach	2,8		kein Projekt				Kaltenbach
VI. Aschauerbach	8,2	1,9	8,7	3,3	5,4	<u>3,0</u>	Aschau
Summen:	77,0	13,8	63,4	26,5	36,9	<u>23,0</u>	

Tabelle 2: Wertverhältnisse in den Wildbachgebieten des Projektes "Vorderes Zillertal"
Wert und Stand 1959.

Das Areal von mehreren Gemeinden zugleich kann einem Wildbachgebiet angehören.

1	1 a	2	3	4	5	6	7	8	9
Gemeinde	Einwohnerzahl	Anzahl der landwirtschaftlichen Anwesen u. Almen	Wert in Mill. öS	Anzahl der Häuser von Siedlung u. Gewerbe	Wert in Mill. öS	Waldfläche ha	Wert in Mill. öS	Summe von 3, 5, 7 in Mill. öS	Anzahl der Nchtigungen Sommersaison 1959
I. Fügen - Fügenberg	1826 841	17	11,5	7	1,7	100,0	8,0	21,2	35505 13500
II. Fügen - Fügenberg Uderns	614	46	25,0	102	25,0	375,0	30,0	80,0	33500
III. Ried	435	32	21,6	50	12,0	225,0	18,0	51,6	15200
IV. Kaltenbach	530	37	17,9	30	19,0	125,0	12,0	48,9	13000
V. Kaltenbach		8	3,2			20,0	1,0	4,2	
VI. Aschau	583	37	20,7	20	9,9	190,0	15,2	45,3	11000
Summen:	4829	167	99,9	272	67,6	1035,0	82,8	251,2	121705

der Kulturen mit sich bringt. Weiters sind die Bundesstraße und die Zillertalbahn gefährdet, die beiden Lebensnerven für die Landwirtschaft, das ausgedehnte Fremdenverkehrsgebiet und die Industrie (Sägewerk, Magnesitwerk Lannersbach und Kraftwerke).

Der Wert der gefährdeten Objekte beläuft sich in Summe auf 251 Mill. S (Tabelle 2).

Bei der genaueren Erforschung der Ursachen der großen Wildbachtätigkeit zeigte es sich, daß als solche oftmals nur die Verringerung und Verschlechterung der Waldbestände in den Einzugsgebieten in Frage kommen. Insbesondere im Finsingtal, das durch Überschlägerungen und Lawinenkatastrophen seit 1930 aus einem harmlosen Waldtal in eines der wildbachgefährdetsten Täler Tirols verwandelt wurde. Laut H. SCHIECHTL (1954) verringerte sich die Waldfläche im Finsingtal in den Jahren 1873 - 1951 um ca. 30 % von 15,8 km² auf 10,9 km². Ebenso wurde in Aschau um die Jahrhundertwende durch einen großen Kahlschlag eine Katastrophe ausgelöst.

Wie schon H. WOPFNER (1951) feststellt, hängt der Waldrückgang eng mit der Besiedlungsgeschichte zusammen.

WOPFNER schreibt hiezu:

"Noch in den ersten Jahrhunderten der Baiernherrschaft (6. - 8. Jhdt.) hatte die Siedlung begonnen, zunächst noch vereinzelt, an den Hängen emporzusteigen. Die Bevölkerung wuchs aber mehr und mehr über die bisher verfügbaren Unterhaltsmittel hinaus. Die Landwirtschaft wurde noch sehr extensiv betrieben und benötigte dementsprechend viel Land. In der Viehhaltung überwog im Gegensatz zur Sommerstallfütterung von heute die Weidewirtschaft, die weite Landflächen nur extensiv nutzt. Ein Bauerngut, auf dem sich eine Familie ernähren konnte, mußte drei- oder viermal so groß sein oder über weit ausgedehntere Weiderechte verfügen als heute. In Gebieten alter Siedlung ist daher schon früh eine Landnot fühlbar geworden, nicht Mangel an Land überhaupt, sondern Mangel an nutzbarem Boden innerhalb der bestehenden Flur. Eine Loslösung aus dem Verband der heimatlichen Siedlung war aber mit großen wirtschaftlichen Schwierigkeiten und seelischen Hemmungen verbunden. Entlastung des offenen Landes durch Abwanderung eines Teiles der Landbewohner in die Städte war nur in beschränktem Maß möglich. Die tirolischen Städte, wie sie seit dem 11. Jahrhundert erwachsen, waren zumeist klein, ihre Fähigkeit, ländliche Überschußbevölkerung aufzunehmen, war dementsprechend gering. Abwanderung in entfernte, außeralpine Länder kam noch nicht in Betracht. So entstand am Land das, was man eine relative Übervölkerung nennt; das in Nutzung stehende Land reichte bei der gegebenen Betriebsweise nicht hin, die zunehmende Bevölkerung zu ernähren. Der Landhunger, der sich als Folge einstellte, wuchs zu solcher Stärke an, daß er die Hemmungen, welche der Anlage von neuen Siedlungen und der Waldrodung entgegenstanden, zu überwinden vermochte. Der Landhunger trieb bäuerliche Menschen aus den alten Siedlungen hinauf auf die Höhen und hinein in die Hochtäler, wo sie sich, entgegen den widerstrebenden Naturgewalten und trotz aller wirklichen und eingebildeten Gefahren in harter Arbeit eine neue Heimat schaffen konnten."

Hand in Hand ging damit eine Ausdehnung der Almen, die derart durchgeführt wurde, daß durch Brandrodung größere Flächen dem Walde abgerungen wurden. Durch Einsaat und Düngung lieferten diese

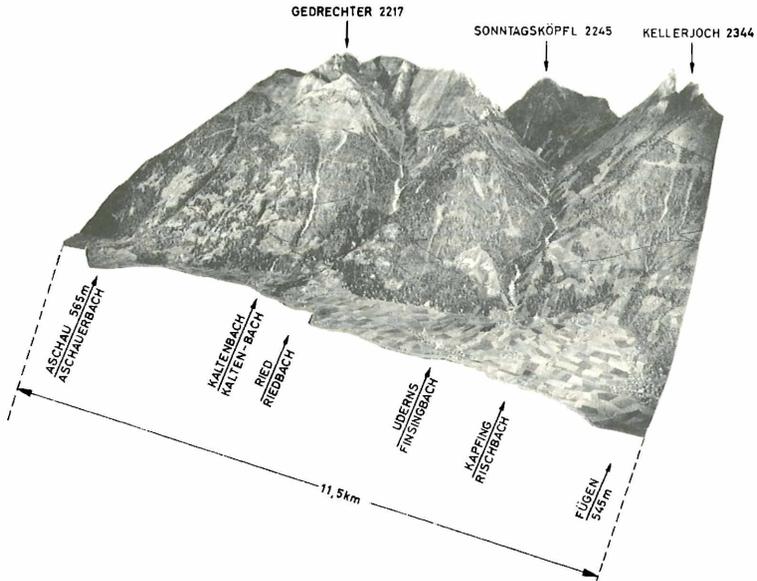


Abb.209: Ansicht des Reliefs "Vorderes Zillertal" (Herstellung W.Nessizius, Wildbachverbauung Innsbruck). Für die Projektierung wurde das oben abgebildete Relief gebaut, dem als Grundlage eine Luftbildauswertung im Maßstabe 1 : 2880 diente

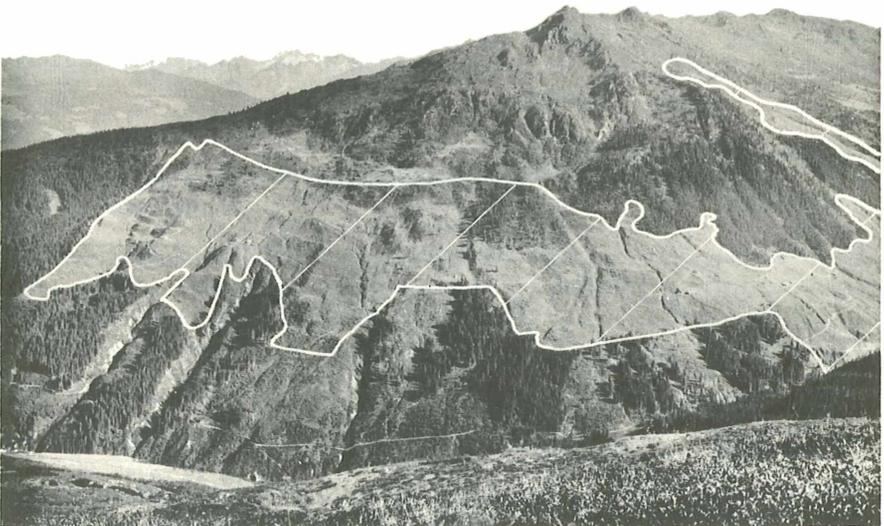


Abb.210: Teilansicht des rechtsufrigen Finsingtalhanges. Die weißumrandete Fläche zeigt die verbleibende Alpfäche; die darunter gelegenen Waldgebiete und das sich oberhalb anschließende Algebiet wurden von der Weide entlastet und sind in Aufforstung begriffen

auch einige Jahrzehnte hindurch befriedigenden Weidegrund. Nach dieser Zeitspanne jedoch verunkrauteten solche Flächen durch Almrosen, Besenheide und Bürstling immer mehr, weshalb der Rodungsvorgang in den angrenzenden Waldgebieten wiederholt wurde. Dadurch kam es zu einer immer größeren Ausdehnung der Alpflächen. Durch die starke Verunkrautung mußten sie extensiv bewirtschaftet werden und der Viehstand (bzw. Futterertrag) stand in keinem Verhältnis zu ihrer Flächengröße. Infolgedessen wurde das Weidevieh dazu gezwungen, zur Futtersuche immer größere Wegstrecken zurückzulegen, wodurch die Milchleistung sank, der Personalaufwand zum Hüten, Milchtragen, Almputzen usw. hingegen stieg.

Parallel mit der Verschlechterung der Alm ging die Verschlechterung des Waldes. Seine jahrhundertelange Zurückdrängung und seine ständige Belastung durch Weide und Streunutzung, besonders an der oberen Waldgrenze und in der Nähe von Almen und Höfen, brachte ihn an den Rand der Vernichtung. Nur die günstige klimatische Lage und die außergewöhnliche Wuchsfreudigkeit auf dem Quarzphyllit verhinderten eine Weiterentwicklung wie im inneren Pitztal, wo diese Belastungen noch wesentlich krassere Folgen zeigten (G. FROMME 1957).

Hiezu kamen im vorderen Zillertal in den letzten Jahrzehnten große Eingriffe durch Menschenhand und Lawinenkatastrophen, die den Wald so rasch reduzierten, daß die Intensität und Gefährlichkeit der bestehenden Wildbäche größer und aus harmlosen Wässern Wildbäche wurden. Aus folgender Tabelle 3 sind der Umfang dieser Belastungen und Überschlägerungen des Waldes ersichtlich, wobei besonders der große Umfang der Waldweidebelastung - auf 2 1/2 ha Wald 1 Rind - und die bis 67 % betragenden Überschlägerungen auffallen.

Tabelle 3: Forstliche Verhältnisse 1953 in den Gemeindewaldungen Fügen Aschau.

Gemeinden	Waldfläche ha	jährl. Zuwachs fm/ha	jährl. Belastung		Überschlägerung in % in den Gemeinden
			Wald- weide	Streu- nutzung	
Fügen Fügenberg	1888 ha	1,70	905- KG	8350 rm	1931 - 1951: 67,7 %
Uderns	308 ha	3,05	180 GR 80 KG	278 rm	1918 - 1953: 49,5 %
Ried	496 ha	2,83	80 GR	295 rm	1918 - 1953: 27,7 %
Kaltenbach	314 ha	1,80	80 GR	300 rm	1918 - 1953: 11,7 %
Aschau	245 ha	2,00			1918 - 1953: +22,7 % = Unterschlägerung
Summe:	3251 ha		985 KG 340 GR	9223 rm	KG = Kuhgras GR = Galtrind

Diese bedrohliche Verschlechterung der Waldverhältnisse und die gleichzeitig zunehmende Wildbachintensität führte zur Notwendigkeit, Maßnahmen zu ergreifen, die dem Wald den ihm gebührenden Standard verschaffen, daß er sowohl seinen Funktionen der Wohlfahrtswirkung in Beziehung Wasserhaushalt und Klimaverbesserung als auch in wirtschaftlicher Hinsicht als Rückgrat der Landwirtschaft im Gebirge gerecht werden kann. Das kann auf die Dauer nicht mit der technischen Wildbach- und Lawinerverbauung allein erreicht werden, sondern es sind auch die ausgedehnten Flächen im Perimeter, aus denen ja das abfließende Wasser kommt, in die Projektierung einzubeziehen und deren Abflußverhältnisse zu verbessern.

Diese Erkenntnisse führten im Jahre 1953 zum Entschluß, die fünf größten Wildbäche in ein forstliches Vorbeugungsprojekt zusammenzufassen. Es wurde daher für dieses Gebiet das "Forstliche Projekt 1953 zur Wildbach- und Lawinenvorbeugung im vorderen Zillertal" ausgearbeitet, dessen Ziel die Gesamtanierung einer Fläche von 10.700 Hektar durch die Wiederherstellung gesunder Verhältnisse in den noch bestehenden Wäldern und durch die Hebung der jetzigen Waldgrenze um rund 300 m ist.

Durch die forstliche Ausbildung der Ingenieure der Wildbach- und Lawinerverbauung war die Ausarbeitung eines solchen forstlichen Vorbeugungsprojektes möglich. Die bestehenden, in Ausführung begriffenen technischen Projekte werden weitergeführt, jedoch in ihrem Umfange zugunsten der forstlichen Maßnahmen beschränkt. Dies besagt, daß ein Teil der vorgesehenen technischen Verbauung zugunsten ausgedehnter Aufforstungen im Einzugsgebiet zurückgestellt wird (siehe Tabelle 1, Rubrik 7). Die technische Verbauung wird also soweit geführt, daß nach Sanierung aller gefährlichen Erosionsstrecken und Geschiebeherde die Gefahr großer Katastrophen gebannt erscheint.

II. Geplante Maßnahmen und ihre Durchführung

Voraussetzung für das Gelingen des Projektes ist die Trennung von Alp- und Forstwirtschaft auf den von beiden Produktionszweigen genutzten Waldflächen und Intensivierung beider Zweige auf den verbleibenden reinen Alp- bzw. Waldflächen. Die Maßnahmen hiezu sind folgende:

A. Alpwirtschaft

Durch Meliorierung von besonders geeigneten Flächen in einem Ausmaße von 463 ha und durch Rationalisierung wird der Ertrag auf den besten Alpflächen dermaßen gesteigert, daß hiedurch der

Ausfall an Waldweide und an abgelegenen, verunkrauteten Alpflächen ausgeglichen werden kann. Die zu treffenden Maßnahmen sind der Bau von Zufahrts-, Trieb- und Düngewegen, die Errichtung von Gülleanlagen, Handelsdüngerversorgung und Einführung des Koppel-Weidebetriebes.

B. Forstwirtschaft

- a) Für die Bewirtschaftung und Pflege der Waldgebiete wird von den 6 Gemeinden ein Wirtschaftsführer (Dipl. Forstingenieur) eingestellt.
- b) Die Aufschließung durch ein Wegnetz bildet die Voraussetzung für eine Umwandlung der durch Beweidung und Schneitelung besonders an der oberen Waldgrenze stark gelichteten und verunkrauteten Bestände in einen Wald mit Dichtschluß von standortsgemäßer Artenzusammensetzung und Zuwachsleistung. (Gesamte Wegelänge lt. Projekt: 70,1 km).
- c) Verbot der Waldweide in einem Umfange von 985 Kuhgräsern und 340 Galtrindern.
- d) Abschaffung der Schneitelung und Bodenstreugewinnung in einem Umfange von jährlich 9223 rm durch Beistellen von Schlagabraum und Streuersatz.
- e) Hebung der bestehenden Waldgrenze von 1.600 m auf ca. 2.000 m durch Aufforstung von verunkrauteten Alpgebieten. Hievon werden sämtliche Nähr- und Sammelgebiete von Wildbächen und Lawinen erfaßt. Die Aufforstungsfläche über der bestehenden Waldgrenze beträgt 611 ha. Die Aufforstung erfolgte unter Berücksichtigung der vorläufigen Forschungsergebnisse der Forschungsstelle für Lawinenvorbeugung.
- f) Aufforstung aller Blößen, Lawenstriche und sonstigen Kahlfächen im bestehenden Wirtschaftswald (442 ha).
- g) Einführung der Regieschlägerung zur wirtschaftlichsten Ausnützung des jährlichen Hiebsatzes.

Das Gesamterfordernis für diese beschriebenen Maßnahmen beläuft sich lt. generellem Projekt 1953 auf 36,4 Mill. S (Wert 1959). Ein großer Teil der geplanten Maßnahmen wurde, wie aus folgendem ersichtlich, seit 1953 bereits ausgeführt, wobei sich ergab, daß sich die Gesamtkosten auf 26,3 Mill. S reduzieren werden.

Bis Ende 1959 wurde folgendes durchgeführt:

- a) Die Bestellung eines Wirtschaftsführers für die 6 Gemeinden.
- b) Aufschließungswege in einer Länge von 33 km auf Kosten der Wildbachverbauung, und in einer Länge von 12,5 km auf Kosten der Gemeinden.
- c) Das Verbot der Waldweide im Umfange von 985 Kuhgräsern und 340 Galtrindern.
- d) Das Verbot der Streunutzung in einem Umfange von 9223 Raummetern jährlich.

e) Aufforstung von Blößen und Lawenstrichen unterhalb der bestehenden Waldgrenze durch die Gemeinden in einem Umfange von 100 ha.

Bei der Durchführung dieser Arbeiten zeigte es sich, daß nicht der volle Projektumfang von der Wildbachverbauung ausgeführt werden muß, sondern daß ca. die Hälfte des Wegenetzes (ca. 35 km) und die Aufforstungen unterhalb der bestehenden Waldgrenze von den Interessenten selbst ausgeführt werden können. Die Trennung der Wegebauten zwischen Wildbachverbauung und Gemeinden erfolgte derart, daß die Wildbachverbauung die vom Talboden bis zur Waldgrenze reichenden Hauptwege baut, während die Zubringerwege hiezu von den Gemeinden finanziert werden.

Im gesamten erforderten die angeführten bisherigen Arbeiten einen Aufwand von 16,8 Mill. S (Wildbachverbauung 14,8 Mill. S, Gemeinden 2,0 Mill. S), sodaß noch bis zur Fertigstellung des Projektes von der Wildbachverbauung 6,5 Mill. S und von den Gemeinden 3,0 Mill. S zu leisten sein werden (Tabelle 4).

Tabelle 4: Das Projekt "Vorderes Zillertal" und der Stand seiner Ausführung Ende 1959.
Siehe zum Vergleich die Übersichtskarte (Abb. 208).

	1	2	3	4	5	6
	Projekt 1953	Ausgeführt		Noch auszuführen		Summe 2 5
		von WLV	von GMD	von WLV	von GMD	
Gesamterfordernis	36,4 Mill.	14,8 Mill.	2,0 Mill.	6,5 Mill.	3,0 Mill.	26,3 Mill.
Wege km	70,1 km	33,0 km	12,4 km	2,5 km	22,5 km	70,4 km
Waldweideablöse		1325 Kühe				1325 Kühe
Streunutzungsablöse		9223 rm				9223 rm
Einzäunung	44,1 km	14,5 km		18,0 km		32,5 km
Alpmeliorierung (463 ha)	0,9 Mill.	0,86 Mill.		1,5 Mill.		2,36 Mill.
Aufforstung über der bestehenden Waldgrenze	611,4 ha	250,0 ha		300,0 ha		550,0 ha
Aufforstung unter der bestehenden Waldgrenze	442,0 ha		100,0 ha		100,0 ha	200,0 ha

Zeichenerklärung: WLV = Wildbach- und Lawinerverbauung, GMD = Gemeinden

Von den geplanten Maßnahmen wurden also etwa zwei Drittel in den letzten sieben Jahren ausgeführt, sodaß jetzt schon Aussagen über den Effekt dieser Maßnahmen gemacht werden können.

III. Die Auswirkungen des Projektes im Gesamtgebiet

- a) Für die Wildbach- und Lawinenverbauung ist der Einfluß auf den Wasserhaushalt entscheidend, der jedoch erst später mit dem Größerwerden der Aufforstungen, dem Gesunden der Bestände und der Böden spürbar sein wird. Durch Einstellen des Weideganges erhöht sich auf den "Trittböden" das Porenvolumen und damit das Speichervermögen. Es wird hier auf die umfangreichen Arbeiten von H. BURGER (1934 - 55) in der Schweiz und J. KARL (1951 - 59) im Allgäu verwiesen. Untersuchungen über die Veränderungen des Wasserabflusses sind auch im Finsingtale im Gange.
- b) Für die Alpwirtschaft ist durch die Intensivierung bereits eine tatsächliche Mehrproduktion von Milch feststellbar, jedoch können hierüber noch keine Zahlen geliefert werden. Der Mehrerlös durch den Abtransport der Milch ins Tal auf dem neuen Weg wurde im Finsingtal genauer untersucht und beläuft sich für den Bauern auf 0,283 Schilling/Liter.
- c) Für die Forstwirtschaft sind die Auswirkungen wirtschaftlich am bedeutendsten, da durch die Aufschließung ein sofortiger Mehrerlös von 160,- S/fm Holz im Mittel erzielt wird und vor allem durch die Gesundung der Bestände im Laufe von 25 Jahren eine Steigerung des mittleren jährlichen Zuwachses um ca. 50 % zu erwarten ist. Für die 6 Gemeinden bedeutet dies bei einer jährlichen Verkaufsmenge von 1,200 fm eine sofortige Mehreinnahme von ca. 0,2 Mill. S jährlich. Die Zuwachssteigerung wird, wie auf Tabelle 5 ersichtlich ist, Mehreinnahmen von ca. 1,1 Mill. S jährlich betragen. In dieser Tabelle sind die zukünftigen Erträge der Aufforstungsflächen über der bestehenden Waldgrenze und die Steigerung der Erträge der jetzigen Kampfzone, die durch das Hinaufschieben der Waldgrenze einmal Wirtschaftswald wird, nicht berücksichtigt, da in diesen Höhenlagen die Bedeutung des Waldes vor allem in seiner Schutz- und Wohlfahrtswirkung liegt. Zu Tabelle 5 ist zu den Spalten 2 und 3 (Steigerung des mittleren jährlichen Zuwachses in den Jahren 1953 - 1980 um ca. 50 %) noch einiges zu bemerken. Das geschieht im Folgenden am Beispiel des Gemeindewaldes Fügen Fügenberg, der die größte Zuwachssteigerung von 1,7 fm/ha auf 3,0 fm/ha zu verzeichnen hat. Analog

Tabelle 5: Zusammenstellung über den Mehrertrag und -erlös durch Steigerung des forstlichen Zuwachses.

	Wald- fläche ha	Mittlerer jährlicher Zuwachs in fm/ha		Steigerg. des Zu- wachses 1953-80 fm/ha	Mehrer- trag fm	mittl. Nettopreis ö. S.	jährl. Mehrein- nahmen
		1953	1980				
Fügen Fügenberg	1888	1,7	3,0	1,3	2450	320,--	784.000,--
Uderns	308	3,05	4,0	0,95	290	350,--	101.000,--
Ried	496	2,83	3,5	0,67	330	350,--	115.000,--
Kaltenbach	314	1,8	2,5	0,7	220	350,--	77.000,--
Aschau	245	2,0	2,7	0,7	170	350,--	60.000,--
	3251	2,03	3,09	1,06	3460	329,--	1.137.000,--

gelten dieselben Grundsätze für die übrigen Gemeindewälder.

Als erstes ergibt sich die Frage, warum der jährliche Zuwachs nur 1,7 fm/ha beträgt, obwohl ca. 2/3 der Waldfläche gutwüchsigen Standorten angehören, auf denen stellenweise ein Zuwachs von 4 - 5 fm/ha (Kupplierungen 1957) zu verzeichnen ist. Dies hat seine Ursachen

- 1) in der übermäßigen Schlägerung der letzten 20 Jahre und in großen Lawinen-, Schnee- und Windwurfkatastrophen (ca. 60.000 fm), die zu einer Überschlagerung in den Jahren 1931 - 1951 von ca. 68 % führten,
- 2) in der bisherigen übermäßigen Belastung des Waldes durch Weide (rd. 1000 Kuhgräser sowie Ziegen und Schafe) und Streunutzung (ca. 8000 rm/Jahr),
- 3) in den großen Blößen, die nicht oder nur sehr unvollständig aufgeforstet waren (ca. 110 ha),
- 4) in der Schlägerungsdurchführung nur durch Bezugsberechtigte (ca. 210 Berechtigte), welche zu großen Schäden durch Schlägerung und Lieferung führten,
- 5) in den zum größten Teil schwer aufschließbaren Lagen, die einerseits einen großen Lieferungsverlust bedingten (lt. Wirtschaftsplan 25 %) und eine Vornutzung unmöglich machten.

Mit Durchführung des Vorbeugungsprojektes wurden diese Verhältnisse sofort geändert. Das Verbot der Waldweide und Streunutzung, die Errichtung eines Wegnetzes, die Einführung der Regieschlagerung und die Aufforstung aller alten Blößen veranlaßten den

Wirtschaftsführer der 6 Gemeinden zur Annahme einer Zuwachsteigerung von 1,3 fm/ha. Untermauert wurde diese Annahme durch die Anlage zahlreicher Versuchsflächen und die Durchführung von Probemessungen in den letzten Jahren, die Zuwachsleistungen von ca. 4 fm/ha ergaben.

IV. Die Auswirkungen des Projektes im Finsingtal

Dieses Tal, in dem die Entwaldung am weitesten fortgeschritten ist, nimmt einen wesentlichen Teil der nach dem Vorbeugungsprojekt zu sanierenden Flächen ein. In diesem Gebiet wurde im Jahre 1953 mit der Durchführung des Projektes begonnen und die hierfür geplanten Maßnahmen fast zur Gänze ausgeführt. Dadurch kann deren wirtschaftliche Auswirkung hier am besten beurteilt werden. Wohl sind die Auswirkungen auf die Forstwirtschaft und Wildbachverbauung bereits im gesamten Projektsgebiet zu erkennen und daher im vorgehenden Kapitel behandelt worden. Die Auswirkungen auf die Alpwirtschaft sind hingegen bis jetzt nur im Finsingtal erkennbar und erfaßbar, weil hier die Almmeliorierungsarbeiten bereits durchgeführt, im übrigen Gebiet jedoch erst begonnen sind (Abb. 210).

A. Allgemeine Beschreibung

Das im Jahre 1951 ausgearbeitete technische Detailprojekt für das Finsingtal sah mit einem Aufwand von 23,1 Mill. S (Wert 1959) die technische Verbauung des Hauptbaches und seiner 16 seitlichen Zubringer vor, wobei jedoch gegen die Entwaldung als Ursache der Katastrophen keine Maßnahmen vorgesehen waren. Dies führte zur Überlegung, die technischen Verbauungen nur soweit auszuführen, daß damit ein vorläufiger Schutz der Siedlungen erreicht wird, dagegen die übrigen technischen Verbauungen zugunsten umfangreicher forstlicher Sanierungsarbeiten im Einzugsgebiete zurückzustellen.

Es wurden daher mit einem Gesamtaufwand von 8,4 Mill. S (Wert 1959) im Hauptbach einige große Stausperren errichtet, die in der Lage sind, das bei eventuellen Katastrophen aus dem rückwärtigen Talgebiet kommende Geschiebe aufzufangen. Die 2 weiter talaus mündenden Seitengräben mußten technisch verbaut werden. Nach Ausführung dieser Sicherung für die Ortschaft Uderns konnte die forstliche Sanierung des Einzugsgebietes in Angriff genommen und hierfür das forstliche Vorbeugungsprojekt ausgearbeitet werden, welches für das Finsingtal mit einem Aufwand von ca. 20 Mill. S die Erstellung eines Wegnetzes von 31 km Länge, 31 km Einzäunung, die Ablöse der Waldweide und Streunutzung und Aufforstung von 470 ha über der bestehenden Waldgrenze vorsah. Der Großteil dieser geplanten Maßnahmen kam in den Jahren 1953-1959 mit einem Aufwand von 10,2 Mill. S zur Ausführung. Der genauere Umfang ist aus Tabelle 6 ersichtlich.

Tabelle 6: Stand der Vorbeugungsarbeiten im Finsingtal. Wert und Stand 1959

Nr.	Kosten Mill. öS	Wege km	Wald- Alpmelio- rierung Mill. öS	Weide Ablösen der Waldweide Kuhgräser	Einzäunung km	Aufforstung ober der Waldgrenze ha	unter der Waldgrenze ha
1 Forstliches Vorbeugungs- projekt 1953	20,1	31,4	0,63		31,3	473	287
2 Von WLW bis- her geleistet	9,6	15,9	0,86	890	14,5	250	
3 Von Gemeinden geleistet	0,6	2,9					46
4 Summe 2 + 3: Bisherige Ge- samtleistung	10,2	18,8	0,86	890	14,5	250	46
5 Von WLW noch tatsächlich zu leisten	2,0		0,4		5,0	100	
6 Von Gemeinden noch tatsächlich zu leisten	1,4	9,5					80
7 Summe 5 + 6: Im gesamten noch tat- sächl. zu leisten	3,4	9,5	0,4		5,0	100	80
8 Summe 4 + 7: tat- sächliches Gesamt- erfordernis	13,6	28,3	1,26	890	19,5	350	126

B. Wirtschaftliche Auswirkungen

a) Wildbach- und Lawinenverbauung

Es wird an die Zahlen von H. SCHIECHTL (1954) angeknüpft und diese um die neuzuschaffenden Waldflächen vermehrt:

Jahr:	Waldfläche:	% des Einzugsgebietes
1873	15,8 km ²	33,9 %
1954	10,9 km ²	23,4 %
Nach Projekts- vollendung (ca. 1962)	15,7 km ²	33,7 %

Mit der Vermehrung der Waldfläche um 476 ha und Gesundung der bestehenden Waldbestände sind die Einzugsgebiete der aktiven seitlichen Wildbäche bestockt und hiermit jener Zustand wieder hergestellt, der herrschte, als der Finsingbach noch kein Wildbach war. Der Aufwand hiefür von 13,6 Mill. S ist gerechtfertigt, da hiermit die Existenz der Ortschaften Fügen-Fügenberg, Uderns (Wert des geschützten Gebietes: 101,2 Mill. S lt. Tabelle 2) als gesichert angesehen werden kann. Außerdem bedeutet dieser Aufwand eine Einsparung von 3,4 Mill. S gegenüber dem technischen Projekt, nach dessen Ausführung wohl alle Seitengräben verbaut, die Ursachen der Katastrophen jedoch nicht beseitigt wären.

Durch die Hebung der Waldgrenze um ca. 300 m wird der Großteil der Lawinenanbruchstellen einer Sanierung zugeführt. Auf die Notwendigkeit dieser Maßnahmen weist die Tatsache hin, daß in den Lawinenwintern 1951/52 9 von 12 und 1953/54 10 von 12 Almen im Finsingtal schwere Lawinenschäden erlitten hatten.

b) Alpwirtschaft

Nach Fertigstellung von 18,8 km Wegen war es im Jahr 1959 möglich, die Almmilch des vorderen Finsingtales (transportierte Menge ca. 60.000 lt.) täglich in die Sennerei nach Fügen zu führen, was sich so gut bewährte, daß 1960 auch das rückwärtige Finsingtal in die Tallieferung der Milch einbezogen werden soll.

Weiters wird durch die Meliorationen eine Rationalisierung des Alpbetriebes erreicht, deren Umfang in Zahlen noch nicht erfaßbar ist. Jedoch kann bereits gesagt werden, daß schon nach 2 - 3 Jahren auf einzelnen Almen eine Steigerung der Milchproduktion bei gleichem Viehstand zu beobachten war. Dies ist auf die geringere tägliche Marschleistung zurückzuführen, die das Vieh vollbringen muß, um auf der verbleibenden kleineren, in unmittelbarer Umgebung der

Alpe sich befindenden Weidefläche eine bestimmte Menge Futter zu finden. Diese Fläche wurde durch Schwendung, Gülle und Handelsdünger in einen derart guten Zustand gebracht, daß hiedurch der Flächenverlust durch die Aufforstung ausgeglichen wird. Auf der Schlagalm (Finsing) wurden vom dortigen Besitzer Versuche durchgeführt, die eine Ertragssteigerung durch die oben angeführten Maßnahmen auf 207 % ergaben.

Diese Vorteile bedeuten für das Gebiet Finsingtal:

- 1) Einsparung von Alppersonal (8 Alpkäser).
- 2) Einsparung von Holz im Alpgebiet ca. 200 fm
á 200,-- S/fm 40.000,-- S jährlich.
- 3) Bei Talverkauf wurde im Jahre 1959 ein Nettomilchpreis von 2,13 S/lt. erzielt, obwohl die Belastung durch den Transport mit 0,17 S/lt. durch die geringe Milchmenge von 60.000 lt. sehr hoch ist. Bei Abtransport der Gesamtmilchmenge von 290.000 lt. werden die Transportkosten unter 0,1 S/lt. absinken, sodaß der Erlös noch höher sein wird. Bei Verarbeitung der Milch auf der Alpe wird ein Erlös von 1,85 S/lt. erzielt, sodaß die Mehreinnahmen durch den Taltransport (0,28 S/lt.) bei 290.000 lt. 81.000,-- S ausmachen.
- 4) Durch den Talverkauf ist der Absatz der Alpmilch gesichert, denn es kann in der Sennerei am Talboden ein erstklassiges Produkt (z. B. Sennerei Fügen: 80 % der Erzeugung ist Emmentaler Käse I. Qualität) erzeugt werden, dessen Absatz im In- und Ausland gesichert ist.
- 5) Die Rentabilität der Sennerei am Talboden durch Belieferung mit Sommermilch wird erhöht, was am Beispiel Fügen-Finsingtal ca. 30.000,-- S ausmacht.

Finanziell ergibt die Zusammenstellung der Punkte 1-5 Mehreinnahmen von 151.000,-- S jährlich.

Sachlich bedeutet es durch die Erzeugung eines erstklassigen Produktes darüber hinaus die Konkurrenzfähigkeit am ausländischen Markt.

c) Forstwirtschaft

Die forstlichen Mehreinnahmen für das gesamte Vorbeugungsgebiet umfassen:

- 1) Höheren Erlös bei Verkauf des Holzes ab LKW-befahrbarem Weg durch geringeren Aufwand, ohne Qualitäts- und Quantitätsverluste und zwar 160,-- S/fm
600 fm jährl. Verkaufsmenge = 96.000,-- S.
- 2) Bessere Anpassung an die augenblickliche Marktlage, da das Verkaufsholz zu jeder Jahreszeit geliefert werden kann. Bei Durchforstung sind die jeweiligen gewünschten Sortimente leichter lieferbar.
- 3) Entscheidend ist die allmähliche Steigerung des Zuwachses

von 1,7 fm und 1,3 fm auf 3,0 fm in den nächsten 25 Jahren. Dies bedeutet nach diesem Zeitraum einen Mehrertrag von 1.888 ha mal 1,3 fm/ha = 2.450 fm mal 320, -- = 784.000, -- S

4) Die Auswirkungen einer Katastrophe (Schädlinge, Schnee, Wind) sind bei Vorhandensein eines Wegenetzes viel geringer, da die Holzablieferung sofort beginnen und auch aus Lagen durchgeführt werden kann, die sonst nur sehr schwierig bringbar sind. Dies zeigte sich bei der Schneebruchkatastrophe im Oktober 1958, bei welcher das gesamte Waldgebiet der Gemeinden Fügen und Fügenberg in einem Umfang von 12.000 fm betroffen wurde. Das in den letzten Jahren gebaute Wegenetz brachte gegenüber den Bringungsverhältnissen vor Erstellung des Wegenetzes Mehreinnahmen in der Höhe von 2,2 Mill. S. Dieser Betrag setzt sich wie folgt zusammen:

1959: Menge 7.500 fm

1) Kostenunterschied in der Lieferung zwischen Erdriesen und LKW-Transport	40,-- S/fm x 7.500 fm	300.000,-- S
2) Mehreinnahmen durch Vermeiden der Lieferungsverluste (qualitäts- und mengenmäßig)	70,-- S/fm x 7.500 fm	525.000,-- S
3) Mehreinnahmen durch früheren Holzverkauf	40,-- S/fm x 7.500 fm	300.000,-- S
4) Mehreinnahmen für Sonderqualitäten (Stangen- und Bauholz)	110,-- S/fm x 1.000 fm	<u>110.000,-- S</u>
		1,235.000,-- S

1960: Menge 4.500 fm

Mittlerer Mehrerlös

	140,-- S/fm x 4.500 fm	630.000,-- S
Ohne Wegenetz würden ca. 1.200 fm in nicht bringbaren Lagen ungenutzt bleiben, obwohl sie wegen der Käfergefahr verarbeitet werden müßten. Bei einem Mittelpreis von 300,-- S/fm ergibt dies	300,-- S/fm x 1.200 fm	<u>360.000,-- S</u>
	Zusammen:	2,225.000,-- S
		=====

5) Das forstliche Wegenetz übt eine nicht vorhergesehene Anziehungskraft auf den sehr intensiven Fremdenverkehr dieser Gegend aus. (Die Intensität ist aus der Anzahl der Nächtigungen in der Sommersaison 1959 zu ersehen: Gmd. Fügen: 35.000, Fügenberg: 13.000, Uderns: 33.000). Es bedeutet eine Steigerung der Ausflugsmöglichkeiten, von der sehr Gebrauch gemacht wird, wie die 800 Autos beweisen, die im Sommer 1959 den Forstweg Fügenberg-Geols benützten.

Zusammenfassung

Im vorderen Zillertal in Nordtirol werden seit 1953 in den Einzugsgebieten fünf großer Wildbäche (Gesamtfläche 107 Quadratkilometer) umfangreiche forstliche Sanierungsarbeiten ausgeführt. Es sind der Bau von 70 Kilometern Wegen, die Waldweideablöse im Umfange von 1325 Kuhgräsern, die Streunutzungsablöse im Umfange von 9.223 Raummeter, 32,5 Kilometer Einzäunungen, 200 Hektar Blößenaufforstungen und 550 Hektar Hochlagenaufforstungen (zwischen 1600 und 2000 Meter Seehöhe) vorgesehen.

Von diesen Maßnahmen sind bereits drei Viertel ausgeführt, sodaß sich die Auswirkungen zum Teil bereits jetzt feststellen lassen. Sie sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

	sofortige Auswirkung	Auswirkung nach ca. 25 Jahren
Wildbach- und Lawinerverbauung	Erschließung der Einzugsgebiete der Wildbäche durch ein Wegenetz, wodurch die notwendigen technischen Verbauungen ausgeführt werden können	Forstliche Sanierung der Einzugsgebiete von 16 Wildbächen und 9 Lawinen
Alpwirtschaft	151.000, -- S Mehrerlös und Konkurrenzfähigkeit am ausländischen Markt durch Erzeugung eines erstklassigen Produktes	noch nicht ermittelbare Ertragssteigerung durch Intensivierung
Forstwirtschaft	96.000, -- S Mehreinnahme und die Möglichkeit der Bestandspflege durch das Wegenetz	784.000, -- S Mehreinnahme und gesunde Bestände
	247.000, -- S Mehreinnahmen/jährlich	784.000, -- S Mehreinnahmen/jährlich

Literatur

- BURGER H. 1934 - 55: Einfluß des Waldes auf den Stand der Gewässer, Mitt. d. Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Bd. 18, 23, 31.
- FROMME G. 1957: Der Waldrückgang im Oberinntal. Mitt. d. Forstl. Bundes-Vers. anst. Mariabrunn, H. 54, 221 Seiten.
- KARL J. 1951 - 59: Berichte über die Erosionsforschung im Hochallgäu (2. bis 8. Bericht). Herausgegeben von J. A. Huber, Naturschutzstelle für den Regierungsbezirk Schwaben, Dillingen.
- SCHIECHTL H. 1954: Die Folgen der Entwaldung am Beispiel des Finsingtales in Nordtirol. Zentralblatt f. d. ges. Forstwesen, Wien, H. 1/2.
- WOPFNER H. 1951: Bergbauernbuch I, Tyroliaverlag Innsbruck.

E. Praktische Erfahrungen bei der Hochlagenaufforstung im vorderen Zillertal

von S. Stauder

Inhalt	Seite
I. Aufgabe	745
II. Gegebenheiten	745
III. Durchführung der Vorarbeiten	746
A. Erschließung	746
B. Almmelioration	746
C. Trennung von Wald und Weide	746
D. Windverbauung	747
E. Einzäunung	747
IV. Die Hochlagenaufforstung	747
A. Allgemeines	748
B. Bisherige Leistungen	749
C. Erfahrungen	749
D. Die Pflanzung	751
1. Die Anzucht von Pflanzen	751
2. Die Lochpflanzung	752
a) Arbeitsgerät	752
b) Durchführung	752
c) Händische Pflanzlochherstellung	753
d) Mechanische Pflanzlochherstellung	753
e) Das Setzen der Pflanze	753
3. Die Klemmpflanzung	754
4. Vergleich der Kosten zwischen Loch- und Klemmpflanzung	755
E. Die Saat	755
F. Aufforstungserfolg	757
G. Aufforstungskontrolle	759
Zusammenfassung	760
Literatur	762

Manuskript abgeschlossen im Mai 1961

I. Aufgabe

Das im vorhergehenden Kapitel beschriebene forstliche Sanierungsprojekt "Wildbach- und Lawinenvorbeugung Vorderes Zillertal", war in der Natur auszuführen, wobei die Wildbachverbauung folgende Arbeiten zu leisten hatte:

Tabelle 1: Arbeitsumfang

Stand: Ende 1960

	Projekt		hievon bereits ausgeführt:	
Wegaufschließung	35	km	35	km
Almmeliorierung	463	ha	195	ha
Trennung von Wald u. Weide	1325	Kühe	1325	Kühe
Ablöse der Streunutzung	9223	rm/jährl.	9223	rm/jährl.
Einzäunung	44,1	km	17,5	km
Aufforstung von Hochlagen (zw. 1600 - 2000 m)	611	ha	270	ha
Kosten	21,3	Mill.	16,8	Mill.

II. Gegebenheiten

Topographie, Geologie, Klima und Vegetation wurden bereits im vorigen Abschnitt, Seite 723 ff., beschrieben und werden hier nur kurz wiederholt:

Topographie: Linksufriges vorderes Zillertal, zwischen den Gemeinden Fügen und Aschau. Größe des Sanierungsgebietes 107 km².

Geologie: Grauwackenzone (vorwiegend Quarzphyllit).

Klima und Vegetation: Übergangsbereich vom kontinental getönten Alpenbinnenklima zum ozeanischen Alpenrandklima. Jahresniederschlagsmengen auch in tiefen Lagen über 1000 mm (vgl. Abb. 84, Teil I, S. 269). Fichtenwaldgebiet (Wuchsgebiet I nach TSCHERMAK) bis 1400 m mit Tannen, darüber mit Lärchen gemischt. Reste der Zirbenwaldstufe von 1600 bis ca. 2000 m.

Besitzverhältnisse: Der Wald ist durchschnittlich bis zu einer Seehöhe von ca. 1000 m Privatbesitz und von dort bis

zur Waldgrenze (ca. 1600 m) Eigentum der Gemeinden.
Er ist durch Weide und Streunutzung stark belastet.
Die Almen sind Privateigentum.

Im Folgenden soll nun versucht werden, die bei der Durchführung dieser Arbeiten gemachten Erfahrungen vorläufig zu sammeln. Der Zeitpunkt hiezu ist noch sehr früh, da verschiedene Messungen (z. B. Zuwachs und Ausfälle der Pflanzen) und Versuche noch im Gange sind und erst nach deren Abschluß ein objektives Bild erstellt werden kann. Daher soll dieser Bericht vorläufig nur eine Übersicht über die Arbeitsmethoden, die Organisation der Arbeiten und deren Kosten geben.

III. Durchführung der Vorarbeiten

Bevor mit der Durchführung der Hochlagenaufforstungen begonnen werden konnte, war eine Reihe von Vorarbeiten notwendig, die großteils die Voraussetzung für die Aufforstungstätigkeit bildeten:

A. Erschließung der Hochlagen

Die Wege wurden so angelegt, daß sie den Bedürfnissen sowohl der Land- und Alpwirtschaft als auch der Forstwirtschaft entsprechen. Weglänge: 35 km, durchschnittliche Steigung: 12 %, Nutzbreite: 3,3 m, mit Schotterdecke.

B. Almmelioration

Auf einem Großteil der Almen im Projektgebiet wurde bisher extensiv auf sehr großen Flächen gewirtschaftet, was durch den schlechten Zustand (Verunkrautung und Versteinung) der Flächen bedingt war. Die Aufschließung ermöglichte die Errichtung von Gülleanlagen und die Zufuhr von Handelsdünger, was einen intensiven Betrieb auf kleinerer Fläche ermöglichte. Dadurch wurden abgelegene, schlechte und steile Almflächen für die Aufforstung frei (Aufforstungsfläche im Finsingtal: 370 ha).

Die von der Wildbachverbauung für die Kulturänderung auf diesen Flächen bezahlten Ablösen wurden im Einvernehmen mit dem Amte der Tiroler Landesregierung, Abteilung Alpwirtschaft, für diese Meliorierungen verwendet.

C. Trennung von Wald und Weide

Von dem Waldweideverbot wurden 1325 Kühe auf einer Waldfläche von ca. 2000 ha betroffen. Da die Waldweide zum Großteil ab den Almen ausgeübt wurde, konnte durch die Almintensivierung ein

Ersatz geschaffen werden. Hand in Hand damit ging die Ablöse der Streunutzung in der Höhe von 9223 Raummeter pro Jahr.

D. Windverbauung

In einem Bereiche stärkerer Reliefgliederung und daher sehr unterschiedlicher Schneeverteilung oberhalb der Geolsalpe wurden nach den Richtlinien der Schneeforschung (siehe Abschn. II. A. Seite 605 ff) verschiedene Verwehungszäune und Kolktafeln aufgestellt, um die Schneeablagerung auszugleichen und zu verfestigen.

E. Einzäunung

Die weideentlasteten Waldflächen und die durch die Intensivierung frei gewordenen Almflächen wurden vor ihrer Aufforstung einzäunt.

IV. Die Hochlagenaufforstung

Erst nach Durchführung dieser umfangreichen Vorarbeiten konnte mit der Hochlagenaufforstung begonnen werden.

Das Setzen der Pflanzen ist sozusagen der erfolgreiche Abschluß langer Vorbereitungsarbeiten, die mit der Fühlungnahme mit der bäuerlichen Bevölkerung beginnen und große Eingriffe in die Rechtsverhältnisse erfordern. Manchmal muß die Denkungsweise des Bauern eine völlige Umkehr erfahren. Häufig ist im Bauern von altersher die Ansicht verwurzelt, daß das Roden eines Stückes Wald eine ehrliche Leistung und ein Verdienst sei und daß die Waldfläche nur dazu da sei, durch ihre Beweidung und sonstige Nutzung den Ertrag der Landwirtschaft zu steigern. Diese Ansicht war durch die historische Entwicklung bedingt die in Tirol allgemein gültige. Erst durch die Wirtschaftsuntersuchungen von FROMME (1957) und SCHIECHTL (1954) wurde auch dem Bauern klar, daß der Wald im Gebirge durch seine Wohlfahrtswirkung und nicht durch seine Futterlieferung der Garant der bäuerlichen Existenz ist.

Im vorhergehenden Abschnitt (Seite 721 ff.) wurde das Wildbach- und Lawinenvorbeugungsprojekt "Vorderes Zillertal" beschrieben, das 1953 begonnen und jetzt (Dezember 1960) zu ca. 2/3 ausgeführt ist, wodurch die bis jetzt durchgeführten Arbeiten rückblickend beurteilt werden können. Als schwierigste, jedoch dankbarste Aufgabe erschien dabei, das Umdenken der bäuerlichen Bevölkerung einzuleiten, sie zu überzeugen, daß der Wald ihr bester Verbündeter im Kampf gegen die Natur ist und daß mit seinem Zugrundegehen auch die Landwirtschaft im Gebirge Schaden nehmen muß. Ist es doch für den Bauern ungewöhnlich, wenn er zur Sicherung seiner Existenz landwirtschaftlich genutzte Flächen für die Aufforstung zur Verfügung stellen muß und hierdurch nicht nur seine Existenzsicherung, sondern sogar noch eine Rationalisierung seiner Wirtschaft erzielt wird. Er muß also auf die Ziegenhaltung verzichten,

darf den Wald nicht mehr beweiden, muß seine Streu statt vom Wald von der Genossenschaft beziehen und muß vor allem oberhalb der Waldgrenze ausgedehnte Almflächen seines Eigenbesitzes zur Aufforstung zur Verfügung stellen. Dies wird kompensiert durch Meliorierung seiner verbleibenden Almflächen und durch eine Aufschließung. Entscheidend hierbei war das große Vertrauen, das die Gemeindevertreter und Bauern zum Bauleiter hatten, der schon 25 Jahre in dem Gebiet tätig war. Während nur einige den Sinn der Maßnahmen verstanden, sagte der Großteil: "Verstehen tun wir es nicht, aber wenn die Wildbachverbauung es macht, wird schon was dran sein und deshalb tun wir mit." Dabei zeigte es sich, daß der Bauer dann, wenn er Besitzer der Alm im Einzugsgebiet des Wildbaches ist und am Schuttkegel dieses Baches seinen Besitz hat, sodaß er im Gefahrenbereich des Baches liegt, leichter als Mitarbeiter zu gewinnen ist.



Abb. 211: Teilstück der Aufforstungsflächen im vorderen Zillertal oberhalb "Geolsalpe" bei ca. 1900 bis 2000 m Seehöhe. Die großen Pflanzlöcher (dunkle Punkte im Bild) werden bereits einige Monate vor der Verpflanzung händisch hergestellt. Sie erhöhen die Bodenrauhigkeit und vermindern damit die Gefahr von Schäden durch Schneegleiten

A. Allgemeines

Die Hochlagenaufforstung umfaßt ein Gebiet, welches an die bestehende Waldgrenze (im Mittel bei 1600 m) anschließt und von dort entweder bis zur Wasserscheide oder bis zu einer Höhe von ca. 2000 m reicht (Abb.211). Durch die starke Gliederung des Geländes sind sämtliche Expositionen und Hangneigungen bis ca. 60° vorhanden.

Die Vegetation wird je nach Seehöhe, Exposition, Untergrund und frühere Bewirtschaftung von Pflanzengesellschaften der Zwergstrauchheide gebildet, die von der Alpenrosenheide (*Rhododendretum*) bis zur Windflechtenheide (*Alectorietum*) reichen. In diese sind - anteilmäßig sehr unterschiedlich Gräser eingemischt (vor allem *Calamagrostis*), oder die Gräser bilden, vor allem an früher stark beweideten Flachstellen (*Nardeta*) und an Naßstellen (*Deschampsieta*), geschlossene, jedoch flächenanteilmäßig untergeordnete Grasheiden. Als krummholzartige Sträucher sind Grünerlen und Legföhren, daneben verschiedene Weidenarten anzutreffen, die jedoch für die Hochlagenaufforstung von geringer Bedeutung sind. Von größter Wichtigkeit sind dagegen die vereinzelt noch vorhandenen Einzelbäume und Horste von Zirbe, Lärche, Fichte und Flaumbirke, die auf einen früheren Waldwuchs hinweisen.

B. Bisherige Leistungen

Tabelle 2:

Aufforstungsgebiet:	Pflanzenanzahl				Summe
	Zirben	Lärchen	Fichten	Ebereschen	
Gamsstein	32.500	96.000	12.000	77.200	217.700
Geolsalpe	180.700	346.500	283.300	173.300	983.800
Bleichalpe	117.400	34.200	20.000		171.600

C. Erfahrungen

Bei der Holzartenwahl und Verteilung wurde zu Beginn der Arbeiten auf Grund der damals in der Literatur allgemein vertretenen Anschauungen angenommen, daß die Vogelbeere (*Sorbus aucuparia*) wegen ihrer Raschwüchsigkeit als Vorholzart geeignet sei, was sich jedoch bald wegen ihrer Empfindlichkeit gegen Schneedruck und Hagelschlag als Irrtum herausstellte. Aus diesem Grunde wird heute keine Vogelbeere mehr versetzt, sodaß noch die 3 Holzarten Zirbe, Lärche und Fichte in Frage kommen. Die Fichte wird im Anschluß an die bestehende Waldgrenze verwendet, jedoch mit zunehmender Seehöhe immer mehr durch Lärche und Zirbe ersetzt, bis schließlich nur mehr Lärche und Zirbe zur Aufforstung verwendet werden. Der oberste Streifen (ca. 1850 - 2000 m) wird fast nur mehr aus Zirben gebildet. Die Verteilung der einzelnen

Holzarten erfolgt nach den Erkenntnissen der Forschungsstelle für Lawinenvorbeugung, wie überhaupt nach Anlaufen der Forschungsarbeiten die Praxis von dort eine intensive Beratung erfuhr. Hievon werden einige wichtige Punkte angeführt:

- 1) Die bisher eher bergwärts geeigneten Pflanzlöcher wurden nach vorne hängend angelegt, wodurch ein Abfließen des Wassers und der Kaltluft möglich wurde.
- 2) Bei der Pflanzlochherstellung konnte durch Vermischen des A₁-Horizontes mit dem B₁-Horizont auf künstliche Düngung verzichtet werden (Ersparnis ca. 1000,-- S/ha).
- 3) Die Anzucht von Mykorrhizapilzen ermöglichte die Impfung der Pflanzen bereits in den Forstgärten.
- 4) Durch Erkennen der Verteilungsgesetze der Vegetation im Gelände wurde es möglich, für jeden Standort jeweils die richtige Holzart zu finden, was eine Verringerung der Ausfälle bedeutete.
- 5) Bodenkundliche Betreuung der Forstgärten.

Die Erfahrungen bei der bisherigen Aufforstung haben gezeigt, daß im Mittel ein Hektar Aufforstung mit 5.000 Stk. Pflanzen folgenden Aufwand erfordert.

Hacken der Pflanzlöcher:	0,7 S	5.000	S 3.500,--
Setzen der Pflanzen:	0,4 S	5.000	S 2.000,--
Pflanzen:	0,9 S	5.000	S 4.500,--
			<u>S 10.000,--/ha</u>

Bei dem großen Umfang der noch durchzuführenden Hochlagenaufforstungen in Tirol ist eine weitere Senkung der Aufforstungskosten unbedingt anzustreben, wozu die Klärung folgender Fragen beitragen dürfte:

- 1) Verhinderung von Hitze- und Trockenschäden in südexponierten Lagen, besonders bei jungen Kulturen.
- 2) Durchführung von Sommerpflanzung.
- 3) Teilweiser Ersatz der Lochpflanzung durch Klemmpflanzung.
- 4) Die Anwendung von Saaten.
- 5) Die Senkung der Pflanzenkosten bei Zirbe durch Anzucht in hochgelegenen Gärten.
- 6) Maschinelle Pflanzlochherstellung.

Nur durch enge Zusammenarbeit mit der Forschungsstelle wird es gelingen diese Fragen zu klären, um hiedurch die Aufforstungskosten zu senken und in besonders exponierten Gebieten die Aufforstung überhaupt zu ermöglichen.

D. Die Pflanzung

1. Die Anzucht der Pflanzen

Da in den klimatisch extremen Hochlagen normale Handelspflanzen nicht verwendbar sind, mußte eine eigene Anzucht organisiert werden. Entscheidend hierbei ist die Beschaffung von Saatgut aus hierfür geeigneten und ausgesuchten Gebieten, wobei ein gutes Keimprozent nur bei einer größeren Mast und Ernte reifer Zapfen erzielbar ist.

Die Anzucht von Fichte und Lärche erfolgt aus diesem Saatgut in nahe gelegenen Gärten der Bundesforstgartenverwaltung und der Bezirksforstinspektionen, wobei die bodenkundliche und mykologische Betreuung durch die Forschungsstelle für Lawinenvorbeugung erfolgt.

Die Anzucht von Zirben aus Samen von einwandfreier, dem Standort der Aufforstung entsprechender Herkunft wurde anfangs Privatbaumschulen übertragen, was sich aus verschiedenen Gründen nicht bewährte, sodaß eine eigene Zirbenanzucht organisiert werden mußte. Hierbei wurden Keimbeet und Verschulgarten gebietsmäßig getrennt.

Die Keimbeete befinden sich am Talboden (570m Seehöhe)(Abb.212). Dort wird der Samen Anfang April durch Bedecken der Kästen mit einer Kunststoffolie bei Nacht oder schlechter Witterung warm gehalten, wodurch die Keimung ca. 3 Wochen früher erfolgt. Dadurch sind die Pflanzen im August so kräftig, daß sie in den Verschulgarten in 1700 m Höhe verschult werden können. Diese Methode wurde auf Grund der Keimungsuntersuchungen von ROHMEDER und NATHER 1960 erstmals versucht und hat sich gut bewährt. Umfangreiche Erfahrungen hierüber liegen jedoch noch nicht vor (vgl. S.491ff).



Abb. 212: Keimkästen für Zirbensaaten im Zillertal (ca. 500 m Seehöhe). Die Keimkästen sind mit Gittern (gegen tierische Schädlinge) und mit Kunststoffolien (zur Wärmeregulung) abgedeckt

2. Die Lochpflanzung

Gegen die oft sehr starke Wurzelschicht der Zwergsträucher und die Konkurrenz der Bodenvegetation erschien die Lochpflanzung am besten geeignet zu sein, was sich ja auch bei den in Obergurgl durchgeführten Versuchspflanzungen ergab (siehe OSWALD, Abschn. I. F. 1, Seite 465). Aus diesem Grunde wurde die bisherige Aufforstung nach dieser Methode ausgeführt (Abb. 211). Im lockeren Vaccinietum und in den Grasheidengesellschaften dürfte die bedeutend billigere Klemmpflanzung anwendbar sein, weshalb 1960 ein weiterer Versuch mit Klemmpflanzung durchgeführt wurde (Kostenvergleich siehe weiter unten).

- a) Arbeitsgerät: Wegmacherhau (die eine Seite mit Spitze, die andere mit einem Blatt von ca. 15 cm Breite).
- b) Durchführung: Mit dem Blatt der Hau wird aus der Vegetation ein Viereck (Länge Breite 0,4 0,3 m) auf 3 Seiten losgetrennt und dann nach unten abgezogen.

Die auf der umgeschlagenen Vegetationsplage sich befindliche Erde wird in das Loch zurückgekratzt (nährstoffreichste Bodenschichte) und der Boden im Loch mit den tieferen, mineralischen Horizonten gut durchmischt. Wie schon weiter vorne bemerkt, ist die Durchmischung der Bodenhorizonte von größter Wichtigkeit, weil sie einer künstlichen Düngung und Lockerung gleich-

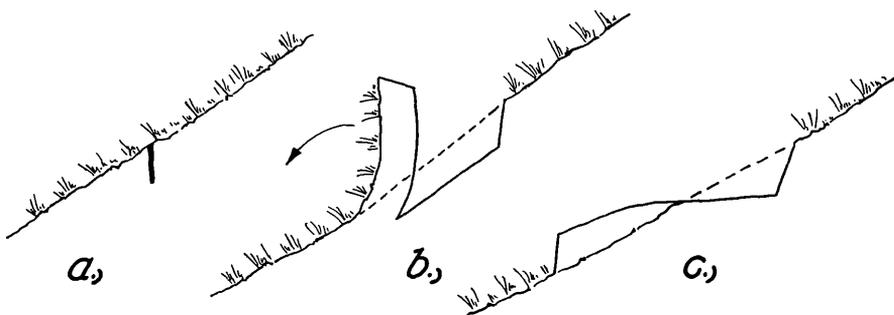


Abb. 213: Schematische Darstellung der händischen Pflanzlochherstellung

kommt. Die anfangs durchgeführte Kalkdüngung (Kosten: ca. 1000,- S/ha) konnte dadurch erspart werden. Die Löcher werden im Sommer gehackt, die Bepflanzung erfolgt entweder im darauffolgenden Herbst oder Frühjahr, wobei pro Loch im Durchschnitt 2 Pflanzen vorgesehen sind.

Die Arbeitsleistung beim Hacken der Pflanzlöcher hängt weitgehend von den Bodenverhältnissen ab, wie schon aus Tab. 3 zu ersehen ist. Bei steinigem Boden erfahren die Durchschnittsleistungen eine Minderung um ca. 25 %.

c) Leistung bei der händischen Pflanzlochherstellung

Tabelle 3: Stundenleistung bei Pflanzlochherstellung

Größe	0,3 x 0,4 m	0,5 x 0,4 m	0,7 x 0,4 m	
Rhododendretum	130	118	111	Stk/10Std.
Vaccinietum	149	133	120	Stk/10Std.

Die wirtschaftlichste und daher angewandte Pflanzlochgröße beträgt 0,3 x 0,4 m, da bei dieser Größe bereits 2 Pflanzen Platz haben.

d) Die mechanische Pflanzlochherstellung

Sie wurde mit Hilfe von Pflanzlochbohrgeräten zweimal versucht und mißlang leider beidemale. Die Bohrer wurden weder mit den elastischen Zweigen der Almrosen noch mit dem Nardusfilz und den Steinen fertig, wozu noch kam, daß diese Geräte zum ständigen Arbeiten in sehr steilem und schwierigem Gelände zu schwer sind.

e) Das Setzen der Pflanze

(a) Zeitpunkt

In die Pflanzlöcher werden durchschnittlich zwei Pflanzen gesetzt, wobei man nicht die Wahl zwischen Frühjahrs- und Herbstpflanzung hat, sondern froh sein muß, die Pflanze zu einem der beiden Zeitpunkte überhaupt hineinzubringen.

Die Frühjahrsaufforstung beginnt durchschnittlich Ende Mai und muß in ca. 2 Wochen zu Ende sein, weil sonst die Pflanzen in den Quartieren bereits zu stark treiben und man mit der Pflanzung in die sommerliche Hitze hineinkommt. Sie hat die Nachteile, daß die Pflanzen den Winter über im Aufforstungsgebiet eingeschlagen werden müssen und vor allem ein Großteil der Pflanzen die Bodenfeuchte und besondere Bodenaktivität unmittelbar nach der Schneeschmelze nur mehr zum Teil ausnützen kann.

Die Herbstaufforstung dauert durchschnittlich von Ende September bis Mitte Oktober (2. Schneefall) und hat den Nachteil, daß die Kulturen im Frühjahr wegen Gefahr von Schäden durch Barfröste und Kriechschnee durchgegangen werden müssen.

Diese Schwierigkeiten bei der Aufforstung führten zu einem Versuche mit der Sommeraufforstung (Ende Juli 1960). Einerseits brächte die günstige Jahreszeit sehr gute Leistungen mit sich, andererseits erhält die Pflanze die Möglichkeit, sich bis zu Winterbeginn anzuwurzeln. Das Hauptrisiko dürfte im Witterungsablauf in den Monaten August - September liegen. Unsere Versuche sind noch zu jung, um hierüber etwas sagen zu können.

(b) Leistung beim Pflanzensetzen

Aus folgender Zusammenstellung ist ersichtlich, wie sehr die Leistung von verschiedenen Faktoren abhängig ist.

Tabelle 4: Leistung eines Mannes in 10 Std. mit 5-jährigen Zirben

Wetter:	Schön	700 Stk.
	Regen	600 "
	Schnee (ca. 5 cm)	500
	Frost (ca. 3 cm)	400

Weitere Faktoren, durch welche obige Zahlen wie folgt verändert werden:

Gelände:	steil:	50 Stk.
	flach:	+ 50 "
Vegetation:	Vaccinium:	+ 50 Stk.
	Rhododendron:	50 "
Aufforstung:	neu:	+ 50 Stk.
	nachbessern:	50 "

Die Bodenbeschaffenheit (Rohhumus - mineralisch) ergab keine Leistungsunterschiede beim Versetzen der Pflanzen, ebensowenig die Pflanzlochbeschaffenheit (ob Boden feucht oder trocken). Der Unterschied in der Leistung zwischen männlichen und weiblichen Arbeitskräften betrug ca. 200 Stk./10 Std.

3. Die Klemmpflanzung

Wie schon erwähnt, dürfte die Klemmpflanzung nur in den niederen Zwergsträuchern, die einen sehr geringen Rohhumushorizont aufweisen, und in Rasengesellschaften anwendbar sein. Der Vorteil dieser Methode liegt vor allem in ihrer Billigkeit. Deshalb wurde 1960 versuchsweise eine umfangreiche Klemmpflanzung durchgeführt, von der bisher als Ergebnis nur die Leistungen vorliegen. Das Ausfallsprozent ist frühestens 1962 ermittelbar.

4. Vergleich der Kosten zwischen Loch- und Klemmpflanzung

Tabelle 5: Vergleich der Leistungen und Kosten zwischen Loch- und Klemmpflanzung bei Fichte, Lärche und Zirbe (5000 Pflanzen je ha)

	Fichte und Lärche	Zirbe
Pflanzenkosten: S je Stück	0,4	1,3
Leistung: Stück je Arbeitsstunde		
1. Lochpflanzung		
a) Löcher hacken	24	21
b) Setzer.	80	80
2. Klemmpflanzung	45	40
Aufwand: Stunden je ha		
Lochpflanzung	270	310
Klemmpflanzung	111	125
Kosten: S je ha		
Lochpflanzung	8000	13.400
Klemmpflanzung	5880	12.600

Der Stundenlohn eines Setzers beträgt 20 Schillinge. Der Ausfall kann bei Lochpflanzung mit 20 %, bei Klemmpflanzung mit 40 % angenommen werden.

Aus Tab.5 ist zu ersehen, daß die Klemmpflanzung besonders bei Fichte und Lärche kostensparend ist, während bei Zirbe hiedurch vor allem die ohnehin sehr knappen Arbeitskräfte eingespart werden können.

E. Die Saat

Zur Beschleunigung der Aufforstungen und zur Ergänzung der Kulturen wurden versuchsweise Saaten von Zirbe, Lärche und Fichte angelegt, von denen bisher nur Teilergebnisse vorliegen. Am schlechtesten lief hierbei die Zirbe, am besten die Lärche auf (Abb.214).

Bei der Zirbe sind 2 Gründe für das schlechte Saatergebnis anzu-



Abb. 214:

Dreijährige Lärchensaat im Auf-
forstungsgebiet vorderes Zillertal
bei ca. 1700 m Seehöhe, durch-
schnittlich 25 cm hoch

führen, und zwar:

1. Bei großen Samenmengen (über 400 kg) organisatorische Schwierigkeiten, da der Samen im Herbst so spät geerntet wird, daß eine Saat nur im kommenden Frühjahr möglich ist. Um ein Überliegen des Samens zu verhindern, wird der Samen sofort nach der Ernte in feuchtem Sand stratifiziert und der schon etwas angekeimte Samen Ende Mai im Freiland gestupft. Bei großen Samenmengen ist seine Bewältigung in wenigen Tagen nicht möglich, sodaß es durch Überhitzung und Vertrocknung zu erhöhten Ausfällen kommt. Mit kleinen Samenmengen (unter 400 kg) wurden auf diese Weise sehr gute Keimerfolge erzielt, wobei je Stupfstelle aus ca. 10 Kernen 1-2 Sämlinge kamen. Danach trat die 2. Schwierigkeit, und zwar durch den Zirbenhäher ein. Er gräbt mit Vorliebe zu diesem Zeitpunkt den Kernen nach und vernichtet hiedurch nicht nur den Samen, sondern auch die bereits vorhandenen Sämlinge. Eine Verstärkerung der Zirbensaaten gegen den Häher ist bisher nicht gelungen.

Bei der Lärche sind sehr gute Keimungsergebnisse zu verzeichnen. Die Samen wurden von tierischen Schädlingen verschont und erwiesen sich als sehr hitzebeständig.

Ein ungefähres Keimprozent kann erst nach Auszählen der Versuche angegeben werden. Die Lärche hat im Gegensatz zur Zirbe den Nachteil, daß sie nur auf vegetationslosen Stellen oder in niedere und schütterere Vegetation (Vaccinien, Calluna) gesät werden kann, wobei überdies zuvor der Boden bloßgelegt werden muß.

Die Möglichkeit einer Senkung der Kosten durch Saat wird durch folgende Zahlen belegt:

Leistung Aufwand:

Die Kosten für Lärchen und Zirbensaat sind ungefähr gleich:	
Zeitaufwand 80 Std. x 20,-- S	S 1.600,--
Samen (Lä 2 kg, Zi 20 kg)	" 400,--
	<u>S 2.000,--/ha</u>

F. Der Aufforstungserfolg

Da seit 1953 im Vorbeugungsgebiet Pflanzen gesetzt werden, stehen 8 Jahre zur Beurteilung und zum Vergleich zur Verfügung, wobei die einzelnen Holzarten sehr verschiedene Wuchsleistungen aufweisen. Da Ergebnisse aus den Pflanzenmessungen (siehe Kapitel G) noch nicht zur Verfügung stehen, muß man sich vorerst bei der Beurteilung der Aufforstungen noch auf grobe, beim reinen Betrachten erkennbare Unterschiede beschränken.

1. Vogelbeere

Sie wurde in den ersten drei Jahren in großem Umfang verwendet. Man kam jedoch von ihr ab, da sie der Beanspruchung durch Schnee und Frost nicht gewachsen war. Besonders bei außerzeitlichen Schneefällen (Sommer - Frühherbst) wird sie geknickt, treibt zwar immer wieder aus, erreicht jedoch keine Zuwachsleistung, sondern bestenfalls eine bescheidene Strauchform (Abb.215).

2. Zirbe

Die Zirbe erweist sich als sehr verlässliche Holzart, bei der der Ausfall vom Alter der Pflanze zum Zeitpunkt der Verpflanzung abhängt. Bei Zirbenpflanzen unter 4 Jahren sind Ausfälle bis zu 50 % feststellbar, während Zirben mit 5 - 8 Jahren nur einen Ausfall von 1 - 5 % aufweisen. Die Zuwachsleistungen in den ersten Jahren nach der Aufforstung wiesen in Abhängigkeit vom Gesamalter der Pflanzen eine große Streuung auf, daß Angaben hierüber noch nicht gemacht werden können (Abb.215).

3. Lärche

Sie ist als die dankbarste Holzart anzusprechen, die auf fast allen Standorten gute Zuwachsleistungen (ca. 10 - 15 cm im Jahr) aufweist. Die Ausfälle dürften ca. 30 % betragen und sich vorwiegend auf Pflanzen beschränken, die beim Auspflanzen zu klein (unter 8 cm) und zu spindelig (ohne Nebentriebe) waren (Abb.215).

4. Fichte

Sie wird nur in bescheidenem Umfang im Anschluß an die bestehende Waldgrenze verwendet und hat geringe Ausfälle (ca. 20 %), aber auch geringe Zuwachsleistungen (3 - 5 cm)(Abb.216).

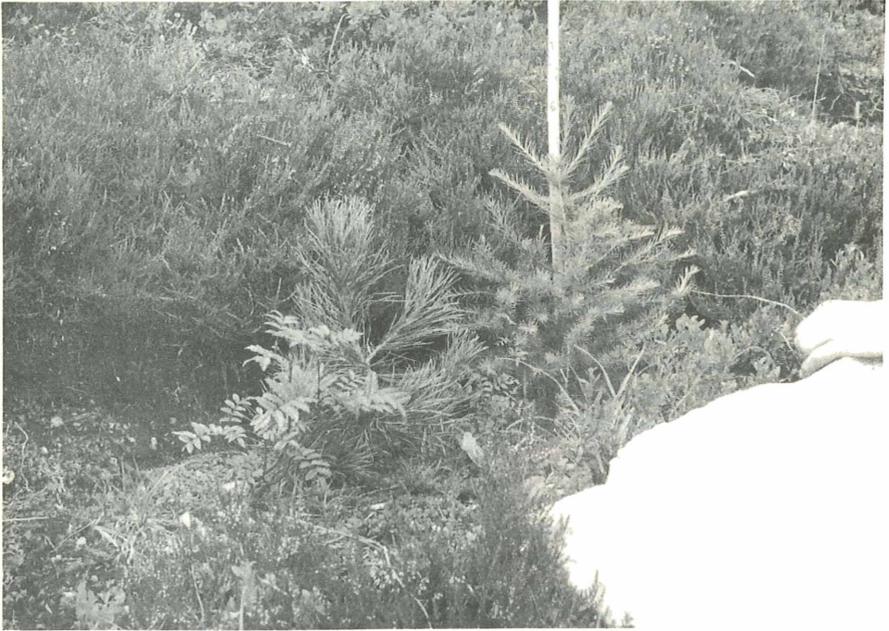


Abb.215: Großes Pflanzloch mit Eberesche, Zirbe und Lärche, alle vor 5 Jahren gepflanzt



Abb.216: Großes Pflanzloch mit 2 Fichtenpflanzen, vor 4 Jahren gepflanzt

G. Die Aufforstungskontrolle

Zur Ermittlung der Zuwächse, Ausfälle, deren Verteilung und Abhängigkeit wurde das Aufforstungsgebiet mit einem Netz von Probeflächen überzogen, in denen von jeder Pflanze die Zuwächse gemessen und alle Faktoren, die hierauf einen Einfluß haben könnten, erfaßt werden. Die Probekreise haben einen Radius von 3,5 m und sind in jeder Richtung 100 m voneinander entfernt. Jede Pflanze erhält eine Nummer und eine genaue Beschreibung in einem hiefür gedruckten Formular (Abb.217). Die Vorderseite erfaßt alle Faktoren, die auf das Wachstum der Pflanze einen Einfluß haben könnten, während auf der Rückseite die Zuwächse vermerkt werden. Die Auswertung dieser Meßdaten soll nach dem Lochkartensystem erfolgen. Bisher wurden in 102 Probekreisen an 3.235 Pflanzen ca. 7.500 Messungen durchgeführt, wozu noch zu bemerken ist, daß nach den Zuwachsmessungen 1962 eine erste Auswertung möglich sein wird.

Wildbach- und Lawinerverbauung **Sektion Innebruck**
Aufforstungskontrolle

Erheber:

1-5 Gebietsangabe - Numerierung
 6 Pflanzjahr
 7 Pflanzzustand z. Zt. d. Pflanzung
 8 Pflanzmonat

9-10 Pflanztag

11 Entnahmemonat im Pflanzgarten .
 12-13 Entnahmetag im Pflanzgarten
 14 Holzart

15-16 Alter

17-18 Provenienz des Saargutes

19-20 Forstgarten

21 Pflanzenabstand 0,35 0,50 0,75 1,00 1,25 1,75 2,00 2,50 3,00
 22 Pflanzmethode L1 L2 L2a L2b L2c La Klein Summ
 Hoch Stüt

23-24 Pflanzlochgröße

25 Pflanzlochbehandlung 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
 26 Pflanzflächenbehandlung 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
 27 Pflanzentransport 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
 28 Einschlagen der Pflanze 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
 29 Hauptabgichtung N ND O SO S SW W NW
 30 Nebenabgichtung N ND O SO S SW W NW
 31 Neigung 0 10 20 30 40 50 60

32-34 Vegetation
 35 Geologie
 36 Bodentypus

37-38 Boden im Pflanzloch

39 pH-Wert 3 3,5 4 4,5 5 5,5 6 6,5 7 8
 40 Düngung 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
 41 Implung 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

42-43 Seehöhe 1000 1050 1100 1150 1200 1250 1300 1350
 1400 1450 1500 1550 1600 1650 1700 1750
 1800 1850 1900 1950 2000 2050 2100 2150
 2200 2250 2300 2350 2400 2400

Jahr	Stammhöhe	Stammdurchmesser	Schäden an der Pflanze	Pflanzenbehandlung
			I II 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
			I II 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
			I II 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
			I II 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
			I II 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
			I II 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
			I II 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
			I II 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
			I II 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
			I II 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Abb.217: Formblatt für die Aufforstungskontrolle (links Vorderseite, rechts Rückseite), etwa auf die Hälfte verkleinert

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit werden die wichtigsten der jetzt schon faßbaren "Erfahrungen" zusammengetragen. Die Arbeiten am Aufforstungsprojekt "Vorderes Zillertal" laufen bis zum Abschluß des Manuskriptes seit acht Jahren. In dieser Zeit sind im Projektgebiet fast 1.4 Millionen Pflanzen gesetzt worden und zwar 477.000 Lärchen, 331.000 Zirben, 315.000 Fichten und 250.000 Ebereschen. Für einwandfreie Ausfallsprozent- und Zuwachserhebungen ist dieser Zeitraum in Höhenlagen zwischen 1600 und 2000 Metern jedoch noch zu kurz. Besonders dann, wenn es um eine Ursachenerhebung geht.

Wohl aber können jetzt schon brauchbare Aussagen über arbeitstechnische und organisatorische Probleme im Zusammenhang mit den Hochlagenaufforstungen gemacht werden.

Die Wichtigkeit einer Regelung der Besitzverhältnisse (die Almen sollen im Besitz der darunterliegenden Bauern oder Gemeinden sein) und einer Trennung von Wald und Weide wird besonders betont. Auch die Zusammenlegung kleiner Wald- und Weideparzellen in Form von Arrondierungen oder zu größeren Wirtschaftseinheiten (Genossenschaften) ist in vielen Fällen Voraussetzung, ehe mit den eigentlichen Maßnahmen im Gelände begonnen werden kann.

Die Anzucht der Pflanzen erfolgt heute nur mehr in den Tiroler Forstgärten aus selbst beschafftem, entsprechendem Saatgut. Die Zirben haben dabei immer die größten Schwierigkeiten bereitet und es blieb uns nicht erspart, einen Verschulgarten an der Waldgrenze anzulegen. Die Auskeimung der Zirben wird also nach wie vor in eigenen Keimkästen in den Forstgärten durchgeführt (ca. 500 m Seehöhe). Das Auskeimen wird dort durch Bedecken der Keimkästen mit Kunststoffolien beschleunigt (erhöhte Temperaturen) (Abb. 212). Unmittelbar nach dem Auskeimen oder als einjährige Sämlinge werden sie in den 1700 m hoch liegenden Verschulgarten gebracht, wo sie mindestens bis zum 4. Lebensjahre, nach Möglichkeit länger, verbleiben. Denn es hat sich als sicher erwiesen, daß ältere Zirbenpflanzen nach ihrer Verpflanzung besser anwachsen und sich rascher auf den neuen Standort einzustellen vermögen als die bisher üblichen dreijährigen Verschulpflanzen.

Saaten im Freiland haben sich bisher mit Lärche gut bewährt (Abb. 214), bei Fichte und Zirbe dagegen weniger. Bei der Zirben-Freilandsaat ist vorerst die Bewältigung von Mengen über 400 kg wegen der Selbsterhitzung des Saatgutes mißlungen. Überdies konnte noch kein wirksames Mittel gegen den Tannenhäher gefunden werden, der die auflaufenden Saaten plündert und vernichtet. Die Saatkosten betragen bei Lärche und Zirbe rund 2.000,-- Schillinge je Hektar.

Die Aufforstungen werden händisch durchgeführt, weil bis jetzt noch kein Pflanzlochbohrer existiert, der die extremen Terrain- und Bodenverhältnisse in der subalpinen Stufe zu bewältigen vermag (Abb. 211).

In der Regel werden die Pflanzlöcher ca. 30 mal 40 Zentimeter groß gemacht, eine Größe, die im Rhododendretum (Alpenrosenheiden) wegen der starken Rohhumusaufgaben und in Grasheiden wegen der Gefahr des Zuwachses nicht verringert werden kann. In den verschiedenen Vaccinieta (Schwarzbeer-, Rauschbeer- und Preiselbeerheiden) sind jedoch kleinere Löcher möglich; sie werden dort wegen der größeren Austrocknungsgefahr vorgezogen. Die Großlöcher werden mit jeweils zwei Pflanzen bestückt. Je Hektar pflanzt man durchschnittlich 5.000 Pflanzen, in Lawinengebieten jedoch entsprechend mehr (bis 10.000 Pflanzen je Hektar). Die Pflanzlöcher sollen nach außen ein Gefälle aufweisen, um der Kaltluft und dem Niederschlagswasser Abflußmöglichkeit zu schaffen. Die Erde der obersten Bodenhorizonte wird im Pflanzloch mit tiefer liegenden Schichten vermischt. Überdies werden die Pflanzlöcher nach Möglichkeit schon einige Monate vor der Pflanzung gehackt; eine natürliche Bodenlockerung ist die Folge. Eine Kalkung hat sich als unnötig erwiesen.

Die durchschnittlichen Aufforstungskosten belaufen sich auf rund 10.000,- Schillinge je Hektar.

Die Auspflanzung von Ebereschen (*Sorbus aucuparia*) selbst bester Tiroler Gebirgsherkünfte hat sich entgegen den Behauptungen in der Literatur nicht bewährt (Abb. 215). Auch die früher geübte Pflanzung von Legföhren (besonders in Form von Heckenpflanzungen vielfach angewandt) hat sich wegen ihrer Langsamwüchsigkeit als nicht besonders vorteilhaft erwiesen. Vielfach kann die Lärche als Pionierholzart verwendet werden, vor allem hinsichtlich ihrer Bodenansprüche. Aber auch die Zuwachsleistungen allein liegen bei der Lärche erheblich über denen von Eberesche, Legföhre oder Grünerle (Abb. 215).

Die ältesten (vor acht Jahren gepflanzten) Lärchen sind heute etwa einen bis zwei Meter hoch (je nach Höhenlage in 1600 bis 2100 m Seehöhe), die Zirben bis zu einem halben Meter. Die Ebereschen dagegen sind heute noch kümmerliche Büsche von einigen Spannen Höhe (Abb. 215). Die bereits erhobenen Messungen lassen infolge der vorläufig zu geringen statistischen Masse und des zu kurzen Zeitraumes derzeit keine erfolgversprechende Auswertung zu.

Mag durch die bisher sich abzeichnenden Erfolge im vorderen Zillertal der Eindruck gewonnen werden, daß die Probleme der Hochlagenaufforstung weitgehend geklärt sind, so muß hier festgestellt werden, daß das Projektgebiet schon am klimatisch günstigeren Nordrand des kontinentalen Wuchsgebietes liegt. Die Standortverhältnisse erreichen daher hier nicht die Extreme, wie wir sie etwa in der Nähe des Alpenhauptkammes bewältigen müs-

sen. Aber selbst in diesem unserem ersten Arbeitsgebiet Vorderes Zillertal bereiten uns noch zahlreiche Probleme schwere Sorgen, etwa die trockenen Südhänge und manche Grasheiden (vor allem die Nardeta).

Diese Fragen kann die Praxis allein nicht klären. Hier beginnt das weite Tätigkeitsfeld der Forschungsstelle für Lawinenvorbeugung, die Mißerfolge und Kosten verringern hilft und auch in schwierigeren Gebieten der subalpinen Stufe die Aufforstung ermöglichen soll.

Literatur

- FROMME G. 1957: Der Waldrückgang im Oberinntal. Mitt. d. Forstl. Bundes-Vers. anst. Mariabrunn, Heft 54
- NATHER H. 1958: Zur Keimung der Zirbensamen. Zbl. f. d. ges. Forstw. Jgg. 75, 61 70
- ROHMEDER E. und LOEBEL M. 1940: Keimversuche mit Zirbelkiefer (*Pinus cembra*). Forstw. Centralbl. Jgg. 62,
- SCHIECHTL H.M. 1954: Die Folgen der Entwaldung am Beispiel des Finsingtales in Nordtirol. Zbl. f. d. ges. Forstw. 73, 13 28
- TSCHERMAK L. 1940: Gliederung des Waldes Tirols, Vorarlbergs und der Alpen Bayerns in natürliche Wuchsbezirke. Zbl. f. d. ges. Forstw. 66, 106 119

F. Grundlagen und Anwendung des vorläufigen Wind-Schnee-Ökogrammes

von H. Aulitzky

Inhalt

	Seite
I. Begriff und Zweck des Ökogrammes	765
II. Allgemeine Grundlagen für die Ökogramm-Anwendung	769
A. Zur Beurteilung der Relief-, Klima- und Bodeneinflüsse	769
B. Die Standortsansprüche der Hauptholzarten	775
1. Die Zirbelkiefer, Arve (<i>Pinus Cembra</i> L.) ..	775
2. Die europäische Lärche (<i>Larix decidua</i> Mill.)	779
3. Die Fichte (<i>Picea excelsa</i> (Lam.) Link.) ...	780
4. Vergleichende Betrachtung der physiologischen Eigenschaften unserer Hauptholzarten und der wichtigsten Standortsanzeiger	781
C. Die Nebenholzarten	789
1. Die Engadiner Kiefer (<i>Pinus silvestris</i> L. ssp. <i>engadinensis</i> (Heer) A. et G.)	789
2. Die Spirke (<i>Pinus uncinata</i> Ramond)	789
3. Die Bergkiefer (<i>Pinus mugo</i> Turra)	789
4. Die Grünerle (<i>Alnus viridis</i> (Chaix.) DC.)	790
5. Die Vogelbeere (<i>Sorbus aucuparia</i> L.)	791
D. Zur Beurteilung und Festlegung der oberen Aufforstungsgrenze	791
1. Lage und Ansprache der thermisch bedingten Waldgrenze	799
2. Lage und Ansprache von windbedingten Aufforstungsgrenzen	800
3. Lage und Ansprache von schneebedingten Aufforstungsgrenzen	803
4. Über bodenbedingte Aufforstungsgrenzen	806
5. Sonstige natürliche und künstliche Aufforstungsgrenzen	807
6. Zusammenstellung der wichtigsten und der empfohlenen Zeigerpflanzen nach ihrem ökologischen Aussagewert	808
E. Jahreszeitliche Gesichtspunkte als Grundlage des Arbeitskalenders für Hochlagenaufforstungen ...	810
III. Die Anwendung des Wind-Schnee-Probeökogrammes .	815
A. Die Grenzen der Anwendung	815
B. Praktische Anwendung	817
Schlußwort	829
Literatur	830

I. Begriff und Zweck des Ökogrammes

Die Forstwissenschaft will letzten Endes in ihren Zielsetzungen der forstlichen Praxis dienen. Über all die vielen Analysen hinweg, die sich aus der Vielschichtigkeit forstlicher Probleme notwendigerweise ergeben, sollte stets der Wunsch nach einer praktisch verwertbaren Synthese erhalten bleiben und letztlich auch verwirklicht werden. Denn die praktische Forstwirtschaft befaßt sich mit dem Standort in seiner ganzen Komplexhaftigkeit. Er muß richtig beurteilt und von andersgearteten insoweit unterschieden werden als anderweitige forstliche Maßnahmen dafür in Frage kommen. Nur eine standortsgemäße Bewirtschaftung kann eine ökonomische und erfolgreiche sein. Die Mitteilung einzelner, für sich durchaus unangreifbarer Analysenergebnisse nützen einer notwendigerweise komplexen Standortsbeurteilung meist nur wenig.

Gerade die subalpine Stufe bietet, je nach dem Grad der Reliefgliederung, ein eindrucksvolles Beispiel einer mitunter geradezu mosaikhaften Standortsunterteilung (AULITZKY 1955, 1958 a und b), wobei mannigfache Wechselwirkungen zwischen Standortsklima einerseits, der Vegetations-, Boden- und Holzartenverteilung andererseits, aber auch zwischen Pflanzen- und Tierwelt und menschlichen Einflüssen bestehen. Daher konnte eine Zusammenschau nur auf der Grundlage einer möglichst ganzheitlichen Betrachtungsweise versucht werden, wie sie etwa der Waldtypologie im Sinne SUKATSCHEWS (1954) entspricht. So wie dieser in seinen forstlichen "Biogeozöosen" bewußt über die bloß vegetationskundlichen Begriffe der Waldassoziation hinausgeht, um der Praxis der Waldwirtschaft zu dienen, so mußte dies auch hier geschehen, um alle waldbaulich wesentlichen Gesichtspunkte am Standort berücksichtigen zu können. Als Beispiele seien hier nur die Zirbensamen-Verbreitung durch den Tannenhäher (*Nucifraga caryocatactes*) oder die Gefährdung der immergrünen Holzarten durch verschiedene Schneeschüttepilze erwähnt, die ganz wesentliche Momente für die Anwendung forstlicher Maßnahmen in der subalpinen Stufe darstellen. Die gleiche Grundauffassung wird in eindeutiger Weise auch von AICHINGER (1960) vertreten, der ebenfalls eine Ergänzung des Waldtyps im Sinne SUKATSCHEWS verlangt.

Jede abschließend ganzheitliche Zusammenschau hätte eine ebenso abgeschlossene Erforschung zur Bedingung. Diese liegt jedoch noch nicht vor, da beispielsweise Verteilung und Standortsansprüche der Holzarten mit unterschiedlicher Intensität behandelt worden sind. Andererseits zeichneten sich aber aus den ökologischen wie physiologischen Untersuchungen Gunst und Ungunst der Standorte angesichts deren Gegensätzlichkeit schon sehr deutlich ab, so daß sich,

zusammen mit bereits Bekanntem, eine recht vielseitige Einsicht ergab. Da in weiten Gebieten Hochlagenaufforstungen seit Jahren in großem Maßstab ausgeführt werden, schien die vorläufige Fassung wichtiger als die letztliche Abrundung. Eine probeweise Fassung des Ökogrammes sollte dem Rechnung tragen.

Die Reliefgliederung erzeugt im unbewaldeten Hochgebirge eine besonders scharfe und an der Vegetation leicht merkliche Standortsunterteilung. Die wiederholt erwähnten Kleinklimagegensätze, die oft dem Ausmaß ganzer Klimazonen entsprechen (AULITZKY 1958 a und b), sind Hauptursache einer scharfen Artenkonkurrenz, die wiederum zum Ausscheiden anspruchsvoller und gleichzeitig zum vorherrschenden (dominanten) Auftreten anspruchsloser Arten führt. Es lag daher der Gedanke nahe, derartige flächenbedeckende Arten vorwiegend als Zeigerpflanzen beim Standortstest zu benützen, also möglichst von dominanten und nicht von vereinzelt vorkommenden Pflanzen auszugehen, um bei der praktischen Arbeit mit einer möglichst geringen Artenkenntnis auskommen zu können. Es ist heute wohl als geklärt anzusehen, daß eine solche Vorgangsweise nicht nur im kühlen-subarktischen Klimabereich, in dem die "nordische", fennoskandisch-russische Schule der Waldtypologie (CAJANDER 1926, du RIETZ 1930) entstanden ist, zulässig ist, sondern auch überall dort, wo es "unter ungünstigen Klimaverhältnissen, wie eben an der oberen Waldgrenze, zur Dominanz und Individuenballung kommt" (AICHINGER 1954, 1960). Die gute Übereinstimmung in der Verteilung der Standorte und der dazugehörigen Zeigerpflanzen gestattet hier (je stärker das Relief gliedert ist, umso genauer) einen Geländetest in dem jeweils erforderlichen Flächenausmaß. Gerade die Möglichkeit, gegebenenfalls auch klein- und selbst kleinsträumige Standortsgegensätze beurteilen und berücksichtigen zu können, ist im Hochgebirge angesichts deren klimazonenungleichen Ausmaßes von entscheidender Bedeutung. Gilt es doch, die Holzarten- und Maßnahmenverteilung dem Grad der jeweiligen Relief- und Standortsgliederung anzupassen, was wegen der mitunter quadratmeterweise auftretenden Gegensätze weder mit Hilfe von Vegetationskarten noch mit Hilfe von Handbüchern erfolgen könnte. Angesichts dieser reliefbedingten Standortsunterteilung liegt die letzte Verantwortung für das Gelingen einer Hochlagenaufforstung jedenfalls bei dem Mann, der die Pflanzen setzt. Daher mußte auch eine Form der Zusammenfassung gesucht werden, die gerade den geschulten Forstarbeiter zur Standortsansprache befähigt, als Voraussetzung für eine standortsgemäße Holzartenwahl.

Aus eben dieser Absicht heraus hat der Verfasser seinerzeit die Aufstellung sogenannter "Ökogramme" (Abb. 230) empfohlen. Im Ökogramm sollten ganzheitlich die jeweiligen standortspezifischen Zusammenhänge so für den Geländetest vereinfacht dargestellt werden, daß den unterschiedlichen Hangflächen mit Hilfe ausgewählter (möglichst dominanter) Testpflanzen auch un-

terschiedliche forstliche Maßnahmen zugeordnet werden könnten (AULITZKY 1955, 1957, 1958 a, b, 1962 a). Das ist natürlich nur möglich, wenn man auf der Grundlage ganzheitlich angelegter (biogeozönotischer) Voruntersuchungen die wichtigsten Ursachen für die als kennzeichnend angesehene Vegetationsverteilung kennt (Gliederung nach klimatisch erforschten "Zonationen" oder "ökologischen Reihen", GAMS 1918), die Lebensansprüche (Optima und Pessima) der Holzarten im gleichen Umfang überblickt, auf Grund beider Unterlagen nun entsprechende Maßnahmen in standortspezifischer Weise empfehlen kann und schließlich durch möglichst genaue Angabe der Grenzen des Anwendungsbereiches eines natürlich stark vereinfachten Schemas einen unbeabsichtigten Mißbrauch zu unterbinden trachtet.

Da es sich aber bei jedem biologischen Problem sowieso stets um vieldimensionale Zusammenhänge, allerdings meist ungleicher Wertigkeit, handelt, die sich graphisch nicht darstellen und leicht verständlich bringen lassen, konnte sich der Verfasser in dem für den Feldgebrauch bestimmten Ökogramm nicht entschließen, über die einfach verständliche zweidimensionale Darstellung der wichtigsten Zusammenhänge hinauszugehen, wofür auch die Arbeit AUERS (1947) Anregungen enthielt.

Selbstverständlich verlangt ein Ökogramm überdies nach einer starken Schematisierung der vorliegenden Ergebnisse und Erkenntnisse, um noch überschaubar zu bleiben. Die Schematisierung geht aber auf Kosten der "vollen Wahrheit", soweit diese heute bekannt ist. Daher kann schon deshalb bei der Anwendung kein voller Erfolg erwartet werden, es sollte jedoch möglich sein, mit einer vielleicht 75-prozentigen Sicherheit die geeignetsten Maßnahmen im Gelände wählen zu können.

Diese schematische Vereinfachung im Rahmen des Ökogrammes sollte aber in der Praxis nicht vergessen werden. Deshalb enthält diese Arbeit über den zur Geländeanwendung bewußt knapp gehaltenen Rahmen des Ökogrammes hinaus u. a. eine Zusammenfassung der Standortsansprüche der Hauptholzarten und grundsätzliche Hinweise zur Ansprache des Standortes und verschiedener derzeitiger oder endgültiger Aufforstungsgrenzen usw., um damit eine Orientierung in weiterem Rahmen und in nicht einfach gelagerten Testfällen zu ermöglichen.

Verhältnismäßig einfach und gleichzeitig auch entsprechend genau wird der Geländetest dann sein, wenn in einem Gebiet die expositionsbedingten Klima-, Boden- und Vegetationsunterschiede so groß sind, daß hier das Gesetz vom "Faktor im Minimum" allein die Vegetations- und Holzartenverteilung bestimmt. In diesem Fall werden sich klare Grenzen zwischen vorherrschenden Pflanzenarten einerseits und allfälligen Vorwüchsen oder Relikten andererseits erkennen und mit Hilfe des Ökogrammes auch interpretieren lassen.

Gerade in diesem Fall ist aber der Test auch von ausschlaggebender Bedeutung, weil am extremen Standort jede falsche Verteilung der Maßnahmen unter allen Umständen ernste Ausfälle nach sich ziehen müßte. Schwieriger wird der Geländetest in weniger gegliedertem Gelände und an weniger extremen Standorten, wenn nicht so sehr ein Faktor allein die Vegetationsverteilung am Standort bestimmt und neben der Artenkonkurrenz auch der Faktor "Zufall" stärker mitwirkt (THIENEMANN 1956). Da aber die Standortsgegensätze hier nicht so groß sind, wird auch ein Fehlschluß bei der Wahl von Holzart und Maßnahme weniger schaden.

Jedes Ökogramm geht von einer "ökologischen Reihe" aus, in der möglichst gesellig auftretende (Test-) Pflanzen nach verschiedenen Abstufungen eines entscheidenden Faktors bzw. eines Faktorenkomplexes geordnet sind. Danach lassen sich im Gelände sogenannte Vegetationszonierungen unterscheiden, wobei die Vegetationsverteilung den bisherigen, jedoch von Standort zu Standort unterschiedlichen klimatischen und edaphischen Gegebenheiten entspricht. Diese lokalen "Zonationen" werden sukzessiv verändert durch das Vordringen der einen oder das Zurückweichen der anderen Art unter dem Einfluß sich ändernder Umweltsbedingungen; es kommt zu einer "Sukzession" (AICHINGER 1949).

Beispiele solcher "ökologischer Reihen" sind auch aus anderen Gebirgsgegenden bekannt geworden, wobei AICHINGER (1951) zusammen mit KÜHNELT auch eingehend die bodenzoologischen Änderungen aufzeigt, ferner von BROCKMANN-JEROSCH (1925 - 29), WENDELBERGER (1951) und von JENIK (1961). Während die in den genannten Arbeiten behandelten Reihen und die vom eigenen Mitarbeiterstab bisher erarbeiteten eine Abstufung gegenüber dem Faktorenkomplex Wind-Schnee darstellen (vgl. Teil I dieses Sammelwerkes; TURNER, S. 265; FRIEDEL, S. 317; NEUWINGER u. CZELL, S. 371), können solche Reihen auch gegenüber den Faktorenkomplexen Temperatur und Wasserhaushalt, ferner hinsichtlich Humusanteil und Einflüssen des Bodenchemismus aufgestellt werden. H. FRIEDEL äußerte wiederholt die Ansicht, daß sich deshalb die wichtigsten Hauptgesetzmäßigkeiten innerhalb der subalpinen Stufe in vielleicht 4 Ökogramme fassen lassen würden (Wind - Schnee, Temperatur - Wasserhaushalt und 2 Bodenökogramme), wobei flächenmäßig den beiden erstgenannten mit ca. 50 bzw. 30 % der in Frage kommenden Flächen die größte Bedeutung zukommen dürfte. Das erste Ökogramm wird in probeweiser Fassung hiemit vorgelegt, das Temperatur - Wasserhaushalts - Ökogramm wird noch eingehender, methodisch schwieriger Untersuchungen bedürfen; hinsichtlich der edaphischen Fragestellungen sei auf die vorliegenden Untersuchungen von NEUWINGER - CZELL (1959) und SCHIECHTL (1958) verwiesen, die bereits ökologische Reihen enthalten.

Selbstverständlich wird in der Natur, wie schon angedeutet, nur selten der Fall vorliegen, daß die Standortbedingungen ausschließlich der in einem Ökogramm enthaltenen Gesetzmäßigkeit allein unterliegen. In allen nicht einseitig extremen Fällen werden sich vielmehr auch die in den einzelnen Ökogrammen zum besseren Verständnis herausgegriffenen Umweltskomplexe gegenseitig überlagern. Das Durchschauen der wichtigsten Einzelkomplexe, die beim Aufforsten zu beachten sind, an Hand der einzelnen Ökogramme wird aber auch in den Übergangsbereichen zwischen mehreren Ökogrammen die Wahl geeigneter Maßnahmen erleichtern. Gerade hier, wenn es um die Entscheidung über die Anwendung des einen oder anderen Ökogrammes oder um deren Kombination geht, hätte später die Einwirkung des akademisch geschulten Forstmannes einzusetzen. Um dann die Entscheidung für das eine oder andere bzw. für die Kombination mehrerer Ökogramme zu erleichtern, ist an die Erstellung eines Ökogramm-Ordnens gedacht, der schon eine grobe Zuordnung der forstlichen Maßnahmen zu den jeweiligen Testpflanzen enthalten sollte.

Das hier vorliegende Wind-Schnee-Ökogramm mag für die windoffenen Nord-Süd-Täler der Ostalpen von größerer Bedeutung sein, während das Temperatur-Wasserhaushalts-Ökogramm bedeutungsvoller für die Ost-West-Täler sein dürfte. Im Humus-Ökogramm sollen die Unterschiede des Boden-Reifegrades zwischen extremen Mineralböden und hohen Rohhumus-Auflagen aufgezeigt werden. In allen hier genannten Ökogrammen geht es nur um die Hochlagenaufforstung im Bereich der aufforstbaren "Kampfbzone", nicht aber um den klimatisch anders zu wertenden und viel ausgeglicheneren Bereich des noch vorhandenen subalpinen Hochwaldes (AULITZKY 1962b, AULITZKY und TURNER; FRIEDEL 1961), weil nur angesichts extremer Umweltsbedingungen ein einfacher Pflanzentest auch einigermaßen eindeutig sein kann. Deshalb nimmt der Verfasser an, daß sich auch überall dort Ökogramme aufnehmen lassen, wo Abstufungen lebensentscheidender Faktoren in extremen Amplituden vorkommen, also nicht nur im Hochgebirge, sondern vielleicht auch im Bereiche von Wüsten, Küsten oder Salzseen, weniger jedoch im klimatisch geschützten Bereich des Waldes.

Soweit dem Verfasser bekannt ist, wurde bisher nur einmal und zwar auf dem Gebiete der Grünverbauung eine in gewisser Hinsicht vergleichbare graphische Zusammenfassung für den Praktiker versucht, die allerdings nur die ökologischen Bereiche für die zu wählenden Holzarten, nicht aber die zu ergreifenden forstlichen Maßnahmen enthielt (GAMS unveröff.).

II. Allgemeine Grundlagen für die Ökogramm-Anwendung

A. Zur Beurteilung der Relief-, Klima- und Bodeneinflüsse

In klimatischer Hinsicht haben wir grundsätzlich folgende Fälle zu unterscheiden:

- a) Wind und Sonne wirken in der Hauptsache aus entgegengesetzten Richtungen auf die Flächen des Kleinreliefs (Normalfall des Ostalpen-Quertales) (Abb. 218). Hier stehen sehr kühle Luv-Schattseiten überaus trockenen und zur Oberflächenüberhitzung neigenden Lee-Sonnseiten gegenüber, weswegen größtmögliche Temperaturgegensätze neben starken Gegensätzen in der Schneebedeckungsdauer zu berücksichtigen sind (Wind-Schnee-Ökogramm).
- b) Wind und Sonne wirken in der Hauptsache aus der gleichen Richtung auf die Flächen des Kleinreliefs (z. B. im südföhnbeeinflussten Wipptal bei Innsbruck) (Abb. 218). Hier stehen etwas weniger ventilierte Schattseiten stärker bewindeten Luv-Sonnseiten gegenüber, weswegen bei etwas geringeren thermischen Gegensätzen als im Fall a) gleichgroße oder

sogar noch größere Gegensätze in Schneebedeckungsdauer und Schneehöhe auftreten können. Auch hier kann das Wind-Schnee-Ökogramm unter Hinweis auf den genannten Unterschied angewendet werden.

- c) Seitliche Windwirkung auf frontal angestrahlte Sonnhänge bzw. auf Schatthänge (Fall der Ost-West-, bzw. der Ostalpen-Längstäler)(Abb.218). Hier stehen zwei Talseiten mit sehr unterschiedlichem Wasser- und Wärmehaushalt mit dementsprechend großen Unterschieden im Verlaufe der Ausaperung einander gegenüber. (Noch zu erarbeitendes Temperatur-Wasser-Ökogramm.)

Im einzelnen sei noch bemerkt, daß die Richtung der jeweils vorherrschenden Bodenwinde aus der Lage des Reliefs ihnen gegenüber resultiert (Abb.218). Betrachtet man zuerst die sogenannten "Gradientwinde" die ihrer Stärke nach allein als schneetransportierende Winde in Frage kommen, so herrschen nördlich des Alpenhauptkammes im allgemeinen die Nordwest-Winde vor, die jedoch je nach der Richtung des Tales zu Nordwinden (Pitztal, Ötztal, Zillertal) oder Westwinden (Inntal, Sellraintal und manche Seitentäler der Nord-Südtäler) werden können. Ausnahmen bilden das südwindbeeinflusste Wipptal und das hintere Zillertal (Abb.218), die durch den tiefeingeschnittenen Brennerpaß und das Pfitscherjoch nach Süden offen bleiben, während gerade diesen Bereich die Innsbrucker Nordkette vor nördlichen Strömungen spürbar schützt.

Der bodennähere Teil der Gradientwindströmungen wird durch den Verlauf der Täler in deren Richtungen gezwungen, der Hauptteil überflutet die Kämme in der ursprünglichen Richtung. Diese Tatsache findet ihren sichtbaren Niederschlag in der unterschiedlichen Lage der Wächten an den Taleinhängen und im Bereich der Kämme.

Nur hinsichtlich der thermischen Bedingungen eines Standortes ist auch noch das sogenannte "tagesperiodische Windsystem" die Talauf- und Hangaufwinde (am Tage) und die Hangab- und Talabwinde (in der Nacht) zu berücksichtigen. Wenngleich die Stärke dieser im wesentlichen auf das Sommerhalbjahr beschränkten Windströmungen sehr gering bleibt, kann durch ihr örtliches Auftreten die Oberflächenüberhitzung vermindert bzw. die Verdunstung und Transpiration gesteigert werden, was vor allem an Sonnhängen von Bedeutung ist.

Die stärksten Effekte der Sonneneinstrahlung sind an SSW- bis SW-Hängen zu erwarten, also an Hängen, die der Nachmittagssonne frontal zugekehrt sind. Schon geringe Abdrehung des Talverlaufes aus nord-südlicher Richtung um wenige Grade kann dem einen Hang den Charakter eines sonn- bzw. schattseitigen Hanges verleihen.

Abb. 228(a) zeigt als Folge dieser Relief- und Klimaeinflüsse sehr große Unterschiede der Schneebedeckungsdauer, dem entscheidenden kleinklimatischen Merkmal der subalpinen Standorte (siehe Seite 811).

Die Standortsdifferenzierung wird auf kleiner Fläche umso stärker sein, je mehr das Relief gegliedert ist, und umso einförmiger sein, je gleichförmiger dieses ist. Im selben Sinne werden sich im Wechsel der kleinklimatischen Bedingungen auch Boden und Vegetation ändern.

Abb. 218: Karte der in Nordtirol während des Winters vorherrschenden, schneetransportierenden Winde in Bodennähe. Die Karte enthält nur dort Eintragungen solcher vorherrschenden Kamm- und Hangwinde, wo deren regelmäßiges Auftreten an Hand von Wächtenbildungen am Ende des Winters (1955 - 1962) festgestellt werden konnte und wo sich dieses Beobachtungsergebnis überdies in einer deutlichen Wind-Schnee-Zonation am Standort bestätigte, jedoch sind Inter- und Extrapolationen für Gebiete ohne Eintragungen möglich, weil der Reliefeinfluß auf das durchschnittliche System der intensitätsstarken Strömungen deutlich erkennbar ist (IBK = Innsbruck, OG = Obergurgl)

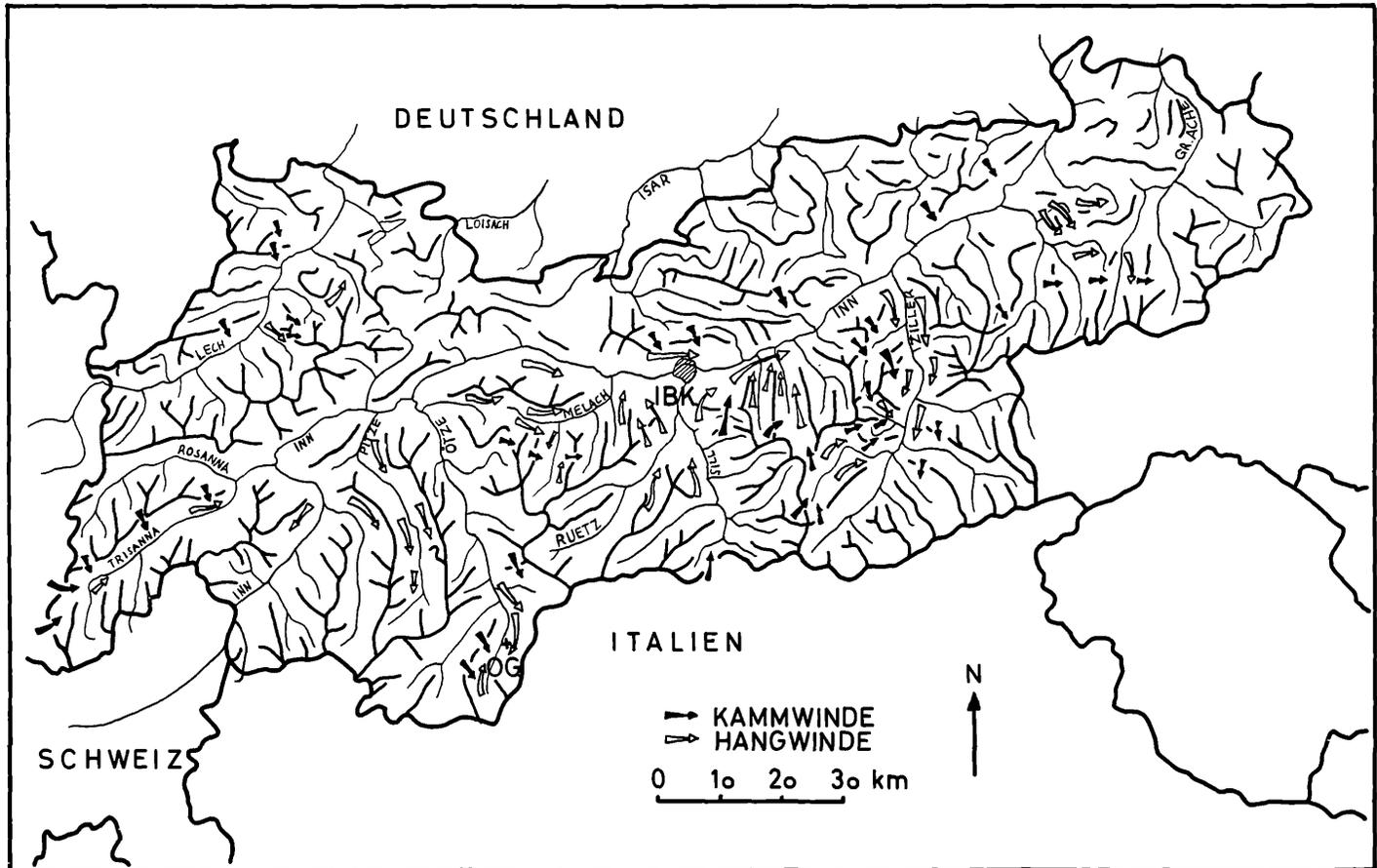


Abb. 219:

Darstellung des Hangklimas am Beispiel des Talquerschnittes bei Obergurgl/Poschach (nach AULITZKY 1962a)

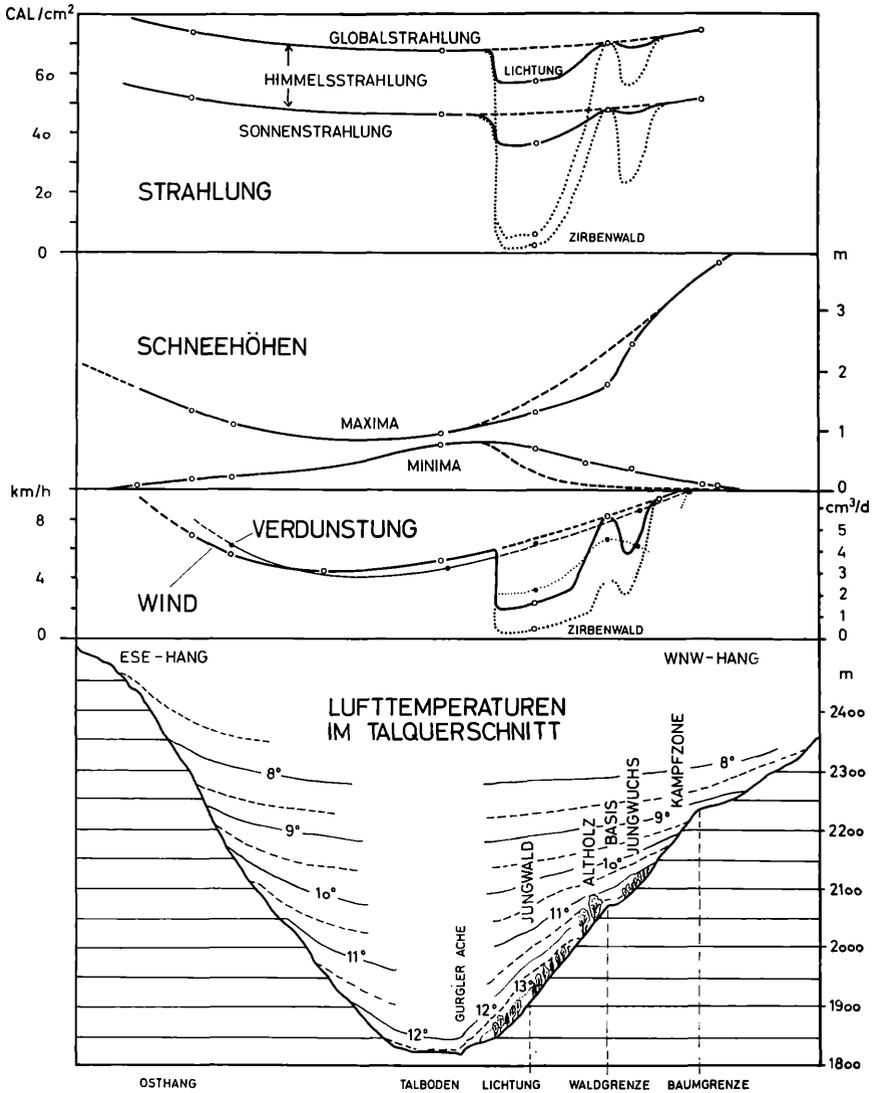
Strahlung: Verteilung der Global-, Himmels- und Sonnenstrahlung während der Vegetationsperiode entlang des Talquerschnittes (in Cal/cm^2). Die ausgezogene Linie entspricht dem WNW-Hang bei lockerer Bestockung (z.B. Lichtung-Mitte), die strichlierte bei fehlender Bestockung und die punktierte bei dichter Bestockung (z.B. Zirbenwald 1920 m)

Schneehöhen: Verteilung der Schneehöhen-Maxima und -Minima im April (in m). Die ausgezogene Linie kennzeichnet die Extremwerte am WNW-Hang im bestockten Bereich; die strichlierte Linie würde für den unbestockten Hang zutreffen (Zeitraum der Messungen: 1955 - 1958)

Wind: Verteilung der mittleren jährlichen Windgeschwindigkeit in 3 m Höhe über dem Erdboden (in km/h). Die dick ausgezogene Linie entspricht geringer Bestockung am WNW-Hang, die dick-strichlierte Linie fehlender Bestockung, die dick-punktierte Linie dichter Bestockung (Zeitraum der Messungen: 25. April 1960 bis 24. April 1961)

Verdunstung: Verteilung der potentiellen Verdunstung in der Höhe der obersten Blattschicht der Bodenvegetation (in cm^3/Tag ; $1 \text{ cm}^3 = 0,768 \text{ mm}$ Verdunstungshöhe). Die dünn strichlierte Linie verbindet die Meßwerte an den wärmsten bzw. windexponiertesten Standorten des WNW-Hanges bei geringer bis fehlender Bestockung, die dünn punktierte Linie an Standorten im Bereich dichter Bestockung (Zeitraum der Messungen: 22. - 24. August, 29. August - 1. September 1962)

Lufttemperatur: Isothermen der mittleren Maxima während der Vegetationsperiode entlang des doppelt überhöhten Talquerschnittes



Entlang eines Talquerschnittes kann man sehr deutlich die Änderung klimatischer Einflüsse verfolgen (Abb. 219), weil mit zunehmender Seehöhe ganz allgemein die Lufttemperatur abnimmt, die Windstärke, Verdunstung und Schneebedeckungsdauer jedoch beispielsweise zunehmen (Niveaueinflüsse nach FRIEDEL). Diese von der Seehöhe bzw. der Höhe über dem Talboden abhängigen Änderungen des Klimas sind neben den Einflüssen des Hangreliefs zu berücksichtigen.

Abb. 219 veranschaulicht überdies, wie sehr diese Relief- und Niveaueinflüsse in ihren ungünstigen Auswirkungen durch Bewaldung der Hänge gemildert werden. So wird z. B. die Windstärke und selbstverständlich auch die Verdunstung durch dichte Bewaldung um das Ausmaß einer Größenordnung vermindert, was z. B. vor allem im klimatisch trockenen Innenalpenraum auch vom Standpunkt des Ertrages der benachbarten landwirtschaftlichen Kulturfleichen von Wichtigkeit ist. Es wird ferner die Ungleichheit der örtlichen Schneehöhen stark verringert, weil durch die Bewaldung das Windfeld turbulent gestaltet wird und demzufolge der Schneeabsatz gleichmäßiger erfolgt (Bestandeslücken bleiben jedoch Schneelöcher!). Ähnlich stark wird auch das Strahlungsklima je nach Dichte der Bestockung verändert, in geringerem Maß die örtliche Lufttemperatur. All dies läßt sehr anschaulich erkennen, daß die örtliche Waldgrenze, sei sie nun natürlich oder künstlich herabgedrückt, in jedem Fall eine überaus scharfe Kleinklimagrenze darstellt. Die sehr unterschiedlichen Gegebenheiten zu beiden Seiten verlangen auch forstlich eine verschiedene Beurteilung.

Die standortgemäße Beurteilung des Aufforstungsgebietes wird bedeutend erleichtert, wenn sie zu einer Zeit geschieht, wo Vegetationsgegensätze und Kleinklimaunterschiede klar hervortreten. Ein in diesem Sinne günstiger Zeitraum hinsichtlich des im Hochgebirge wichtigsten Faktorenkomplexes Wind Schnee ist der Bergfrühling, aber auch die Zeit der herbstlichen Verfärbung.

Man sollte daher im Frühjahr - sei es photographisch oder durch Kartierung die zuerst ausapernden Standorte festhalten, später das Gelände im Zustand der "halben Ausaperung" begehen und schließlich ebenso die zuletzt ausapernden Standorte fixieren. Auf diese Weise ergibt sich schon eine kleinstandörtliche Differenzierung zwischen den beiden extremen und den dazwischenliegenden günstigeren Lebensbereichen und auch für jene Testpflanzen, für die im Ökogramm eine große Amplitude der Schneebedeckungsdauer bzw. der Schneehöhe angegeben werden mußte (z. B. Alpenrosenheide).

Aus dem gleichen Grunde sollten dort, wo immer es betrieblich möglich ist, zwei Jahre hindurch Schneepegelablesungen den Standorttest durch das Ökogramm ergänzen, weil verschiedene Arten große Schneebedeckungsunterschiede zulassen (Alpenrose, Eesenheide, Heidelbeere, Wacholder). Es würde dabei genügen, ein-

zelle Schneepegel an der Grenze und im Optimum solcher Pflanzengesellschaften aufzustellen und möglichst vom Tal aus zum Zeitpunkt der Höchstschneehöhe (etwa im März April) abzulesen, wenn bei der Aufstellung der Pegel schon die Vegetationsgesichtspunkte des Ökogrammes berücksichtigt wurden.

Deckt sich nach dem Ablauf der Ausaperung die vorgefundene Vegetationsverteilung mit den nach dem Ökogramm zu erwartenden Schneebedeckungsunterschieden, so sind diese Vegetationsunterschiede als gesetzmäßig bedingt und nicht mehr als zufällig anzusehen. Ist jenes aber nicht der Fall, wie in Gebieten mit unterschiedlicher Bewindung (z. B. in Teilen des Wattentales, das zwischen dem südwindbeeinflussten Wipp- und dem nordwindbeeinflussten Zillertal liegt), dann herrschen ebendort von Jahr zu Jahr sich ändernde Bedingungen und es kann nicht mit einem verlässlichen Einfluß des nach der Schneeverteilung angesprochenen Faktorenkomplexes gerechnet werden.

Im allgemeinen wird man eher nach den angegebenen Vegetationsunterschieden als nach solchen des Bodens zu testen vermögen, wobei natürlich zwischen beiden enge Beziehungen bestehen (NEUWINGER und CZELL 1959). Es wird aber dort, wo Schadensauswirkungen von den Bodeneinflüssen zu befürchten sind, also vor allem im Bereich tiefen, federnden Rohhumus oder im Fall von Auflage-Torf-Bildung der Boden im Vordergrund der Beurteilung stehen müssen. Ins einzelne gehende Angaben über den Einfluß des Bodens müssen aus den einschlägigen Arbeiten (MOSER 1956, 1959; NEUWINGER und CZELL 1959) entnommen werden.

B. Die Standortsansprüche der Hauptholzarten

Jede bewußte waldbauliche Entscheidung fußt auf der Beurteilung des Leistungsvermögens der in Frage kommenden Holzarten im Hinblick auf einen bestimmten Standort. Dieser läßt sich gleichfalls nur dann genauer beurteilen, wenn man zusätzlich die physiologischen Eigenschaften der Standortsanzeiger kennt.

1. Die Zirbelkiefer, Arve (*Pinus cembra* L.)

Die Zirbelkiefer ist unser kontinentalster Waldbaum, der, am Standort erwachsen, auch die größte bei uns zu erwartende Kälte zu ertragen vermag. Die hohe Frosthärte der Zirbe kann allerdings durch zu starke Stickstoffernährung im Pflanzgarten bedeutend herabgesetzt werden (TRANQUILLINI 1958). Die Zirbe gedeiht am besten im Bereich mittlerer Schnee-

bedeckung (etwa 50 bis 100 cm, höchstens 150 cm mittlere Schneehöhe) auf Böden mit mäßigen Rohhumusauflagen (Eisenpodsol, Eisenhumuspodsol, Podsolranker) (NEUWINGER und CZELL 1959), ohne jedoch an diese gebunden zu sein. Ihre besondere Fähigkeit, Felspalten natürlich zu besiedeln (Abb. 227), sei auch für Aufforstungszwecke (Saat) besonders hervorgehoben. Normalerweise zeigt sie ein flaches Wurzelsystem (OSWALD, Abb. 126 dieses Buches), das nach unseren Untersuchungen in den ersten beiden Lebensjahrzehnten kaum tiefer als 10-20 cm in den Boden geht. Trotz der meist auffallend flachen Bewurzelung ist sie als windfest anzusprechen, weil die in der Jugend besonders elastischen Stamm- und Astteile sich den Stromlinien des Windes weitgehend anschmiegen und durch die erzeugte Wirbelbildung das Windfeld bremsen.

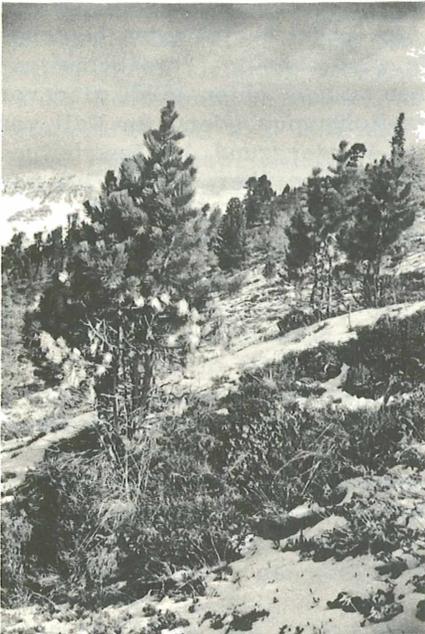


Abb. 220:
Junge, autochthone Zirben mit Schneepilz-Schäden (*Phacidium infestans* Karst.) im Bereich der Angerer Alm/Ötztal in 2050 m Seehöhe. Schneepilz-Schäden sind an der schichtweisen braunen und später hellgrauen Verfärbung der Nadeln in Bodennähe zu erkennen; erst nach einem Jahr fallen Nadeln und abgestorbene Zweige allmählich ab

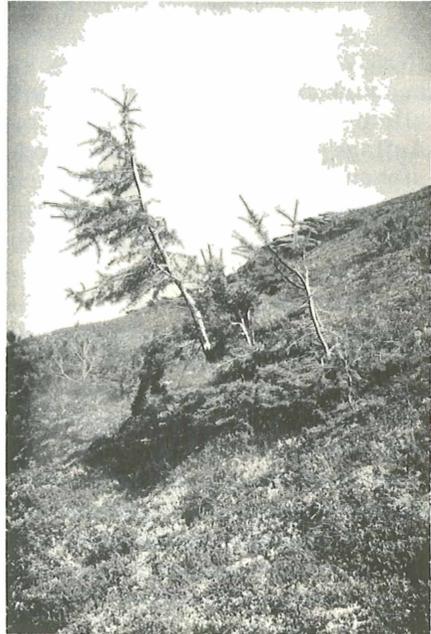


Abb. 221:
In der vorherrschenden Windrichtung "aufgefädelt" Gruppe autochthoner Lärchen mit Windschäden auf der Luvseite ("Biogruppe" nach MYCZKOWSKI 1956, 1962) oberhalb der Tulfein-Alm in 2100 m Seehöhe (NE-Hang)

Dies hat eine überaus starke Schneeablagerung im Lee junger, erst 1 - 2 m hoher Zirben zur Folge, vor allem, wenn diese entsprechend dicht aufzuwachsen vermochten, so daß bereits von einem Alter von 30 Jahren an ein lawinenvorbeugender Effekt zu erwarten ist.

An exponierten Standorten mit zu geringer Schneelage (Bereich der Flechten und der Gernsheide) treten auch bei Zirben im Winter Frosttrocknisschäden (Abb. 223, 225) ein. Solche Bäume werden sich ohne Schutz also nur über lange Zeit durchzukämpfen vermögen.

Bei zu hoher Schneelage (Bereiche eines Teiles der Alpenrosen-Heidelbeerheide, eines Teiles der Alpenrosen-Wacholder-Heidelbeerheide und der Besenheide) kann sie tödliche Schäden besonders durch verschiedene Schneeschüttepilze erleiden. Hier ist vor allem die "Nordische Schütte" (*Phacidium infestans* Karst.; BJÖRKMAN 1948, PETRAK 1955, DONAUBAUER 1961 und S. 575 ff. dieses Buches) bzw. die Arven-Schnee-Schütte (*Phacidium pini-cembrae*; BAZZIGHER 1956, TERRIER 1942) zu nennen (Abb. 220), wobei sogar noch unter 0° C ein schwaches Wachstum dieser Pilze möglich ist. Infolgedessen vermag der Pilz die unter der Schneedecke befindlichen Nadeln unter Voraussetzung entsprechender Feuchtigkeit zu befallen und die Zirben sind davon umso mehr und tödlich bedroht, je höher und je länger die Schneedecke liegt. Ausdrücklich soll aber hier auf die Beobachtung DONAUBAUERS (1961 und S. 578 dieses Buches) hingewiesen werden, wonach im Osten des kontinentalen Gebietes der Ostalpen im Gegensatz zum übrigen Bereich geringere, nicht lebensgefährliche Schädigungen festgestellt wurden und die Zirben aus Adventivknospen neu auszutreiben vermochten.

Unter den gleichen ökologischen Bedingungen ist auch ein (nicht so gefährlicher) Befall durch die Föhrenschütte (*Lophodermium pinastri*) möglich und neuerdings wurden von MOSER weitere und tödlich verlaufende Pilzkrankungen im Bereiche langer Schneebedeckung an ganz jungem Material festgestellt, so daß solche Bereiche mit obiger Einschränkung als Zirbenausschlußgebiete bis zum erreichten Schneeausgleich gelten müssen.

Weit weniger scheinen verschiedene tierische Schädlinge der Zirbe gefährlich werden zu können. Als gleichfalls von den Standortbedingungen abhängiger Befall wurde z. B. einmal innerhalb der zehn Versuchsjahre in Oberegurgl der Fraß von Blattwespen-Larven (*Diprion* sp.) an den sonseitigen Nadelbüscheln jüngerer Zirben festgestellt; im Pitztal fielen die Triebe gepflanzter Jungzirben dem Mäusefraß zum Opfer.

Die Zirbe ist in der Jugend äußerst langsamwüchsig; mit 10 Jahren hat sie oft erst 10 - 20 cm erreicht (OSWALD, Abb. 125 dieses Buches). In den folgenden Jahrzehnten, wenn die extreme Bodenschicht einmal durchwachsen ist, beschleunigt sich das Wachstum wesentlich (STERN 1956; OSWALD, Seite 437 - 499). Die Umtriebszeit ist mit 200 Jahren sicher nicht zu hoch gegriffen (WIESER 1953).

In den kontinentalen Innenalpen wird die obere Grenze für rationelle Zirbenaufforstungen mit höchstens 2200 m anzusetzen sein. Als Höchstvorkommen in den Ostalpen wurden 3 drei Meter hohe Zirben am windgeschützten Osthang der Karlespitze (Sellraintal) in 2590 m Seehöhe genannt (HANDEL-MAZZETTI 1954).

Zur Pflanzung verwendet man verschultes 5-jähriges Material, nach Möglichkeit bereits im Pflanzgarten mit geeigneten Mykorrhizapilzen (z.B. *Suillus plorans*) geimpft (MOSER 1956, 1959). Lochpflanzungen sind jedenfalls im tiefen, federnden Rohhumus zu empfehlen, wobei eine Mischung der Erde des mineralischen und des humosen Horizontes nach Tunlichkeit zu erreichen wäre. Die Bodendurchmischung beeinflusst je nach der Tiefe der Humushorizonte indirekt auch die Pflanzlochgröße; nach den bisherigen Erfahrungen in der Praxis sollte getrachtet werden, eine Bodendurchmischung zu erreichen, ohne daß dadurch das Pflanzloch größer als etwa 30 mal 40 cm würde. An günstigeren Standorten kann Klemmpflanzung erfolgen, die zwar nach unseren bisherigen Versuchen etwas größere Ausfälle zur Folge hat, dafür aber auch weniger Arbeit erfordert (OSWALD Seite 437 - 499, STAUDER Seite 743 - 762).

Eine dichte Pflanzung (auch mehrere Pflanzen in einem Pflanzloch) bedeutet vor allem an windexponierten Punkten einen Selbstschutz, zum mindesten für die im Lee stehenden Pflanzen (NEUWINGER - CZELL 1959; s. a. Abb. 215 und 223).

Ungeschützte Saaten sind vor allem in Pflanzlöchern unbedingt zu vermeiden, da sie unweigerlich dem Mäuse- und Häherfraß zum Opfer fallen. Auch Überhitzungsstandorte sind auszuschließen (NATHER 1958) und am ehesten könnte noch das Stupfen im Optimalbereich des Zirbenvorkommens versucht werden, ohne daß jedoch hier auf positive neue Erfahrungen verwiesen werden könnte (STAUDER, S. 743 ff. dieses Buches). Bei der Lagerung müßte demnach sichergestellt werden, daß die Samen nicht durch Selbsterhitzung ihre Keimkraft verlieren. Als Vergrämungsmittel werden Mennige und Hirschhornöl empfohlen, ohne daß nach den eigenen Erfahrungen der Wert einer solchen Maßnahme beurteilt werden könnte.

Die natürliche Zirbenverjüngung oberhalb der Waldgrenze ist durchwegs als Saat durch den Tannenhäher anzusprechen (Abb. 220, 222), dem also nicht nur Schäden zuzuschreiben sind. Die Verjüngungsbereiche halten einen gewissen Radius von den obersten Samenbäumen ein (OSWALD, Seite 437 - 499, Abb. 113), völlig entwaldete Hänge werden daher wegen Fehlens der Häher nicht "aufgeforstet".

Die Zirbelkiefer ist auf Grund ihrer Eigenschaften der wichtigste Baum für Hochlagenaufforstungen in der subalpinen Stufe der Innenalpen, insoweit es sich nicht um Standorte zu hoher Schneebedeckung handelt.

2. Die europäische Lärche (*Larix decidua* Mill.)

Die europäische Lärche ist nach ihrem natürlichen Verbreitungsgebiet etwas weniger kontinental als die Zirbe (TSCHERMAK 1935), sie ist aber als typischer Baum für den kontinentalen Innenalpenraum anzusehen¹⁾. Spontan auftretend ist sie ein ausgesprochener Rohbodenkeimer und verjüngt sich natürlich am besten auf frischen, mineralischen und gut durchlüfteten Böden, welche von einer Pioniervegetation besiedelt sind, in der das Moos *Pogonatum urnigerum* vorherrscht (AUER 1947). Wie FIGALA (1954) ausdrücklich ausführt, ist aber auch die Pflanzung noch in einem humosen Boden möglich, wenn dieser durch Bodenbearbeitung entsprechend belüftet wird. Bei der Bodendurchmischung in einem humosen Pflanzbett sollte, wie CZELL betont, jedenfalls die Schmierschicht des A₁-Horizontes durchbrochen werden. Auch F. HARTMANN (briefl. Mitt.) weist ausdrücklich auf das Erfordernis eines ausgeglichenen Frischklimas im Auflagehumus hin, was an dem Vorhandensein von bestimmten günstigen Humusformen mit lebhaftem Bodenleben zu erkennen sei (Arthropodenfeinmoder, Arthropodenmull, Lumbricidenmull).

Die starke Wasserabgabe benadelter (PISEK 1956) und auch unbenadelter (IVANOFF 1924) Lärchen reicht größenordnungsmäßig an jene der Laubhölzer heran und übertrifft selbst im Winter jene von Nadelhölzern.

Infolgedessen kommt es trotz der Entnadelung zu Trocknisschäden an jenen Trieben und Zweigen, die im Winter an besonnten und windexponierten Standorten über die Schneedecke ragen, weil bei starker Erwärmung oder Bewindung wohl Wasser abgegeben wird, jedoch aus dem gefrorenen Boden nicht nachgeschafft werden kann (Abb. 221). Derartige Frosttrocknis-Schäden sind jedoch nicht bei ausgeglichenen Wind- und Schneeverhältnissen oder bei Exemplaren festzustellen, die durch benachbarte wintergrüne Bäume vor Sonne und Wind geschützt werden.

Da die Lärche wegen der winterlichen Entnadelung keine Schneepilzgefahren zu fürchten hat, wäre sie der geeignete Baum für Standorte langer Schneebedeckung, wenn sie nur Schneedruckbeanspruchungen besser standhielte. Vor allem junge Lärchen sind aber bei Hangneigungen über 35° derartigen Beanspruchungen durch Gleiten und Kriechen des Schnees wenig gewachsen, es kommt zum Bruch bzw. zu "Säbelwuchsbildungen" (KÖSTLER 1955).

Die Höhengrenze der Lärche ist etwas tiefer als jene der Zirbe anzusetzen. Im kontinentalen Teil der Ostalpen sollten Hochlagenaufforstungen mit Lärchen unter 2100 m Seehöhe bleiben.

1) Vgl. dazu die jüngst erschienene eingehende Abhandlung von H. MAYER: Gesellschaftsanschluß der Lärche und Grundlagen ihrer natürlichen Verbreitung in den Ostalpen. (Angew. Pfl. soziologie, H. XVII, 1962), wonach das häufige Auftreten in den Innenalpen u. a. auf Konkurrenzeinflüsse zurückzuführen ist.

Zunehmende Reifung der Alpenrosen-Zwergstrauchheide, Verdichtung der Bodenvegetation und Verstärkung der Humusaufgaben, aber auch Lichtmangel, führen zu einem natürlichen Rückgang des Lärchenanteils, sodaß die Erhaltung des Lärchenanteils eine Unterbrechung dieser Entwicklung zum "Klimax" durch entsprechende forstliche Maßnahmen verlangt (AUER 1947). Deshalb ist Plenterung im Altholz unbedingt zu vermeiden (WIESER 1953, 1957, 1959).

In der Jugend wächst die Lärche schneller als die Zirbe. Ihre schneeklimatisch ausgleichende Wirkung bleibt aber wegen der winterlichen Entnadelung hinter jener der Zirbe zurück. Auch Frostschäden treten auf. Die Bewurzelung ist stärker und tieferreichender als bei Zirbe, weswegen ihr als Bodenfestiger große Bedeutung zukommt.

Für Hochlagenaufforstungen werden nach Möglichkeit 2-jährige geimpfte (z. B. mit *Boletus elegans*) und verschulte Pflanzen verwendet, mitunter auch 3-jährige Saatzpflanzen. Pflanzung mehrerer Pflanzen hintereinander in der Wind- und Hauptbesonnungsrichtung ist vor allem für extreme Standorte zu empfehlen (vgl. Abb. 221).

Saaten hatten bessere Erfolge als bei Zirben (STAUDER S. 755 dieses Buches), sie sollten aber nur an Standorten nicht zu dichter Bodenvegetation versucht werden, wenn weder extreme Überhitzung noch Bewindung befürchtet werden muß (AUER 1947, 1948). Vor allem der Wasserfaktor ist bei der Keimung von wesentlicher Bedeutung, Bodentemperaturen über 23° sind bereits als überoptimal anzusehen (AUER 1948).

Die von der Zirbe in vielem deutlich abweichenden Eigenschaften dieser sommergrünen Holzart (Tiefwurzler, Rohbodenbesiedler) gestatten die Ausdehnung des Aufforstungsareals über jenes der Zirbe hinaus und machen sie zur zweitwichtigsten Holzart der subalpinen Stufe.

3. Die Fichte (*Picea excelsa* Link.)

Die Fichte ist der Baum winterkalter, aber doch etwas feuchterer Gebiete (KÖSTLER 1955), hat ein viel ausgedehnteres, weniger kontinental getöntes Verbreitungsgebiet als die vorgenannten Holzarten und geht auch nicht so hoch hinauf. Daher liegt das Zentrum des kontinentalen Innenalpenraumes bereits jenseits des Optimums ihrer natürlichen Verbreitung; sie findet sich dort, außer in lokalklimatisch bevorzugten, feuchteren Lagen, nur mehr in stark von Schädlingen befallenen Krüppel Exemplaren. Dagegen bildet sie am Rand der kontinentalen Innenalpen als subalpinen Fichtenwald natürliche Reinbestände an der oberen Waldgrenze. Infolgedessen nimmt ihre waldbauliche Bedeutung vom Zentrum gegen den Rand des kontinentalen Gebietes laufend zu.

Die Fichte erreicht nicht die Frosthärte der Zirbe (ULMER 1937) und Lärche und erleidet trotz sparsamen Wasserverbrauches (LARCHER 1957) an sonnen- und windexponierten Standorten häufig

Schäden (MICHAELIS 1932) durch Frosttrocknis (Tab. 1). Die Fichte bevorzugt Moderböden (NEUWINGER und CZELL 1959), also die Podsoligen Braunerden und Braunen Ranker der subalpinen Stufe. Sie leistet auch beachtenswertes als Spaltenbesiedler. Bei einem sehr flach ausstreichenden Wurzelsystem bietet die Fichte infolge ihrer dichteren, steiferen Benadelung ein weit größeres Windhindernis. Daher halten sich nur schmalkronige Exemplare an wind- und schneereichen Standorten, was bei der Saatgutbeschaffung zu berücksichtigen wäre (WIESER 1953, 1957, 1959).

Auch die Fichte hat, ähnlich wie die Zirbe, unter Schneepilzen zu leiden (z. B. *Herpotrichia juniperi* Petr.), weswegen ihre Anpflanzung in schneereichen Lagen der Kampfzone gleichfalls unterbleiben sollte. Über standortsbedingte Verteilung anderer Schädlinge in diesem Rahmen ist wenig bekannt. Lediglich beim Auftreten des Fichtennadelblasenrostes, der nur Zuwachsverluste, aber keine tödlichen Schäden zur Folge hat, konnte beobachtet werden, daß die natürlichen Höchstvorkommen der Fichte nur sehr selten befallen wurden.

Die Höhengrenze für Hochlagenaufforstungen ist noch niedriger als jene der Lärche anzusetzen und wird in den kontinentalen Innenalpen zwischen 1900 und 2000 m liegen.

Für die Hochlagenaufforstung verwendet man 4-jährige, verschulte und nach Möglichkeit geimpfte (MOSER 1956, 1959) Exemplare. Klemmpflanzung sollte zumindest in federnden Humusauflagen oder in stark schwindendem, tonigem Material unterbleiben.

4. Vergleichende Betrachtung der physiologischen Eigenschaften unserer Hauptholzarten und der wichtigsten Standortsanzeiger

In diesem Rahmen können nur die wichtigsten Eigenschaften als Kriterien dienen, um Leistung und Widerstandskraft der einzelnen Holzarten für sich und im Vergleich zu den jeweiligen Standortspflanzen ermitteln zu können. Trotz eingehender Bearbeitung der gegenständlichen Fragestellung im eigenen Wirkungskreis und schon früher, vor allem aber durch das Botanische Institut der Universität Innsbruck, bestehen leider auch heute noch Lücken. Die anschließenden vergleichenden Angaben müssen auch mit gewissen Vorbehalten gemacht werden, weil sie von verschiedensten Bearbeitern mit unterschiedlichen Methoden und unter variablen Bedingungen gewonnen wurden. Dadurch sind nicht nur Korrelationsfehler zu erwarten, sondern auch echte Verschiebungen im gegenseitigen Verhältnis, weil es zum Wesen des Lebens gehört, daß es auf andere Umweltsbedingungen eben anders reagiert.

Die anschließende kurzgefaßte Zusammenstellung hat neben den Arbeiten der Forschungsstelle auch all das berücksichtigt, was darüber heute in der Literatur zu beschaffen war.

a) Die Nettoassimilation

Vom forstlichen Standpunkt aus würde vor allem der Gesamtmassezuwachs bzw. die Gesamtmassebildung interessieren und nicht nur ein Teilglied davon, die Nettoassimilation. Neben dem Assimilationsvermögen sind für den Gesamteffekt ja vor allem die Nadel-

masse, die Dauer der Vegetationsperiode und die in den Nadeln vorhandenen Chlorophyllmengen von ausschlaggebender Bedeutung. Hinsichtlich unserer Hochgebirgsholzarten wissen wir von TRANQUILLINI (1962), daß die junge Lärche im Vergleich zur Zirbe pro Tag fast eine doppelt so große CO₂-Menge zu assimilieren vermag. Die Jahressumme der Assimilation übersteigt jene der Zirbe um 47 %. Wenn man nun noch berücksichtigt, daß die Nadelmasse der jungen Lärche 6 mal so groß wie jene der Zirbe ist, jedoch ihre Vegetationsperiode wegen des späten Nadelaustriebes (Abb. 228) bei weitem nicht an jene der Zirbe herankommt, so ergäbe sich nach dem genannten Autor bei Lärche (12-jährig) eine etwa 8,5 mal so große Gesamtproduktion von Trockensubstanz im Vergleich zur Zirbe. Erst in höherem Alter (19 - 25 Jahre) (TRANQUILLINI 1962) und vor allem an für Lärchen ungünstigeren Standorten (FROMME 1963) ändert sich dieses Verhältnis beträchtlich zum Vorteil der Zirbe. Wie FROMME feststellen konnte, leisten junge Lärchen auf Rankern etwa doppelt soviel wie auf podsolierten Böden, während das Leistungsvermögen der Zirben auf podsoligen Böden, soweit sie nicht zu dicht gelagert sind, als ein sehr gutes anzusprechen ist (FROMME 1963, TRANQUILLINI 1962).

Da repräsentativere Angaben über den vergleichswisen Gesamtzuwachs noch fehlen, seien solche über die Nettoassimilation gebracht, also über die Menge des effektiv gebundenen Kohlendioxids unter Abzug der veratmeten Menge. Nach PISEK (1960) betrug die durchschnittliche Netto-Assimilation in mg CO₂/g Trockengewicht und Stunde:

Haupt Holzarten	Standortsanzeiger
Lärche (<i>Larix decidua</i>) 4,8	Rauschbeere (<i>Vaccinium uliginosum</i>) 6,6
Fichte (<i>Picea excelsa</i>) 2,2	Heidelbeere (<i>Vaccinium Myrtillus</i>) 5,0
Zirbe (<i>Pinus Cembra</i>) 1,7	Alpenrose (<i>Rhododendron ferr.</i>) 3,0
	Gemsheide (<i>Loiseleuria procumbens</i>) 1,9

Es zeigt sich also eine bedeutende Überlegenheit der sommergrünen Hölzer und Zwergsträuchern gegenüber den immergrünen.

b) Die Atmung (Respiration)

Da in der subalpinen Stufe Temperaturgegensätze in sehr weiten Grenzen vorkommen, erscheint es zweckdienlich, auch Angaben über diese temperaturabhängige Produktions-Verlustgröße zu machen. Wir schließen uns hier den Angaben von PISEK und KNAPP (1959) sowie CARTELLIERI (1935) an, die in der Vegetationsperiode (V - IX) gesammelt wurden und sich auf eine Temperatur von 20°C beziehen (mg CO₂ in der Stunde je g Trockengewicht).

Hauptholzarten

Lärche (<i>Larix decidua</i>)	2,2
Fichte (<i>Picea excelsa</i>)	1,15
Zirbe (<i>Pinus Cembra</i>)	0,8-1,11

Standortsanzeiger

Rauschbeere	2,7
(<i>Vaccinium ulig.</i>)	
Heidelbeere	2,0-2,4
(<i>Vaccinium Myrt.</i>)	
Alpenrose	1,1-1,37
(<i>Rhododendron ferr.</i>)	
Preiselbeere	1,1
(<i>Vaccinium vit.id.</i>)	

Nebenholzart

Latsche (<i>Pinus montana</i>)	0,56	0,87
----------------------------------	------	------

Ähnlich wie bei der Stoffproduktion zeigen also auch bei der CO₂-Abgabe die sommergrünen Arten höhere Werte als die immergrünen.

c) Die Lichtansprüche

Bei der Aufforstung in der subalpinen Kampfzone wird in der Regel das Licht nicht "Faktor im Minimum" sein. Dies könnte höchstens für Naturverjüngung bei zu dichter Ausbildung der Alpenrosen-Zwergstrauchheide gelten oder aber im Bereich dichter Altholz-Horste. Viel eher ist mit der Gefahr und den Begleitwirkungen von Überstrahlungen zu rechnen, die jedoch auf den Spätwinter beschränkt sind (HOLZER 1958, 1959). Zur Beurteilung der Konkurrenz zwischen natürlich aufkommenden Holzarten und Standortspflanzen seien jedoch die vorhandenen Vergleichswerte für Lichtansprüche zitiert, wobei ausdrücklich und einschränkend betont sein soll, daß sich schon die Jungpflanze der am Standort herrschenden Beleuchtungsintensität weitgehend durch Ausbildung von Licht- und Schattenblättern anzupassen vermag.

Nach TRANQUILLINI (1960) ist mit folgenden Werten für die mittlere relative Bestandeshelligkeit sowie für das Lichtminimum für Jungwuchs und erwachsene Bäume zu rechnen:

Hauptholzarten	Mittlere relative Bestandeshelligkeit in % der Außenhelligkeit	Lichtminima	
		in % der Außenhelligkeit	in % der Außenhelligkeit
		Jungwuchs	Erwachsene Bäume
Lärche (<i>Larix decidua</i>)	31	10-14	20
Zirbe (<i>Pinus Cembra</i>)	14	1-2	5
Fichte (<i>Picea excelsa</i>)	6	2,0-2,6	2,8
Zirben-Lärchenwald	16		

Noch weniger Unterlagen liegen über die minimalen Lichterfordernisse der Begleitpflanzen vor: Nach TRANQUILLINI (1960) treten unter 1 % relativer Bestandeshelligkeit keine grünen Blütenpflanzen mehr auf. Im einzelnen seien Messungen von KNAPP (1960) angeführt sowie eine Angabe aus WALTER (1960) gebracht:

A r t	relative Bestand- eshelligkeit in Prozent
Heidelbeere (<i>Vaccinium Myrtillus</i>), steril	1,8
Heidelbeere (<i>Vaccinium Myrtillus</i>), fertil	11,5
Schreibers Astmoos (<i>Pleurozium Schreberi</i>)	3,7
Preiselbeere (<i>Vaccinium vitis-idaea</i>)	10,4
Wacholder (<i>Juniperus communis</i>) nach WALTER	2,0

d) Die Frosthärte

Die Widerstandskraft gegen tiefe Temperaturen ist besonders für die Aufforstung schneearmer Standorte von Bedeutung. Die unterschiedliche Resistenz gegenüber Frost trägt auch maßgeblich zur Ausbildung der im Wind-Schnee-Ökogramm verarbeiteten Zonierung der Vegetation bei, wenngleich sie nicht die einzige Ursache bilden dürfte. Die Frosthärte einer Pflanze ist nicht nur artspezifisch, sondern wird auch von der Ernährung sowie von dem sie umgebenden Milieu und vom Alter beeinflusst (TRANQUILLINI 1958), so daß die angegebenen Werte kein Absolutmaß darstellen können. Überdies ist die Frosthärte einem starken Jahresgang unterworfen, weswegen für einige Arten neben den Tiefstwerten des Winters auch Höchstwerte des Sommers angegeben wurden. Die Angaben wurden den Arbeiten und Zusammenstellungen von BIEBL (1962), PISEK (1960) und TRANQUILLINI (1958) und HOLZER (1958) entnommen:

B ä u m e	Frosthärte		Grenze für	
	Winter	Sommer	Assimil.	Atmung
Zirbe (<i>P. Cembra</i>)	-42 bis -47°C	um -10°C	-2,0°C	-5,0°C
Lärche (<i>L. decidua</i>) (Knospen)	um -40°C			
Fichte (<i>P. excelsa</i>)	-38°C		-4,0°C	-6,0°C
zum Vergleich:				
Latsche (<i>P. mugo</i>)	-34,9°C	-6°C		

Zwergsträucher	Frosthärte	
	Winter	Sommer
Preiselbeere (<i>Vaccinium vitis-idaea</i>)	-22°C	-3°C
Alpenrose (<i>Rhododendron ferrugineum</i>)	-29°C	-5°C
Krähenbeere (<i>Empetrum hermaphroditum</i>)	-30°C	-6°C
Besenheide (<i>Calluna vulgaris</i>)	-29°C	
Bärentraube (<i>Arctostaphylos uva-ursi</i>)	-30°C	
Wacholder (<i>Juniperus sibirica</i>)	-34 bis -36°C	-6°C
Gemsheide (<i>Loiseleuria procumbens</i>)	-36°C	

e) Die Austrocknungsresistenz

Weit häufiger als reine Erfrierungsschäden konnten bisher, vor allem im Spätwinter, Frosttrocknisschäden verzeichnet werden. Sie treten vor allem dann auf, wenn der Wurzelraum (unter einer zu geringmächtigen Schneedecke oder an schneefreien Standorten) noch zur Gänze gefroren ist, jedoch an Stamm und Nadeln bereits hohe Überwärmungen als Folge der überaus starken spätwinterlichen Strahlung eintreten (HOLZER 1957, 1959, MICHAELIS 1932). Nun kommt es bereits zu starken Wasserverlusten der Nadeln, die jedoch angesichts des gefrorenen Untergrundes Wasser nicht mehr nachgeliefert bekommen, so daß Äste und Wipfeltriebe vertrocknen (Abb. 223, 225). Derartige Schäden konnten nicht nur an jungen und mittelalten Bäumen, sondern auch an alten Einzelindividuen, vor allem auf Sonnhängen, festgestellt werden, weil sich infolge der Rückstrahlung rund um solche Einzelbäume gerne frühausapernde Stellen bilden. Durch die so entstehenden "Frostteller" sind solche Exemplare gegenüber jenen, die im Verband stehen, stark benachteiligt.

Es fällt bei nachstehender Reihung nach IVANOFF (1924) besonders auf, daß nicht nur bei immergrünen Holzarten, sondern auch bei der im Winter völlig entnadeltten Lärche solche Wasserverluste eintreten. Nach IVANOFF ergaben sich (an wachsverschmierten Aststücken) zwischen Jänner und März bei Temperaturen wenig über 0°C folgende Verhältniszahlen für die winterliche Wasserabgabe durch die Cuticula, die auf die Oberflächeneinheit bezogen wurden, wobei allerdings die winterliche Oberfläche bei Lärchen viel kleiner als jene bei Zirben ist.

Zirbe (<i>Pinus cembra</i>)	0,9
Lärche (<i>Larix europaea</i>)	1,0
Fichte (<i>Picea excelsa</i>)	1,5

Im Gegensatz dazu interessieren auch Werte für die Wasserabgabe der Pflanzen während der Vegetationsperiode. Diese erfolgt nun zum überwiegenden Teil durch die Spaltöffnungen (Stomata) und nur zum kleinen Teil durch die Cuticula.

Nach POLSTERS Übersicht (1950) muß bei Lärchen mit einer etwa 2-4 mal höheren Wasserabgabe als bei Fichte gerechnet werden. Erst wenn die Pflanze bei stärkerer Beanspruchung ihres Wasservorrates aktiv die Spaltöffnungen schließt, entscheidet neben dem vorhandenen Wassergehalt wiederum das Ausmaß der Cuticulärtranspiration für die "Ausdauer" (PISEK 1956) bei Dürrebeanspruchung. Bezogen auf die Fichte mit dem Wert 1 ist diese cuticuläre Wasserabgabe bei Bärentraube etwa 3 mal, jene der Alpenrose etwa 5 mal und jene der Heidelbeere 15 mal so hoch. Diese Ziffern würden den an manchen Stellen gewonnenen optischen Eindruck bestätigen, daß Fichten noch auf verhältnismäßig trocke-

nen Standorten konkurrenzfähig sind. Wenn dies zutrifft, so wäre das von wesentlicher Bedeutung, weil Sonnhänge meist besonders intensiv landwirtschaftlich bewirtschaftet wurden und daher aus dem bloßen Vorhandensein natürlicher Altholzreste (vornehmlich Fichten) auf diesen Hängen noch nicht auf ihre Eignung für die Aufforstung hätte geschlossen werden dürfen, da die anderen Holzarten Lärche und Zirbe ja auch infolge Übernutzung dort fehlen könnten.

Für das Leben des Plasmas ist stets das Vorhandensein einer gewissen Wassermenge erforderlich, es muß sich das Plasma in einem erträglichen "Hydraturzustand" befinden. Der mögliche Lebensbereich einer Pflanze ist umso größer, je weiter die Hydraturgrenzen, also die Grenzwerte des osmotischen Druckes des Zellsaftes, auseinanderliegen. Aus "osmotischen Spektren", wie sie von WALTER (1960) unter Verarbeitung eines (nach Methode und Pflanzenzustand) vielfältigen und infolgedessen auch nicht immer vergleichbaren Materials zusammengestellt hat, ergäbe sich an weiteren Hinweisen für unsere Fragestellung:

Hauptholzarten	Bereich der osmotischen Werte in at	
Fichte (<i>Picea excelsa</i>)	10	68 at immergrün
Zirbe (<i>Pinus Cembra</i>)	19	35 at immergrün
Lärche (<i>Larix europaea</i>)	18	21 at sommergrün
Zum Vergleich:		
Latsche (<i>Pinus mugo</i>)	15	24 at immergrün
Standortanzeiger		
Preiselbeere (<i>Vaccinium vitis-idaea</i>)	15	48 at immergrün
Besenheide (<i>Calluna vulgaris</i>)	10	41 at immergrün
Bärentraube (<i>Arctostaphylos uva-ursi</i>)	14	39 at immergrün
Alpenrose (<i>Rhododendron ferrugineum</i>)	12	38 at immergrün
Gemsheide (<i>Loiseleuria procumbens</i>)	14	37 at immergrün
Krähenbeere (<i>Empetrum nigrum</i>)	15	35 at immergrün
Heidelbeere (<i>Vaccinium myrtillus</i>)	15	24 at sommergrün
Rauschbeere (<i>Vaccinium uliginosum</i>)	11	22 at sommergrün

f) Zusammenschau für praktische Überlegungen

Trotz der erwähnten Lücken unserer Kenntnisse sind die Bäume und Zwergsträucher der subalpinen Stufe in physiologischer Hinsicht weitaus am besten erforscht. Mit Hilfe der Literatur-Unterlagen und weiterer eigener Beobachtungen und Erfahrungen kann dem Praktiker immerhin heute eine - zwar noch vorläufige Übersicht über Eignung und Widerstandsfähigkeit der Holz-

arten den verschiedenen Standortseinflüssen gegenüber gegeben werden (Tabelle 1).

Tab. 1: Vorläufige Übersicht des Verhaltens und der Eignung der Hauptholzarten in der subalpinen Stufe verschiedenen Standortseinflüssen gegenüber, wobei die Ziffer 1 sinngemäß jeweils den höchsten Wert oder die beste Leistung oder die höchste Widerstandskraft bzw. das günstigste Verhalten, die Ziffer 2 eine mittlere und die Ziffer 3 eine geringe Leistung, Widerstandskraft oder ungünstige Verhaltensweise bedeutet

E f f e k t oder E n f l u ß	Zirbe	Lärche	Fichte
Eignung für die kontinentalsten Gebiete der Innenalpen (GAMS 1931-32; AULITZKY und TURNER)	1	2	3
Höhenverbreitung (Seehöhe); (HANDEL-MAZZETTI 1954, HEGI 1909; KÖSTLER 1955)	1	2	3
Schnellwüchsigkeit in der Jugend (OSWALD S. 437, PISEK 1960, STAUDER Abschn. II. E)	3(2)	1	2(3)
Stoffverluste durch Atmung (Respiration)(CARTELLIERI 1935, PISEK und KNAPP 1959)	3(2)	1	2(3)
Schattenfestigkeit (TRANQUILLINI 1960)	2	3	1
Frosthärte (Winter), (BIEBL 1962, HOLZER 1958, PISEK 1956, 1960, TRANQUILLINI 1958, ULMER 1937)	1	2	3
Ausdauer gegen winterliche Austrocknung, Frosttrocknis (LARCHER 1957, IVANOFF 1924) 1 = größte Ausdauer	1	2(?)	3
Wasserabgabe in der Vegetationszeit (1 geringste Abgabe) (PISEK 1956, POLSTER 1950)	1(?)	3	2
Widerstandsfähigkeit gegen lange Schneebedeckung und Schneepilzgefahr (DONAUBAUER Abschn. II)	3	1	2
Mechanische Widerstandsfähigkeit von Jungpflanzen gegen Kriech- und Gleitschneegefährdung	2	3	1(2)
Ausmaß der Windbeeinflussung und Bewirkung eines Schneeausgleiches (AULITZKY S. 224 ff.)	1	3	2
Eignung für Rohbodenaufforstung (AUER 1947, NEUWINGER und CZELL 1959, TRANQUILLINI 1962, FROMME unveröff.)	3	1	2
Eignung für "Rohhumusböden"-Aufforstung (saure Böden) (NEUWINGER und CZELL 1959, FROMME unveröff., TRANQUILLINI 1962)	1	3	2
Eignung für Moderböden-Aufforstung (NEUWINGER und CZELL 1959)	2	2	1
Tiefe, Stärke und Dichte der Bewurzelung	2	1	2
Fähigkeit Felsspalten zu besiedeln	1	3(2)	2
Kosten einer Jungpflanze (1 niedrigste Kosten) (STAUDER S. 755)	3	1	1
Dauer der Pflanzgartenbeanspruchung (1 kürzeste Dauer) (STAUDER S. 751)	3	1	2

Demnach wird im Sinne von Zeile 1 der vorangegangenen Tabelle die Zirbe im Zentrum, die Fichte hingegen am Rand der kontinentalen Innenalpen zu bevorzugen sein, wenngleich die Zirbe auch hier durchaus konkurrenzfähig ist.

Die Schnellwüchsigkeit kann nur dann ausgenützt werden, wenn nicht durch die Beschaffenheit des Standortes (Überwachsen einer windexponierten Kante) Frostschäden an Trieben befürchtet werden müssen und wenn nicht aus anderen Gründen eine andere Holzart vorgezogen werden muß (z. B. Beeinflussung des Windfeldes).

Die Schattenfestigkeit zu berücksichtigen wird im Bereich dichter Horste und Gruppen, wo sich Beschattungs- und Trockenheitsbarflecken unter den Kronenprojektionen bilden, notwendig sein. Vegetationslose, trockene Wurzelteller unter alten Bäumen sind unaufforstbar, solange der Altbaum steht.

Das Frosthärte-Maximum und die Ausdauer gegen winterliche Austrocknung wäre bei der Aufforstung der bewindeten und winters schneefreien Kuppen und Rücken auszunützen, also vor allem im Bereich der Flechten und Gemsheide.

Das Ausmaß der Wasserabgabe in der Vegetationszeit wäre vor allem bei der Aufforstung von Sonnseiten zu beachten, wobei die zunehmende Trockenheit an der Vegetation zu erkennen ist.

Beide wintergrüne Nadelhölzer sind im Bereiche hoher winterlicher Schneedecke schneepilzgefährdet, wenngleich nicht im selben Ausmaß, weswegen solche Standorte mit ihnen nicht aufgeforstet werden sollten. Schneepilzschäden sind an Jungwüchsen an der frühsommerlichen Verbraunung bzw. Vergilbung der bodennahen Nadelpartien zu erkennen (Abb. 220) oder an dem schwarzen Hyphengeflecht (*Herpotrichia nigra*) kurz nach dem Ausapern. Gefährdet ist vor allem der Bereich der reifen Alpenrosen-Heidelbeerheide.

Die Möglichkeit, durch Holzartenwahl das Windfeld stark turbulent zu beeinflussen, wäre vor allem dort auszunützen, wo es auf diese Art gelingt, die ursprünglich aufforstungsfeindliche Schneeverteilung auszugleichen, also auf Rücken und Rippen. Darüberhinaus sind alle drei Hauptholzarten durch hohe Windfestigkeit (Standfestigkeit) ausgezeichnet. Windwürfe natürlich erwachsener Bäume in der Kampfzone sind eine ausgesprochene Seltenheit, selbst bei Fichten.

Die Bewurzelungstiefe ist sehr vom Standort abhängig, Flachwurzler können mit einzelnen Wurzeln in die Tiefe streichen (Wasser!) und Tiefwurzler können im Sonderfall auch flach wurzeln. Zirbe und Fichte können sich aber trotz ihrer Flachwurzelligkeit auch an windausgesetztem Standort halten, wenn sie natürlich angekommen sind oder Hochlagenherkunft besitzen (schmalkronige Exemplare). Die junge Lärche bewurzelt sich kräftiger als die beiden anderen Holzarten und ihre Bewurzelung reicht normalerweise tiefer in den Boden.

Die Zirbe, aber auch die Fichte und Lärche, sind gute Fels-

spaltenbesiedler. Die natürlichen Vorkommen an solchen Standorten sind nicht nur dem verhältnismäßigen Weideschutz zu danken.

Zirbenaufforstungen beanspruchen die höchsten Pflanzkosten und belasten am längsten den Pflanzgarten.

C. Die Nebenholzarten

1. Die Engadiner Kiefer (*Pinus silvestris* L. var. *engadinensis* Heer)

Die Engadiner Kiefer besitzt auch im kontinentalen Innenalpenraum Österreichs größere Vorkommen, so im Ötz-, Kauner-, Pitz-, Sellrain- und Stubaital sowie im Raum von Innsbruck. Das höchste Vorkommen in Nordtirol wurde nach HEGI (1909) in 1950 m bei Gurgl beobachtet, ein noch höher gelegenes Exemplar fand sich im Obergurgler Stationsgebiet (ca. 2080 m). Die Engadiner Kiefer findet sich sowohl auf Kalk wie auch auf Urgestein. Infolge ihrer spitzpyramidalen Krone vermag sie Schneedruck gut standzuhalten.

Über das physiologische Verhalten dieser Varietät ist bisher nichts bekannt geworden; es erscheint jedoch denkbar, daß sie dereinst zur Aufforstung nicht zu hoch gelegener Südhänge herangezogen werden könnte. Ihre Höhengrenze ist niedriger als jene der Fichte anzusetzen und die untere Grenze ihrer talseitigen Verbreitung liegt etwa bei 1400 m, an Schatthängen noch tiefer (HEGI 1909).

2. Die Spirke (*Pinus uncinata* Ramond)

Vorkommen der Spirke finden sich vor allem in den Pyrenäen und in den Westalpen; in den Ostalpen sowohl im kontinentalen Innenraum (Ofenpaßgebiet) auf Kalken wie auch weiter nach Osten am ozeanischen Alpenrand bis in das Wimbachtal bei Berchtesgaden (HEGI 1909) vordringend, beschränkt sie sich noch weiter östlich, z. B. Alpenvorland, Mühlviertel, Karpathen (Tatra), auf Moorstandorte; sie ist im allgemeinen als kalkbedürftig zu bezeichnen. Über die außerordentlich anspruchslose Spirke liegen gleichfalls noch keine physiologischen Untersuchungen vor; ähnlich wie die Engadiner Kiefer könnte sie dereinst eine Rolle für die Aufforstung trockener, kalkhaltiger Böden spielen.

3. Die Bergkiefer (*Pinus mugo* Turra)

Sie tritt im Bereich der Innenalpen zum Unterschied von den mehr ozeanischen Kalkalpen selten auf großen Flächen und verdammend auf. Sie ist eine lichtbedürftige Holzart, die zumindest eine relative Bestandeshelligkeit von 12 % verlangt. Ihre Frosthärte

und Resistenz gegen Frostrocknis reicht nicht ganz an jene der Hauptholzarten heran. Die überaus anspruchslose Latsche vermag Sonnhänge wie Hochmoore zu besiedeln. (Die erwähnten geringen CO₂-Verluste durch Atmung könnten vielleicht auch etwas dazu beitragen, sonnige Standorte zu erobern.) Ihre Rolle als Schuttfestiger ist vor allem für die Bereiche des Wetterstein- und Dachsteinkalkes sowie des Hauptdolomites bedeutungsvoll, wogegen sie auf den Partnachschiefern fehlt. Spärlicher ist sie auf den Kösseiner Schiefen und auf Flysch zu finden (HEGI 1909). An Standorten langer Schneebedeckung ist sie vom Weberpilz (*Herpotrichia nigra* Htg.) bedroht.

Infolge ihrer Frostempfindlichkeit bildet sie an windgefegten Rücken regelmäßig sogenannte "Pultlatschen" die nur sehr langsam ihr Pultniveau heben, so daß ihre Mitverwendung an solch schnee-armen Standorten nur dann in Frage käme, wenn Zeit keine Rolle spielt. Wegen der federnden Kraft der Latschenäste können auch Lawinen ausgelöst werden. In den Kalkalpen werden mitunter flächige Aushiebe in derart geschlossene Latschenfelder geschlagen, wodurch allerdings die lawinenfördernde Wirkung eines ausgedehnten Latschenbestandes nicht beseitigt, sondern nur vermindert wird, weil ja im verbleibenden Bestand weiterhin jede Verbindung des Schnees mit dem Boden fehlt.

Für Hochlagenaufforstungen kommen nur im Sonderfall 4-5-jährige verschulte Pflanzen in Frage, die etwa an ausgesprochenen Sonnhängen zur Ergänzung der Hauptholzarten benützt werden können. Auch hier verhindert aber die Langsamwüchsigkeit die Funktion eines "Vorbaues". Die außerordentlich breite Amplitude der Lebensansprüche der Bergkiefer, vor allem hinsichtlich des Wasserfaktors, gestattet aber sogar noch in der sphagnumreichen Alpenrose-Heidelbeerheide (z.B. im Gebiet der Gütt im Pitztal, westwärts St. Leonhard) ihre Verwendung, wo mit jeder anderen Holzart Fehlschläge eintreten müßten.

Häufig im Kalk, selten jedoch im Urgestein, sind Latschenbestände als Endstadium (Klimax) anzusprechen. Angesichts der Höhenverbreitung bis zu 2400 m in den Ostalpen könnte sie in den genannten Sonderfällen bis in ähnlich hohe Lagen wie die Zirbe Verwendung finden (bis 2200 m).

4. Die Grünerle (*Alnus viridis* (Chaix.) DC.)

Auch "Laublatsche" oder "Lutterstaude" genannt, vertritt sie die Latsche in gewisser Hinsicht im Bereich des Urgesteins. Sie kommt jedoch vornehmlich an den feucht-schattigen Standorten des Urgebirges vor, vermag Schuttkegel und Bachränder zu besiedeln und steckt manchmal sichtbar einen unterirdischen Wasserlauf ab. Ihr Lichtbedürfnis entspricht etwa jenem der Latsche (ca. 12 % relative Bestandeshelligkeit). Der durch die Grünerle angezeigte

Feuchtigkeitsgrad des Bodens ist höher als jener der moosreichen Alpenrosen-Heidelbeer-Heide (AICHINGER 1951, WENDELBERGER 1951). Auch aus geschlossenen Grünerlenbeständen können Lawinen abgehen. Infolge ihrer bodenaufbauenden Wirkung kommt sie als Vorbauholzart in Frage. Die Höhenverbreitung der Grünerle erstreckt sich bis 2800 m.

5. Die Vogelbeere (*Sorbus aucuparia* L.)

Die vor 10 Jahren für Hochlagenaufforstungen noch überaus angepriesene Vogelbeere muß für diesen Zweck wegen ihrer starken Frost- und Schneedruckschäden rundweg abgelehnt werden.

D. Zur Beurteilung und Festlegung der oberen Aufforstungsgrenze

Bei jeder Hochlagenaufforstung ergibt sich die Frage, wie weit hinauf aufgeforstet werden soll bzw. aufgeforstet werden darf. Denn jede Hochlagenaufforstung kann nur innerhalb jenes Bereiches gelingen, in dem die Natur unter der Voraussetzung gleicher Außenbedingungen über längere Zeit ebenfalls Wald schaffen würde (LEIBUNDGUT 1954).

Daher besteht die Aufgabe, im Gelände jene von der Natur vorgeschriebene, aber noch nicht vom Wald erreichte Grenze zu erkennen, bis zu der geschlossene Baumbestände unter der Annahme der nach den säkularen Schwankungen zu erwartenden Klimabedingungen allmählich auch von Natur aus vorzudringen vermöchten. Dieser Begriff ist nicht immer einer klimatischen Waldgrenze (SCHRÖTER 1926) gleichzusetzen, weil das bergwärtige Vordringen des Waldes schon unter der klimatischen Waldgrenze durch anderweitige Einflüsse verhindert werden kann. (Begrenzung durch Steilheit des Geländes, Lawinen, Bodenbeschaffenheit sowie biologische und wirtschaftliche Grenzen). Wir wollen diese gesuchte Grenze als die mögliche Wiederbewaldungsgrenze bezeichnen, die vielfach höher als die örtlich angestrebte Wiederbewaldungsgrenze verlaufen kann.

SCHRÖTER sieht in seinem umfassenden Werk "Das Pflanzenleben der Alpen" (1926) die jeweils anzutreffende Baumgrenze als den momentanen Ausdruck einer die Jahrhunderte überspannenden Dynamik, wobei unter wechselnden Bedingungen alles Lebende, Wald, Einzelbäume, Wiesen und Humusböden bergwärts streben, während als Gegenkräfte Fels, Eis, Schnee talwärts wirken. In diese naturgegebene Dynamik soll sich nun die Hochlagenaufforstung in standortsgemäßer Weise einschalten, um bei der Wiedergewinnung der alten Holzbodenfläche durch den Wald Zeit zu sparen. Denn die Natur arbeitet ja im Rhythmus jahrhundertelanger Epochen, dem

Forstingenieur stehen aber bestenfalls Jahrzehnte zur Verfügung.

Im Rahmen dieser notwendigerweise dynamischen Betrachtungsweise kann nicht mit den üblichen, vielfach statisch gefaßten geographischen Begriffen und Kennzeichen über die obere Waldgrenze (SCHRÖTER 1926, JENIK und LOKVENC 1962) das Auslangen gefunden werden, deren Berechtigung für andere Zwecke gar nicht bestritten sein soll. Hier geht es eben nicht darum, eine Waldgrenze als eine geographische Verbindungslinie der noch vorhandenen, mehr oder weniger gut ausgebildeten Bestände zu finden und die Blößen dazwischen einfach durch Hochlagenaufforstung zu schließen. Es soll vielmehr aus allen sich bietenden Merkmalen erkannt werden, bis wohin und entlang welcher Stoßrichtungen bzw. in welcher zeitlichen Staffelung aufwärtsgeschritten werden soll. Nur der Ausgangspunkt der Arbeiten, nicht aber das erstrebte Höhenziel, liegt im Bereich der sogenannten "empirischen Waldgrenze", wie sie von FRIES (1913) verstanden wurde oder besser als "alpine Waldgrenze" von JENIK und LOKVENC (1962) definiert worden ist, worunter man eine konkrete, also eine im Gelände sichtbare Vegetationslinie der höchsten Waldränder versteht. Unter "Wald" wird in diesem Zusammenhang ein Bestand von der minimalen Bestandeshöhe von 5 m, einem minimalen Kronenschluß von 0,5 und einer Bestandesfläche von 1 a verstanden. (Andere Autoren begnügen sich mit noch weniger!)

Selbstverständlich läßt sich eine dementsprechend definierte "alpine Waldgrenze" verhältnismäßig leicht auffinden und verzeichnen (Linie 1 in Abb. 224). Viel problematischer aber ist natürlich das Aufsuchen der im Gelände nicht so ohne weiteres sichtbaren "möglichen oder angestrebten Wiederbewaldungsgrenzen" (Linien 3 6 in Abb. 224). Man wird sich hier vielfach mit viel weniger auffallenden Hinweisen begnügen müssen, die dann eher ins Auge springen, wenn ein einziger Faktor (als Faktor im Minimum) die Begrenzung nach oben erzwingt, und sie sind schwieriger aufzufinden, wenn die Gesamtwirkung aller oder mehrerer Faktoren die gesuchte Grenze zieht. Neben der augenblicks am Standort sichtbaren zonenweisen Unterteilung wird bei der Durchführung von Maßnahmen außerdem die Sukzession, die gesetzmäßige Aufeinanderfolge verschiedener Pflanzengesellschaften zu berücksichtigen sein. In diesem Zusammenhang sei die eingehende Lektüre der grundlegenden Arbeiten AICHINGERS (1949, 1951, 1956-57) wärmstens empfohlen.

Bevor einzelne Hinweise angeführt werden, sei die Dynamik der natürlichen Wiederbewaldung der "Kampfzone" selbst aufgerollt, da ihr Verständnis sicher die beste Grundlage für die notwendige standortsgemäße und zeitliche Staffelung der Arbeiten darstellt (Abb. 224). Selbst unter der Voraussetzung eines positiv zu wertenden Klimatrendes, wie er gegenwärtig ja festzustellen ist, werden erfolgreiche Vorstöße des Waldes ausschließlich entlang der kleinklimatisch günstigsten Hangpartien erfolgen können (Abb. 222). Als solche



Abb. 222:
Natürliche Entstehung eines Zirben-Jungwaldes oberhalb der Tulfen-alm in 2060 m Seehöhe (SW-Exposition) im kleinklimatisch und schneebedeckungsmäßig günstigsten Areal zwischen der windexponierten Kuppe (links) und der allzu schneereichen Mulde (rechts)



Abb. 223:
Natürlich erwachsene Jungzirben an einer windexponierten Kuppe inmitten von Windbartflechte (*Alectoria ochroleuca*) (!) oberhalb der Stallsins-alm in 2100 m Seehöhe (NE-Exposition). Auf Grund von Windeinwirkung (Hauptwindrichtung von rechts) ist die rechte Zirbe durch Frosttrocknis geschädigt und flechtenbehangen, während die unmittelbar danebenstehende linke Zirbe im Windschatten der ersten nur mehr eine Neigung des Stammes, aber keine Vertrocknungsschäden zeigt

sind im allgemeinen in gegliederten Hanglagen ein Teil der beidseitigen Einhänge der einzelnen Hangrippen anzusehen. Nur hier können daher auch die Anfangsstadien einer rationellen Hochlagenaufforstung von Erfolg begleitet sein, weil sich in den Rinnen und auf den Rücken die Schadenswirkungen konzentrieren. Am Rücken der unbestockten Teile der subalpinen Stufe ist die Windgeschwindigkeit zu groß, daher fehlt jedweder Schutz der Schneebedeckung und es kommt zu Frost- und Frosttrocknisschäden. Im Gegensatz dazu wird in den schwach bewindeten Mulden zuviel Schnee abgelagert, Lawinen, Schneedruck- und Schneepilzschäden sind die Folge und verhindern ebenfalls weitgehend den Baumwuchs.

Solche Bereiche optimaler natürlicher Vorstoßmöglichkeit sind oft schon von Jungwüchsen unterschiedlichen Alters und unterschiedlicher Wüchsigkeit besetzt, die aber keineswegs als "Krüppel" sondern vielmehr als Jungwald anzusehen sind, wenn ihre Stammachse gesund ist und es sich nicht um Einzelexemplare, sondern um ein Aufkommen in entsprechender Dichte handelt (Abb. 222, 223). Das Alter der jungen Bäumchen nimmt normalerweise vom Altholz an der Vorstoßbasis zu den obersten "Vorkämpfern" in gleicher Weise ab wie Wüchsigkeit und Dichte (OSWALD, Seite 437-499).

Abb. 224:

Schematische Darstellung der natürlichen und künstlichen Wiederbewaldung der Kampfzone in gegliedertem Relief und der Lage der möglichen Wiederbewaldungsgrenzen. Zeichenerklärung: Stark ausgezogene Doppellinie (1) "Alpine Waldgrenze" nach JENIK-LOKVENC (1962) bzw. empirische Waldgrenze nach FRIES (1913). Stark ausgezogene einfache Linie (2) = derzeitige obere Grenze zahlreicheren Jungwuchses, wobei durch eine zweite Linie die derzeitige Ursache dieses Verlaufes charakterisiert wird: Stark ausgezogene Linie in Verbindung mit strichpunktierter Linie (2a) = derzeit begrenzt durch zu hohe und zu lange Schneebedeckung sowie durch Schneedruck; stark ausgezogene Linie in Verbindung mit einer gestrichelten Linie (2b) = derzeit begrenzt durch zu starke Windausgesetztheit, Frosttrocknis; stark ausgezogene Linie in Verbindung mit --- (2c) = derzeit begrenzt durch Lawinen; punktierte Linie (2d) = begrenzt durch ungünstige Bodeneinflüsse (zu hohe und zu dichte Rohhumusaufgaben, zu feuchte Böden), wenn diese vorderhand nicht durch Bodenbearbeitung beseitigt werden können. Dünn gestrichelte Linie (3) = derzeit mögliche obere Aufforstungsgrenze ohne Benützung technischer Starthilfen (Verwehungsbauten), Doppelstrich-Doppelpunkt-Linie (4) = später mögliche obere Aufforstungsgrenze, wenn die bis zur Linie 3 aufgeforsteten Bäume 3 - 5 m Höhe erreicht haben, Dünn ausgezogene Linie (5) = obere mögliche Wiederbewaldungsgrenze bei Verwendung von Verwehungsbauten, Hohl-punktierte Linie (6) = obere mögliche Wiederbewaldungsgrenze durch Lawinen-Stützverbauung, Schraffiertes Band (7) thermisch bedingte Grenze zahlreicheren Baumwuchses, oberhalb welcher nur Einzelvorkommen an besonders geschützten Plätzen möglich sind. Stark geknickte Linien Verwehungszäune. Starke Kreuze Kolktafeln und Düsen. \blacktriangledown Stützverbauungen. Pfeile Vorstoßrichtungen der natürlichen Wiederbewaldung und Schadensbereiche von Lawinen und Steinschlag

Vorstoßschübe, bedingt durch Mastjahre, lassen sich meist deutlich erkennen (Seite 485 und Abb. 129, Seite 476). Die obersten und exponiert stehenden Exemplare, auch jene an den Rändern gegen den Rippenkamm und gegen die Mulde, zeigen meist leicht erkennbar die jeweilige Schadenswirkung. Mit der Zeit wird auf diese Weise, ausgehend von den klimatisch begünstigten Flanken, die Rippenkante zuerst umgangen und schließlich auch der Rippenkamm selbst bestockt (Abb. 224). Der dadurch allmählich erreichte Ausgleich der Windgeschwindigkeit im Bereich der Rippen wirkt sich nun auch auf die Mulden im Sinne einer gleichmäßigeren Schneebedeckung aus und jetzt erst kann auch dort die Besiedlung (Aufforstung) einsetzen. Für die erforderliche Zeitdauer dieser natürlichen Wiederbewaldung kann kein fixes Maß genannt werden, weil sie sowohl vom Gelände, vom Ausmaß der begünstigten Flächen, der Intensität dieser lokalen Begünstigung, aber auch vom Alter, von der Zahl und der Wüchsigkeit der obersten Samenbäume, von ihrem Abstand zu den genannten Flächen und zur oberen Wiederbewaldungsgrenze, von der Anzahl der Mastjahre etc. abhängt. Man wird aber normalerweise wohl mit einem Zeitraum vieler Jahrzehnte, wenn nicht mit einem Jahrhundert und mehr rechnen müssen, damit der Wald ohne menschliche Hilfe und bei den heutigen klimatischen Bedingungen einen Bereich von 100 Höhenmetern zum Teil wieder in Besitz nimmt.

Die Beurteilung der Aufforstbarkeit hat also gerade von den Jungwüchsen, von ihrer Verfassung und Dichte, auszugehen, also von jenem Entwicklungsstadium der Holzpflanzen, in dem diese nach der herkömmlichen Auffassung noch gar nicht als "Baum" bezeichnet werden dürfen (SCHRÖTER 1926, JENIK u. LOKVENC 1962).

Eine Ausnahme bildet hier bloß die Auffassung DÄNIKERs (1923), dem wir uns dahingehend anschließen wollen, daß wir hier als Baum im Sinne seiner baumartigen Zukunft jedes Holzgewächs ansehen wollen, das sich unter Berücksichtigung der zu erwartenden äußeren Einflüsse seiner Wuchsform nach zum Baum ausbilden wird und diese Wuchsform auch beizubehalten vermag. Eine solche Definition kann nur auf der Basis einer zutreffenden Klein-Standortsbeurteilung benützt werden. Sie scheint hier aber deshalb zweckmäßig, weil vor allem ja die Tendenz, also die Entwicklungswahrscheinlichkeit zum Baum am gegebenen Standort interessiert. Die bloße Feststellung des Vorhandenseins eines mehr oder weniger erwachsenen Baumes (von irgendeiner bestimmten Höhe an, die die verschiedenen Autoren zwischen 4 und 8 m festlegen) enthält dagegen noch keine Aussage über die weitere Entwicklung des Standortes, aber eben diese gilt es hier zu beurteilen. Streng genommen könnte von einem erwachsenen Einzel-Baum lediglich die Aussage abgeleitet werden, daß unter den äußeren Bedingungen der damaligen Zeit am engbegrenzten Kleinststandort sein Aufkommen möglich war. Eine solche Feststellung läßt sich weder auf einen größeren Geländebereich noch auf eine andere Zeit mit geänderten Klimabedingungen übertragen. Den Forstwirt interessiert aber, ob jetzt und in Zukunft hier Bäume aufzukommen vermögen und wie hoch hinauf er damit rechnen kann. Daher kann er im Sinne dieser Fragestellung nicht von einer statischen und geographisch gefaßten Waldgrenze ausgehen, die in der überwiegenden Zahl der Fälle in den Alpen ein Ausdruck der menschlichen Beeinflussung ist.

In den Augen des Verfassers gehört daher der aufforstbare Teil der "Kampfzone" bis zur möglichen Wiederbewaldungsgrenze als naturgegebene Holzbodenfläche genau so gut zum Wald, wie jede andere Blöße bzw. Jungwuchsfläche an seinem unteren Rand oder in seinem Innern. Niemand bezeichnet ein Feld deswegen anders, weil es abgeerntet ist, und selbstverständlich zählt auch eine Schlagfläche oder irgendeine andere Blöße am Waldrand zum Wald, wenn sie nur ihrer optimalen Widmung nach eine Holzbodenfläche ist. Die Fläche kann längere Zeit "außer Ertrag" stehen, sie bleibt aber deswegen doch eine Waldfläche.

Daher sollte im Lichte der gegenständlichen Aufgabe jener oberhalb der heutigen Waldgrenze gelegene Teil der subalpinen Stufe mit Ausnahme der für eine rationelle Alpwirtschaft wirklich geeigneten (Flach)-Stellen insoweit als Waldfläche angesehen werden, als sich auf ihr unter gleichbleibenden Außenbedingungen ein geschlossener Baumbestand mit der Zeit entwickeln würde. Es handelt sich um naturgegebene Holzbodenflächen. Sie sind anders zu behandeln und zu bewirtschaften als tiefer gelegene und daher nicht so den Klimaunbilden ausgesetzte Waldgebiete. Es muß hier aber angesichts der bedeutenden Standortunterschiede ausdrücklich davor gewarnt werden, diese unbestockten Teile der subalpinen Stufe nun etwa gleichzeitig oder unter einheitlicher Verwendung der gleichen Holzartenmischung aufzuforsten. Wenn ein rationeller Erfolg erzielt werden soll, müssen hier oben gewisse Betriebserschwernisse in Kauf genommen werden, die durch örtliche und zeitliche Anpassung der Aufforstungsmaßnahmen an das vorgegebene reliefbedingte extreme Standortsmosaik bedingt sind. Bei Nichtbeachtung dieses Grundsatzes werden die falsch gesetzten Pflanzen von der Natur beseitigt. Fehlt jedoch diese, die Standortunterschiede erst hervorruhende Gliederung des Reliefs, so können diese Unterschiede zugunsten der rein seehöhenbedingten Einflüsse weitgehend vernachlässigt werden (die "Niveaueinflüsse" überwiegen nun die "Reliefeinflüsse"). Es kann daher gleichzeitig auf viel größerer Fläche und viel einheitlicher vorgegangen werden. An Stelle des Auf und Ab der Wiederbewaldungsgrenzen im gegliederten Relief (Abb. 224) tritt im unegliederten ein viel mehr den Schichtlinien folgender Verlauf.

Die vorhandenen Jungwuchsareale werden in erster Linie als Fingerzeig für die örtliche Verteilung der "progressiven" und "regressiven" Tendenzen gewertet werden müssen. Eine Verbindung ihrer Umgrenzungslinien (Linien 2a-d in Abb. 224) wird zwar noch keineswegs die gesuchten Wiederbewaldungsgrenzen ergeben, weil diese augenblicklichen Grenzen eben nur einen Momentzustand einer noch keineswegs abgeschlossenen Entwicklung veranschaulichen (Abb. 222), der sich mit zunehmender Höhe und Dichte des Bewuchses zugunsten des Waldes und seiner Ausdehnung,

bei Klimaverschlechterung (im großen und im kleinen) und Zunahme der Schadenswirkungen jedoch zu seinen Ungunsten verändern kann.

Dementsprechend soll sich eine Hochlagenaufforstung vorerst die optimalen Bereiche in Anlehnung an die bereits vorhandenen Jungwüchse aussuchen. Außerdem wären schon vorhandene Jungwuchsareale zu verdichten. Zur richtigen Standortsansprache im einzelnen ist das Ökogramm innerhalb der ihm gezogenen Grenzen zu benützen. Die Arbeiten sollten aber neben der Vegetationszonierung am Standort auch die Alters- und Höhenunterschiede der Bäume und den Trend der Sukzession berücksichtigen.

Handelt es sich beispielsweise um eine windbedingte Lücke im Jungwuchsareal, so wäre sie in geeigneter Art durch windfeste Holzarten zu schließen (Abb. 224). Handelt es sich aber bereits um ein von hohen Bäumen umgebenes Schneeloch mit einer reifen Alpenrosen-Heidelbeer-Heide, so müßte vor allem der bereits zu hohen Schneebedeckung durch Verwendung von Lärchen (wenn der Hang nicht zu steil ist) Rechnung getragen werden.

In dieser Weise ließe sich im ersten Aufforstungsstadium etwa Linie 3 (Abb. 224) erreichen und erst wenn diese Bäume einmal eine Höhe von 3 5 m erreicht haben und nun selbst eine ausgeglichene Schneeablagerung bewirken, kann zu einem späteren Zeitpunkt (30 50 Jahre) die Aufforstung bis zur Linie 4 des gleichen Schemas (Abb. 224) vorgetragen werden.

Diese zeitliche Staffelung und leider auch standörtliche Begrenztheit läßt sich nur dort abkürzen und vermeiden, wo es finanziell möglich ist, an extremen Standorten "Starthilfen" einzusetzen. Das Ziel, eine ausgeglichene Schneelage in gegliedertem Gelände zu erreichen, ließe sich natürlich viel schneller durch Verwehungsverbauungen erreichen und dementsprechend ließe sich auch das aufforstbare Areal auf diese Weise nach oben hin rascher erweitern (Linie 5 in Abb. 224).

Wo aber Lawinen aus höher gelegenen Abbruchgebieten zu befürchten sind, müßte eine geeignete Abbruchverbauung der Aufforstung vorangehen (Linie 6). Es können auch Bodeneinflüsse (Fehlen geeigneter Mykorrhizapilze, stehende Nässe, Torfbildung etc.) eine Aufforstungsgrenze ziehen, die sich ebenfalls nur überschreiten ließe, wenn durch geeignete Starthilfen, Pflanzbettbearbeitung, Entwässerung etc. der ungünstige Einfluß in nachhaltiger Weise ausgeschaltet werden kann (Linie 2d in Abb. 224).

Ähnlich wie es die Natur über längere Zeiträume zuwege brachte (LEIBUNDGUT 1954), hätte sich auch die Hochlagenaufforstung zur Vermeidung unnützer Ausgaben an den unteren Rand einer standörtlich und forstwirtschaftlich vertretbaren Wiederbewaldungsgrenze (Linie 7 in Abb. 224) schrittweise heranzuarbeiten, wobei je nach den Projektsgegebenheiten durch verstärkten Einsatz der Starthilfen mehr oder weniger Zeit gespart werden kann.

Welche Hinweise können nun zur Auffindung solcher Wiederbewaldungsgrenzen benützt werden?

1. Lage und Ansprache der thermisch bedingten Waldgrenze

Die thermisch bedingte Waldgrenze ist die höchstmöglich verlaufende. Sie zu erreichen kann normalerweise erst das Endziel einer Hochlagenaufforstung sein. Andere Klimafaktoren können nur einen tiefer gelegenen Verlauf erzwingen.

Infolge der Lufttemperaturabnahme mit zunehmender Seehöhe hätte der Verlauf der thermisch bedingten Waldgrenze nahezu irgendeiner, holzartenspezifischen Schichtlinie zu folgen (Niveaufaktor nach FRIEDEL 1952, 1961), wenn nicht neben der Lufttemperatur die Nadel- und Bodentemperaturen unter dem Einfluß verschiedener Expositionen zu Abweichungen von dieser Niveau-Bedingtheit führen würden. Diese Abweichungen spielen bei der Beurteilung der thermisch bedingten Waldgrenze eine kleinere Rolle als bei der Suche nach der thermisch bedingten Baumgrenze, die noch bis zu 150 m zwischen sonn- und schattseitigen Expositionen abweichen kann (SCHRÖTER 1926).

Die Art der natürlichen Auflösung des Waldes in Gruppen, Horste und Einzelbäume hängt also neben der Seehöhe auch von der Art und Stärke der Reliefgliederung ab, weil sich im Bereich der Lebensgrenze der Baumwuchs auf die günstigsten Refugien im Mittel- und Kleinrelief zurückzieht. Handelt es sich beispielsweise um einen einheitlichen, im Mittel- und Kleinrelief nahezu ungliederten Hang, so werden diesem normalerweise auch kleinklimatische Unterschiede fehlen und daher wird in diesem Fall die Waldgrenze jener horizontalen Linie folgen.

Anders verhält es sich bei stark gegliedertem Mittelrelief, wo die Waldgrenze an den sonnseitigen Expositionen höher als an den schattseitigen verlaufen muß, wenn nur thermische Einflüsse dabei begrenzend wirken würden. Vielfach spielt aber nicht nur die Hangrichtung, sondern die Geländeausformung als solche eine wesentliche Rolle: Die Waldgrenze verläuft normalerweise an den Hängen höher als am Talboden (Kaltluftseen), auf den Rippen höher als in den Mulden. Je stärker schließlich innerhalb des Mittelreliefs die Gliederung des Kleinreliefs zunimmt, umso differenzierter wird auch thermisch der Kleinstandort unterteilt, was wiederum eine reliefbedingte Auflösung in potentielle Gruppen-, Horst- oder Einzelbaumstandorte und schließlich in potentielle Krüppelwuchsstandorte bedeutet. Mit zunehmender Seehöhe und abnehmender Temperatur verringert sich natürlich die Zahl der baumwuchsfähigen Standorte immer mehr.

Dieser Bereich der Waldauflösung sollte schon oberhalb jeder angestrebten Wiederbewaldungsgrenze bleiben. Daher ist diese unterhalb jenes Bereiches zu verlegen, in dem lediglich einzelne Holzpflanzen nur mehr unter Ausnützung einer rückstrahlenden Felswand, eines schützenden Steines oder einer kleinen Ver-

tiefung aufkommen und sofort deutliche Schadenswirkungen zeigen, wenn sie diesem engumrissenen "Schutzgebiet" entwachsen. Also die Vereinzelnung, gepaart mit langsamem Wachstum und schlechtem Zustand, seien vor allem Hinweise für den Ausschluß jenes höchstgelegenen Bereiches der Zwergstrauchheide, in dem noch vereinzelte Bäume, aber aus thermischen Gründen kein Schutzwald mehr möglich sind.

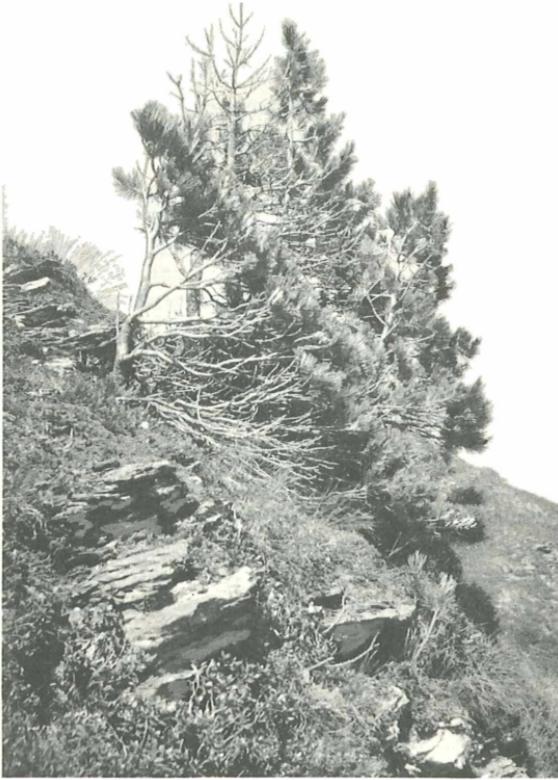
Darüberhinaus ist natürlich auch jeder Standort auszuschließen, an dem die für die noch höher gelegene "alpine Stufe" kennzeichnenden Pflanzen dominant auftreten. Für das Silikatgebiet sei vor allem der Bereich der weit verbreiteten, leicht kenntlichen Krummsegge (*Carex curvula*) genannt. Das gleiche gilt aber auch für die Schneetälchen-Rasen (mit *Salix herbacea*, *S. retusa* und *S. reticulata*, *Sibbaldia procumbens*, *Gnaphalium supinum*, *Polytrichum sexangulare*), für den Haller'schen Schwingelrasen (*Festucetum Halleri*), für den Nacktriet-Rasen (*Elynetum myosuroides*) und andere, örtlich in die subalpine Stufe hinunterreichende Gesellschaften der "alpinen Grasheide".

Die obere Grenze geschlossener Alpenrosenbestände wäre nach HAGER (1916) als die ehemalige klimatische Waldgrenze anzusehen. Diese Behauptung hat sich im Licht der inzwischen vorliegenden physiologischen und ökologischen Untersuchungen nur in sehr groben Zügen bestätigt, da sich die Standortsansprüche der Alpenrose und der in Frage kommenden Hauptholzarten doch in sehr wesentlichen Punkten widersprechen (Schneebedeckungsdauer, Frosthärte). Ferner ist bei den typischen Pflanzen der subalpinen Stufe, zu der ja auch die Alpenrose zählt, zu bedenken, daß sie sich alle an den Grenzen ihrer Lebensbereiche auf die geschützteren Standorte zurückziehen, ihren Anzeigewert also verändern und dementsprechend an ihrer oberen Verbreitungsgrenze auch immer kleinere Flächen bedecken. Daher gelten auch die Angaben des Ökogrammes nur für den aufforstbaren Bereich der subalpinen Stufe und nicht mehr für den noch vorhandenen Hochwald.

Mit dem ohnedies nur mit wesentlichen Abweichungen zutreffenden Begriff der 10⁰-Juli-Isotherme vermag die Praxis wenig anzufangen, da viel zu wenig Hangstationen zur Verfügung stehen, also interpolierte Temperaturwerte herangezogen werden müßten, wobei Fehler von einigen Graden angesichts der Reliefeinflüsse ohne weiters möglich sind (AULITZKY, Teil I, S. 105 ff).

2. Lage und Ansprache von windbedingten Aufforstungsgrenzen

Das Kleinklima wird im Hochgebirge mit zunehmender Seehöhe und abnehmender Bewaldung immer mehr von der maßgeblichen Bodenwindverteilung bestimmt, nicht nur weil mehr Niederschlag in Form von Schnee anfällt, sondern auch weil dieser infolge ungleicher Bewaldung ungleich verteilt wird. Nur im bewaldeten Teil



Abb, 225:

Vom Wind geschädigte, natürlich erwachsene Jungzirben oberhalb der Stallsins-Alm im Voldertal (Nordtirol) in 2100 m Seehöhe. Die leeseitigen Triebe und Stammachsen zeigen normale Entwicklung und Wüchsigkeit. Der Habitus (Windfahnenbildung) kann also als Ausdruck einer derzeitigen örtlichen windbedingten Aufforstungsgrenze verstanden werden, die deutlich unter der thermischen Waldgrenze verläuft (man beachte als Standortsanzeiger die dreispaltige Binse, *Juncus trifidus*, am Felskopf!)

der subalpinen Stufe oder bei fehlender Reliefgliederung sind einigermaßen gleichmäßige Schneehöhen zu erwarten. Im unbewaldeten, gegliederten Relief hingegen kommt es zur Kompression der Stromlinien an den Kanten und zum gegenteiligen Effekt im Bereich der Mulden. Infolgedessen ziehen sich alle Holzarten auf die klimatisch optimalen Flächen zwischen Luv und Lee zurück, wo eine mittlere Bewindung, mittlere Schneehöhe und mittlere Schneebewindungsdauer herrscht (Abb. 224). Auf Grund der Art der Verteilung des Schnees, der am Luvhang allmählich abnimmt, am Leehang hingegen schroff als Wächte abbricht, ist das Areal dieser natürlichen Holzbodenflächen normalerweise am Luvhang ausgedehnter und geschlossener als am Leehang (Abb. 224).

Windgrenzen lassen sich leichter als thermisch bedingte Grenzen erkennen und zwar sowohl an der Verteilung der Bodenvegetation, an ihrer Lage im Relief (Abb. 224, Linie 2b) wie auch am Habitus der bereits vorhandenen Jungwüchse (Windfahnenbäume). So zeigt beispielsweise die Zirbe (Abb. 225), daß in diesem Fall lediglich die einseitige Bewindung ihr Wachstum begrenzte. Die luvseitigen Äste und die windseits erwachsenen Stammachsen sind abgestorben; sie hatten die undankbare Funktion, einen lebenden Zaun zu bilden und haben diese Aufgabe auch unter Verlust ihres Lebens gelöst. Die windabgewandten Äste und Stammtriebe sind dagegen einwandfrei ausgebildet und zeigen durch ihren guten Zuwachs, daß sich das Bäumchen noch deutlich unter der thermischen Waldgrenze befindet und unter Voraussetzung eines natürlichen oder künstlichen Windschutzes auch zum Baum entwickeln würde. Dieser Windschutz würde sich auch von Natur aus ergeben, wenn andere Jungzirben am windseitigen Abhang des Rückens diesen umgangen und schließlich den Rücken selbst besiedelt hätten (siehe auch Abb. 224).

Ganz ähnliche Bilder bieten auch Fichten und Lärchen (Abb. 221). Häufig stehen die Stammtriebe in der Hauptwindrichtung gereiht, wobei der vorderste Stamm oder Trieb, seiner Funktion als "Windzaun" entsprechend, die meisten Schäden erleidet ("Biogruppen" MYCZKOWSKIs, 1956). Ähnliche Bilder sind wiederholt beschrieben worden (PLESNIK 1957, JENIK und LOKVENC 1962), wobei auf die Exzentrizität der Jahrringbildung als weiteres Merkmal verwiesen wurde.

Der Vegetation nach sind vor allem jene Bereiche als schwer aufforstbar anzusehen, wo Windbart-, Schnee- und Rentierflechten (*Alectoria ochroleuca*, *Cetraria nivalis*, *Cladonia rangiferina* und *Cladonia silvatica*) oder die dreispaltige Binse (*Juncus trifidus*) vorherrschen (Abb. 223, 225). Durch dichte Pflanzung (NEUWINGER-CZELL 1959), ferner aber vor allem durch Aufstellen von Schneezäunen ließe sich aber im Bereich unterhalb der thermischen Waldgrenze oft wirksam Abhilfe schaffen (HOPF 1958 und Abschn. II A dieses Buches).

Die Entscheidung, ob es sich nur um eine derzeitige oder aber schon um eine absolute Windgrenze handelt, wird nur aus dem Gesamteindruck heraus möglich sein, wobei neben der Seehöhe und dem Abstand von der thermisch bedingten Waldgrenze auch die Reliefkonfiguration, die Anzahl und Wachstumsgeschwindigkeit etwa bereits vorhandener Bäumchen und schließlich auch der Grad ihrer Beschädigung zu werten wären.

3. Lage und Ansprache von schneebedingten Aufforstungsgrenzen

So wie die Windgrenzen verhindern auch Schneegrenzen eine erfolgreiche Hochlagenaufforstung oft schon tief unterhalb der thermisch bedingten Aufforstungsgrenze, weil die langanhaltende und hohe Schneebedeckung nicht nur die Vegetationszeit verkürzt, sondern auch zusätzliche mechanische und biologische Schäden zur Folge hat.

Auch Schneegrenzen können an ihrer Lage im Relief (Abb. 224, Linie 2a) und, soweit Bäumchen schon vorhanden sind, an deren Habitus, aber auch an den, eine lange Schneebedeckung anzeigenden Testpflanzen-Arealen, am völligen Fehlen der Bäume auf solchen Flächen und an der Reife ihrer Vegetation erkannt werden (Alpenrosen-Heidelbeerbereich).

Mit zunehmender Schneehöhe und Schneebedeckungsdauer verstärkt sich der Befall der immergrünen Holzarten durch Schneeschadenspilze. Diese Pilze benötigen zu ihrer Entwicklung außerhalb der pflanzlichen Organe eine hohe Luftfeuchtigkeit (> 90 %) und die Temperaturen dürfen nicht unter -5°C sinken (BJÖRKMAN 1948, DONAUBAUER S. 575 dieses Buches). Daher sterben im Verlauf des Winters die am Baum oberhalb der Schneedecke abgesetzten Sporen ab, während sich innerhalb des Porenraumes der Schneedecke Sporen und Mycelien bestens entwickeln können. Im besonderen Maße gilt dies von der Schneeschmelzperiode ab April, wenn innerhalb der Schneedecke die Luft voll mit Feuchtigkeit gesättigt ist (siehe auch Teil I, Abb. 95, S. 310). Gleichzeitig damit treten an den Zweigen nahe der Schneeoberfläche zusätzliche Schäden durch starke Sonneneinstrahlung, Reflexstrahlung des Schnees und Nadelüberwärmungen auf (DONAUBAUER S. 575, HOLZER 1958, 1959). Bei noch gefrorenem Boden sind überdies Frostrocknisschäden möglich (MICHAELIS 1932, LARCHER 1957). Die Höhe dieses Gefahrenbereiches nimmt mit der örtlichen Schneehöhe zu und damit auch das Alter, das der endgültigen Sicherung des Baumes entspricht, gleichzeitig aber vermindert sich für ihn die Wahrscheinlichkeit, an einem solchen Standort glücklich durchzukommen.

Die obere Begrenzungshöhe des Schadensbildes entspricht etwa der spätwinterlichen Schneehöhe am Standort. Vornehmlich auf derartige Schneepilzschäden ist auch das von OSWALD (Abb. 129 dieses Buches) ermittelte Schadensmaximum bei 0,5 bis 1,0 m hohen Jungzirben zurückzuführen. In diesem Zusammenhang sei noch als Besonderheit erwähnt, daß auch an Standorten hoher und langanhaltender Schneebedeckung öfters beobachtet wurde, daß kleinste Pflanzen oder auch bodennächste Äste vom Schneepilzbefall verschont blieben (Abb. 226), dieser jedoch später, in der eben erwähnten Schicht über dem Boden, eintrat.

Bereits eingetretene Schäden durch die "Nordische Schütte" (Pha-

cidium infestans Karst.) sind an den zuerst gelb bis braun, später fahl gelblichgrau verfärbten Nadeln zu erkennen (BJÖRKMAN 1948); sommersüber sind sie als verfärbte Zone am Jungbaum von weitem zu erkennen (Abb. 147 und 220 dieses Buches). Später noch zeugen dürre, entnadelte Zweige oder ein völlig kahl gewordener Schaft vom seinerzeitigen Schaden (Abb. 148 dieses Buches).

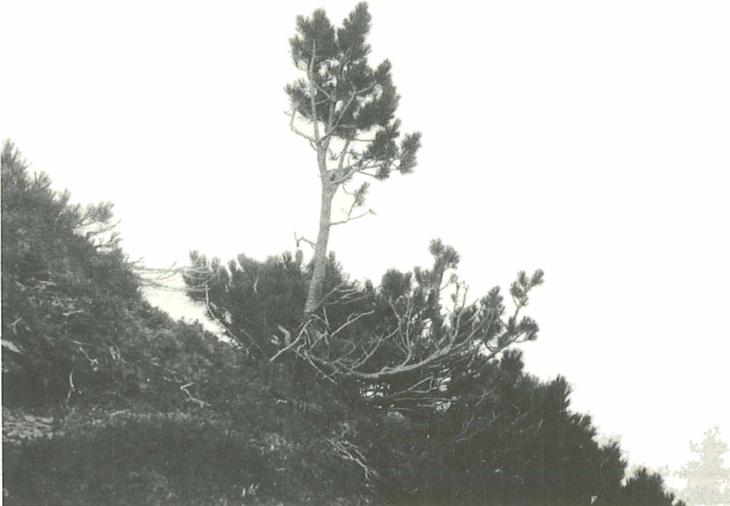


Abb. 226:

Kombinierte "Tisch- und Fahnenform" an einer autochthonen Jungzirbe oberhalb der Stallsins-Alm (Voldertal, Nordtirol) in 2100 m Seehöhe als Folge von Schneepilz-, Frosttrocknis- und Windschäden in der Höhenschicht der spätwinterlichen Schneeoberfläche und unmittelbar darüber. Im Winter ragt ein Teil des Stammes und der windgeschädigte Wipfel über die Schneedecke, dagegen sind die bodennahen, benadelten Äste lange Zeit schneebedeckt

Als Folge all dieser biologisch bedingter Schäden kommt es zur Ausbildung von "Tisch und Fahnenformen" von Bäumen, die auch kombiniert auftreten, wenn der Terminaltrieb der gefährlichen Schneeoberflächenschicht zwar schon entwachsen ist, sich aber noch immer in einer Zone starker, einseitiger Bodenwinde befindet (Abb. 226)(PLESNIK 1957, 1959).

Das Erkennen von schneebedingten Aufforstungsgrenzen des Klein- und Mittelreliefs gelingt am besten in einem Zustand fortgeschrittener Ausaperung, in dem sich die Bereiche langer Schneebedeckung leicht festhalten lassen. Aber auch im Sommer und Herbst lassen noch kennzeichnende Vegetationsareale und Isophanen (Linie

gleichen Blühzustandes) die gefährdeten Bereiche erkennen (Öko-gramm!). Da sich die Beurteilung des Kleinreliefs in seiner Lage zur vorherrschenden Hauptwindrichtung als zusätzlicher Hinweis anbietet, sind Schneegrenzen ähnlich leicht wie Windgrenzen zu erkennen.

Wächtenbereiche und die anschließenden berasteten Mulden sind durch besonders lange Schneebedeckung ausgezeichnet und wären daher bei der Aufforstung bis zur Änderung der Schneeverteilung unbedingt auszusparen. Zwischen beiden schiebt sich, sofern die Wächte nicht bis in die Mulde reicht, ein Bereich geringerer Schneehöhe ein (Abb. 91 und 96a des I. Bandes), der mitunter Aufforstungsmöglichkeiten bieten kann, wenn nicht mechanische Angriffe dies unterbinden.

Schneegrenzen durch Schneedruck, -gleiten und -kriechen lassen sich an der zunehmenden Säbelwüchsigkeit der Jungbäume auch im Kampfzonenbereich erkennen. Dabei scheint die Zirbe elastischer zu sein und besser standzuhalten als die Lärche (KÖSTLER 1955). Junge Bäumchen bis zu einer Höhe von etwa 3 m werden nur gebogen, ältere jedoch gerne gebrochen. Derartige Schäden sind auf "Kriechen" des Schnees, also seine Setzbewegung zurückzuführen, die umso kräftiger ausfällt, je höher die Schneedecke und je steiler die Neigung am Standort ist. Bei glatter Unterlage (also vor allem auf Grasheiden) kommt das "Gleiten" als zusätzlicher Einfluß dazu. Gegen das "Schneegleiten" helfen Maßnahmen, durch die die Rauigkeit der Bodenoberfläche erhöht wird (Pflanzlöcher, Terrassen, Verpfählungen), gegen das "Kriechen" nur Schneeausgleich, Neigungsverminderung oder Stützwerke. Auch zunehmende Dichte und zunehmendes Alter der Pflanzung vermindern die Schadenswirkung.

Im Bereich von Leelagen, jedoch nicht nur dort, entstehen häufig Lawinen durch Wächtenbruch. Infolgedessen ist die Wald- und Baumgrenze im ausgesprochenen Leegebiet in gesetzmäßiger Weise vielfach tiefer abgesenkt als im Luvbereich trotz manchmal entgegengesetzter thermischer Bedingungen, was auch von JENIK (1961) und MYCZKOWSKI (1962) aus anderen Gebirgen berichtet wird. Die Lawinenschäden selbst sind sowohl an den glatten Rändern der Lawinenbahnen als auch an der Struktur und Zusammensetzung der benachbarten Bestände (MYCZKOWSKI 1962) gleichfalls leicht zu erkennen.

Großräumige Leegebiete, wie z. B. die Innenalpen, haben zum Unterschied von den eben besprochenen kleinräumigen Leelagen (Mulden) einen geringeren Niederschlag und daher neben größeren Temperaturamplituden eine deutlich verlängerte Vegetationsperiode zu verzeichnen (TOLLNER 1949, TURNER Seite 265 ff.). Das ist bei der gebietsweisen Beurteilung zu berücksichtigen.

Ob eine örtlich erkennbare Schneegrenze als temporär oder absolut anzusehen ist, kann ebenfalls nur nach dem Gesamteindruck entschieden werden, wobei wiederum neben den Möglichkeiten zur

Schneeumlagerung die Höhenlage des Gebietes, der Abstand von der thermischen Waldgrenze, Dichte und Schnelligkeit des Jugendwachstums, die Schäden usw., zu beachten sind.

4. Über bodenbedingte Aufforstungsgrenzen

Nach den heute vorliegenden Kenntnissen und Erfahrungen bevorzugen die drei Hauptholzarten Zirbe, Lärche und Fichte folgende, in der gleichen Reihenfolge aufgeführten Bodenformenkreise: Rohhumusböden, Rohböden und Moderböden (NEUWINGER-CZELL 1959). Die genannte Bevorzugung bestimmter Böden ist aber natürlich nur insoweit von Belang als die Bodeneinflüsse nicht von anderen, wirksameren Einflüssen überlagert werden (z. B. zu lange Schneebedeckung und deren Folgen).

Zur Abgrenzung der Bodenformen eignen sich danach sowohl physiognomische Merkmale der Vegetation (Siedlungsform, offene oder geschlossene Gesellschaften, Polster-, Rasen- oder Spalierwuchs) als auch bestimmte Pflanzenarten als Klima- und Bodenindikatoren (NEUWINGER-CZELL 1959), worin Wechselbeziehungen zwischen Bodenbildung und kennzeichnender Vegetation zum Ausdruck kommen. Gerade diese Zusammenhänge gestatten nun in der Praxis in gewissen Fällen unter Umgehung von im Routinebetrieb schwer durchführbarer Bodenuntersuchungen, dort zu einer Aussage zu gelangen, wo Aufforstungsschäden vom Bodenfaktor her befürchtet werden müssen.

So finden sich z. B. vor allem im Bereich der schattseitigen, moosreichen Rostalpenrosen-Heidelbeerheide dicht gelagerte, hohe Rohhumusschichten (im $A_1 = A_H$ -Horizont), deren Material sich direkt mit der Hand verschmieren läßt und die ein ernstes Hindernis für Bodendurchlüftung und Bewurzelung darstellen. Wenn sich bei der Pflanzlochherstellung der Humus dieser Schicht nicht durchstoßen und nicht mit den mineralischen Bestandteilen der darunter befindlichen Schicht (A_2 - A_E -Horizont) vermischen läßt, sind nach CZELL (mündlich) nicht nur an Lärchen, sondern auch an Fichten und Zirben ernste Ausfälle zu erwarten.

Auch andere dicht gelagerte, ferner tonreiche und stark verfilzte Rohhumusauflagen mit dicht wurzelnden Vegetationsdecken, z. B. dichte Bürstlingrasen, verhindern nicht nur die Naturverjüngung, sondern auch den Erfolg von Klemm- und Spaltpflanzungen, da sich in Trockenperioden die Plagge abhebt und nun die Wurzel im Spalt vertrocknet.

Noch in Bewegung befindliche Blaikenböden können erst nach erfolgter Grünverbauung (SCHIECHTL 1958) mit Lärchen aufgeforstet werden.

Böden mit stehender Nässe können mit keiner der drei Hauptholzarten aufgeforstet werden.

Sollte sich im Ausnahmefall die Aufforstung eines stark vernähten Standortes (z. B. sphagnumreiche Alpenrosen-Heidelbeerheide) einmal als notwendig erweisen, so wäre dort am ehesten der Latsche und der Spirke eine Chance zu geben.

5. Sonstige natürliche und künstliche Aufforstungsgrenzen

Als weitere naturgegebene Aufforstungsgrenzen werden orographisch bedingte verschiedentlich erwähnt, so z.B. zu große Steilheit des Geländes. Unbeschadet dessen vermag jedoch die Zirbe, aber auch Fichte, als Felsspaltenbesiedler an steilen Graten ausgezeichnetes zu leisten (Abb. 227).



Abb. 227:

Autochthone Jungzirben als Felsspaltenbesiedler unter dem Tulfein-Köpfl in 2100 m Seehöhe an einer Felskante, die aus der Richtung des Betrachters bewindet wird

Biologisch bedingte Aufforstungsgrenzen sind ohne eingehendere Untersuchungen mitunter schwer festzustellen. Sie könnten z. B. durch Fehlen von entsprechenden Mykorrhizapilzen, durch zu geringe Bodenaktivität (MOSER 1956, Seite 411 - 423 u. 683 - 720 dieses Sammelwerkes), durch Fehlen von Samenbäumen, aber auch durch Konkurrenz verursacht sein. Solche biologisch bedingte Waldgrenzen lassen sich bisweilen an der Struktur des angrenzenden Bestandes erkennen.

Alle natürlichen Grasheiden wären von der Hochlagenaufforstung auszunehmen, desgleichen Lägerfluren. Bei Auftreten von Bürstling (*Nardus stricta*) sind vor Einleiten irgendwelcher Maßnahmen vor allem die Ursachen des Auftretens zu untersuchen, sei es der Vertritt, das Kleinklima oder der Chemismus des Bodens (AICHINGER 1953). Es könnte sich dabei ebenso um einen degra-

dierten ehemaligen Waldboden (vor allem im Falle von sogenannten, durch Viehvertritt am Hang entstandenen "Gangln"), wie auch um eine degradierte Gras- oder Zwergstrauchheide handeln.

Infolgedessen wäre es meist schon aus sachlichen und nicht nur aus taktischen Überlegungen heraus zu unterlassen, in den naturgegebenen Bereich der Almen vorzudringen, genauso wie sich das Gegenteil, das Vordringen der Almen in die Waldzone, nach kurzandauerndem Erfolg als zwecklos und nach einigen weiteren Jahrzehnten als ausgesprochen schädlich für die Almen erwiesen hat (FROMME 1957). Gerade bei der Hochlagenaufforstung geht es ja in der letzten Zielsetzung ausschließlich um eine Landschaftsneueinrichtung unter dem Gesichtspunkt optimaler Flächenwidmung und Flächennutzung.

Es sollen daher alle landwirtschaftlich gut nutzbaren Flächen, mit Ausnahme der Lärchenwiesen (SCHNEIDER - BAIER - HULA 1957), von vorneherein unaufgeforstet bleiben und durch entsprechende Melioration im Schutz umgebender oder benachbarter Waldungen im Ertrag gesteigert werden. Angesichts der Entwicklung zu wirtschaftlichen Großräumen wird nur einer getrennten, aber intensiven forstlichen oder landwirtschaftlichen Bewirtschaftung normalerweise eine Chance bleiben, nicht aber einer gemeinsamen und daher extensiven Bewirtschaftung.

6. Zusammenstellung der wichtigsten und der empfohlenen Zeigerpflanzen nach ihrem ökologischen Aussagewert

a) Reihung nach abnehmender Windstärke und zunehmender Schneehöhe und -Dauer:

Zeiger auf Sonnseiten:

1 Dreispaltige Binse
(*Juncus trifidus*)

2 Bärentraube
(*Arctostaphylos uva-ursi*)

Krähenbeere
(*Empetrum hermaphroditum*)

Zeiger auf Schattseiten:

1 Windbartflechte
(*Alectoria ochroleuca*)

Schneeflechte
(*Cetraria nivalis*)

Rentierflechte
(*Cladonia rangiferina*)

Waldflechte
(*Cladonia silvatica*)

2 Gemsheide
(*Loiseleuria procumbens*)

Krähenbeere
(*Empetrum hermaphroditum*)

Zeiger auf Sonnseiten:

- 3 Besenheide
(*Calluna vulgaris*)

Preiselbeere
(*Vaccinium vitis-idaea*)

4 Zwergwacholder
(*Juniperus sibirica*)

5 Rost-Alpenrose
(*Rhododendron ferrugineum*)

Besenförmiger Gabelzahn
(*Dicranum scoparium*)

6 Borstgras-Rasen in Mulde
(*Nardus stricta*)

Alpen-Gelbling
(*Sibbaldia procumbens*)

Zeiger auf Schattseiten:

- 3 Rauschbeere
(*Vaccinium uliginosum*)

4 Heidelbeere
(*Vaccinium Myrtillus*)

5 Rost-Alpenrose
(*Rhododendron ferrugineum*)

Schreibers Astmoos
(*Pleurozium Schreberi*)

Etagenmoos
(*Hylocomium splendens*)

6 Borstgras-Rasen in Mulde
(*Nardus stricta*)

Alpen-Gelbling
(*Sibbaldia procumbens*)

b) Reihung von Zeigerpflanzen nach abnehmender Feuchtigkeits- und zunehmender Trockenheit und Oberflächenüberhitzung:

- 1 Torfmoose (*Sphagnum*-Arten)
2 Grünerle (*Alnus viridis*)
3 Etagenmoos (*Hylocomium splendens*)
Schreibers Astmoos (*Pleurozium Schreberi*)
4 Heidelbeere (*Vaccinium Myrtillus*)
5 Alpenrose (*Rhododendron ferrugineum*)
6 Zwergwacholder (*Juniperus sibirica*)
Besenförmiger Gabelzahn (*Dicranum scoparium*)
7 Preiselbeere (*Vaccinium vitis-idaea*)
8 Besenheide (*Calluna vulgaris*)
9 Langhaariges Habichtskraut (*Hieracium pilosella*)
10 Felsen-Leimkraut (*Silene rupestris*)

E. Jahreszeitliche Gesichtspunkte als Grundlage des Arbeitskalenders für Hochlagenaufforstungen

Die Höhenlage der Aufforstungsgebiete mit ihren klimatischen Besonderheiten im Jahresgang und die darin begründeten Gegensätze zum Jahresablauf in den meist viel tiefer gelegenen Pflanzgärten haben Abweichungen im Lebensrhythmus der Setzlinge zur Folge. Dieser Lebensrhythmus wird überdies noch durch einen ausgeprägten Jahresgang der Schadenseinflüsse gestört. All dies sollte bei der Planung und Ausführung von Hochlagenaufforstungen berücksichtigt werden.

Die Vegetationsperiode im Hochgebirge entspricht im wesentlichen der schneefreien Zeit. Ihre Andauer ist aber nicht nur von der Höhenlage allein, sondern sehr stark auch von der Exposition des Standortes abhängig. Die dabei zu erwartenden Unterschiede sind vor allem, was den Zeitpunkt der Ausaperung anbelangt, sehr beträchtlich und können bei gleicher Höhenlage bis zu 4 Monate betragen (wie Abb. 228 zeigt).

Die Unterschiede der Ausaperung im Frühjahr spielen angesichts des Jahresganges der Photosynthese, aber auch im Hinblick auf die sich auf den Spätwinter konzentrierenden Schadenswirkungen, biologisch eine große Rolle (TRANQUILLINI S. 501-546). Die in den vergangenen Jahren im Innerötztal festgestellten Unterschiede (TURNER, S. 265-315) gehen über das seinerzeit von KERNER (1887) aus dem Inntal mitgeteilte Ausmaß beträchtlich hinaus. Zwischen den frühausapernden Luvstandorten und den spätausapernden Lee-standorten besteht ein Unterschied von mehr als 2 Monaten. Vergleicht man ein solches Nord-Süd-Tal mit einem Ost-West-Tal der Ostalpen, so ergeben sich dort zwischen extremen Sonn- und Schatthängen nahezu doppelt so große Unterschiede (Abb. 228 a).

Die standortbedingten Unterschiede in der Dauer der Vegetationsperiode beeinflussen unmittelbar den Zuwachs der Holzarten. Während frühe Ausaperung (nach Abb. 228b) einen beträchtlichen Zuwachsgewinn bedeutet und das Gegenteil einen entsprechenden Zuwachsverlust, fallen die herbstlichen Unterschiede kaum ins Gewicht, weil um diese Zeit die Assimilationsleistung nur mehr gering ist; zum Zeitpunkt des Austreibens der neuen Nadeln (Juli-August) zeigt sich ein deutliches Nachlassen des Wachstums (TRANQUILLINI, S. 501-546).

Die Lärche leistet als Jungpflanze (12-jährig) wesentlich mehr als die Zirbe, ihr jährlicher Zuwachs setzt jedoch erst nach einer gewissen Vorbereitungszeit ein (TRANQUILLINI 1962).

Nicht nur das Wachstum, auch die Schadenswirkungen zeigen einen deutlichen Jahresgang, dessen Kenntnis für den Praktiker

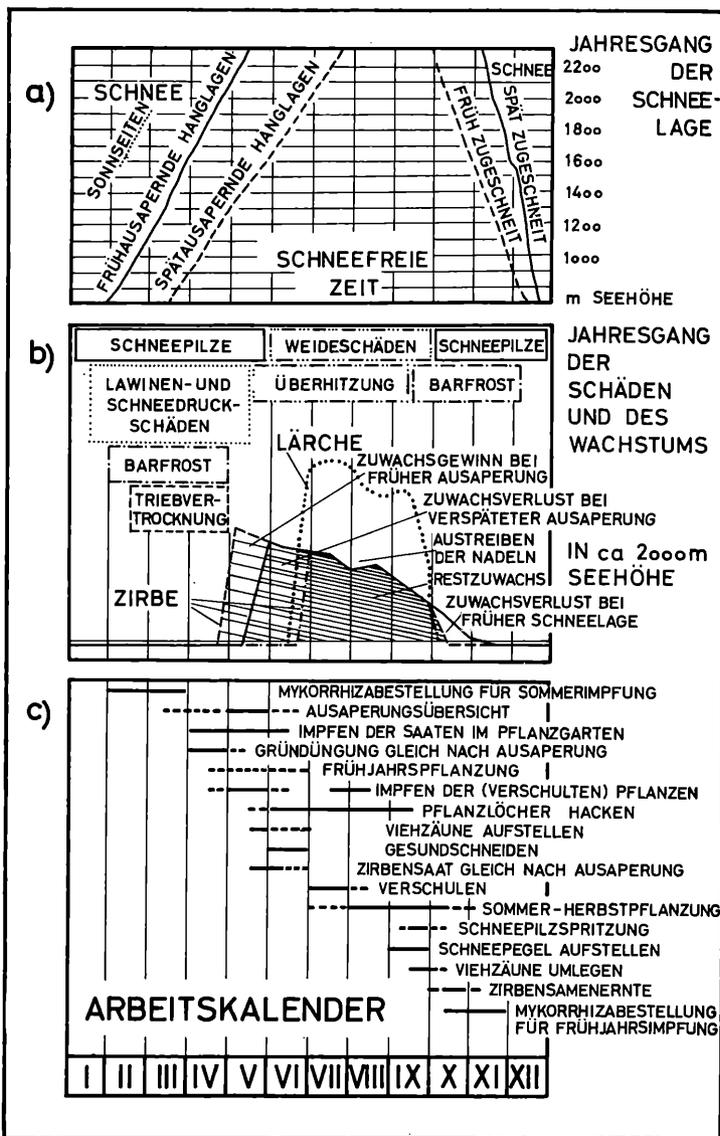


Abb. 228:

- a: Zeitpunkte für Ausaperung und Einschneien zwischen 700 und 2300 m Seehöhe für frühausapernde bzw. spätschneide Hanglagen (liniert) und für spätausapernde und frühzuschneide Hanglagen (gestrichelt) des Innerötztales, eines zentral-alpinen Nord-Süd-Tales sowie für die Sonnseiten des Sellraintales, eines am Rande der Inneralpen gelegenen Ost-West-Tales (punktirt)(KERNER 1887, SCHRÖTER 1926, TURNER 1961a)
- b: Jahresgang der lebensgefährlichen Schadenseinflüsse und Ablauf der Vegetationsperiode der immergrünen Zirbe und der sommergrünen Lärche (AULITZKY 1958a, DONAUBAUER 1961, OSWALD 1963, TRANQUILLINI 1958, 1959, 1962)
- c: Arbeitskalender für Hochlagenaufforstungen (MOSER 1956, 1959, STAUDER 1963)

gleichfalls von Bedeutung ist (Abb. 228b). Eine Häufung der Schäden bringt der Spätwinter: Hier kommt es vor allem zu den meist lebensgefährlichen Schneepilzinfektionen an den immergrünen Holzarten (DONAUBAUER, S. 575 ff.), es treten Schäden durch "Kriechen" und "Gleiten" des Schnees sowie Lawinenschäden auf. Bäume von ca. 2–5 m Höhe werden von diesen mechanischen Einwirkungen vielfach gebrochen, während jüngere, noch elastischere, vom Druck nur gebogen werden, ältere dagegen, bei nicht zu grobem Angriff, standhalten. Barfrostschäden treten vor allem in Pflanzlöchern, an besonnten, frühausapernden, vegetationslosen und nassen Standorten auf, wo im Frühjahr und Herbst die Temperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht (Frostwechsel) ein besonders hohes Ausmaß anzunehmen vermögen (Abdecken der Pflanzlöcher, Mulchen!). Schließlich sind die gleichfalls um diese Jahreszeit auftretenden Frosttrocknisschäden (MICHAELIS 1932, LARCHER 1957) an den Nadeln der Immergrünen, aber auch Triebvertrocknungen an entnadelteten Lärchen (IVANOFF 1924) zu beachten, wenn die Pflanzen unter der Wirkung starker Einstrahlung und Erwärmung aus dem zum Teil noch gefrorenen Boden nicht genügend Wasser nachzuschaffen vermögen. Derartige Schäden entstehen besonders am Endtrieb und an Luv-Sonnseiten der Bäume an Zweigen knapp ober der Schneedecke, die besonders unter der Einwirkung zusätzlicher Reflexstrahlung stehen (Abb. 221, 223, 225). Die bereits erwähnten Schneepilzschäden nehmen von der Luvseite der Bäume ihren Ausgang und befallen im Spätwinter auch Zweige der Leeseite, wo ja der Schnee höher liegt und daher die Jungbäume auch in noch größerer Höhe befallen werden (DONAUBAUER, S. 575 ff.).

Weit weniger gefährlich verläuft der Sommer, da sich zumindest Weideschäden, z. T. auch Wildschäden, durch Zäune verhindern lassen und die gleichfalls erwähnenswerten Schäden durch Überhitzung der Bodenoberfläche nur ungeschützten Samen und Keimlingen gefährlich werden können (daher Abdecken der Pflanzlöcher), nicht aber schon verholzten Pflanzen.

Im Herbst ist vom beginnenden Schneefall an erneut mit gefährlichen Schneepilzinfektionen zu rechnen, ausgehend von den unteren Zweigen, weil die Schneedecke noch niedrig ist. Vor allem an Sonnhängen kommt es zu Barfrostschäden, die insbesondere bei spätem Zuschneien und infolgedessen beträchtlichem Temperaturwechsel zwischen Tag und Nacht ernste Schäden in humosen, feuchten und bindigen Böden verursachen können.

Diesen jahreszeitlichen Gegebenheiten der Hochlagen sollte sich die Hochlagenaufforstung so gut als möglich anpassen. Der beigegebene Arbeitskalender (Abb. 228c) berücksichtigt die heute der Forschung und Praxis bekannten Tatsachen, wird jedoch sicherlich dereinst im Lichte neuer Erkenntnisse, genauso wie das Örogramm, die eine oder andere Veränderung erfahren müssen. Er

enthält nur die unmittelbar mit der Aufforstung zusammenhängenden Arbeiten, nicht aber die Vorbereitungsarbeiten, wie z. B. den Wegebau, Alpverbesserung und Erstaufstellung von Zäunen.

Nach diesem vorläufigen Arbeitskalender müssen Bestellungen für eine beabsichtigte Sommerimpfung mit Mykorrhizapilzen bereits im Feber-März erfolgen, um genügend Zeit für die Anzucht zu gewähren.

Je nach Exposition und Seehöhe des Aufforstungsgebietes sollte sich der Forstmann zwischen März und Juni eine Übersicht vom örtlichen Ablauf der Ausaperung in seinem Gebiet verschaffen und dabei durch Photos, Verpflockung und Pegelablesung vor allem die Ausscheidung der frühestausapernden, schneearmen und daher frostgefährdeten Standorte und der spätausapernden, schneereichen und schneepilzgefährlichen Standorte erleichtern, da ja ein Teil der Standortsanzeiger nur sehr ungenau die zu erwartende Schneehöhe angibt (z. B. Alpenrose, Heidelbeere und Besenheide).

Die Frühjahrsimpfung der Saaten mit holzartenspezifischen Mykorrhizapilzen hätte in den Pflanzgärten zwischen April und Mitte Juni (MOSER, Abschn. II, C) zu erfolgen, sobald dies die Schneelage zuläßt.

Auch allfällige Gründüngungen in Pflanzgärten sollten unmittelbar nach der Ausaperung im April und Mai ausgeführt werden, um ein nachhaltig gutes Bodenleben im Pflanzgarten zu erhalten. Eine zu gute Stickstoffversorgung der Holzpflanzen hat aber eine spürbare Einbuße an Frosthärte zur Folge (TRANQUILLINI 1958, S. 547-562 dieses Buches).

Für Frühjahrsplantzungen, über die noch wenig Erfahrungen vorliegen, steht nur ein sehr kurzer Zeitraum unmittelbar nach der Ausaperung zur Verfügung (STAUDER S. 751 ff.), da für die Pflanzung die Zeit stärkster sommerlicher Erwärmung und Austrocknung unbedingt vermieden werden sollte. Es ist auch zu berücksichtigen, daß die Pflanzen aus tiefer gelegenen Pflanzgärten schon stark ausgetrieben haben können. Zirben und Fichten, deren Einbringung im Herbst wegen Schneefalls nicht mehr möglich war, werden, im Frühjahr gepflanzt, nur dann gedeihen, wenn sie im Herbst an einem Standort nicht zu langer Schneebedeckung (also etwa im Bereich der Rauschbeerheide) eingeschlagen worden sind oder rechtzeitig der Schnee abgeschöpft wurde.

Zwischen Mitte April und Mitte Juni, ferner zwischen Mitte Juli und Mitte August, sollten in den Pflanzgärten die (verschulten) Pflanzen mit den holzartenspezifischen Mykorrhizapilzen geimpft werden (MOSER, 1956, 1959; siehe auch Seite 691 ff. dieses Buches).

Schon von Mitte Mai an, unmittelbar anschließend an die Frühjahrsplantzung, kann die gleiche Arbeiterpartie mit dem Hacken der Pflanzlöcher beginnen und auf diese Art, durchlaufend beschäftigt, die Herbstplantzung entsprechend gut vorbereiten.

Vor dem Viehauftrieb sind allenfalls im Herbst umgelegte oder

im Winter beschädigte Zäune wiederaufzurichten und auszubessern.

Wenn es finanziell tragbar ist, wären im Juni die wintersüber von Schneepilzen befallenen immergrünen Holzarten "gesund zu schneiden" (bevor die erkrankten Nadeln abfallen) und das Material zu verbrennen (DONAUBAUER, Seite 596).

Über die Zirbensaat liegen noch wenig Erfahrungen vor. Es scheint so, als ob eine (durch Mennige, Hirschhornöl) geschützte und unter Vegetation versteckte Saat ("Stupfen") unmittelbar nach dem Ausapern wegen der nun voll zur Verfügung stehenden Vegetationsperiode in den klimatisch günstigsten Arealen noch am ehesten Erfolg hätte.

Von Juli bis August erfolgt das Verschulen im Pflanzgarten, wobei gleichzeitig mit Mykorrhizapilzen geimpft werden sollte, wenn die Pflanzen später zur Aufforstung längst entwaldeter, mykorrhizaarmer Gebiete bestimmt sind.

Abgesehen von einer vielleicht schon früher möglichen Topfpflanzung kann mit der Sommer-Herbstpflanzung frühestens im August begonnen und ab September - mit geringerem Risiko als vorher - fortgeföhren werden (STAUDER Seite 751 ff.).

Nur bei vorbereiteten Pflanzlöchern läßt sich diese günstigste, aber leider zu kurze Pflanzzeit ausgiebig nützen.

Am ehesten in Pflanzgärten, seltener im Gelände, kann das vorbeugende Spritzen der Pflanzen gegen die Schneepilz-Gefahr empfohlen werden (mit Cuprosan oder Cupravit), das möglichst unmittelbar vor dem Einschneien erfolgen sollte, damit die Mittel an den bedrohten Pflanzenteilen den Winter über auch haften bleiben. Das Spritzen käme für Pflanzgärten mit zu hoher, zu lang andauernder Schneedecke in Frage und könnte sich im Gelände auf jene Astpartien beschränken, die voraussichtlich unter die Schneedecke zu liegen kommen. Wenn das Schutzmittel vor Ausbildung einer bleibenden Schneedecke durch Schnee oder Regen abgewaschen würde, müßte die Spritzung wiederholt werden (September-Oktober)(CZELL, mündlich).

Spätestens im September-Oktober wären Schneepegel in einem neuaufzuforstenden Gebiet nach Vegetationsgesichtspunkten (Ökogramm) aufzustellen. Zäune wären nach Almbtrieb im Hinblick auf die Schneedauer vor allem dann umzulegen, wenn sie am Hang entlang der Schichtlinie verlaufen.

Die Ernte von Zirbensamen sollte nach der Reife, also dann, wenn sich die Samen aus den Zapfen leicht ausdrücken lassen, erfolgen, leider also erst zu einem Zeitpunkt, zu dem bei geringem Behang oft nur mehr wenige vom Tannenhäher verschont sein werden.

Schließlich wäre in den letzten Monaten des Jahres die Mykorrhizabestellung für Frühjahrsimpfungen des nächsten Jahres durchzuführen (Abb. 228 c).

III. Die Anwendung des Wind-Schnee-Probeökogrammes

A. Die Grenzen der Anwendung

Das Ökogramm darf nur innerhalb ganz bestimmter zonaler und regionaler Grenzen angewendet werden, weil es aus einer weitgehenden Schematisierung und Vereinfachung der wichtigsten biologischen Zusammenhänge entstanden ist.

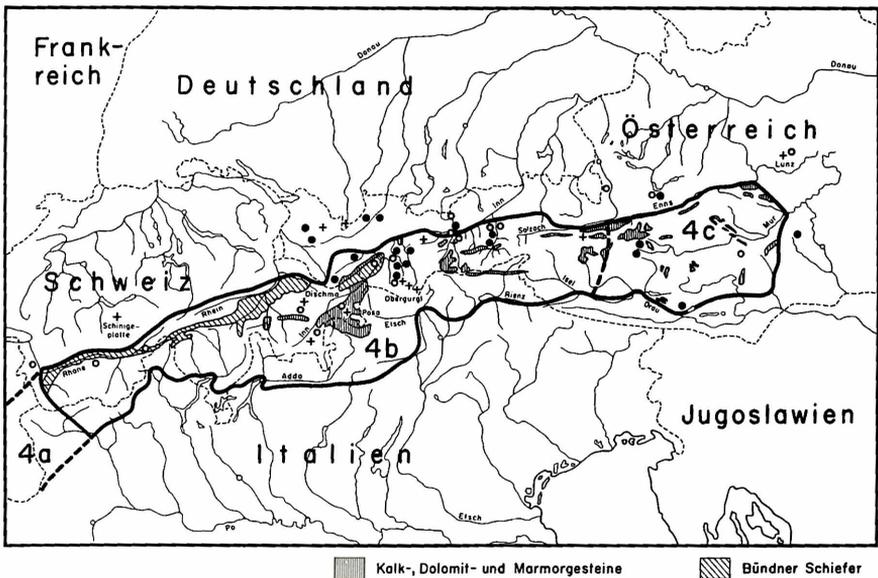


Abb. 229:

Bereich der kontinentalen Waldgebiete 4b und 4c nach RUBNER-REINHOLD (1953), die hinsichtlich des österreichischen Anteils etwa dem Wuchsgebiet I nach TSCHERMAK (1940) entsprechen. An Hand der Eintragungen der bisher bekanntgewordenen kleinklimatischen (+) und forstlichen Untersuchungen (o) sowie der bei Hochlagenaufforstungen (●) gemachten praktischen Erfahrungen kann die Herkunft des Belegmaterials überblickt werden. Geologisch bedingte Ausschlussgebiete wurden durch Schraffur besonders gekennzeichnet

Das vorliegende probeweise Ökogramm gilt nur für Hochlagenaufforstungen in einem Teil der sogenannten "Kampfzone" der subalpinen Stufe unserer Innenalpen (GAMS 1931-32), also im Wuchsgebiet I nach TSCHERMAK (1940), das etwa, soweit es den österreichischen Alpenanteil betrifft, den Waldgebieten 4b

und 4c der Zone V nach RUBNER-REINHOLD (1953) entspricht (Abb. 229). Der Seehöhe nach handelt es sich um die Höhenstufe zwischen 1600 und 2200 m, wobei die Jahresniederschlagssummen zwischen 700 und 1500 m und die Jahresmittel der Lufttemperatur zwischen 0° und 3°C schwanken. Die Amplituden zwischen den Mittelwerten des wärmsten und kältesten Monats betragen 14 - 19°C. Die Schneebedeckungsdauer beträgt je nach Reliefsituation und Vegetation etwa zwischen 200 Tagen und einem Zehntel dieses Wertes (TURNER, Seite 265; AULITZKY-TURNER).

Unter dem aufforstbaren Teil der "Kampfzone" wird hier der Bereich zwischen der empirisch feststellbaren "alpinen Waldgrenze" (JENIK-LOKVENC 1962) und der "möglichen Wiederbewaldungsgrenze" verstanden. Die Begrenzung auf diesen Teil der entwaldeten subalpinen Stufe ist notwendig, weil die jeweilige obere Waldgrenze, ganz unabhängig davon, ob sie als natürlich anzusprechen ist oder nicht, eine außerordentlich scharfe Klimagrenze darstellt und nicht die gesamte "Kampfzone" aufgeforstet werden soll.

Innerhalb des kontinentalen Wuchsgebietes I der Innenalpen sei die Gültigkeit des Ökogramms weiter auf die silikathaltigen Böden beschränkt, während Kalk- und Dolomitstandorte ausgenommen sind (Abb. 229). Eine gewisse Vorsicht ist vielleicht auch im Bereich der Bündner Schiefer geboten, weil Untersuchungen dort bisher fehlen. Nach FURRER (1955) ist das Zurücktreten der Zirben in dem in der Schweiz gelegenen Bereich des Bündner Schiefers jedoch nicht auf Bodeneinflüsse zurückzuführen, wie KLEBELSBERG (1952) vermutet.

Nicht anzuwenden ist das Ökogramm ferner im Bereich der Hochmoore und auf allen jenen Flächen, die durch intensive Einflüsse menschlicher Bewirtschaftung oder sonstige äußere Einflüsse in ihrer natürlichen Vegetationsentwicklung als gestört anzusehen sind. Dies gilt insbesondere für abgebrannte, gemähte, gedüngte und stark beweidete Flächen, aber auch für junge Erosions- und Schuttkegelbereiche.

Nach der Lage und Art der bisherigen Versuche (Abb. 229), die eine erschöpfende Behandlung des Problemkreises noch nicht erwarten lassen, wird das vorliegende Ökogramm mit größerer Sicherheit im Zentrum des Wuchsgebietes I und in den nach Norden offenen Alpenquertälern (Nord-Süd-Täler) anzuwenden sein als an den äußeren Rändern und in den Alpenlängstälern (Ost-West-Täler). Desgleichen wird es mit höherer Sicherheit für die Hochlagenaufzucht mit Zirben (bis 2200 m Seehöhe) als für jene mit Lärchen (bis 2100 m Seehöhe) und Fichten (bis höchstens 2000 m Seehöhe) verwendet werden können.

Schließlich sei auch noch darauf verwiesen, daß die dem Ökogramm als Grundlage dienende Zonation deutlicher im westtiroler und ostschweizerischen Gebiet festgestellt werden konnte, während am Ostrand des Wuchsgebietes I (z. B. auf der Gleinalpe) die Pflan-

zen der Zwergstrauchheide vielfach nur mehr als Subdominante auftreten. Eine ähnliche Vegetationsverteilung konnte auch an reinen Sonnhängen beobachtet werden und dürfte mit der thermischen Beeinflussung zusammenhängen. In den erwähnten, thermisch getönten Gebieten wurde auch ein Zurücktreten der windharten Flechten zugunsten der dreispaltigen Binse (*Juncus trifidus*) festgestellt.

B. Praktische Anwendung

Das Ökogramm soll als Test zur Durchführung standortsgemäßer Hochlagenaufforstungen dienen, dem innerhalb der genannten Grenzen Gültigkeit im entwaldeten Teil der subalpinen Stufe zukommt.

Um dieser Aufgabe gerecht zu werden, muß der Vegetationstest prinzipiell von der ganzen möglichen Breite der dort vorkommenden Standortsgegensätze ausgehen. Er muß also auch Extremfälle berücksichtigen, wie sie nur durch starke Reliefgliederung oder z. B. hohe Lage des Aufforstungsstandortes entstehen. Das bedeutet für die praktische Anwendung, daß die angetroffenen Standortsunterschiede und die in Frage kommenden Maßnahmen umso einförmiger sein werden, je geringer die örtliche Reliefgliederung ist, ferner daß die Wachstumsvoraussetzungen umso günstiger bzw. ungünstiger sind, je tiefer bzw. je höher der Standort gelegen ist.

Daher ist es zweckmäßig, sich vor der Anwendung einen Überblick vom örtlich vorhandenen Ausmaß der Standortsgegensätze zu verschaffen, der ja keineswegs das im Ökogramm aufgezeigte Ausmaß erreichen muß. Um einen solchen Überblick schnell zu bekommen, geht man am besten von den offenkundig extremsten Punkten innerhalb des bereits festgelegten Aufforstungsgeländes aus. Man sucht also Sonn- und Schattseiten, Luv- und Leehänge auf und stellt Art, Lage, Flächenausmaß und Verteilung der extremsten, im Gelände vorkommenden Ökogramm-Testpflanzen fest. Daraus ergibt sich, wo man innerhalb des Ökogramms liegt und man darf dann mit Recht annehmen, daß alle anderen Standorte sich innerhalb dieser einmal festgelegten Amplitude befinden. Wird diese Begehung im Spätfrühjahr bei fortgeschrittener Ausaperung vorgenommen und vergleicht man diese Verhältnisse später mit der nun zur Gänze sichtbaren Vegetationsverteilung, so hat man sich diese Arbeit so weit als möglich vereinfacht. Auch andere übergeordnete Gesichtspunkte wie z. B. der Einfluß der Seehöhe, der Grad der Kontinentalität, die erforderliche Verteilung der Starthilfen usw. wären in ihren Auswirkungen vor der Detailanwendung zu berücksichtigen. Die allgemeinen Grundlagen der Ökogramm-Anwendung sollen dabei dienlich sein und eine örtlich möglichst zutreffende Auslegung ermöglichen.

Vor allem die Frage, inwieweit man sich auf die Aufforstung

der von Natur aus hierfür schon geeigneten Flächen beschränken soll oder aber durch Einsatz von Starthilfen Zeit, zusätzliche Aufforstungsflächen und einen höheren Sicherheitsgrad im Aufforstungsgebiet gewinnen will, wäre mit Hilfe des Ökogramms schon auf Projektsebene zu entscheiden. Angesichts der hohen Kosten solcher Starthilfen, seien es nun Verwehungs- oder Stützverbauungen ¹⁾ bzw. ein Schutz gegen "Gleiten" der Schneedecke, ist es aber besonders wichtig, diese Starthilfen standörtlich richtig nach ihrer Art, Lage und Dimensionierung zu verteilen, indem man sie unter Benützung der Ökogramm-Aussage der durchschnittlichen Schneebedeckung des Standortes anpaßt (gegebenenfalls plus allfälligem Sicherheitszuschlag). Außer durch eine sparsame Verteilung können Kosten nur durch schrittweises Vorgehen gespart werden, indem man beispielsweise zuerst im obersten Teil der Lawinenanbruchsgebiete im Schutz einer begrenzt wirksamen Stützverbauung (Vorbeugungswerke) aufforstet und nach eingetretenem Erfolg diese später versetzt. Vor Ausführung einer Stützverbauung sollte aber jedenfalls geprüft und versucht werden, inwieweit durch eine Verwehungsverbauung ein Schneeausgleich bewirkt und die Dimension der Stützwerke solcherart vermindert werden könnte.

Vom engefaßten Standpunkt der Hochlagenaufforstung aus wären die mit "jedenfalls" im Ökogramm hervorgehobenen Maßnahmen nur dann auszuführen, wenn die Hochlagenaufforstung unbeschadet der dortigen extremen Bedingungen in bestimmte Testpflanzenbereiche vorangetrieben werden soll (Fälle 5-8 des Ökogramms). Von den zu erstellenden Verwehungsverbauungen sind aber nicht nur Schutzwirkungen, sondern auf Teilflächen auch Schadenswirkungen zu erwarten, weswegen derartige Flächen bei der Aufforstung ausgespart bleiben sollten (unmittelbare Kolk- und Düsenbereiche, siehe HOPF 1958, Abschn. II A dieses Buches).

Während man bei einer Verwehungsverbauung nur mit einer (wenn auch hohen) Wahrscheinlichkeit ihrer Wirkung, nicht aber mit ihrer Sicherheit rechnen kann, sieht man diese bei einer Stützverbauung als gegeben an. Soll nun eine solche Stützverbauung volle Sicherheit gewähren, so müßte die aus dem Ökogramm ersichtliche Schneevertelung durch einen entsprechenden Sicherheitszuschlag soweit erhöht werden, daß auch der Katastrophenfall eines gleichmäßigen Schneeabsatzes bei Windstille zusätzlich zur Normalverteilung im Gelände berücksichtigt ist. Auf diese Weise kann auch die Stützwerkshöhe bei permanenten Verbauungen mit Hilfe

1) 1 lfd m Schneezaun, 4 m hoch, 60 % Füllung, Holz S 275,--
 1 Düse (Pulldach), 4 m breit, Holz ca. S 800,--
 1 Kolktafel, 4 mal 3 m, Holz, voll ca. S 500,--
 1 Kolktafel, 4 mal 4 m, Holz, voll ca. S 650,--
 1 ha Stützverbauung mit Stahlwerken (Alpine-Montan) ca. S 750.000,--

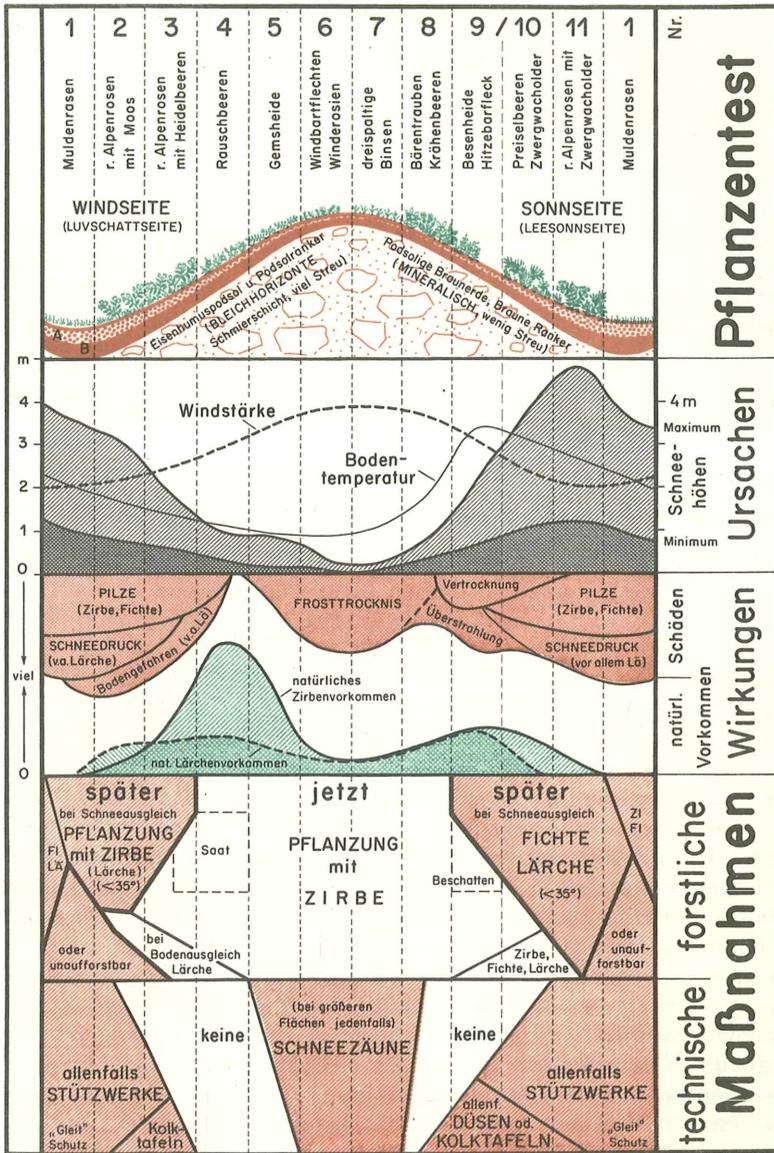


Abb. 230:

Das vorläufige Wind-Schnee-Ökogramm zum Zwecke der standortgemäßen Hochlagenaufforstung im entwaldeten Bereich der subalpinen Stufe der Innenalpen. Bei der Erstellung dieses Ökogrammes wurden Unterlagen folgender Autoren verwendet: AICHINGER 1951, AUER 1947, AULITZKY 1957, 1961a, BAZZIGHER 1956, BIEBL 1962, DONAUBAUER 1961, Abschnitt I, F. 6 dieses Buches, FRIEDEL 1952, 1961, FRIES 1913, FROMME 1963, GAYL und HECKE 1953, HARTMANN (briefl. Mtl.), HOLZER 1959, HOPF und BERNARD 1963, WOPFNER und HOPF 1963, NEUWIN-GER und CZELL 1959, OSWALD 1963, PETRAK 1955, PRUTZER 1961, STERN 1956, TRANQUILLINI 1958, 1959, TURNER 1958, 1961a, 1961b, WENDELBERGER 1951

des Ökogramms ökonomisch ausgelegt werden.

Auch gegen "Gleiten" der Schneedecke können Starthilfen zum Schutze der Aufforstungen vor allem im Bereich stark (über 35°) geneigter, glatter Vegetationsdecken (z. B. im Muldenrasen, in nicht mehr gemähten Grasheiden) in Frage kommen. Kosten und Wirkungen verschiedener Arten der Terrassierung, Verpflockung, Verdrahtung und Verpfählung der Aufforstungsflächen werden derzeit vom Eidgen. Institut für Schnee- und Lawinenforschung Weißfluhjoch untersucht. Im Bereich der Zwergstrauchheide ist dagegen normalerweise nur mit dem "Kriechen" des Schnees zu rechnen, ein Setzungsvorgang der Schneedecke, der mit zunehmender Schneehöhe und Neigung zunimmt, ohne daß sich dabei die Lage der bodennächsten Schicht verändert. Der Natur dieses Setzungsvorganges entsprechend dürften die Gleitschutzmaßnahmen gegen das "Kriechen" des Schnees nur einen bedingten Schutz bedeuten.

Bei der unmittelbaren Aufforstungstätigkeit dient das Ökogramm zur standortsgemäßen Wahl von Holzart und Pflanzmethode. Zum Zwecke der Beurteilung des Einzelstandortes geht man von der jeweils als kennzeichnend angegebenen Testpflanze in der Spalte "Pflanzentest" aus. Man beachte dabei, daß sich die genannte Reihung der Testpflanzen zwischen Rippe und Mulde eines Hanges, zwischen Luv-Schatt- und Lee-Sonnseite, erstreckt (Abb. 230).

Aus der nächsttieferen Spalte sind die Ursachen des Auftretens gerade dieser Testpflanzen in Abhängigkeit von der standörtlichen Windstärke und den zu erwartenden Maxima und Minima der Schneehöhen sowie von den Bodentemperaturen zu ersehen (Abb. 230).

Die dritte Spalte klärt über die Wirkungen dieser bestimmenden Standortsbedingungen hinsichtlich der natürlichen Vorkommens- und Wachstumsmöglichkeiten wie auch hinsichtlich der zu erwartenden Schäden auf, wobei das Ausmaß der Schäden von der oberen Begrenzungslinie dieser Spalte nach unten, jenes des natürlichen Vorkommens jedoch von der unteren Begrenzungslinie nach oben aufgetragen worden ist (Abb. 230).

Es wird auch gezeigt, welche Art von Schäden die Wachstumsmöglichkeiten am jeweiligen Standort begrenzt. Die standortsspezifischen Wachstumsmöglichkeiten konnten nur für Zirben und mit geringerer statistischer Sicherheit für Lärche, nicht aber für Fichte, angegeben werden (Abb. 230).

Die unterste Doppel-Spalte enthält die standortsgemäßen forstlichen und technischen Maßnahmen (Starthilfen), wobei die Verwendung der einzelnen Holzarten natürlich innerhalb der bereits früher angegebenen Höhengrenzen zu bleiben hätte.

Da das Kennzeichnungsvermögen der wenigen ausgewählten Testpflanzen nicht in allen Fällen die Standortsbedingungen scharf genug umreißt (z. B. zu große Schneehöhenamplitude der einzelnen Art), mußte in vielen Fällen die eine oder andere Maßnahme empfohlen werden, was im Ökogramm durch die Schrägstriche zwi-

schen den einzelnen Maßnahmen versinnbildlicht wird (Abb. 230).

Weder das Vorkommen der Holzarten (man beachte die glockenförmigen Verteilungen in Spalte 3) noch jenes der einzelnen Testpflanzen ist in der Natur scharf voneinander abgegrenzt, es sei denn im Falle großer Standortsgegensätzlichkeit. Vor allem bei nichtextremen Bedingungen durchdringen die Areale der einzelnen Arten einander, wobei sich allerdings die Dominanz der einen oder anderen Art erkennen läßt. Nur aus dem Bestreben heraus, bei der Durchführung von Hochlagenaufforstungen keine umfangreichen Artenkenntnisse verlangen zu müssen, beschränkt sich das Ökogramm auf den in der subalpinen Stufe durchaus zulässigen Test der vorherrschenden Arten. Unbeschadet dessen wird die Anwendung zu besseren Ergebnissen führen, wenn darüberhinaus auch dem Mischungsverhältnis der Testpflanzen untereinander, der Siedlungsform, der Wüchsigkeit, der erreichten Pflanzhöhe über dem Boden, ihrem Habitus und den sichtbaren Schäden nach Art und Umfang, Blattverfärbungen usw., ein Augenmerk geschenkt wird. Oftmals werden gerade solche Beobachtungen darüber Aufschluß geben, ob man sich im Optimum oder an der einen oder anderen Grenze des Lebensbereiches der Testpflanze befindet. Auch die Beziehung zwischen der vorgefundenen Testpflanzenverteilung und den vom Relief abhängigen Einflüssen der Hauptwind- und Haupteinstrahlungsrichtung sollte in jedem einzelnen Testfall beachtet werden.

Nach diesen allgemeinen Ausführungen seien die einzelnen Testfälle des Ökogramms kurz besprochen:

Fall 1 "Muldenrasen"

Die Spalte "Pflanzentest" enthält als Kennzeichnung in diesem besonderen Fall keine Art, sondern die Bezeichnung "Muldenrasen", weil sich am Grund von lange schneebedeckten Hangmulden und -rinnen normalerweise ein Rasen, oft unterschiedlicher Zusammensetzung, ausbreitet. In dieser Gesellschaft sind neben dem bekannten Borstgras (*Nardus stricta*) vor allem Pflanzen der schon zur alpinen Stufe gehörigen "Schneetälchenflora" ("Schneetälchenrasen" nach SCHRÖTER 1926) und des "Curvuletums" vertreten, so z.B. *Sibbaldia procumbens*, *Ligusticum mutellina*, *Chrysanthemum alpinum*, *Poa alpina*. Um nicht die Bestimmung einer Artengarnitur verlangen zu müssen, wurde die leichter zu erkennende orographisch-physiognomische Bezeichnung "Muldenrasen" gewählt.

Die Schneebedeckung solcher windgeschützter Hangmulden dauert lang (207 - 238 Tage im Jahr) und erreicht eine beachtliche Höhe (85 - 350 cm), wie aus der Ursachenspalte zu entnehmen ist.

Die Spalte "Wirkungen" des Ökogramms besagt zu dieser Standortsituation, daß Holzarten von Natur aus hier nicht aufkommen können, einmal wegen der hohen Schneepilzgefährdung der immergrünen Holzarten Zirbe und Fichte infolge zu langanhaltender

Schneelage, ferner wegen mechanischer Schneeschäden (Schneedruck, Lawinen) und schließlich auch allenfalls wegen ungünstiger bodenbedingter Einflüsse bei zu hoher und zu dichter Humusauf-
lage.

Infolgedessen besagt nun die zweitunterste Spalte "forstliche Maßnahmen":

- a) Es kann erst später aufgeforstet werden, wenn es gelungen ist, durch Verwehungsbauten oder durch erfolgreiche Aufforstung der benachbarten luvseitigen Rippe einen Schneeausgleich zu erzielen. Außerdem darf natürlich keine Lawinengefahr entlang der Rinne bestehen. Eine solche Aufforstung sollte mit Zirbe (Schattseite) und Fichte (Sonnseite) erfolgen. Die Verwendung von Lärchen ist an die Bedingung einer gelungenen Bodendurchmischung gebunden und sollte im Rasenbereich bei Neigungen über 35° wegen der Schäden durch Schneegleiten nur unter der Voraussetzung entsprechender Vorkehrungen erfolgen.
- b) Bei Undurchführbarkeit dieser Maßnahmen wird eine Aufforstung erfolglos bleiben und sollte unterlassen werden.

Die unterste Spalte für technische Maßnahmen enthält den Hinweis, daß diese Standortssituation normalerweise im Steilgelände zum Bereich der Stützverbauungen zählt (HANAUSEK 1957). Das zusätzliche Wort "allenfalls" bringt zum Ausdruck, daß die Anwendung der teuren Stützverbauung zum Schutz der Aufforstungen allein (z. B. bei zu großer Geländesteilheit) nicht gefordert werden kann, sondern die Entscheidung vielmehr im Rahmen des Projektes zu fällen ist. Auch ein Schutz gegen "Schneegleiten" kann bei steilen Rasenflächen erforderlich sein.

Bei den weiteren Situationen (Fall 2 11) sind an Hand des Ökogrammes die Überlegungen in der gleichen Reihenfolge von oben nach unten, also vom Pflanzentest über die Ursachen und Auswirkungen zu den forstlichen und technischen Maßnahmen vorzunehmen, ohne daß jedoch im Folgenden in dieser Breite darauf eingegangen wird.

Fall 2: Rostrote Alpenrosen mit Moos

Geschlossene Gesellschaften von moosreichen rostroten Alpenrosen (*Rhododendron ferrugineum*), (*Pleurozium Schreberi*, *Hylocomium splendens*), gemischt mit Heidelbeeren (*Vaccinium Myrtillus*), kennzeichnen die lange schneebedeckten Schattseiten der Rippeinhänge. Bei starker Vernässung ist auch mit dem Auftreten von Torfmoosen (*Sphagnum*-Arten) zu rechnen. Je nach der Reife der Vegetation kommen mitunter außerordentlich hohe saure Rohhumusauflagen über ausgeprägten Bleichhorizonten vor.

Diese windgeschützten Hanglagen haben ebenfalls eine lange (202 222 Tage im Jahr) und hohe Schneebedeckung (70 300 cm) und ein meist feucht-kühles Kleinklima.

Dementsprechend erreicht die Summe der Schadensmöglichkeiten

hier ihr schattseitiges Maximum, weil bei ähnlich hoher Schneepilzgefährdung der immergrünen Holzarten und mechanischen Schneeschäden (Schneedruck, Lawinen) wie im Fall 1 die bodenbedingten Gefahren noch zunehmen und ebenfalls ein Aufkommen der Kulturen verhindern könnten.

Daher ist vereinzelt nur dann mit einem natürlichen Aufkommen der Holzarten zu rechnen, wenn sich die Schneehöhen nahe der unteren angegebenen Grenze halten.

Forstliche Maßnahmen

- a) Erst später mit Zirbe und Lärche aufforsten (nach erzieltm Schneeausgleich), bei hohen Rohhumusauflagen, vor allem für Lärche, Bodendurchmischung erforderlich, Lawinengefahr muß ausgeschaltet sein.
- b) Sofortige Aufforstung mit Zirbe und Lärche nur dann, wenn sich die Schneehöhen nahe an die untere Ökogrammgrenze halten (unter 150 cm), wenn bei der Bodendurchmischung im Pflanzloch mineralischer Boden erreicht wird und die Geländeneigung nicht über 35 40° hinausgeht.
- c) Im Falle einer Torfmoosdecke und eines erzielten Schneeausgleichs allenfalls Verwendung von Latsche und Spirke.
- d) Sonst unaufforstbar.

Technische Maßnahmen

Großflächige Areale zählen im Steilgelände zum Bereich der Stützverbauung, die Entscheidung hätte jedoch im Rahmen des Projektes zu erfolgen. Kleinere Areale in nicht zu weiter Entfernung von der windausgesetzten Rippenkante können noch durch Kolktafeln (Luvseite) und Düsen (Leeseite) in der Schneeumlagerung beeinflußt werden.

Fall 3: Rostrote Alpenrosen mit Heidelbeeren

Geschlossene Gesellschaften von rostroten Alpenrosen mit Heidelbeeren (*Rhododendron ferrugineum* mit *Vaccinium myrtillus*) kennzeichnen die lange mit Schnee bedeckten Luvschattseiten mit etwas geringerer Bodenfeuchte als in der moosreichen Alpenrosenheide sowie meist etwas geringerer Schneehöhe (50 - 170 cm) und Schneebedeckungsdauer (179 221 Tage im Jahr), auf deren Schutzwirkungen die beiden frostempfindlichen Testpflanzen jedoch unbedingt angewiesen sind. Der Übergang zu Standorten mit noch geringerer Schneebedeckung läßt sich bereits an der niedrigeren, kümmerlichen Ausbildung der Testpflanzen sowie an Entblätterung, Verfärbung und sonstigen Merkmalen von Frostrocknisschäden leicht erkennen. Geringe bis mäßige Bewindung.

Je nach Reife sind mäßige bis hohe Rohhumusauflagen über Bleichhorizonten vorhanden, meist geringere Streubildung als in Fall 2.

An den weniger lang mit Schnee bedeckten Standorten wird das natürliche Zirbenvorkommen bereits möglich; Lärchenverjüngung ist wegen der dichten Bodenvegetation noch selten.

Je nach Schneebedeckung und Lage im Relief bestehen unterschiedliche Schneepilzgefährdung der immergrünen Holzarten und geringere mechanische Schneeschäden als in Fall 2, die beide jedoch noch lebensbegrenzend sein können (Reifegrad der Vegetation beachten!), ferner noch immer bodenbedingte Gefahren, vor allem für Lärche, bei zu hohen und dichten Humusaufgaben, wenn diese nicht mit dem mineralischen Unterboden durchmischt werden können.

Forstliche Maßnahmen

- a) Bei geringer Schneehöhe (unter 150 cm) sofortiges Pflanzen oder "Stupfen" mit Zirben, bei erfolgreicher Bodendurchmischung auch mit Lärche unter der Voraussetzung nicht zu großer Hangneigungen.
- b) Bei größeren Schneehöhen Aufforstung nach a) erst nach erfolgtem Schneeausgleich.

Technische Maßnahmen

- a) Bei Schneehöhen unter 150 cm nicht nötig,
- b) bei größeren Schneehöhen gehören großflächige Areale im Steilgelände zum Bereich der Stützverbauung (Entscheidung hierüber aber auf Projektsebene),
- c) Einsatz von Kolktafeln (Luv- und Leeseite) oder Düsen (nur Leeseite) ist möglich, wenn zum Zwecke der Schneeuumlagerung und Schneedeckenfestigung diese Typen noch windwirksam, also in nicht zu weitem Abstand von der windausgesetzten Rippe aufgestellt werden können.

Fall 4: "Rauschbeeren"

Geschlossene Gesellschaften von Rauschbeeren (*Vaccinium uliginosum*) kennzeichnen einen schattseitigen Bereich mäßiger, in seiner Auswirkung auf das Holzartenwachstum optimaler Schneebedeckung nach Dauer (64 - 197 Tage/Jahr) und Höhe (30 - 90 cm), der außerdem mäßig feucht und mäßig bewindet ist. Daher auch geringere Rohhumusaufgabe und geringe Streubildung, so daß der mineralische Boden normalerweise erreicht werden kann.

Es besteht ein deutliches Optimum des natürlichen Zirbenvorkommens (STERN 1956) und ein angedeutetes Optimum für Lärchen (wegen oft noch zu dichter Bodenvegetation, FROMME 1963). Schneepilzschäden an Immergrünen und negative Bodeneinflüsse sind in geringem, aber nicht mehr lebensgefährlichem Ausmaß möglich.

Forstliche Maßnahmen

Sofortige Pflanzung mit Zirbe und Lärche (Verhältnis ca. 8 : 2), versuchsweise "Stupfen".

Technische Maßnahmen

Keine erforderlich, es sei denn Düsen oder Kolktafeln zur Beeinflussung benachbarter Standorte.

Fall 5: "Gemsheide"

Offene oder geschlossene Gesellschaften von Gemsheide (*Loiseleuria procumbens*) mit oder ohne Windanrisse kennzeichnen bereits Standorte mit stärkerer Bewindung, an denen wegen der geringmächtigen Schneedecke (0 - 70 cm und 37 - 182 Tage im Jahr) Frost- und Frostrocknisschäden (an den Immergrünen wie an der entnadelten Lärche) vorkommen, vor allem an den Sonne und Wind zugekehrten Astpartien und Triebteilen. Es finden sich geringmächtige Humushorizonte, Spuren von Bleichhorizonten.

Es besteht Beeinträchtigung des Wachstums der Holzarten durch dieses Kleinklima, vor allem bei Einzelexemplaren, weniger bei horstweisem Aufkommen im gegenseitigen Schutz.

Forstliche Maßnahmen

Sofortige dichte Zirbenpflanzung (2 - 3 Pflanzen in jedes Pflanzloch).

Technische Maßnahmen

An extremen Standorten (Gemsheide bereits durch Windschliff geschädigt oder verfärbt) Schutz der Aufforstung durch mäßig hohe Schneezäune (nicht über 2 m Höhe, ca. 65 % Füllungsgrad).

Fall 6: "Windbartflechte, Winderosion"

Offene oder geschlossene Gesellschaften und Einzelvorkommen von Windbartflechte (*Alectoria ochroleuca*) kennzeichnen zusammen mit den nur wenig mehr Schneebedeckung anzeigenden Flechten (*Cetraria nivalis*, *Cladonia rangiferina*, *Cladonia silvatica*) die schneeärmsten und windausgesetztesten schattseitigen Standorte, die nur noch im Kantenbereich von dem bereits winderodierten *Alectoretum* um weniges übertroffen werden. Wegen des geringen Schutzes durch die Schneedecke (0 - 55 cm Schneehöhe und 10 - 23 Tage im Jahr) und der hohen Wind-, Verdunstungs- und Strahlungswerte dieser Standorte erreichen hier Frost- und Frostrocknisschäden ein Maximum, weswegen natürliche Vorkommen der Holzarten sich nur im gegenseitigen bzw. unter dem Schutz des Kleinreliefs langsam durchzukämpfen vermögen. Einzelpflanzen haben keine Chance; sobald ihr Trieb die geringe Höhe der winterlichen Schneedecke überragt, treten unweigerlich Frostrocknisschäden auf.

Forstliche Maßnahmen

Sofortige, möglichst dichte Zirbenaufforstung, auf größeren Flächen im Schutz von Starthilfen (Schneezäunen). Wenn auf größeren Flächen Zaunkosten zu hoch sind, dann mit Aufforstung warten, bis ein Schneeausgleich unter dem Einfluß benachbarter, schon aufgeforsteter Standorte eintritt.

Technische Maßnahmen

Aufstellen von Schneezäunen, wobei hinsichtlich der optimalen Höhe der Zäune zu beurteilen wäre, ob der Schutz von Aufforstungen im engeren Bereich der Windkante oder aber die Schnee-Entlastung eines ausgedehnteren Leehangbereiches in der Gesamtheit eine größere aufforstbare Fläche ergibt. Für den unmittelbaren Schutz der Kantenaufforstung wären nur niedere Zäune (2 m), für eine möglichst weitgehende Beeinflussung des Lee-Raumes hingegen - unter der Voraussetzung genügender Ablagerungsmöglichkeit - aber höhere Zäune (3 - 4 m) zu wählen, die in dem ihnen zunächst gelegenen Lee-Bereich allerdings auch bereits für Aufforstungen zu hohe Schneehöhen zur Folge haben könnten.

Fall 7: "dreispaltige Binsen"

Die dreispaltige Binse (*Juncus trifidus*) (Abb. 225) kennzeichnet gleichstark bewindete und ebenso schneearme Standorte auf der Sonnenseite wie die Windbartflechte im schattseitigen Kuppenbereich.

Daher ist hier ebenso mit einer großen Frost- und Frosttrocknisgefährdung zu rechnen; natürliche Vorkommen der Holzarten sind äußerst selten und, einzelstehend, auch auf die Dauer nicht lebensfähig.

Forstliche Maßnahmen

- a) Sofortige, dichte Zirbenaufforstung auf größeren Flächen, im Schutz von Verwehungsäunen, oder, wenn dies nicht tragbar,
- b) unaufgeforstet lassen, bis sich die benachbarten Aufforstungen auswirken.

Technische Maßnahmen

Aufstellen von Schneezäunen, wobei hinsichtlich ihrer optimalen Höhe zu beurteilen wäre, ob der Schutz von Aufforstungen im engeren Bereich der bewindeten Kuppe oder aber die Schnee-Entlastung eines ausgedehnteren Leehangbereiches in der Gesamtheit eine größere aufforstbare Fläche ergibt. Für den unmittelbaren Schutz der Aufforstung an der bewindeten Kuppe wären meist niedere Zäune (2 m), für eine möglichst weitgehende Beeinflussung des Lee-Raumes hingegen unter der Voraussetzung genügender Ablagerungsmöglichkeit aber höhere Zäune zu wählen (3 - 4 m), die in dem ihnen zunächst gelegenen Lee-Bereich allerdings schon zu große Schneehöhen für Aufforstungen zur Folge haben könnten.

An scharf abbrechenden Lee-Kanten möglicherweise Anwendung von Düsen.

Fall 8: "Bärentraube, Krähenbeeren"

Teppichartig wachsende Bärentrauben (*Arctostaphylos uva ursi*) auf nicht zu großen Flächen und Krähenbeeren (*Empetrum hermaproditum*) kennzeichnen den Bereich sonnseitiger, jedoch nicht mehr extrem bewindeter Kanten und Hangansätze bei einer ent-

sprechend geringen Schneebedeckung (ca. 20 - 50 cm); es finden sich geringmächtige, streuarmer Horizonte.

Das Holzartenwachstum ist noch durch Schneearmut und dadurch verursachte Frost- und Frostrocknisschäden beeinträchtigt, ferner treten im Spätwinter Rückstrahlungsschäden an Zweigen knapp ober der Schneedecke auf.

Forstliche Maßnahmen

Sofortige dichte Zirbenaufforstung zur Erzielung eines Wind-Selbstschutzes und Schneeausgleiches.

Technische Maßnahmen

- a) Normalerweise keine zum Schutz der Aufforstung am Standort.
- b) Gegebenenfalls Schneezäune, Kolktafeln oder Düsen zum Schneeausgleich im weiteren Lee-Raum, wenn entsprechende Ablagerungsflächen vorhanden sind und die Schneeumlagerung einen Vorteil bedeutet.

Fall 9: "Besenheide und Hitzebarflecken"

Besenheide (*Calluna vulgaris*) kennzeichnet in der Umgebung von Überhitzungsbarflecken, mit Einzelpflanzen in diese vordringend, den Bereich größter Bodenoberflächenüberhitzungen bis über 80°C. Als Begleiter (in der Reihe abnehmender Überhitzung) finden sich das Felsen-Leimkraut (*Silene rupestris*), das langhaarige Habichtskraut (*Hieracium pilosella*), das echte Katzenpfötchen (*Antennaria dioica*), das gemeine Leimkraut (*Silene inflata*), die Preiselbeere (*Vaccinium vitis-idaea*), der Zwergwacholder (*Juniperus sibirica*) (TURNER 1958). Der Bereich der Besenheide ist sehr uneinheitlich in seiner Schneebedeckung (bisher 50 bis 230 cm). Daher läßt sich anhand des Vorhandenseins der Besenheide allein (ohne Schneepegel) nur schlecht die Schneehöhe im Gelände im Gegensatz zu benachbarten Testpflanzen ansprechen (Fall 10); deutlicher sind die thermischen Unterschiede der drei Testfälle 9, 10 und 11.

Infolge der geringen bis starken Bewindung und Schneebedeckung sind Schneepilzschäden, Überstrahlungsschäden an Zweigen nahe der spätwinterlichen Oberfläche und mechanische Schneeschäden ebenso möglich wie im Sommer Oberflächenüberhitzungen (Vorsicht mit Saaten!). Die Böden sind meist streu- und humusarm unter schütterer, meist einzelstehender Bodenvegetation.

Forstliche Maßnahmen

- a) Bei geringen Schneehöhen (50 - 100 cm) sofortige Aufforstung mit Zirben, bei etwas höherer Schneedecke, jedoch noch unter 150 cm, sofortige Aufforstung mit Zirbe, Fichte und Lärche (diese nur bei mineralischem Boden im Pflanzloch und Neigung nicht über 35 - 40°). Pflanzlochabdeckung ist vor allem bei Saaten zu erwägen.
- b) Bei Schneehöhen über 150 cm sofortige Aufforstung mit Lärche allein, wenn mineralischer Boden im Pflanzloch und Hangneigung unter 35°. Pflanzlochabdeckung, vor allem bei Saaten, zu erwägen.

- c) Spätere Aufforstung mit Fichte und Lärche nach erreichtem Schneeausgleich, wenn Schneelage derzeit zu hoch (Wächtenbereiche) und Hangneigung zu steil. Pflanzlochabdeckung, vor allem bei Saaten, ist zu erwägen.

Technische Maßnahmen

- a) Bei Schneehöhen unter 150 cm sind keine erforderlich, wenn nicht
b) durch Aufstellen von Düsen und Kolktafeln in schneeausgleichender Weise ein weiterer Lee-Raum bestrichen werden soll oder wenn
c) bei Schneehöhen über 150 cm allenfalls im Steilgelände schon Stützverbauungen in Frage kommen (Entscheidung aber nur im Rahmen des Projektes und nicht für kleine Flächen).

Fall 10: "Preiselbeere und Zwergwacholder"

Diese beiden, vielleicht nicht sehr geeigneten Testpflanzen kommen wohl häufig zusammen, aber auch im Verein mit den Testpflanzen von Fall 8, 9 und 11 vor, so daß sie eher in thermischer Hinsicht, nicht aber hinsichtlich der möglichen Schneehöhen, sichere Unterschiede nach unserem heutigen Wissen umreißen. In thermischer Hinsicht nimmt die Oberflächenerwärmung von dem vegetationslosen Barfleck über Besenheide-Preiselbeere zum Zwergwacholder bzw. zur wacholderreichen Rostalpenrosenheide ab. Der Habitus des Wacholders läßt mitunter Schlüsse auf die Schneedeckenausbildung zu. Die Schneehöhe kann größer, aber auch kleiner als bei Besenheide sein.

Forstliche und technische Maßnahmen

Da nur die Oberflächenüberhitzung etwas geringer ist, entsprechen sie etwa jenen in Fall 9.

Fall 11: "Rostrote Alpenrosen und Zwergwacholder"

Die Vergesellschaftung der Rost-Alpenrosen mit Zwergwacholder (*Rhododendron ferrugineum* und *Juniperus sibirica*), mit einem Unterwuchs von weniger feuchtebedürftigen Moosen (*Dicranum* u. a.), kennzeichnet den warmgetönten Bereich der Alpenrosen-Zwergstrauchheide. Im Winter ist mit einer hohen und langanhaltenden Schneebedeckung zu rechnen (120 - 480 cm, 188 - 230 Tage/Jahr), die auf die geringe Bewindung solcher Standorte zurückzuführen ist. Diese warmgetönte Variante der Alpenrosenheide hat meist eine wesentlich geringere Streuauflage als die schattseitige Variante (Fall 2 und 3).

Je nach Schneehöhe besteht eine starke bis lebensgefährliche Bedrohung des Wachstums der immergrünen Holzarten durch Schneepilze und aller Holzarten durch Schneedruck (Wächtenbereiche).

Forstliche Maßnahmen

- a) Bei geringerer Schneemächtigkeit (unter 150 cm) auf modrigen Böden sofort Aufforstung vorwiegend mit Fichte (nur im Zentrum und in den höchsten Lagen des kontinentalen Gebietes an ihrer Stelle mit Zirbe), bei Erreichen von mineralischen Horizonten und Neigungen unter 35 40° auch mit Lärche.
- b) Bei größerer Schneehöhe Aufforstung nach a) erst, wenn Schneeausgleich erreicht wurde.
- c) Unaufforstbar, wenn ein Schneeausgleich nicht erreicht werden kann und die Neigung bei hoher Schneelage zu stark ist.

Technische Maßnahmen

- a) Normalerweise im Steilgelände zum Bereich der Stützverbauung gehörend, jedcch von den Gesichtspunkten des Projektes und der örtlichen Schneehöhe abhängig.
- b) Je nach ihrer Lage im Relief kann eine derartige Fläche noch im Schneeausgleichsbereich einer Verwehungsverbauung liegen (Kolktafeln, Düsen) oder nicht. Im "randlichen" Gebiet der Alpenrosen-Zwergwacholderheide (Blattverfärbungen!) bei Schneehöhen unter 150 cm kann auf eine Verwehungs- und Stützverbauung verzichtet werden. Bei Verwendung von Düsen und Kolktafeln sind die durch zu wenig und zuviel Schnee verursachten Frost- und Pilzschadensbereiche unaufgeforstet zu lassen.

Schlußwort

Die vielfältigen biologischen Zusammenhänge einer Hochlagenaufforstung im Ökogramm, also auf einem einzigen Blatt Papier, zusammenzutragen, stellt sicher ein Wagnis dar, wenn man die mehrdimensionale Natur biologischer Probleme bedenkt. Der Verfasser, selbst aus der forstlichen Praxis kommend und auch heute noch mit dieser in ständigem Kontakt, hat sich dazu entschlossen, weil die bis heute vorliegenden Untersuchungen doch ein ziemlich abgerundetes Bild der wesentlichen Zusammenhänge ergaben und die Praxis dringend eine im Gelände anwendbare Testmethodik benötigt. Um im Gelände anwendbar zu sein, mußten die vieldimensionalen Zusammenhänge schematisch vereinfacht werden und es werden Ergänzungen und Verbesserungen zu einem späteren Zeitpunkt anzubringen sein.

So wichtig das Schema für die Geländeanwendung ist, weil es die Testgrundlage des Normalfalles darstellt, so wenig sollte der Interessierte zu seiner mechanischen Anwendung angehalten werden. Aus diesem Grund wurden in einem ganzen Abschnitt

so viele allgemeine Beurteilungsgrundlagen zusammengestellt, daß auch Sonderfälle auf Grund der heute bekannten ökologisch-physiologischen Voraussetzungen beurteilt werden können. Die Kenntnis dieser Unterlagen wird aber auch zu einer verfeinerten Ökogrammanwendung beitragen, vor allem dort, wo Zeigerpflanzen des Ökogramms einen großen Spielraum lassen und wo es nicht nur um den lokalen Test geht. Soweit jedoch klare Beziehungen vorlagen, sollte ihr Erkennen in Hinkunft die Grundlage für ebenso klare forstökologische Maßnahmen bilden. Vor allem im Hochgebirge muß eine Aufforstung billig und daher standortgemäß sein.

Die Erstellung des vorliegenden Wind-Schnee-Ökogramms wäre ohne die zahlreichen Arbeiten des ganzen Mitarbeiterstabes der Forschungsstelle für Lawinenvorbeugung nicht möglich gewesen. Erst die durch dieses forstlich orientierte Teamwork geschaffenen Unterlagen bioklimatischer, pflanzenphysiologischer, phytopathologischer, boden- und vegetationskundlicher sowie bodenbiologischer, schneekundlicher und forstlicher Art haben, zusammen mit dem bereits vorhandenen Wissen, die Aufstellung ermöglicht (siehe die Arbeiten dieses Sammelwerkes und das Verzeichnis der Veröffentlichungen der Forschungsstelle für Lawinenvorbeugung am Ende des Buches).

Literatur

- AICHINGER E. 1949: Grundzüge der forstlichen Vegetationskunde. Verlag Fromme, Wien.
- AICHINGER E. 1951: Vegetationskundliche Vorarbeiten zur Ordnung von Wald und Weide. Angewandte Pflanzensoziologie, Heft II, 53 - 128. Springer, Wien.
- AICHINGER E. 1953: Der Bürstling und seine Bekämpfung. Selbstverl. d. Amtes der Kärntner Landesregierung, Alminspektorat.
- AICHINGER E. 1954: Statische und dynamische Betrachtung in der pflanzensoziologischen Forschung. Veröff. Geobot. Inst. Rübel in Zürich, H. 29, 9 - 28.
- AICHINGER E. 1956-57: Die Zwergstrauchheiden als Vegetationsentwicklungstypen. Angewandte Pflanzensoziologie, H. XII, XIII, XIV. Springer, Wien.
- AICHINGER E. 1960: Können wir eine gemeinsame Plattform für die verschiedenen Schulen in der Waldtypenklassifikation finden? *Silva Fennica* 105, 5 - 12.
- AUER Chr. 1947: Untersuchungen über die natürliche Verjüngung der Lärche im Arven-Lärchenwald des Oberengadins. *Mitt. d. Schw. Anst. f. d. Forst. Vers. wes.* XXV, 1. Heft.
- AUER Chr. 1948: Ergebnisse eines Keimversuches mit Lärchensamen auf verschiedenen Böden unter wechselnden Belichtungs- und Feuchtigkeitsverhältnissen. *Jahrb. d. naturforsch. Ges. Graubündens* 81, 33 - 38.

- AULITZKY H. 1955: Die Bedeutung meteorologischer und kleinklimatischer Unterlagen für Aufforstungen im Hochgebirge. Wetter u. Leben 7, 241 - 252.
- AULITZKY H. 1957: Über die Bedeutung und Grenzen ökologischer Klimatographie unter besonderer Berücksichtigung der subalpinen Stufe der Innenalpen. Int. Journ. of Biocl. and Biomet. 1, Part II, 7 Seiten.
- AULITZKY H. 1958a: Waldbaulich-ökologische Fragen an der Waldgrenze. Cbl. f. d. ges. Forstw. 75, 18 - 33.
- AULITZKY H. 1958b: Hinweise für eine naturnahe Waldwirtschaft im Bereich der Waldgrenze. Allg. Forstztg. 69, 4 7.
- AULITZKY H. 1961: Über die Windverhältnisse einer zentralalpiner Hangstation in der subalpinen Stufe. Mttl. d. f. Bundes-Vers. anst. Mariabrunn, Heft 59, 105 - 125.
- AULITZKY H. 1962a: Welche Hinweise stehen der Hochlagenaufforstung heute zur Verfügung? Wetter u. Leben 14, 95 - 117.
- AULITZKY H. 1962b: Die Bodentemperaturverhältnisse an einer zentralalpiner Hanglage beiderseits der Waldgrenze. II. Teil. Über die Bodentemperaturen im subalpinen Zirben-Lärchenwald. Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. B. 11, 301-362.
- AULITZKY H. und H. TURNER: Das Bioklima im Lärchen-Zirbenwald. Cbl. f. d. ges. Forstwesen (in Vorbereitung).
- BAZZIGHER G. 1956: Pilzkrankheiten in Aufforstungen. Eidgen. Anst. f. d. forstl. Vers. Wesen, Kurzmitteilung 12.
- BIEBL R. 1962: Protoplasmatische Ökologie der Pflanzen. Band XII/1 der "Protoplasmologia", Handbuch der Protoplasma-Forschung. Springer, Wien.
- BJÖRKMAN E. 1948: Studier över snöskyttetsvampens (*Phacidium infestans* Karst.) biologi samt metoder för snöskyttets bekämpande. Meddelanden från statens skogsforskningsinstitut 37, Nr. 2, Stockholm.
- BROCKMANN-JEROSCH H. 1925-29: Die Vegetation der Schweiz. Bern.
- CAJANDER A. K. 1926: The Theory of Forest Types. Acta Forest. Fenn. 29.
- CAMPELL E. 1955: Der Lärchen-Arvenwald (*Rhodoreto-Vaccinietum*). In: Ertragreiche Nadelwaldgesellschaften im Gebiete der schweizerischen Alpen unter besonderer Berücksichtigung Graubündens. Bündnerwald, Beiheft Nr. 5.
- CARTELLIERI E. 1935: Jahresgang von osmotischem Wert, Transpiration und Assimilation einiger *Ericaceen* der alpinen Zwergstrauchheide und von *Pinus cembra*. Jb. wiss. Bot. 82, 460.
- DÄNIKER A. 1923: Biologische Studien über Wald- und Baumgrenze, insbesondere über die klimatischen Ursachen und deren Zusammenhänge. Vierteljahrsschr. Nat. forsch. Ges. Zürich.
- DONAUBAUER E. 1961: Die *Phacidium - infestans* - Nadelkrankheit und deren Bedeutung für die Hochlagenaufforstung. Exkursionsführer "Forstschutz" vom XIII. Kongreß des Int. Verb. der Forstl. Vers. Anst. (IUFRO) in Wien vom 10. - 29. 9. 1961. Druck Merkuria, Wien.
- DU RIETZ G. E. 1930: Vegetationsforschung auf soziationsanalytischer Grundlage. Abderhaldens Handbuch f. biol. Arbeitsmethoden.
- FIGALA H. 1954: Die Bewirtschaftung von Hochgebirgsforsten im zentralalpiner Klima unter besonderer Berücksichtigung des Pitztals. Österr. Vierteljahrsschr. f. Forstw. 95, 207 - 219.
- FRIEDEL H. 1952: Gesetze der Niederschlagsverteilung im Hochgebirge. Wetter u. Leben 4, 73 - 86.
- FRIEDEL H. 1961: Schneeandauer und Vegetationsverteilung im Gelände. Mttl. Forstl. Bundes-Vers. anst. Mariabrunn, Heft 59.
- FORSCHUNGSSTELLE FÜR LAWINENVORBEUGUNG INNSBRUCK 1961: Ökologische Untersuchungen in der subalpinen Stufe, Teil I. Mttl. d. Forstl. Bundes-Vers. anstalt Mariabrunn, Heft 59.

- FRIES Th. 1913: Botanische Untersuchungen im nördlichen Schweden. Upsala et Stockholm, ed. Almquist et Wiksells Boktryckeri -A. -B.
- FROMME G. 1957: Der Waldrückgang im Oberinntal (Tirol). Mttl. Forstl. Bundes-Vers. anst. Mariabrunn, Heft 54.
- FROMME G. 1963: Das Wachstum von Junglärchen auf subalpinen Standorten im Ötztal und im Paznauntal (Tirol). Cbl. f. d. ges. Forstw. (im Druck).
- FURRER E. 1955: Probleme um den Rückgang der Arve (*Pinus Cembra*) in den Schweizer Alpen. Mttl. d. Schweiz. Anst. f. d. forstl. Vers. wesen XXXI, 3. Heft, 669 - 705.
- GAMS H. 1918: Prinzipienfragen der Vegetationsforschung. Vierteljahrsschr. Nat. forsch. Ges. Zürich 63, 293.
- GAMS H. 1931: Die klimatische Begrenzung von Pflanzenarealen und die Verteilung der hygrischen Kontinentalität in den Alpen. Zeitschr. Ges. Erdkunde zu Berlin, 321 (1931), 52 (1932) und 178 (1932).
- GAMS H. : Die Wahl zur künstlichen Berausung und Bebuschung von Bachbetten, Schutthängen und Straßenböschungen geeigneter Pflanzen des Alpengebietes. (Unveröffentlicht).
- GAYL A. und H. HECKE 1953: Neuere Erkenntnisse zur vorbeugenden Lawinenbekämpfung. Allg. Forstztg. 64, 1 - 5.
- HAGER P. 1916: Verbreitung der wildwachsenden Holzarten im Vorderrhodental (Kt. Graubünden). 3. Lieferung von Erhebungen über die wildwachsenden Holzarten in der Schweiz, bearbeitet und veröffentlicht im Auftrage des schweiz. Departements des Innern unter Leitung der Schweiz. Insp. f. Forstwesen, Bern.
- HANDEL-MAZZETTI H. 1954: Der höchste Standort der Zirbe (*Pinus Cembra* L.). Festschrift f. E. Aichinger, Band I, Angewandte Pflanzensoziologie, 124. Springer, Wien.
- HANAUSEK E. 1957: Lawinenverbauung mit Stahlkonstruktionen am Heuberg bei Häselgehr. Bündnerwald 11, 31 - 43.
- HARTMANN, Prof. Dr. F. : Briefliche Mitteilung.
- HEGI G. 1909: Illustrierte Flora von Mitteleuropa. Hanser-Verlag München.
- HOLZER K. 1958: Die winterlichen Veränderungen von Assimilationszellen von Zirbe (*Pinus Cembra* L.) und Fichte (*Picea excelsa* Link) an der alpinen Waldgrenze. Österr. Bot. Zeitschr. 105, 324 - 346.
- HOLZER K. 1959: Winterliche Schäden an Zirben nahe der alpinen Waldgrenze. Cbl. f. d. ges. Forstw. 76, 232 - 244.
- HOPF J. 1958: Über die Bedeutung, Art und Verteilung windabhängiger Bauten in der Lawinenverbauung und -vorbeugung. Allg. Forstztg. 69, 47 - 52.
- HOPF J. und J. BERNARD 1963: Windbeeinflussende Bauten in der Lawinenverbauung und -vorbeugung. Mttl. d. Forstl. Bundes-Vers. anst. Mariabrunn, Heft 60.
- IVANOFF L. 1924: Über die Transpiration der Holzgewächse im Winter I. und II. Ber. Dtsch. Bot. Ges. 42, 44 - 49 und 210 - 224.
- JENIK J. 1961: Alpine Vegetation des Riesengebirges, des Glatzer Schneeberges und des Gesenkes. (Theorie des anemoro-graphischen Systems). Nakladatelstvi ceskoslovenske akademie věd, Prag.
- JENIK J. und Th. LOKVENC 1962: Die alpine Waldgrenze im Riesengebirge. Rozpr. Československé akademie věd, Rada matematických a přírodních věd, 72, Heft 1.
- KARL J. 1959: Achter Bericht über die Erosionsforschung im Hoch-Allgäu, herausgegeben von J. A. Huber, Naturschutzstelle für den Regierungsbezirk Schwaben, Dillingen.
- KERNER F. v. 1887: Über die Schneegrenze im Gebiet des mittleren Inn-ales. Wien.

- KLEBELSBERG R.v. 1952: Die Fehlgebiete der Arve in den Schweizer Alpen, Ber. Schweiz. Bot. Ges. 62.
- KNAPP R. 1960: Licht und Arten-Zusammensetzung in Wald- und Strauchgesellschaften in hohen Lagen und im Bereich der Baumgrenze. Wetter u. Leben, 12, 203.
- KÖSTLER J. 1955: Waldbau, 2. Auflage, Parey, Hamburg.
- LARCHER W. 1957: Frosttrocknis an der Waldgrenze und in der alpinen Zwergstrauchheide. Veröff. Mus. Ferd. Innsbruck 37, 49 - 81.
- LEIBUNDGUT H. 1954: Die pflanzensoziologischen Grundlagen der Aufforstung im Gebirge. Allg. Forstztg. 65, 145 - 149.
- MICHAELIS P. 1932: Ökologische Studien an der alpinen Baumgrenze, Ber. Dtsch. Bot. Ges. 50, 31 - 42.
- MOSER M. 1956: Die Bedeutung der Mykorrhiza für Aufforstungen Hochlagen. Forstw. Cbl. 75, 8 - 18.
- MOSER M. 1959: Die künstliche Mykorrhizaimpfung an Forstpflanzen. III. Teil, Impfmethodik im Forstgarten. Forstwiss. Cbl. 78, 193 - 202.
- MYCZKOWSKI St. 1956: O formach pokrojowych świerka pospolitego (*Picea excelsa* (Lam.) Link.) w Tatrach Polskich. Rocznik Dendrologiczny, XI, 407 - 412. Warscawa.
- MYCZKOWSKI St. 1962: The impact of snow avalanches on the forests of the Tatra National-Park studied in the valleys of Rybi Potok, Rostoka, Waksmundzka and Panszszczyca, Polska Akademia Nauk, Zaklad Ochrony Przyrody 28, 83-109.
- NEUWINGER I. und A. CZELL 1959: Standortsuntersuchungen in subalpinen Aufforstungsgebieten. I. Teil: Böden in den Tiroler Zentralalpen. Forstwiss. Cbl. 78, 327 - 372.
- OSWALD H. 1963: Verteilung und Zuwachs der Zirbe (*Pinus Cembra* L.) der subalpinen Stufe an einem zentralalpinen Standort. Mttl. d. Forstl. Bundes-Vers. anst. Mariabrunn, Heft 60.
- NATHER H. 1958: Zur Keimung der Zirbensamen. Cbl. f. d. ges. Forstwesen 75, 61.
- PETRAK F. 1955: Über *Phacidium infestans* Karst., einen gefährlichen Parasiten der Zirbelkiefer und einige andere in seiner Gesellschaft wachsende Pilze. Sydowia, Annales Mycologici, Ser. II, 9, 518 - 526.
- PISEK A. 1956: Der Wasserhaushalt der Meso- und Immergrünen. Handbuch der Pflanzensoziologie, Band III, Pflanze und Wasser, 825. Springer, Berlin.
- PISEK A. 1960: Immergrüne Pflanzen (einschließlich Koniferen). Handbuch der Pflanzenphysiologie Band V/2, CO₂-Assimilation, 415. Springer, Berlin.
- PISEK A. und H. KNAPP 1959: Zur Kenntnis der Respirationsintensität von Blättern verschiedener Blütenpflanzen. Ber. Dtsch. Bot. Ges. 72, 287.
- PLESNIK P. 1957: Der Einfluß des Windes auf die Form der Krone und des Stammes der Fichte in der Region der oberen Waldgrenze in der kleinen Tatra. Geograficky Casopis 9, 197 - 224.
- PLESNIK P. 1959: Die obere Waldgrenze in den Westkarpathen. Wiss. Ztschr. d. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Math.-Nat.wiss., 8, 153 - 180.
- POLSTER H. 1950: Die physiologischen Grundlagen der Stofferzeugung im Walde. Bayerischer Landwirtschaftsverlag München.
- PRUTZER E. 1961: Die Verdunstungsverhältnisse einiger subalpiner Standorte. Mttl. d. Forstl. Bundes-Vers. anst. Mariabrunn, Heft 59, 231 - 255.
- RUBNER K. und F. REINHOLD 1953: Das natürliche Waldbild Europas. Parey, Hamburg.
- SCHIECHTL H. M. 1958: Grundlagen der Grünverbauung. Mttl. d. Forstl. Bundes-Vers. anst. Mariabrunn, Heft 55.

- SCHNEIDER A., E. BAIER und L. HULA 1957: Acker-, Grünland- und Almwirtschaft. Spezieller Pflanzenbau. Fromme, Wien.
- SCHRÖTER C. 1926: Das Pflanzenleben der Alpen. Raustein, Zürich.
- STAUDER S. 1963: Praktische Erfahrungen bei der Hochlagenaufforstung im vorderen Zillertal, Nordtirol. Mttl. d. Forstl. Bundes-Vers. anst. Mariabrunn, Heft 60.
- STERN R. 1956: Untersuchungen über die Eignung der Zirbe für die Hochlagenaufforstung. Dissertation Hochschule für Bodenkultur in Wien.
- SUKATSCHEW N. 1954: Die Grundlagen der Waldtypen. Festschrift für E. ALCHINGER in Angewandte Pflanzensoziologie, Band II, 956 - 964, Springer, Wien.
- TERRIER Ch. 1942: Essai sur la systematique des Phacidiaceae (Fr.) sensu Nannfeldt (1932). Dissertation, Verlag & Druckerei Bächler & Co., Bern.
- 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.
- THIENEMANN A. 1956: Leben und Umwelt. Rowohlt, Hamburg.
- TRANQUILLINI W. 1958: Die Frosthärte der Zirbe unter besonderer Berücksichtigung autochthoner und aus Pflanzgärten stammender Jungpflanzen. Forstwiss. Cbl. 77, 89 - 104.
- TRANQUILLINI W. 1959: Die Stoffproduktion der Zirbe (*Pinus Cembra* L.) an der Waldgrenze während eines Jahres. I. Standortsklima und CO₂-Produktion; II. Zuwachs und CO₂-Bilanz. Planta 54, 107 - 151.
- TRANQUILLINI W. 1960: Das Lichtklima wichtiger Pflanzengesellschaften. Handbuch der Pflanzenphysiologie, Band V/2, CO₂-Assimilation, 304. Springer, Berlin.
- TRANQUILLINI W. 1962: Beitrag zur Kausalanalyse des Wettbewerbs ökologisch verschiedener Holzarten. Ber. Dtsch. Bot. Ges. 75, 353 - 364.
- TSCHERMAK L. 1935: Die natürliche Verbreitung der Lärche in den Ostalpen. Mttl. aus d. forstl. Vers. wesen Österr. 43.
- TSCHERMAK L. 1940: Gliederung des Waldes Tirols, Vorarlbergs und der Alpen Bayerns in natürliche Wuchsbezirke. Cbl. f. d. ges. Forstwesen 66, 106 - 119.
- TURNER H. 1958: Maximaltemperaturen oberflächennaher Bodenschichten an der alpinen Waldgrenze. Wetter u. Leben 10, 1 - 12.
- TURNER H. 1961a: Standortsuntersuchungen in der subalpinen Stufe: Die Niederschlags- und Schneebeziehungen. Mttl. d. Forstl. Bundes-Vers. anst. Mariabrunn, Heft 59, 265 - 315.
- TURNER H. 1961b: Jahresgang und biologische Wirkungen der Sonnen- und Himmelsstrahlung an der Waldgrenze der Ötztaler Alpen. Wetter u. Leben 13, 93 - 113.
- ULMER W. 1937: Über den Jahresgang der Frosthärte einiger immergrüner Arten der alpinen Stufe, sowie von Zirbe und Fichte unter Berücksichtigung von osmotischem Wert, Zuckerspiegel und Wassergehalt. Jb. wiss. Bot. 84, 553 - 592.
- WALTER H. 1960: Grundlagen der Pflanzenverbreitung. I. Standortslehre, Bd. III/1, 2. Auflage, Ulmer, Stuttgart.
- WENDELBERGER G. 1951: Pflanzensoziologische Lehrwanderungen in Südkärnten (Sommer 1948). Angewandte Pflanzensoziologie, Heft IV, 53 - 66, Springer, Wien.
- WIESER R. F. 1953: Das Problem der Erhaltung der oberen Waldgrenze in Tirol. Allg. Forstztg. 64, 162 - 164.
- WIESER R. F. 1957: Probleme der Waldbehandlung im Hochgebirge. Allg. Forstztg. 68, 71 - 73.
- WIESER R. F. 1959: Über Erhaltung und Pflege unserer alten alpinen Baumrassen und Bestände. Allg. Forstztg. 70, 136 - 139.

Zusammenfassung

Résumé — Summary

von R. Hampel

Ökologische Untersuchungen in der subalpinen Stufe zum Zwecke der Hochlagenaufforstung (Teil I und II)

Die dichte Besiedlung der Alpenländer wurde nur durch Rodung des Waldes ermöglicht. Diese alte Gewohnheit hat mit der Zeit zu einem Herabdrücken der Waldkrone in Lagen geführt, die dem Entstehen von Lawinen und der verstärkten Ausbildung von Wildbächen günstig sind. In den Ostalpen werden nämlich die meisten heutigen Täler in 1700–2000 m Seehöhe von Resten tertiärer Täler begleitet, welche Verflachungen in den Hängen bilden und die aus größeren Höhen herabkommenden Lawinen zur Ablagerung bringen. Sinkt nun die Waldkrone unter diese Höhen ab, dann begünstigt das anschließende Steilgelände den Anbruch von Lawinen und die Erosion von Wildbächen. Daß dies in weiten Gebieten Österreichs der Fall ist, ergibt sich aus der Tatsache, daß in Tirol und Vorarlberg mehr als $\frac{2}{3}$ aller Lawinen unterhalb der möglichen, aber nicht vorhandenen Waldkrone anbrechen. Durch Wiederbewaldung dieser Gebiete könnte somit ein Großteil der Lawinen ausgeschaltet werden.

Das genauere Studium des sich hieraus ergebenden Fragenkomplexes wurde durch die schweren Lawinenschäden der Jahre 1951 und 1954 veranlaßt und hiebei festgestellt, daß in den österreichischen Alpen im Laufe von etwa 200 Jahren 150.000 bis 200.000 ha Wald an der oberen Waldgrenze verloren gegangen sind. Um die zur Bannung der Wildbach- und Lawinengefahren erforderlichen Wiederbewaldungen in der subalpinen Stufe durchführen zu können, waren umfangreiche Untersuchungen notwendig, die einer eigenen Abteilung der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Mariabrunn übertragen wurden, welche in Innsbruck unter gemeinsamer Leitung mit der dortigen Wildbachverbauungssektion errichtet wurde. Die ersten zusammenfassenden Ergebnisse dieser forstlichen Zweck- und Grundlagenforschung werden hiemit vorgelegt. Zahlreiche Einzelheiten wären aus den mehr als 130 Fachveröffentlichungen (Verzeichnis am Schluß des Buches) zu entnehmen.

Die zunächstliegende Frage, ob die Vergrößerung der Waldfläche eine Einschränkung des landwirtschaftlichen Ertrages mit sich bringt, wurde eingehend studiert. Es wurden sowohl großräumige Untersuchungen über den Waldrückgang auf einer Fläche von 2200 km² durchgeführt als auch Detailprojekte für die Wiederaufforstung von 6 Gebieten ausgearbeitet, welche übereinstimmend

ergaben, daß der Ertrag der Land- und Forstwirtschaft durch Aufforstung und Intensivierung der Alpwirtschaft wesentlich gesteigert werden kann.

Die Hauptaufgabe, die nach Klärung dieser Vorfrage zu erledigen war, bestand darin, Gebiete aufzuforsten, die sich bis an die natürliche Waldgrenze erstrecken. Da es hierfür keine Vorbilder gab, Versuchspflanzungen aber wegen der rasch zu beseitigenden Lawinengefahr zuviel Zeit in Anspruch genommen hätten, wurde versucht, diese Aufgabe dadurch rascher zu lösen, daß die bereits vorhandenen pflanzensoziologischen und ökologischen Erkenntnisse durch ein Forscherteam soweit ausgebaut werden, daß damit die Grundlagen für den sicheren Erfolg von Hochlagenaufforstungen geschaffen werden (Kausalanalyse statt Statistik).

Es waren also die Boden- und Kleinklimaverhältnisse zu untersuchen, denen die jungen Pflanzen an den aufzuforstenden Hängen der subalpinen Stufe ausgesetzt werden sollten, und diese dann in Beziehung zum vorhandenen Bewuchs zu bringen. Es war die Stoffproduktion der Pflanzen und ihr Verhalten in dem zu erwartenden Klima zu überprüfen, waren Starthilfen zu finden, die das Gedeihen erleichtern, und das alles in ein System zu bringen, welches es ermöglicht, aus der vorhandenen Vegetation an Ort und Stelle alle Maßnahmen abzuleiten, die zum Gelingen der Aufforstung beitragen können (Ökogramm).

Schon ein erster Überblick zeigt, daß die Verhältnisse in der zu untersuchenden subalpinen Stufe grundsätzlich anders liegen als in der darunterliegenden montanen Waldstufe, weil in den höheren Lagen der Einfluß des Großklimas zurücktritt und das Bodenrelief und die gerichteten Größen wie Wind und Strahlung einen so starken Einfluß auf die Ausbildung des Kleinklimas nehmen, daß dieses sprunghaften Änderungen auf kleinstem Raum und in der Größenordnung ganzer Klimazonen unterworfen ist. Die ökologische Forschung und die Technik der Aufforstung wurden dadurch so sehr beeinflusst, daß man von einer eigenen im Entstehen begriffenen Subalpinforstwissenschaft sprechen könnte.

Diesen Zielen hätte u.a. eine ökographische Betrachtungsweise zu dienen, welche pflanzensoziologische Untersuchungen und klimatische Messungen so koordinieren sollte, daß die Kausalzusammenhänge zwischen Standort und Geländeausformung in Karten hervortreten. Aufgabe der Pflanzensoziologie ist es hierbei, die Kenntnis geeigneter Zeigerpflanzen zu vermitteln, welche den Standort hinsichtlich seiner für die Aufforstung wichtigen Merkmale charakterisieren. Sie wird sich hierbei im Sinne einer Vereinfachung für die Praxis der Dominanten, wo diese nicht ausreichen, auch der Subdominanten bedienen.

Von großräumigen Vegetationskarten erwarten wir uns neben der kleinräumigen Ökographie auch Einsichten über den Ver-

lauf der subalpinen Stufe, über die Verteilung der dort befindlichen Holzpflanzen, über den Mengenanteil verschiedener Pflanzengesellschaften als Grundlage für die Wichtigkeit ihrer Erforschung und der darauf aufbauenden Wiederbewaldung, für Wasserabflußmessungen usw.

Für Tirol gab es vor 1930 keine Vegetationskarten. Aber auch die bisher veröffentlichten betreffen entweder nur kleine Teile des Landes oder sie mußten aus finanziellen Gründen als Schwarzweißdrucke oder in Maßstäben veröffentlicht werden, die eine für die vorliegende Aufgabe interessante Auswertung nicht zulassen.

Es wurde daher eine Vegetationskartierung Tirols im Maßstab 1 : 25.000 begonnen, die bisher 83 % der Gesamtfläche erfaßt hat. Etwa die Hälfte davon ist bereits reingezeichnet und handkoloriert, wobei durch 12 Farben mit Abstufungen und Aufdruck 23 Unterscheidungen möglich wurden.

Daneben wurde mit einer Verkleinerung auf 1 : 100.000 begonnen, weil nur hierfür einheitliche Karten für das Bundesgebiet vorliegen. Zunächst wird an dem Blatt "Zillertal" gearbeitet, das zu ca. 40 % (960 km²) reingezeichnet vorliegt. An diesem Blatt wird auch die Frage der Verwertbarkeit der Vegetationskartierung für andere Zwecke der Wissenschaft und Wirtschaft studiert werden.

Neben diesen Karten liegen noch Spezialkartierungen aus dem Versuchsgebiet in Obgurgl und dem Zillertal im Maßstab 1 : 500 bis 1 : 5.000 vor, wofür Kartenunterlagen durch terrestrische oder Luft-Stereophotogrammetrie beschafft wurden.

Das Hauptarbeitsgebiet für die ökologischen Freilanduntersuchungen, welches die subalpinen Aufforstungsflächen des zentralalpiner Raumes kennzeichnen soll, liegt am rückwärtigen Ende des Ötztales in der Nähe von Obgurgl auf einem WNW-Hang, der sich vom Talboden in ca. 1800 m Seehöhe über zwei Verebnungen in 2070 m und 2200 m bis auf 2900 m aufbaut. Das Grundgestein besteht aus Schiefergneisen oder Gneisglimmerschiefer und liefert im Wald Eisenpodsolböden, oberhalb einerseits podsolige Braunerden und braune Ranker, andererseits Eisenhumuspodsole und Podsolranker. Der Hang ist durch Rinnen und Rippen aller möglichen Expositionen gegliedert, welcher Umstand ja auch für seine Auswahl maßgebend war. Das Klima ist streng kontinental (65,5° hygrische Kontinentalität nach Gams), hat mit 57 % der lokal möglichen die größte relative Sonnenscheindauer in ganz Österreich, weist eine mittlere Jahrestemperatur von 1,5°C und 944 mm Jahresniederschlag auf. Infolge der geringen Niederschläge ist die Höhe der Schneedecke verhältnismäßig gering (mittleres Maximum im März 110 cm) und die Dauer der Schneebedeckung im Vergleich zu gleich hohen Lagen in den Nordalpen um einen Monat verkürzt, wodurch sich eine längere Vegetationsperiode und eine höhere Lage der Vegetationsgrenzen gegenüber dem Alpenrand ergibt. Der für die Verfrachtung von Schnee maßgebende Wind kommt entsprechend dem Talverlauf aus

Nordost. Der Wind weist in der schneefreien Zeit einen ausgesprochenen Tagesgang auf.

Durch diese Auswahl des Untersuchungsgebietes können die Ergebnisse als repräsentativ für das inneralpine, kontinentale Gebiet mit folgenden Einschränkungen angesehen werden: Sie gelten nicht im Kalkbereich und auch dort nicht, wo die Vegetationsentwicklung stark durch Mahd, Weide oder Waldbrand gestört worden ist. Nach der Lage des Untersuchungsgebietes enthalten die Ergebnisse genauere Angaben für das kontinentale Zentrum dieses Gebietes und für Alpenquertäler, während sie am Außenrand dieses Gebietes und in Alpenlängstälern gewissen Einschränkungen unterworfen sein könnten. Eine spätere Untersuchung soll diese Frage noch klären. Im Interesse der Hochlagenaufforstung wird in diesem Buch eingehender von der Ökologie der Kampfzone, also von dem oberen Teil der subalpinen Stufe, berichtet und nur fallweise auf die Bedingungen im tiefergelegenen subalpinen Zirben-Lärchenwald verwiesen.

Im Gebiet von Obergurgl/Poschach wurden zwei Untersuchungsflächen ausgeschieden. Und zwar eine auf einer 1 ha großen Lichtung, im Mittel 1920 m hoch, inmitten eines Lärchen-Zirbenwaldes, zum Studium der Randwirkungen des Waldes, und eine 12,5 ha große Fläche in der Kampfzone, beginnend an einer Verebnung in 2070 m an der Waldgrenze und reichend bis zum Beginn der alpinen Stufe an einer weiteren Verebnung in 2225 m.

In der Lichtung, im Innern des Lärchen-Zirbenwaldes und knapp oberhalb der Waldgrenze wurden in mehreren kleinen Hütten mit Stromversorgung die Schreiber für die Registrierinstrumente und das Kernstück für die automatische Assimilationsmessung, der Ultrarotabsorptionsschreiber (URAS), untergebracht.

Mit diesem Instrumentarium wurde das Boden- und Klein-klima gemessen, wobei sich folgende Resultate ergaben:

1) Die Strahlungsverhältnisse werden dadurch charakterisiert, daß die Globalstrahlung in 2000 m wesentlich stärker ist als in der Niederung, daß aber die Himmelsstrahlung bei wolkenlosem Himmel wegen der geringeren Mächtigkeit der durchstrahlten Luftschicht geringer ist. Bei bewölktem Himmel ist diese Strahlung in der Höhe wegen der geringeren Mächtigkeit der Wolkendecke bedeutend intensiver als im Tal. Durch Reflexion von den umgebenden Hängen kann es bei Vorhandensein einer Schneedecke bis zu doppelt so starker Strahlung kommen wie in der Ebene. Im Sommer kommen durch Wolkenreflexion momentan wirksame Strahlungsintensitäten vor, die weit über der extraterrestrischen Strahlung liegen.

Diese Eigentümlichkeiten der Strahlung haben weitgehende biologische Wirkungen:

a) Die intensive Winterstrahlung führt selbst bei strahlungsresistenten autochthonen Zirben zu Chlorophyllzerstörung und

Schädigung sonnenexponierter Kronenpartien. Umsomehr dürften Setzlinge aus tieferen Lagen betroffen werden.

- b) Die starke Wolkenstrahlung verhindert, daß sogar an den lichtärmsten Tagen der Vegetationsperiode die Stoffproduktion freistehender Zirben nennenswert beeinträchtigt wird. Etwas schlechter sind nur Pflanzen auf nordexponierten Hängen gestellt.
 - c) Im natürlichen Zirbenwald wird die Strahlung stellenweise so stark reduziert, daß sogar die an den Schatten angepaßten Jungzirben fast nie so stark belichtet werden, daß sie ausreichend assimilieren können. Jedoch kommt die zu geringe Strahlung als alleinige Ursache für die fehlende Verjüngung unter Altbäumen nicht in Frage.
- 2) Die Lufttemperatur- und Luftfeuchtemessungen, die seit 1953 in Wetterhütten vorgenommen wurden, ermöglichten die Feststellung einer warmen Hangzone, die als Folge eines Sees aus kalter Luft am Talboden entstand und im Sommer im bewaldeten Teil lag, sich aber im Winter infolge größerer Tiefe des Kältesees bis an die obere Waldgrenze verschob. Mit Hilfe eines dichten Netzes von Wetterhütten (in 70 cm über dem Boden) wurden die Lufttemperatur- und Luftfeuchteunterschiede im subalpinen Zirben-Lärchenwald bestimmt, wobei sich geringere Unterschiede ergaben als in Beständen tieferer Lagen.
- 3) Die Nadeltemperaturen der Zirben schwanken zwar gleichsinnig mit den Lufttemperaturen in der Hütte, zeigen jedoch rund doppelt so große Tagesamplituden. Sie sind in der Regel nachts kälter, tagsüber wärmer als die Luft. Die Unterkühlung ist im Winter am stärksten, die Erwärmung im Sommer. Dies führt zu Extremen von -40° bis $+40^{\circ}$. Am Ende des Winters erleiden die Pflanzen, welche über die Schneedecke ragen, besonders extreme Temperaturschwankungen, wodurch der Gefrierbereich mehrmals am Tage durchschritten wird und Schädigungen sonnseitiger Nadeln durch rasches Auftauen auftreten. Der Umstand, daß die Nadeln im Winter fast täglich für kurze Zeit eisfrei sind, bedeutet Wasserverluste durch Transpiration, welche junge Pflanzen wegen des gefrorenen Bodens nicht decken können und die daher zu Trockenschäden führen. Auf Nordhängen sind die Nadeltemperaturen in beschatteten Teilen häufig zu niedrig, um optimalen Stoffgewinn zu erzielen. West- und Südhänge sind besser gestellt, können aber die Frühjahrswärme nur ausnützen, wenn sie rechtzeitig ausapern.
- 4) Die Bodentemperatur ist für Hochlagenaufforstungen von großer Bedeutung, weil von ihr die Länge der Vegetationsperiode (Bodenfrost), das Ausmaß der Wurzelatmung, die Mykorrhizabildung und andere Vorgänge des Bodenlebens abhängen. Oberhalb der Waldgrenze bestimmen Einflüsse des Reliefs vor-

nehmlich die Verteilung der Bodentemperaturen im Gelände. Unter Berücksichtigung der Relieffaktoren von Wind und Strahlung und der davon abhängigen Schneedeckendauer werden drei Bodentemperaturstandortstypen unterschieden:

- a) Der schneebedeckte Normaltyp mit geringen Bodenfrösten im Winter und geringer oberflächlicher Aufheizung im Sommer.
- b) Der schneearme Typ mit tiefgreifendem Bodenfrost.
- c) Der Überhitzungsstandort auf sonnseitigen Lagen mit hohen, wenn auch kurz dauernden Oberflächenüberhitzungen.

Die großen reliefbedingten Gegensätze der Bodenoberflächentemperaturen werden durch die sekundären Rand- und Deckenwirkungen der Baum- und Bodenvegetation gemildert. Eine starke Abschwächung der Extreme zeigen die Bodentemperaturen in größerer Tiefe.

- 5) Die entscheidende Bedeutung des Windes beruht in erster Linie auf seinem Einfluß auf die winterliche Schneeverteilung, die alljährlich dieselbe Form annimmt und an den stets gleichbleibenden Ausaperungsfiguren im Frühjahr zu erkennen ist. Hiedurch wird die Länge der Vegetationszeit am einzelnen Standort und damit letzten Endes die Möglichkeit und Geschwindigkeit des Wachstums von Aufforstungen bestimmt. Einerseits haben Jungzirben an schneefreien Rücken unter winterlichen Trockenschäden, andererseits im lange schneebedeckten Bereich unter Pilzschäden zu leiden. Die Bereiche zwischen diesen ungünstigen Extremen sind für die Aufforstungen als optimal anzusehen. Ein schütterer Baumbestand von 1 3 m Höhe reichte schon hin, um das Windfeld beträchtlich zu heben und eine annähernd so ausgeglichene Schneeverteilung zu gewährleisten wie ein schütterer Hochwald, wodurch das Nährgebiet für Lawinen wesentlich verkleinert und die Wachstumsmöglichkeiten verbessert werden.

Der Einfluß des Windes und der Schneeverteilung auf das Gelingen von Aufforstungen ist somit so bedeutend, daß dem Studium dieser Frage die größte Aufmerksamkeit gewidmet wurde. In der von Jahr zu Jahr gleichbleibenden Form der Ausaperungsfiguren, welche eine Folge des Bodenreliefs, der vorherrschenden Windrichtung und der Sonnenbestrahlung sind, wurde ein Liniensystem gefunden, welches von der Vegetation nachgezeichnet wird und das als wichtigste Grundlage für die Aufforstung von Hochlagen dienen muß. Es ergab sich eine deutliche Zunahme der Schneedeckenmächtigkeit und damit eine Verspätung des Ausaperungszeitraumes in der Reihenfolge: Windflechtenheide (*Alectorietum ochroleucae*, 5 10 cm Schneedecke, nur wenige Wochen schneebedeckt), über Gemsheide (*Loiseleurietum*, 10 30 cm Schneedecke, 3 Monate schneebedeckt), Rauschbeerheide (*Vaccinietum uliginosi*, 30 80 cm Schneedecke, 4,5 Monate schneebedeckt), Heidelbeerheide (*Vaccinietum*

myrtilli), zu Alpenrosenheide (*Rhododendretum ferruginei*, 80
200 cm Schneedecke, 6,5 bis 7,5 Monate schneebedeckt).

- 6) Die Verdunstung ist vom Wind und von der Einstrahlung abhängig und nimmt bei geringen Windstärken rascher als bei größeren zu. Verdunstung, Wind und Niederschlag sind streng nach dem Relief verteilt: an windausgesetzten Rippen ist die Verdunstung doppelt so groß wie in Rinnen, auf windzugekehrten Schattenhängen bis zu 20 % größer als auf Lee Sonnenhängen. Da sich die Niederschlagsverteilung umgekehrt verhält, sind die Rippen und Luvhänge am schlechtesten mit Wasser versorgt. Innerhalb der ökologischen Vegetationszonen steigt die Verdunstung vom *Rhododendretum* über das *Vaccinietum* und *Loiseleurietum* zum *Alectorietum* an. Das deutet darauf hin, daß auch zwischen der räumlichen Verteilung der Verdunstung und der Schneebedeckungsdauer ein gesetzmäßiger Zusammenhang besteht. Für beide spielt der Wind eine ausschlaggebende Rolle.
- 7) Die Methoden der Bodenfeuchtemessung sind noch nicht so weit entwickelt, daß umfassendere Feuchtemessungen hätten gemacht werden können, die zur Klärung der Abhängigkeit der Feuchte von klimatischen und bodenphysikalischen Faktoren und zur Aufstellung von Feuchtereihen führen sollten. Die wenigen Messungen ergaben jedoch, daß der Feuchteverlust durch Wind größer ist als durch Wärmeeinstrahlung, daß somit die Austrocknungsgefahr für Jungpflanzen auf Sonnenhängen im Windschatten geringer ist als auf Schattenhängen in extremen Windlagen.
- 8) Pflanzengesellschaften und Boden stehen in so gesetzmäßiger Beziehung zueinander, daß von der Vegetation auf den Boden geschlossen und ökologische Reihen aufgestellt werden konnten. Die Wind- und Schneereihe läßt sich unschwer mit der Dauer der Schneebedeckung und somit mit den Ausaperungsformen in Einklang bringen, während die Feuchte-, Wärme- und Nährstoffreihe Böden betrifft, die entweder im derzeitigen Untersuchungsgebiet nicht vorkommen oder nur zum Teil eingegliedert werden können.
- 9) Auch die Aktivität der Mikroorganismen im Boden bestimmt nach der Saccharaseaktivität läßt sich mit den verschiedenen Pflanzengesellschaften gut in Einklang bringen, während bezüglich der Besiedlung mit Bodentieren erst in den Hochlagen um 2260 m das *Rhododendretum ferruginei* als die am dichtesten besiedelte Gesellschaft erschien, in tieferen Lagen jedoch die Besiedlung stark beschatteter vegetationsarmer Waldstandorte stärker war.

Von den Holzarten der subalpinen Stufe wurden bisher nur

Aufkommen und Stoffproduktion der Zirbe, vorwiegend im Gelände von Obergurgl, untersucht.

1) Studien über die Verteilung und den Zuwachs zeitigten folgendes Ergebnis:

a) Für das natürliche Aufkommen von Zirben sind maßgebend: Das Samenangebot, welches jedoch bei geringer Fruktifikation fast vollständig vom Tannenhäher aufgefressen wird; der Bestand an Hähern und die Entfernung der Besamungsfläche vom Bestand, da nur der Häher für natürliche Besamung sorgt; das Keimbett, wofür sich vor allem das moosreiche *Vaccinietum uliginosi* und das schattseitige *Rhododendretum myrtilli* eignen; die Höhe und Dauer der spätwinterlichen Schneebedeckung.

b) Bei der künstlichen Verjüngung sind für die Saat dieselben Pflanzengesellschaften günstig wie bei der natürlichen. Wenn wir auch über Zirbenrassen noch nichts wissen und sie wegen der schmalen Höhenverbreitung keine übermäßige Bedeutung erlangen dürften, sollen die Samen doch womöglich von gut entwickelten Bäumen in entsprechender Lage gewonnen werden.

Zirbenpflanzen sollen aus organisatorischen Gründen in hochliegenden Pflanzgärten erzogen, mindestens 4-jährig verschult sein und mit Loch- oder Lochhügelpflanzung eingebracht werden. Bei Rohhumusaufgabe ist der Boden gut zu durchmischen, auf sonnseitigen Standorten dürfte eine Abdeckung von Vorteil sein. Die Pflanzlöcher sollen wegen der Bodenverbesserung schon im Vorjahr angelegt werden. Derzeit erfolgt die Aufforstung mit 5000 Stück Pflanzen/ha, wobei in den ersten Jahren die Ausfälle durch Nachbessern ergänzt werden. Die Ergänzung späterer Ausfälle wird vielleicht nicht mehr nötig sein, da lt. Literatur der endgültige Bestand im Alter von 60 Jahren etwa 3000 Stämme/ha aufweisen soll. Ob und wo diese Anzahl als Lawinenschutz ausreicht, ist jedoch heute noch nicht bekannt.

Starthilfen, welche das Aufkommen in extremen Lagen erst ermöglichen, können durch Verwehungszaune als Windschutz oder zur Erzielung einer Schneebedeckung gegeben werden, oder durch Verpflockung bei zu großer Schneelage; vor allem aber durch Impfung mit Mykorrhizapilzen, gegebenenfalls auch durch Gründüngung, wofür sich bisher der Schwedenklee (*Trifolium hybridum*) am besten bewährt hat.

2) Der Jahresgang der Assimilation und Atmung spontan aufgegangener Jungzirben wurde in 2070 m Seehöhe während eines Jahres laufend mit den URAS gemessen. Es ergab sich, daß die Umstellung auf den Winterzustand schon im September eingeleitet wird, daß die Assimilation Ende Oktober nur noch halb so groß ist wie im Mai bei gleichem Licht, daß sie im

November auf $1/10$ des ursprünglichen Betrages absinkt und bei Eintritt von Bodenfrost praktisch zum Erliegen kommt. Während des Winters wird nur veratmet, sodaß die CO_2 -Bilanz ständig negativ bleibt. Erst nach dem Wiederauftauen läuft die Assimilation wieder an. Die Umstellung erfolgt noch unter Schnee, doch bleibt der CO_2 -Gewinn zunächst noch bescheiden. Erst wenn sich die Nadeln im Tagesmittel über 10°C erwärmt haben (Ende Mai) assimilieren sie unerwartet lebhaft, wenn nicht Spätfröste auftreten, Schnee fällt oder das Temperaturoptimum überschritten wird. Diese Hochleistungsperiode dauert bis zum Austreiben der Pflanzen (Ende Juli), worauf sie einen lang anhaltenden, in seinen Ursachen noch nicht völlig geklärten Rückschlag erleiden. Da die Hochleistungsperiode mit dem größten Stoffgewinn im Frühjahr liegt, verlieren Bäumchen, welche spät ausapern, wahrscheinlich die produktivste Zeit des Jahres.

- 3) Die Kohlendioxydbilanz während eines Jahres gibt folgendes Bild: Von der Jahresbruttoassimilation werden von den oberirdischen Teilen der Pflanze am Tage 20 %, in der Nacht 7 % veratmet. Unter Schnee, der ein halbes Jahr die Pflanzen bedeckt, verlieren sie weitere 6 %, sodaß der Gesamtverlust durch die Atmung im Jahr mindestens 38 % der Bruttoassimilation beträgt.

Mit der im Laufe eines Jahres der Pflanze verbleibenden CO_2 -Menge könnten sie pro Gramm Nadeln rund 2,2 g Trockensubstanz aufbauen. In Wirklichkeit haben dieselben Pflanzen im gleichen Zeitraum jedoch nur 0,65 g Zuwachs erzeugt. Der große Unterschied ist überraschend und noch nicht geklärt, könnte unter anderem auch auf die Abgabe beträchtlicher Assimilatmengen an Mykorrhizapilze zurückzuführen sein.

- 4) Wie aus den Untersuchungen über die Nadeltemperaturen hervorgeht, erreichen die winterlichen Temperatur-Minima mitunter lebensbedrohende Werte. Untersuchungen über die Frostresistenz der Zirbennadeln haben zu folgendem Ergebnis geführt: Die Frosthärte zeigt unabhängig von der Außentemperatur einen in der Pflanze gelegenen Rhythmus mit einem Minimum im Sommer und einem Maximum im Winter. Dieser wird jedoch von den Temperaturen zusätzlich beeinflusst, sodaß z. B. Pflanzen oberhalb der Schneedecke im Winter bedeutend frosthärter sind als schneebedeckte. Die Unterschiede der Kälteempfindlichkeit zwischen Alt- und Jungzirben andererseits blieben über den ganzen Winter erhalten. Frosthärteprüfungen am Standort erhärteten diesen Befund; Altzirben zeigten sich völlig frostresistent, ebenso autochthone Jungzirben oberhalb der Schneedecke. Frühzeitig ausapernde Jungzirben sind dagegen etwas anfälliger. Ebenso kann bei einer Herbstpflanzung das Ausbleiben rechtzeitiger Schneefälle zu Schädigung verwöhnter Pflanzgartenzirben führen.

- 5) Untersuchungen über den Gefrierbereich von Zirbenadeln mußten angestellt werden, weil durch Frieren die Wasseraufnahme aus dem Boden und die Weiterleitung in den Gefäßen unterbrochen wird. Wenn gleichzeitig das Wasser in den Nadeln auch nur vorübergehend nicht gefroren ist, entstehen durch Transpiration Wasserverluste, die zur letalen Austrocknung führen können.
- Das Ergebnis besagt, daß die Nadeln im März bei -5° , im April bei -4° und im Mai bei -2° zu frieren beginnen. Im März sind bei -8° , im Mai bei -6° etwa 50 % des Wassers gefroren. Weitere Senkung der Temperatur (geprüft bis -45°) erhöht den Eisgehalt nicht mehr. Auch das Auftauen erfolgt langsam und spielt sich in denselben Temperaturbereichen ab wie das Einfrieren. Am natürlichen Standort ist daher im Winter durch Gefrierpunktserniedrigung die Eisbildung hinausgeschoben, die Zeit, während welcher eine Assimilation von CO_2 möglich ist, verlängert, und der wahrscheinlich schädliche Frostwechsel tritt seltener auf. Aber an kalten, strahlungsreichen Tagen können die Nadeln ihren Gefrierbereich öfters durchschreiten, sodaß "Strahlungsschäden" auf diese Vorgänge zurückgeführt werden könnten.
- 6) Die größten Schäden an jungen Zirben werden durch Schneepilze, vor allem durch die "Nordische Schütte" (*Phacidium infestans* Karst.), verursacht, die an Standorten langanhaltender Schneebedeckung (Wächtenbereich, Mulden, Schattenränder) eine tödliche Gefahr darstellt. Das Maximum der Schäden an Zirben tritt in der reifen Alpenrosen-Heidelbeer-Heide auf und nimmt mit zunehmender Windbeeinflussung des Standortes ab. Daher stellt die Alpenrosen-Heidelbeerheide wohl ein geeignetes Zirbenkeimbett dar, jedoch kommen nur wenige Pflanzen später wegen der Schneepilzgefahr mit dem Leben davon. In der Kampfzone beschränken sich die Pilzschäden auf Leebereiche und Mulden, während auf den windausgesetzten Rippen nun Frost- und Trockenschäden verstärkt auftreten. Zwischen beiden Extremen erreicht der Zirbenjungwuchs im *Vaccinietum uliginosi* (Rauschbeerheide) seine größte Dichte (Schneehöhe etwa 50 - 80 cm). Dementsprechend wird es oft notwendig sein, eine Pflanzung an stark windexponierten Standorten (Gemsheide und Windbartflechte) durch Schneezäune gegen Frostrocknis zu schützen und andererseits dadurch einen Ausgleich der Schneedecke zwischen Rippe und Mulde herbeizuführen. Standorte mit unbeeinflussbar hoher Schneedecke müssen von der Zirben-Aufforstung vorerst ausgeschlossen werden.

Neben der oben beschriebenen systematischen Erforschung der Zusammenhänge von Klima, Boden und dem vorhandenen Bewuchs der Aufforstungsflächen, sowie den Ansprüchen der Zirbe an den

Standort wurde unter dem Sammelnamen Starthilfen auch mit dem Studium aller Möglichkeiten begonnen, den jungen Pflanzen auf den ungünstigen Kahlflächen der subalpinen Stufe das Aufkommen zu erleichtern.

1) Untersuchungen über windabhängige Lawinenverbauungen:

Als solche kommen in Frage: Schneezäune mit etwa 0,65 Füllungsgrad, welche den Schnee an sonst windabgeblasenen Stellen zur Ablagerung bringen (die dann leichter aufgeforstet werden können) und hiedurch dahinterliegende Lawinhänge entlasten; Kolktafeln, das sind massive Tafeln, welche die Schneedecke überragen und in einem Umkreis von 6-10 m eine Verfestigung im Bereich zwischen Luv und Lee hervorrufen; und Düsen, das sind dachartig schräg gestellte Tafeln, welche an Graten den Schnee im Lee wegblasen und die Ausbildung von Wächten verhindern. Mit der kombinierten Anwendung derartiger Bauten kann ein weitgehender Ausgleich der Schneedecke im unbewaldeten Bereich erzielt werden. Nach jahrelangen eingehenden Freiland- und Laboruntersuchungen (Windkanal) kann heute durch Verwehungsbauten das Aufforstungsareal erweitert und die Aufforstungsgeschwindigkeit erhöht werden.

2) Die Anwendung mikrobiologischer Erkenntnisse auf die Hochlagenaufforstung als Starthilfe ergab sich aus der Erkenntnis, daß dadurch das Wachstum der Bäume besonders auf armen, waldentwöhnten Böden gefördert wird. Zudem gelingen auf manchen Ödlands- oder dem Wald entfremdeten Böden Aufforstungen nur dann mit befriedigendem Erfolg, wenn die Ausbildung der Mykorrhiza durch künstliche Maßnahmen gefördert wird.

3) Die Förderung der Mykorrhizabildung kann in der forstlichen Praxis am besten durch Bodenimpfung in den Forstgärten entweder zugleich mit der Aussaat oder bei der Verschulung erfolgen. Die in Frage kommenden Pilze und genauen Arbeitsmethoden werden angegeben.

4) Um der Praxis leicht anwendbare Unterlagen für die Durchführung der Hochlagenaufforstung zu geben, wurde schließlich unter Verwertung der bisher erzielten Forschungsergebnisse und alles sonstigen Wissens über die Verhältnisse in der subalpinen Stufe eine schaubildartige Zusammenfassung unter dem Namen Ökogramm versucht. Von den 4 Ökogrammen, welche zur Festlegung der Aufforstungsmaßnahmen in der subalpinen Stufe der Zentralalpen erforderlich sein dürften, wurde für das weitestausgedehnte Teilgebiet, in dem Wind und Schnee die begrenzenden Wachstumsfaktoren darstellen, ein Probeökogramm ausgearbeitet und ihm neben einer Anleitung auch eine Zusammen-

fassung allgemeiner Grundlagen für die Ökogrammanwendung beigegeben.

Diese allgemeinen Grundlagen enthalten detaillierte Anleitungen zur Beurteilung der Klima-, Relief- und Bodeneinflüsse, eine Zusammenfassung der Standortsansprüche der Haupt- und Nebenholzarten, Angaben zur Beurteilung und Festlegung der oberen Aufforstungsgrenze und einen Arbeitskalender für die Hochlagenaufforstungen.

Diese Grundlagen sollen die Anwendung des knapp gehaltenen Ökogrammes verbessern, welches unter einem in elf Zonen geteilten Querschnitt durch einen Rücken mit Leeson- und Luvschattseite in 5 untereinander angeordneten Diagrammen die den einzelnen Zonen entsprechenden Verhältnisse und Maßnahmen gegenüberstellt:

1. die Vegetations- und Bodengliederung als Qualitätstest für die Standorte,
 2. die Verteilung der Windstärke, maximalen und minimalen Schneehöhe und der Bodenoberflächentemperaturen als wichtigste Ursachen,
 3. das natürliche Vorkommen von Zirbe und Lärche, sowie die Schäden als Folgen von 2.,
 - 4a. die Aufforstungsmaßnahmen (Pflanzenwahl, Saatmöglichkeit, sowie Pflanzzeitpunkt),
 - 4b. die technischen Maßnahmen zur Beeinflussung von Wind und Schnee (Lawinenstützwerke, Schneezäune, Kolktafeln und Düsen).
- 5) Unter dem Eindruck der Lawinenkatastrophen 1951 und 1954 mußte mit Hochlagenaufforstungen möglichst bald begonnen werden, wobei die jeweils vorhandenen Forschungsergebnisse verwertet und mangelndes Wissen durch Annahmen ersetzt wurde. An dem Beispiel der größten zusammenhängenden und am weitesten fortgeschrittenen Arbeit, dem Projekt "Lawinenvorbeugung Vorderes Zillertal" können Umfang, wirtschaftliche Bedeutung und praktische Erfahrungen beurteilt werden. Dieses Projekt umfaßt eine Gesamtfläche von rund 100 km² und verfolgt das Ziel, die in diesem Gebiete gelegenen 16 Wildbäche und 9 Lawinen durch forstliche Maßnahmen zu sanieren, soweit nicht technische Verbauungen unerlässlich sind.
- Im einzelnen ist geplant: Die Verbesserung von 463 ha Almboden durch Wegerschließung, Gülleanlagen und Koppel-Weidebetrieb, um hiedurch den Ausfall an Waldweide und aufzuforstender verunkrauteter und abgelegener Weidefläche auszugleichen; die Einstellung eines geprüften Wirtschaftsführers für den vorhandenen Wald, Aufschließung durch 70 km LKW-fahrbaren Weg, Umwandlung der durch Beweidung und Schneitelung besonders an der oberen Waldgrenze stark geschädigten Wälder in Ertragswald, Verbot der Waldweide für 985 Kühe und 340 Galt-

rinder, Abschaffung der Schneitelung und Bodenstreugewinnung in einem Umfang von jährlich 9223 rm, Hebung der Waldgrenze von 1600 m auf 2000 m durch Aufforstung von 611 ha, Aufforstung aller Blößen, Lawenstriche und sonstigen Kahlfächen im Bereich des Wirtschaftswaldes mit 442 ha und Einführung der Regieschlägerung. Die Kosten dieser Arbeiten wurden mit 36,4 Mill.Schilling ermittelt.

Bei der Durchführung der Arbeiten zeigte sich, daß nur Arbeiten mit 21,3 Mill.Schilling auszuführen sein werden, weil viele Wegbauten aus dem Projekt herausgenommen und auf Kosten der Wald- und Almbesitzer ausgeführt werden können.

Bis Ende 1960 wurden 16,8 Mill.Schilling, also fast 80 % der veranschlagten Beträge, ausgegeben. Die Projektdurchführung ist somit schon so weit gediehen, daß über den Erfolg einiges ausgesagt werden kann:

1. Für die Alpwirtschaft ist durch Intensivierung eine tatsächliche Mehrleistung trotz verkleinerter Fläche feststellbar, doch liegt hiefür derzeit noch zu wenig Zahlenmaterial vor. Zahlenmäßig belegbar sind folgende Ergebnisse, welche eine jährliche Einsparung von 151.000 S bedeuten.
 - a) Einsparung von Alppersonal, darunter 8 Alpkäser, durch tägliche Abfuhr der Milch in die Talkäserei.
 - b) Einsparung von 200 fm Holz im Jahr für die Käseerzeugung und Zaunerhaltung.
 - c) Mehrerlös von 21,3 g/l durch den Abtransport der Milch ins Tal.
 - d) Qualitätssteigerung und daher höherer Preis für den in der Talkäserei erzeugten Käse.
 - e) Rentabilitätssteigerung der Talkäserei durch gleichhohe Milchverarbeitung während des ganzen Jahres.
2. Für die Forstwirtschaft sind die Auswirkungen infolge des Vorhandenseins eines Wegenetzes überaus günstig. Die sofort wirksamen Mehreinnahmen betragen S 247.000.-- jährlich, in etwa 25 Jahren werden sie um weitere 784.000.-- S jährlich ansteigen. Sie setzen sich aus folgenden Einzelposten zusammen:
 - a) Höherer Holzpreis 160,-- S/fm durch verbilligte Lieferung.
 - b) Bessere Anpassung an die augenblickliche Marktlage durch Sommerlieferung.
 - c) Allmähliche Steigerung des Zuwachses von 1,7 fm/ha und Jahr auf 3,0 fm infolge des Vorhandenseins von Wirtschaftswegen.
 - d) Verringerung der Auswirkung von Katastrophen (Schnee, Wind, Insekten). Die Mehreinnahmen betragen in einem konkreten Fall im Jahre 1958 2,2 Mill.Schilling infolge des Wegenetzes.

- e) Förderung des Fremdenverkehrs durch Verbesserung der Ausflugsmöglichkeiten.
- 6) Die Erfahrungen, welche bei Durchführung der Hochlagenaufforstung gesammelt wurden, lassen sich in folgende Punkte zusammenfassen:
- a) Die geplante Verwendung der Vogelbeere (*Sorbus aucuparia*) hat sich nicht bewährt, weil sie durch die in den Hochlagen bis in den Juli vorkommenden Schneefälle so stark geschädigt wird, daß sie trotz ihrer großen Regenerationskraft im Laufe der Jahre eingeht oder sich nur strauchförmig entwickelt.
 - b) Die Frage, ob Saat oder Pflanzung angewendet werden soll, ist erst teilweise beantwortet. Es kann jedoch als entschieden gelten, daß die Zirbensaats aus organisatorischen Gründen und wegen des Fraßes durch den Tannenhäher auf großen Flächen nicht zum Erfolg führt. Lärchensaaten haben gute Aussichten zum Gelingen, würden die Kosten auf ein Fünftel der Pflanzung ermäßigen, doch sind die Versuche noch nicht abgeschlossen.
 - c) Eingehende Untersuchungen wurden über die günstigste Größe und Ausführung der Pflanzlöcher ausgeführt, welche schließlich mit 0,3 mal 0,4 m ermittelt wurde. Unter durchschnittlichen Verhältnissen werden 14 Pflanzlöcher in einer Stunde hergestellt, wobei darauf zu achten ist, daß die Pflanzlöcher in der Hangrichtung geneigt sind und die A- und B-Horizonte zwecks Ersparung an Düngung gut durchmischt werden.
 - d) Die noch nicht abgeschlossenen Untersuchungen zur Klärung der Frage, ob Loch- oder Klemmpflanzung angewendet werden soll, dürften in die Richtung tendieren, daß wegen des hohen Bewuchses im Rhodoretum und Vaccinietum die Lochpflanzung, in Böden mit Gras oder sehr niedrigem Strauchbewuchs die Klemmpflanzung angewandt wird.
Der Zeitaufwand für die Pflanzung in vorbereitete Pflanzlöcher wurde in Abhängigkeit von Witterung, Geländeneigung, Bodenvegetation und der Verwendung männlicher und weiblicher Arbeiter untersucht und beträgt im großen Durchschnitt 60 - 70 Stück 5-jährige Zirben je Stunde.
Bei der Klemmpflanzung dürften sich bei der Lärche unter Berücksichtigung eines größeren Ausfalles die Kosten auf 3/4 ermäßigen, während es sich bei der Zirbe nur um eine Verringerung des Arbeitsaufwandes bei gleichbleibenden Gesamtkosten handeln dürfte.
 - e) Der Aufforstungserfolg soll statistisch erhoben werden. Es wurden 102 Probekreise mit 3,5 m Radius in 100 m Entfernung in jeder Richtung angelegt und hiebei an 3225 Pflanzen 7500 Messungen durchgeführt. Die Auswertung wird nach den Messungen des Jahres 1962 im Hollerithverfahren durch-

geführt werden. Die Aufnahmemethode wurde detailliert beschrieben.

Soweit dies die bisherigen Aufnahmen gestatten, kann über den Erfolg folgendes gesagt werden:

Zirben unter 5 Jahre weisen einen Ausfall von der Hälfte auf; 5-8-jährige dagegen nur 1-5 %.

Die Lärche ist die dankbarste Holzart, kleine Pflanzen unter 8 cm zeigen einen Ausfall von einem Drittel; der Jahreszuwachs ist mit 10-15 cm relativ hoch.

Die Fichte wurde nur in geringem Umfang im Anschluß an den bestehenden Wald gepflanzt, sie weist etwa ein Fünftel Ausfall und 3-5 cm Zuwachs auf.

Nach all dem besitzt heute die Praxis der Hochlagenaufforstung in den Innenalpen ein fachliches Fundament für ihre Tätigkeit, das wohl für mehr als die Hälfte aller Fälle ausreichen dürfte. Die noch offenen Fragen, die vor allem den Einfluß des Wasserhaushaltes, einer standortsgemäßen Ernährung und Pflanzmethodik, der Saat usw. betreffen, werden sich aber nur dann erfolgreich bewältigen lassen, wenn entsprechende methodische Voraussetzungen (Klimahaus, Wasserhaushaltsmessung) vorhanden sind.

Die bis heute vorliegenden Erfolge der Hochlagenaufforstungen sind ohne die vorangegangene fachliche Klärung durch ein forstwissenschaftlich aufgebautes Teamwork nicht denkbar.

Recherches écologiques dans la zone subalpine en vue du reboisement à haute altitude (Part I et II)

La colonisation des pays alpins n'a pu se réaliser qu'à la suite de vastes défrichements de forêts. Cette vieille habitude a provoqué un retrait progressif de la limite supérieure des forêts dans des contrées favorables à la formation d'avalanches et de torrents. Dans les Alpes orientales la plupart des vallées actuelles présentent, vers une altitude de 1700 à 2000 m, des vestiges de vallées tertiaires qui forment sur les versants des replats où les avalanches venant des grandes hauteurs peuvent s'arrêter. Si la limite supérieure des forêts descend au-dessous de cette altitude, les pentes abruptes qui suivent favorisent le déclenchement d'avalanches et l'érosion par les torrents. Ce cas intervient dans de vastes contrées de l'Autriche. On en a bien la preuve au Tirol et au Vorarlberg où plus des deux tiers des avalanches se déclenchent au-dessous d'une altitude où la forêt pourrait encore exister. Le reboisement de ces contrées réussirait à empêcher la formation d'une grande partie des avalanches.

A la suite des énormes dommages causés par les avalanches en 1951 et 1954, des études détaillées sur toutes ces questions ont été entreprises. Elles ont révélé entre autres que dans les Alpes autrichiennes 150.000 à 200.000 ha de forêts ont disparu au cours d'environ 200 ans. Afin de pouvoir exécuter les travaux de reboisement nécessaires pour bannir les dangers provoqués par les torrents et les avalanches dans la zone subalpine, un vaste programme de recherches fut mis en route. Une section spéciale de l'Institut fédéral de recherches forestières de Mariabrunn fut installée dans ce but à Innsbruck et placée sous la direction de la section des travaux de correction des torrents qui s'y trouvait déjà. Les premiers résultats de ces recherches de base et appliquées sont réunies dans le présent recueil. De nombreux détails peuvent être étudiés dans plus de 130 publications spéciales dont la liste est mentionnée à la fin du livre.

On a étudié tout d'abord la question de savoir si l'agrandissement de la surface boisée allait entraîner une diminution du rendement agricole. Des recherches de grande envergure concernant le retrait des forêts, entreprises sur une surface de 2200 km², de même que l'élaboration de projets détaillés pour le reboisement de 6 contrées différentes ont unanimement prouvé que

les rendements agricole et sylvicole peuvent être accrus considérablement par le reboisement et l'intensification de l'économie alpestre.

Une fois cette question éclaircie il restait comme tâche principale de reboiser des contrées s'étendant jusqu'à la limite naturelle des boisés. Faute d'exemples et comme des plantations expérimentales nécessitent trop de temps en face du danger imminent des avalanches, on a tenté de résoudre rapidement le problème en interprétant les résultats d'études écologiques et sociologiques sur la végétation existante. Un team de chercheurs s'est efforcé d'ériger de la sorte les bases qui devront servir à assurer le succès d'un reboisement à haute altitude (analyse causale au lieu de statistique).

Il fallait donc examiner les conditions pédologiques et microclimatiques auxquelles seraient exposés les jeunes plants sur les versants à reboiser de la zone subalpine et les mettre en relation avec la végétation existante; il fallait en outre étudier la production de matières nutritives chez les plantes et leur comportement dans le climat où elles allaient se trouver, découvrir les aides à donner au départ pour assurer la réussite, réunir tout ceci en un système permettant de déduire des conditions de vie de la végétation existante toutes les mesures capables de contribuer au succès du reboisement (écogramme).

Un premier aperçu montre déjà que la situation dans la zone subalpine est essentiellement différente de celle dans la zone montagnaise inférieure, car l'influence du climat général diminue à haute altitude. Le relief du sol, le vent et le rayonnement exercent, par contre, une très grande influence sur la formation du microclimat, ce qui peut provoquer sur un espace minime des changements soudains dont l'envergure dépasse celle rencontrée en passant d'une zone climatique à une autre. Les recherches écologiques et la technique du reboisement sont fortement influencées par de tels facteurs, de sorte qu'on peut parler d'une nouvelle sylviculture subalpine qui est en train de se créer.

Le présent rapport devrait être accompagné d'une carte sur laquelle seraient coordonnées graphiquement les données de la sociologie végétale et les mesures effectuées concernant le climat. On pourrait ainsi mieux faire ressortir les relations entre les conditions de la station et la topographie du terrain. La tâche attribuée aux recherches dans le domaine de la sociologie végétale est la connaissance des plantes qui caractérisent les critères les plus importants pour les travaux de reboisement. Dans le sens d'une simplification pour la pratique on se servira seulement des dominantes; où celles-ci ne suffisent pas, aussi des sous-dominantes.

En plus de ces données graphiques sur l'écologie des petites surfaces nous attendons des cartes de végétation, exécutées

tées pour de plus grandes régions, des indications sur le cours de la zone subalpine, sur la répartition des essences, sur la part quantitative des différentes associations végétales, comme base importante pour leur étude, pour les reboisements qui vont suivre, comme aussi pour les mesurages de l'écoulement des eaux.

Avant 1930 il n'existait pas de cartes de végétation pour le Tyrol. Celles qui ont été publiées jusqu'à présent ne concernent que de petites parties du pays. Elles ont dû, d'autre part, pour des raisons d'économie, être imprimées en noir et blanc ou à une échelle ne permettant aucune utilisation intéressante pour notre tâche.

On a donc commencé une carte de la végétation du Tyrol à l'échelle de 1 : 25.000, comprenant jusqu'à présent 83 % de la superficie totale. Environ la moitié est déjà dessinée au propre et coloriée à la main. Grâce à l'emploi de 12 couleurs avec nuances, on a pu distinguer 23 groupements différents. Parallèlement on a commencé à établir une réduction au 1 : 100.000 de cette carte, étant donné que les cartes du territoire fédéral sont à cette échelle. Pour le moment la feuille "Zillertal" est en travail, dont environ le 40 % (960 km²) est déjà dessiné au propre. C'est sur cette carte qu'on étudiera la question des possibilités d'utilisation des cartes de végétation pour d'autres fins, soit scientifiques, soit économiques.

Outre ces cartes existent également des cartes spéciales pour les régions d'expérimentation d'Obergurgl et du Zillertal à l'échelle de 1 : 500 à 1 : 5.000, dont les données de base ont été fournies par voie photogrammétrique.

Le principal secteur de travail des recherches écologiques dans le terrain qui doit caractériser les zones de reboisement subalpines de la région des Alpes centrales se trouve au fond de la vallée de l'Oetz près d'Obergurgl, sur un versant WNW qui s'étend du niveau de la vallée à environ 1800 m d'altitude à travers deux replats à 2070 m et à 2200 m jusqu'à 2900 m. La roche de base se compose de gneiss schisteux ou de micaschistes et a donné naissance dans la forêt aux sols à podsol ferrugineux et au-dessus à des terres brunes podsoliques et au "Rancker" brun. Le versant est coupé de ravins et de crêtes de sorte que toutes les expositions possibles y sont représentées, circonstance ayant d'ailleurs déterminé son choix. Le climat est continental extrême (65,5° continentalité hygrique de Gams); il possède avec 57 % d'ensoleillement local possible la plus grande durée relative d'ensoleillement de toute l'Autriche et présente une température annuelle moyenne de 1,5°C et 944 mm de précipitations annuelles. Par suite des faibles précipitations, la hauteur de la couche de neige est relativement minime (moyenne maxima en mars 110 cm) et la durée de la couverture de neige est d'un mois plus courte par rapport à d'autres altitudes égales dans les Alpes sep-

tentrionales. De ce fait la période de végétation est plus longue et la limite de la végétation plus haute en comparaison d'autres régions situées au bord des Alpes. Le vent qui apporte la neige arrive du Nord-Est, selon le cours de la vallée. Durant la période sans neige, le vent accuse essentiellement une périodicité diurne.

Grâce à ce choix du terrain d'expérimentation les résultats peuvent être considérés comme représentatifs pour les régions continentales des Alpes intérieures avec les restrictions suivantes: ils ne valent pas pour les terrains calcaires ni pour ceux où le développement de la végétation a été fortement altéré par le fauchage, le pacage ou l'incendie. D'après la situation du terrain d'expérience les résultats contiennent des données plus exactes pour le centre continental de cette contrée et pour les vallées transversales des Alpes, tandis qu'ils devraient être soumis à certaines restrictions pour la périphérie de ce terrain et pour les vallées longitudinales des Alpes. Un examen ultérieur éclaircira encore ces questions. Dans l'intérêt des problèmes touchant les reboisements à haute altitude, il est davantage fait mention dans la présente publication de l'écologie de la zone dite de combat, donc de la partie supérieure de la zone subalpine, alors que les conditions de la forêt mélangée de mélèze et d'arolle (pin cembro) de la zone subalpine ne sont traitées que pour des cas spéciaux.

On a distingué deux surfaces dans secteur Obergurgl/Poschach. L'une, constituée par une clairière d'un hectare, à 1920 m d'altitude en moyenne, au milieu d'une forêt d'arolles et de mélèzes, est destinée à l'étude des effets en bordure de forêt, l'autre surface de 12,5 ha située dans la zone de combat commence à un replat vers 2070 m à la limite de la forêt et va jusqu'au début de la zone alpine vers un nouveau replat à 2225 m.

Dans la clairière à l'intérieur de la forêt d'arolles et de mélèzes et juste au-dessus de la limite supérieure des arbres on a installé dans plusieurs baraques pourvues de courant électrique les instruments d'enregistrement et l'appareil principal pour mesurer l'assimilation, l'enregistreur d'absorption ultra-rouge (URAS).

C'est avec ces instruments que furent exécutées les mesures concernant le microclimat et le climat du sol qui ont donné les résultats suivants:

- 1) Le rayonnement est caractérisé par le fait qu'à 2000 m d'altitude le rayonnement global est nettement plus fort que dans la plaine, mais le rayonnement du ciel par temps sans nuages est plus faible, la couche d'air traversée étant plus petite. Par ciel nuageux ce rayonnement est bien plus intense à haute altitude, la couche de nuages étant plus faible. Par suite de la réflexion des versants environnants le rayonnement peut atteindre le double de celui de la plaine si le sol est recouvert de neige. En été la réflexion produite par les nuages peut momentanément atteindre des intensités de rayonnement dépassant de beaucoup le

rayonnement extraterrestre.

Ces particularités des conditions de rayonnement ont d'importants effets biologiques:

- a) L'intense rayonnement d'hiver entraîne, même chez les arolles autochtones résistants au rayonnement, des cas de destruction de la chlorophylle et des dégâts aux parties de la couronne exposées au soleil. Des jeunes plants provenant d'une altitude plus basse subirait certainement encore plus de dommages.
 - b) Le fort rayonnement provenant des nuages empêche même que durant les jours les plus pauvres en lumière de la période de végétation l'assimilation d'arolles isolés ne soit gênée. Seuls les plantes situées sur les versants exposés au nord sont à ce titre dans une position moins favorable.
 - c) Dans la forêt naturelle d'arolles le rayonnement est tellement réduit par endroits que même les jeunes plants habitués à l'ombre ne reçoivent presque jamais assez de lumière pour pouvoir assimiler suffisamment. Cependant le peu de rayonnement n'est pas l'unique cause du manque de rajeunissement parmi les vieux arbres.
- 2) Les mesures de la température et de l'humidité de l'air entreprises depuis 1953 dans les diverses stations météorologiques ont permis de constater sur les versants l'existence d'une zone chaude, résultant de la présence d'une nappe d'air froid au fond de la vallée, stationnant dans la partie boisée en été mais se déplaçant en hiver jusqu'à la limite supérieure de la forêt par suite de l'accroissement de la nappe froide.
- A l'aide d'un étroit réseau de stations météorologiques placées à 70 cm au-dessus du sol, on a déterminé les différences de température et d'humidité de l'air dans la forêt mélangée d'arolles et de mélèzes de la zone subalpine; les différences y ont été trouvées moindres que dans les forêts situées à des altitudes inférieures.
- 3) Les températures des aiguilles d'arolles oscillent dans le même sens que les températures de l'air dans les stations météorologiques, mais montrent une amplitude quotidienne environ double. En général elles sont plus froides que l'air la nuit et plus chaudes le jour. Le refroidissement est le plus grand en hiver, le réchauffement en été. Cela entraîne des extrêmes de -40° à $+40^{\circ}$. Vers la fin de l'hiver les plantes dépassant la couche de neige endurent des fluctuations de température particulièrement intenses, de sorte que la limite de congélation est dépassée plusieurs fois par jour et que les dommages causés par le dégel rapide se font remarquer chez les aiguilles exposées au soleil. Le fait qu'en hiver les aiguilles

sont presque chaque jour dégelées pour un temps très bref entraîne, par transpiration, des pertes d'eau que les jeunes plantes ne peuvent pas compenser, le sol étant gelé. Il s'en suit des dégâts causés par la sécheresse.

Sur les versants exposés au nord, les températures des aiguilles dans les parties à l'ombre sont souvent trop basses pour obtenir un optimum d'assimilation. Les versants sud et ouest sont mieux situés, mais ils ne peuvent profiter de la chaleur du printemps que si la neige y disparaît à temps.

- 4) La température du sol est d'une grande importance pour le reboisement à haute altitude, car c'est d'elle que dépendent la durée de la période de végétation (congélation du sol), le degré de la respiration des racines, la formation de mycorrhizes ainsi que d'autres phénomènes de la vie du sol.

Les conditions du relief déterminent surtout la répartition des températures du sol au-dessus de la limite boisée. En prenant en considération les facteurs du relief, du vent et du rayonnement, ainsi que de la durée de couverture de neige qui en dépend, on distingue trois types de stations quant à la température du sol:

- a) le type normal recouvert de neige, avec peu de congélation du sol en hiver et peu de réchauffement superficiel en été;
- b) le type pauvre en neige avec congélation profonde du sol;
- c) le type surchauffé des versants exposés au soleil avec court mais grand échauffement superficiel.

Les grands contrastes des températures à la surface du sol provenant du relief sont atténués par les effets secondaires provoqués par les bords et la surface de la végétation du sol et des arbres. Les températures extrêmes du sol sont fortement atténuées dans les profondeurs.

- 5) L'importance décisive du vent réside en premier lieu dans son influence sur la répartition de la neige qui prend chaque année les mêmes formes et qu'on reconnaît aux contours toujours pareils que présentent au printemps les places dégagées de neige. Ce facteur est décisif pour la durée de la période de végétation aux différentes stations et finalement pour la possibilité et la rapidité de croissance des reboisements. Les jeunes arrolles souffrent d'une part de dégâts dûs à la sécheresse hivernale sur les versants sans neige et sont d'autre part exposés à l'attaque des champignons sur les surfaces longtemps couvertes de neige. Entre ces deux extrêmes se placent les conditions les plus favorables pour le reboisement. Un peuplement clairsemé de 1 à 3 m de hauteur peut déjà suffire à modifier l'action du vent et à garantir une répartition de la neige presque uniforme, et ceci aussi bien qu'une futaie clairsemée. De ce fait le bassin d'alimentation des avalanches est diminué et

les conditions de croissance sont améliorées.

L'influence du vent et de la répartition de la neige sur la réussite d'un reboisement est si importante que l'étude de cette question a retenu la plus grande attention. Dans les contours presque chaque année identiques des surfaces dégagées de neige au printemps qui dépendent du relief du sol, de la direction dominante du vent et du rayonnement du soleil, on a découvert un système de lignes suivies par la végétation qui doit servir de base importante pour les reboisements à haute altitude. C'est dans l'ordre suivant qu'on a constaté une sensible augmentation de l'épaisseur de la neige et par la suite un retard dans la fonte de la neige: *Alectorietum ochroleucae*, 5 10 cm de neige, couvert de neige pendant quelques semaines seulement; *Loiseleurietum*, 10 30 cm de neige, couvert de neige pendant 3 mois; *Vaccinietum uliginosi*, 30 80 cm de neige, couvert de neige durant 4 1/2 mois; *Vaccinietum myrtilli*, *Rhododendretum ferruginei*, 80 200 cm de neige, couvert de neige pendant 6 1/2 à 7 1/2 mois.

- 6) L'évaporation dépend du vent et du rayonnement et augmente plus rapidement par vent faible que par vent fort. L'évaporation, le vent et les précipitations sont rigoureusement répartis selon le relief; sur les crêtes exposées au vent l'évaporation peut être deux fois plus grande que dans les couloirs; sur les versants nord exposés au vent elle est de 20 % plus forte que sur les versants exposés au soleil et protégés du vent. La répartition des précipitations étant justement inverse, les crêtes et versants exposés au vent sont le plus mal pourvus en eau. Pour les zones de végétation l'évaporation va en augmentant du *rhododendretum* par le *vaccinietum* et le *loiseleurietum* à l'*alec-torietum*. Cela indique qu'une relation régulière existe aussi entre la répartition de l'évaporation et la durée de la couverture de neige. Le vent joue un rôle décisif pour tous les deux.
- 7) Les méthodes utilisées pour mesurer l'humidité du sol ne sont pas encore assez développées pour permettre de les étendre sur une grande envergure, afin de connaître la dépendance de l'humidité des facteurs climatiques et physiques du sol et pour dresser des séries d'humidité.
Les quelques mesurages effectués ont cependant prouvé que la perte d'humidité par le vent est plus grande que par le rayonnement, que, par conséquent, le danger de dessèchement est moins grand sur les versants ensoleillés et protégés du vent que sur les pentes à l'ombre exposées à des vents extrêmes.
- 8) Les associations végétales et le sol sont en relation si étroite qu'on a pu déduire de la végétation des indications pédologiques et dresser de la sorte des séries écologiques. On peut

facilement établir une corrélation entre la série vent/neige des sols et la durée de la couverture de neige comme aussi les figures se formant à la fonte. Quant à la série humidité-chaleur et substance nutritive, elle concerne des sols qui ne se trouvent pas dans le terrain actuel d'expérimentation ou qui ne peuvent y être incorporés que partiellement.

- 9) Même l'activité des microorganismes du sol déterminée par le degré de saccharase peut correspondre aux différentes associations végétales, tandis qu'au sujet de la colonisation par les organismes du règne animal, ce n'est qu'à une altitude de 2260 m que le rhododendretum ferruginei semble être l'association présentant la colonisation la plus dense; aux altitudes inférieures c'est par contre la colonisation de forêts très à l'ombre, pauvres en végétation, qui est la plus dense.

Pour les essences se rencontrant dans la zone subalpine, on n'a jusqu'ici étudié que la répartition du pin cembro, ainsi que ses conditions d'assimilation principalement dans le secteur d'Obergurgl.

- 1) Voici les résultats fournis par les études sur la répartition et l'accroissement de cette essence:

- a) Les conditions pour obtenir un rajeunissement naturel d'arolles sont les suivantes: il faut tout d'abord de la semence dont le pouvoir de germination est faible et qui la plupart du temps est dévorée par les casse-noix; ces derniers étant les seuls agents de dispersion de la semence, leur nombre et la distance entre le peuplement d'arolles et la surface à ensemen- cer jouent un rôle; la semence doit tomber dans un milieu favorable, ce qui est le cas avant tout pour le vaccinietum uliginosi riche en mousses et le Rhododendretum ferruginei, comme aussi le vaccinietum myrtilli; enfin la hauteur et la durée de la couche de neige en fin d'hiver sont déterminantes.
- b) Les mêmes associations végétales sont favorables également au rajeunissement artificiel. Même si nous ne savons encore rien des races d'arolles et elles n'auront que peu d'importance vu le peu d'amplitude de la répartition de cette essence, les semences doivent être récoltées sur des arbres bien développés situés à des altitudes correspondantes.

Pour des raisons d'organisation il faut que les jeunes arolles soient élevés dans des pépinières à haute altitude, repiqués quatre ans de suite et plantés dans des trous. Si le sol est recouvert d'humus brut, la terre doit être bien mélangée; sur les emplacements ensoleillés il est nécessaire de procéder à un écroûtage de la couche superficielle. Les trous de plantation doivent être préparés l'année précédente afin d'améliorer le sol. Actuellement le reboisement s'effectue avec

5.000 plants par ha en ayant soin de procéder au regarnissage des pertes pendant les premières années. Le complément de pertes ultérieures ne sera peut-être plus nécessaire, car, d'après la littérature, les effectifs définitifs à l'âge de 60 ans s'élèveront à environ 3000 tiges/ha. Cependant on ignore encore aujourd'hui si ce nombre suffit à la protection contre les avalanches.

Les aides au départ qui seules permettent la croissance à des altitudes extrêmes consistent dans l'édification de parois contre le vent pour obtenir une couverture de neige uniforme ou dans l'implantation de piquets s'il y a trop de neige; on aura surtout recours aux mycorrhizes, le cas échéant aussi à l'engrais vert, tel que le trifolium hybridum, qui s'est révélé le plus favorable.

2) On a mesuré avec l'URAS pendant un an à 2070 m d'altitude le cours annuel de l'assimilation et de la respiration de jeunes ardoles poussant spontanément. On a découvert que les phénomènes d'hibernation commençaient déjà en septembre, qu'à fin octobre l'assimilation ne comportait plus que la moitié de celle de mai avec la même intensité de lumière, qu'elle se réduisait à 1/10 en novembre et cessait pratiquement avec la congélation du sol. Pendant l'hiver il ne se produit qu'une respiration de sorte que le bilan de CO₂ est toujours négatif. L'assimilation ne recommence qu'après le dégel. Ce changement commence déjà sous la neige, mais l'absorption de CO₂ reste encore modeste. Ce n'est que lorsque les aiguilles se réchauffent à une moyenne de plus de 10°C (fin mai) qu'elles assimilent très vivement s'il n'y a pas de gels tardifs, de chutes de neige ou si l'optimum de température n'est pas dépassé. Cette période de grande activité dure jusqu'à ce que les plantes fassent leurs premières pousses (fin juillet), après quoi elles endurent un contre-coup dont l'origine n'a pas encore été découverte. La période d'activité maximum avec la plus grande assimilation se situant au printemps, les jeunes arbres dégagés tard de la neige perdent probablement la période la plus productive de l'année.

3) Le bilan du dioxyde de carbone pendant un an offre le tableau suivant: Les parties de la plante au-dessus du sol perdent par respiration le jour 20 %, la nuit 7 % du CO₂ assimilé pendant l'année. Sous la neige qui couvre les plantes près de la moitié de l'année elles perdent encore 6 %, de sorte que la perte totale annuelle par la respiration comporte au moins 38 % de l'assimilation brute.

Avec la quantité de CO₂ restant à la plante au cours de l'année elle pourrait produire par gramme d'aiguilles environ 2,2 g de substance sèche. En réalité ces mêmes plantes produisent durant le même espace de temps 0,65 g d'accroissement. Cette

grande différence est surprenante et jusqu'à présent inexplicable. Elle pourrait éventuellement être due à la cession de quantités considérables de substances assimilées aux mycorrhizes.

- 4) Il résulte des études sur les températures des aiguilles que les minima hivernaux atteignent parfois des valeurs qui menacent leur existence. Les examens sur la résistance au gel des aiguilles d'arolles ont conduit au résultat suivant: La résistance au gel présente dans la plante, indépendamment de la température extérieure, un certain rythme avec un minimum en été et un maximum en hiver. Ce rythme est encore influencé par les températures, de sorte que p. ex. les plantes sortant de la couche de neige sont, en hiver, bien plus résistantes au gel que celles couvertes de neige. Les différences de sensibilité au froid entre jeunes et vieux arolles d'une part et entre arolles autochtones et ceux élevés dans la pépinière d'autre part, subsistent tout l'hiver. Des examens de la résistance au gel effectués sur place ont confirmé ce résultat: les vieux arolles se montrèrent absolument résistants au gel, de même les jeunes arolles autochtones sortant de la couche de neige. Les jeunes arolles, par contre, prématurément dégagés de la neige s'avèrent moins résistants. De même, si la neige ne tombe pas à temps sur des arbres plantés en automne, il peut en résulter des dommages chez les jeunes plants délicats provenant de pépinière.
- 5) Des examens sur l'envergure de la congélation des aiguilles de l'arolle ont dû être effectués, parce que le gel interrompt l'absorption d'eau du sol et le transport dans les vaisseaux. Si, en même temps, l'eau dans les vaisseaux n'est que temporairement dégelée, des pertes d'eau en résultent par transpiration, ce qui peut entraîner des dessèchements mortels. Les observations faites démontrent que les aiguilles commencent à geler en mars à -5° , en avril à -4° et en mai à -2° . Environ 50 % de l'eau gèle à -8° en mars, à -6° en mai. De plus grandes baisses de température (jusqu'à -45°) n'augmentent plus la teneur en glace. Le dégel s'effectue lentement et se déroule dans les mêmes limites de température que le gel. Sur les stations naturelles la formation de la glace est par conséquent retardée par un abaissement du degré de congélation; l'époque durant laquelle une assimilation de CO_2 est possible, est prolongée et le retour du gel probablement nuisible est plus rare. Durant des jours froids, avec fort rayonnement, les aiguilles peuvent traverser plusieurs fois la limite de congélation. De sorte que des "dommages de rayonnement" pourraient être dûs à cette circonstance.
- 6) Les plus grands dommages sur les jeunes arolles sont causés par des champignons, surtout par le phacidium infestans Karst., qui est un danger mortel sur les emplacements long-

temps couverts de neige (régions de corniches, combes, bordures ombragées de peuplement). Les plus grands dommages causés aux arolles apparaissent là où le sol est recouvert de rhododendrons et d'airelles et diminuent d'autant plus que la station est exposée au vent. Le tapis de rhododendrons et d'airelles présente un milieu favorable à la germination, mais peu de plantes survivent à cause du danger causé par le champignon-parasite. Dans la zone de combat les dommages ainsi causés se bornent à des secteurs protégés du vent et à des combes, tandis que les dommages de congélation et de sécheresse prédominent sur les côtes exposées au vent. Entre ces deux extrêmes les rajeunissements d'arolles atteignent leur plus grande densité dans le *vaccinium uliginosum* (hauteur de la neige environ 50 - 80 cm).

Il sera donc souvent nécessaire de protéger les plantations dans les stations fortement exposées au vent (bruyères et lichen) par des parois, afin d'obtenir ainsi une répartition égale de la neige entre crêtes et combes. Dans les endroits où la couche de neige reste haute et ne peut être influencée, il est exclu de planter des arolles.

A côté des recherches systématiques décrites ci-haut sur les relations entre le climat, le sol et la végétation se trouvant sur les zones de reboisement, ainsi que sur les exigences à la station des arolles, on a entrepris sous le nom général: aides de départ, l'étude de tous les moyens facilitant la croissance des jeunes plantes sur les terrains dénudés et peu favorables de la zone subalpine.

- 1) Etudes sur les travaux de défense contre les avalanches, avec effet contre le vent:

Comme tels nous avons: des déflécteurs à neige avec un degré de comblement d'environ 0,65 qui font se déposer la neige sur des endroits d'ordinaire déblayés par le vent (pouvant plus facilement être reboisés par la suite) et déchargent de la sorte les pentes d'avalanches se trouvant à l'arrière: des panneaux massifs ("paravents"), dépassant la couche de neige et provoquant dans un rayon de 6 - 10 m une consolidation entre l'adret et l'ubac; enfin des "pupitres", panneaux installés en forme de toit qui, sur les arêtes, dirigent la neige et empêchent la formation de corniches. Par l'application combinée de telles constructions on peut obtenir une répartition bien plus égale de la neige dans les secteurs déboisés. Après des années d'études effectuées sur le terrain et en laboratoire (canal d'air) on peut augmenter aujourd'hui l'aire des reboisements en établissant de tels ouvrages de protection et gagner du temps.
- 2) En appliquant les connaissances microbiologiques ac-

quises on a mis au point des moyens permettant de favoriser la croissance des essences forestières sur des sols pauvres et déboisés depuis longtemps. De plus, le reboisement de certains sols dénudés, où la forêt a disparu, ne peut être effectué avec un résultat satisfaisant que si la formation de mycorrhizes est provoquée artificiellement.

- 3) Pour augmenter la formation de mycorrhizes on procède pratiquement par vaccination du sol dans les pépinières forestières au moment de l'ensemencement ou lors de la transplantation. On a décrit dans le présent ouvrage les méthodes exactes de travail et les variétés employées.
- 4) Pour fournir des données faciles à appliquer dans la pratique lors de reboisements à haute altitude on a essayé de dresser sous le nom d'écogramme un tableau exploitant tous les résultats obtenus jusqu'à présent et toutes les connaissances de la situation dans la zone subalpine. Environ 4 écogrammes seront nécessaires pour fixer les mesures à prendre dans la zone subalpine des Alpes Centrales; un écogramme d'essai a été élaboré pour le plus grand secteur, où le vent et la neige sont les facteurs limitant la croissance, et on y a ajouté une instruction ainsi qu'un résumé des principes généraux d'utilisation des écogrammes.

Ces principes généraux contiennent des instructions détaillées pour juger de l'influence du climat, du relief et du sol. On y trouve en outre un résumé des exigences des essences principales et secondaires quant à la station, ainsi que des données sur l'estimation et la fixation de la limite supérieure de reboisement, enfin un calendrier de travail pour les reboisements à haute altitude.

Ces instructions doivent servir à améliorer l'interprétation de l'écogramme, qui se présente sous une forme concentrée et qui met en parallèle en 5 diagrammes placés les uns sous les autres la situation et les mesures propres aux différents secteurs, dans un profil divisé en onze zones à travers un versant ayant un côté exposé au vent et ensoleillé et un côté exposé au vent et à l'ombre.

On y trouve:

1. La structure de la végétation et du sol comme test pour déterminer la station.
2. La répartition de la force du vent, de la hauteur maximum et minimum de la neige et des températures de la surface du sol comme facteurs les plus importants.
3. L'aire naturelle de dispersion de l'arolle et du mélèze, ainsi que les dommages intervenant comme suite du chiffre 2).
- 4a. Les méthodes de reboisement (choix des plantes, possibilités d'ensemencement ainsi qu'époque de plantation).
- 4b. Les mesures techniques pour influencer le vent et la neige

(ouvrages de stabilisation, déflécteurs à neige, "paravents" et "pupitres").

- 5) Sous l'impression laissée par les avalanches catastrophiques de 1951 et 1954 les reboisements à haute altitude on dû être commencés très rapidement. On a exploité les résultats des études existantes et remplacé souvent par des hypothèses les connaissances qui manquaient.

L'envergure, l'importance économique et les expériences pratiques peuvent être jugées sur la base des travaux actuellement les plus avancés, à savoir ceux du "projet de défense contre les avalanches du Zillertal inférieur". Ce projet comprend une étendue d'environ 100 km² et a pour but de lutter contre les dégâts causés par 16 torrents et 9 avalanches en utilisant des méthodes forestières, pour autant que des constructions techniques ne sont pas indispensables.

En détail on prévoit ce qui suit: L'amélioration de 463 ha d'alpage par la construction de chemins, d'installations de fumure et l'introduction du pacage par rotation, afin de compenser de la sorte l'abandon du pâturage en forêt et de pâturages éloignés, envahis de mauvaises herbes qui seront reboisés; l'engagement d'un gérant breveté pour la forêt existante, la construction de 70 km de routes praticables aux camions, la transformation en forêts productives de forêts très endommagées par le pacage et l'émondage, l'interdiction de pâturer en forêt pour 985 vaches et 340 génisses, la défense d'émondage et de ramassage de litière pour 9223 m² par an, le report de la limite forestière de 1600 m à 2000 m en reboisant 611 ha de clairières, couloirs d'avalanches et surfaces dégarnies dans le secteur des forêts productives, enfin l'introduction de l'abatage en régie. Les frais de ces travaux ont été évalués à 36,4 millions de schillings. Au cours des travaux on a constaté qu'il suffira d'exécuter des travaux pour 21,3 millions de schillings, la construction de beaucoup de chemins pouvant être exécutée aux frais des propriétaires de forêts et d'alpages.

16,8 millions de schillings, donc presque 80 % des sommes évaluées, ont été dépensés jusqu'à la fin de 1960. L'exécution du projet a donc atteint un point tel qu'on peut juger en partie de son succès.

1. Un rendement supérieur de l'alpage résultant de l'intensification de l'exploitation peut être constaté malgré les restrictions de la surface; les chiffres à l'appui manquent cependant pour le moment. Les résultats suivants, représentant une économie annuelle de 151.000 S, sont confirmés par des chiffres:

- a) économie de personnel d'alpage, dont 8 fromagers, par suite du transport quotidien du lait dans les fromageries de la vallée.

- b) Economie de 200 m³ de bois par an pour la fabrication du fromage et la réparation des clôtures.
 - c) Profit de 21,3 g/l par suite du transport du lait dans la vallée.
 - d) Amélioration de la qualité et par conséquent prix plus élevé pour le fromage fabriqué dans les fromageries de la vallée.
 - e) Augmentation du rendement des fromageries de la vallée par suite d'une répartition égale pendant toute l'année du lait travaillé.
2. L'existence d'un réseau de chemins entraîne un grand nombre d'avantages pour la sylviculture. L'augmentation immédiate de rendement s'élève à S 247.000 par an. On peut compter avec une augmentation annuelle de S 784.000.- dans 25 ans environ. Cette augmentation du revenu forestier comporte les facteurs suivants:
- a) Prix du bois plus élevé S 160.-/m³ par suite de la diminution des frais d'exploitation.
 - b) Meilleure adaptation à la situation momentanée du marché par suite des livraisons en été.
 - c) Augmentation successive de l'accroissement de 1,7 m³/ha et par an à 3,0 m³ par suite de l'amélioration de la dévestiture.
 - d) Diminution des effets de catastrophes (neige, vent, insectes). Seulement pour l'année 1958 2,2 millions de schillings de recettes supplémentaires ont été obtenues par suite de l'amélioration du réseau routier.
 - e) Augmentation du tourisme par suite de l'amélioration des possibilités d'excursion.
- 6) Les expériences acquises au cours de l'exécution des travaux de reboisement à haute altitude peuvent être résumées comme suit:
- a) On a constaté que l'emploi projeté du sorbier des oiseleurs (*sorbus aucuparia*) n'était pas favorable, car les dommages provoqués par les neiges tombant jusqu'en juillet à ces altitudes le font mourir au cours de l'année malgré sa grande capacité de régénération; ou le condamnent à végéter comme arbuste.
 - b) La question de savoir si on doit planter ou semer n'a été résolue qu'en partie. Il semble cependant prouvé que le semis en place d'arolles n'a pas de succès sur de grandes surfaces pour des raisons d'organisation et à cause des oiseaux qui se nourrissent des semences. Les semis en place de mélèzes ont de bonnes chances de réussite et réduiraient les frais de plantation à un cinquième, mais les expériences ne sont pas encore terminées.
 - c) On a étudié soigneusement les dimensions les plus favorables et l'exécution des trous de plantation qui ont finalement été fi-

xés à 0,3 x 0,4 m. En moyenne 14 trous sont creusés par heure et il y a lieu d'observer qu'ils soient inclinés en direction de la pente et que les horizons A et B soient bien mélangés pour économiser l'engrais.

- d) Les recherches concernant la question de la plantation en trous ou en fente tendent plutôt en faveur de la plantation en trous dans le rhodoretum et le vaccinietum, à cause de la hauteur des plantes, et de la plantation en fente dans les sols herbeux ou couverts d'arbustes très bas.

Le temps employé pour la plantation dans des trous préparés a été étudié en tenant compte des intempéries, de la pente du terrain, de la végétation du sol et de l'utilisation de main d'oeuvre masculine et féminine. Il comporte en moyenne 60 70 arolles de 5 ans par heure.

Pour les plantations en fente, les frais se réduiront probablement pour le mélèze - en tenant compte d'une certaine perte - au 3/4, tandis que chez l'arolle il ne s'agit probablement que d'une réduction du travail, les frais totaux restant les mêmes.

- e) La réussite du reboisement fera l'objet d'une statistique. On a installé 102 placettes d'essai d'un rayon de 3,5 m et éloignées de 100 m de distance dans chaque direction et entrepris 7500 mesurages sur 3225 plantes. L'exploitation des mesurages faits en 1962 sera effectuée par le procédé "Hollerith". La méthode d'enregistrement a été décrite en détail. Pour autant que les enregistrements actuels le permettent, on peut constater les faits suivants:

La moitié des arolles de moins de 5 ans meurt; par contre, 1 à 5 % seulement des arolles de 5 à 8 ans sont perdus. Le mélèze est l'essence la plus facile, un tiers des plants de moins de 8 cm est perdu; la croissance annuelle avec 10 à 15 cm peut être taxée de relativement forte.

On n'a planté que de petites quantités d'épicéas pour compléter des forêts déjà existantes; les pertes y sont d'un cinquième, l'accroissement de 3 5 cm.

Après tout ce qui vient d'être fait les méthodes de reboisement à haute altitude ont acquis aujourd'hui dans les Alpes intérieures une base qui peut certainement suffire dans plus de la moitié des cas. Les questions non encore résolues concernent surtout l'influence de l'équilibre hydraulique, la nourriture et les méthodes de plantation adaptées à la station, les semis en place etc. Ces questions ne pourront être résolues avec succès que lorsque les méthodes appropriées auront été mises au point (laboratoire climatique, mesurage du bilan hydraulique).

Le succès actuel des travaux de reboisement à haute altitude ne saurait se concevoir sans les études faites au préalable par un team de chercheurs bien versé dans les questions de sylviculture.

Traduction: Forsting, F. Roten

Ecological Investigations in the Sub-Alpine Zone for the Purpose of Reforestation at Regions of High Elevation (Part I and II)

The dense population of the Alpine countries has only been possible by turning the forests into arable land. This activity, which was practised for many centuries, has resulted in a lowering of the upper forest region to areas that favour the development of avalanches and very erosive torrents. Most of the valleys in the Eastern Alps have remnants of tertiary valleys at an altitude of 1,700 to 2,000 metres above sea-level. These remnants form bed-rock terraces across the slopes and avalanches coming from upper regions deposit their masses of snow etc. on these terraces. If the upper forest region ends below such a terrace, the steeper slope, starting from there, is prone to avalanches and erosion caused by torrents. This is true of many areas in Austria and accounts for the fact that two-thirds of all avalanches in Tyrol and Vorarlberg break off in areas where the upper forest region is missing. Therefore reforestation of these areas could prevent the majority of the avalanches.

The severe avalanche damage in 1951 and 1954 gave rise to careful studies of the complicated problems involved and it was found that 150,000 to 200,000 hectares of forest have been lost in the upper forest region of the Austrian Alps in the course of about two hundred years. A special department of the Federal Institute for Forest Research Mariabrunn was established at Innsbruck and in co-operation with the Division of Torrent and Avalanche Control at Innsbruck assigned to make investigations into the possibilities of reforestation in the Sub-Alpine zone. The first comprehensive results of this practical and basic research are published. Numerous details can be gathered from 130 special publications (cp. bibliography at the end of the book).

To begin with, the problem was carefully studied to see if the increase of the forest area would bring about a decrease in agricultural produce. Investigations into the loss of woodland were carried out in an area of 2,200 square kilometres and detailed projects were worked out for the reforestation of six areas. It was shown that the produce of agriculture and the revenue from forestry can be considerably increased by reforestation and improvement of alpine farming.

After settling this preliminary question, the main task consist-

ed in the reforestation of areas which reach to the natural upper forest limit. As there was neither a model for this type of work nor time enough for test plantations because of the imminent avalanche danger which had to be averted as quickly as possible, a solution was sought which might bring a more rapid success. A team of research workers expanded the insight into plant sociology and ecology to such an extent that a firm basis was provided for a successful afforestation at high elevated regions (causative analysis instead of statistics).

The soil conditions and the microclimate to which young plants were to be exposed had to be investigated on the slopes intended for reforestation in the Sub-Alpine zone and the relations to the existing growth had to be found. The dry matter production of the plants and their reaction to the climate of the Sub-Alpine zone had to be examined; initial help had to be found which facilitates growth. All findings had to be brought into a system (ecogram) which made it possible to deduce methods from the vegetation in the future habitat of the trees and thus contribute to the success of reforestation.

A first survey already shows that the conditions in the Sub-Alpine area under investigation are entirely different from the lower montane forest regions because the influence of the macroclimate decreases in upper regions while the ground relief and the directed determinants like wind and solar radiation have such a great influence on the microclimate that it is subject to sudden changes in very small areas and to an extent of complete climatic zones. Ecological research and the methods of afforestation have been so strongly influenced by this knowledge that one may talk of a newly developing science of Sub-Alpine forestry.

An ecographic approach is useful for this purpose. Investigations into plant sociology and climatic measurements have to be co-ordinated in such a way that fundamental relations between habitat and ground relief are shown on maps. In this case it is the purpose of plant sociology to impart the knowledge of suitable indicator plants which are a characteristic feature for afforestation of the habitat. To simplify matters for practical purposes, use is made of the dominants and, if necessary, of the subdominants.

It is expected that the vegetation maps of large areas and the ecogeography of small areas will also permit an insight into the extension of the Sub-Alpine zone, into the distribution of woody plants and the frequency of occurrence of various plant communities in this zone. This knowledge will form a basis for the importance of their investigation and the afforestation based on them, for the measurements of water drainage etc.

No vegetation maps of Tyrol existed before 1930. Even those maps published up to now are only concerned with small areas of

the country. For financial reasons they were printed either in black and white or on scales which do not permit a useful interpretation for the present purpose.

Mapping of the vegetation in Tyrol has been started on a scale 1 : 25,000 and comprises 83 % of the total area. Copies of about half of these maps have been drawn and hand coloured. Twelve colours were used and with shading and imprints twenty-three distinctive features could be marked.

Generalizing to a scale 1 : 100,000 has been started because uniform maps of Austria are only available on this scale. The first completed sheet will be that of the Ziller Valley of which a copy of 40 % (960 square kilometres) of the total area is being made. This map will also be used for studies into the problem of the usefulness of vegetation maps for other purposes of science and economics.

Beside these maps other more detailed maps of the test area at Obergurgl and of the Ziller Valley from a scale 1 : 500 to 1 : 5,000 are available. The data for these maps were provided by methods of terrestrial and aerial stereophotogrammetry.

The main research area for ecological field investigations is situated on a north-western slope in the uppermost region of the Ötz Valley near Obergurgl rising from the floor of the valley in about 1,800 m above sea-level to 2,900 m with two bedrock terraces at 2,070 m and 2,200 m. It is assumed that the research area has the characteristic features of the Central Alpine region intended for reforestation. The bedrock consists of schistous gneiss or gneiss-mica-schist. The soil of the forests consists of iron-podzols and at areas above the forest region the soil is made up of brown podzols and brown "ranker". The slope has hollows and rims of various shape so that all types of exposure occur, a fact which was decisive in its choice. The climate is strictly continental (65,5 hygic continentality after Gams) and has with 57 % the relatively longest sunshine duration possible in Austria. The annual mean temperature is 1.5°C and the annual mean precipitation is 944 mm.

Because of little precipitation the height of snow cover (mean maximum in March 110 cm) is not extensive and the duration of snow cover is one month shorter than at the same altitude of the Northern Alps; therefore the growing season is extended and the line of vegetation elevated when compared with the northern edge of the Alps. The wind, to which snow drifting is due, comes from the north-east according to the course of the valley. The wind blowing during the period with no snow cover has pronounced diurnal variations.

The choice of the research area permits the assumption that the results are representative for the continental area of the inner Alps with the following restrictions: they do not apply in the

limestone zone or at such locations where the growth of vegetation has been greatly impeded by mowing, grazing or fire. According to the situation of the research area the results provide detailed data for the continental centre of this area as well as the transversal Alpine valleys while the results may be subject to certain restrictions as far as the border of this area or longitudinal valleys are concerned. Further investigations have to deal with this problem. As this book is mainly concerned with the forestation at highly elevated regions, the ecology of the transition region, that is the upper part of the Sub-Alpine zone (Ericoid dwarf shrubs), is dealt with in greater detail and only occasionally reference is made to the conditions in the forests of Siberian pine (*Pinus cembra*) and larch (*Larix decidua*).

Two research areas have been selected and dealt with in detail from the area at Obergurgl/Poschach. One area is at an average altitude of 1,920 m in a clearing, one hectare large, of the Siberian pine/larch forest in order to study the effects of the edge of a forest and an area of 12.5 hectares in the transition zone. This area starts from a bedrock terrace at 2,070 m at the upper forest limit and reaches to the beginning of the Alpine zone at another terrace at 2,225 m.

On the clearing in the Siberian pine/larch forest and just above the upper forest limit several wooden huts were built, supplied with electricity for the recording instruments and the infra-red gas analyzer (URAS), the main instrument for automatic measurements of assimilation.

The microclimate was measured with these instruments and the following results were obtained:

- 1) Radiation is characterised by a global radiation which is much stronger at 2,000 m than in lower regions, but sky radiation of a cloudless sky is much weaker because of the smaller extent of the air layer. With overcast sky, radiation is much more intensive at this elevation than on the valley floor because the layer of clouds is not so thick. If there is a snow cover, radiation may become twice as intensive as in the lowland by reflection from the surrounding slopes. In summer intensities of radiation may occur by reflection from the clouds for short moments during which the intensity is much higher than that of extra-terrestrial radiation.
 - a) This intensive radiation in winter causes the destruction of chlorophyll and damage of sun-exposed parts of the tree crown even with Siberian pines grown from seed at a particular habitat. (Such trees commonly have a great resistance to radiation.) Seedlings from lower regions will probably be more affected.
 - b) Intensive reflection from the clouds provides light for sufficient dry matter production in trees of open stands during

the growing season, even on days with lowest light intensities. Plants on northern slopes are in a less favourable position.

- c) Within natural Siberian pine forests radiation is so much reduced by overstorey shade in some places that even young Siberian pines, adapted to shadow, are hardly ever exposed to enough light for growth. Insufficient radiation, however, is not the only reason for the missing regeneration under old trees.
- 2) The measurements of air temperature and air humidity, which have been taken with weather shelters since 1953, helped to detect warm zones on the slopes. They develop as a result of a pool of cold air on the floor of the valley. In summer the warm zones are in the wooded parts of the slopes, while in winter they are higher up because of the greater thickness of the layer of cold air. With the aid of a dense network of weather shelters (70 centimetre above ground) the difference in air temperature and in air humidity in Sub-Alpine Siberian pine/larch forests were determined. It was shown that the differences were smaller than in the stands in lower regions.
- 3) The temperature of the needles of Siberian pine oscillates similarly to the air temperature in the weather shelters, their diurnal variations, however, were about twice as large. As a rule they are colder at night and warmer than the air at daytime. Subcooling is severest in winter, heating in summer. This results in extremes from -40° to $+40^{\circ}\text{C}$. At the end of the winter plants which project above the snow cover undergo oscillations between extreme temperatures whereby changes between temperatures above and below freezing point occur several times a day and sun-exposed needles are damaged by quick thawing and freezing. The fact that the needles are free from ice for a short time nearly every day in winter causes a loss of water through transpiration which young plants cannot replace because of the frozen soil and therefore suffer dehydration damage.
On northern slopes the temperature of needles is frequently so low that optimum gain in dry matter cannot be achieved. Western and southern slopes are more favourable positions than northern slopes, but the plants can make use of spring heat only when they become free of snow early enough.
- 4) Soil temperature is of great importance for afforestation at high elevated regions because the duration of the vegetation period (ground frost), the extent of root respiration, the development of mycorrhizal mycelium and other processes in soil life depend on soil temperature.
Above the upper forest limit influences of the ground relief main-

ly determine the distribution of soil temperature. If the influence of wind and radiation is taken into account and the duration of snow cover depending on wind and radiation is considered, three types of location with regard to soil temperature can be distinguished:

- a) the standard type: snow-covered, little groundfrost in winter and little surface heating in summer,
- b) the type with little snow cover but deep reaching groundfrost,
- c) the type with excessive heating at sun-exposed habitats. The temperature may become extremely high, but for short times only.

The great contrast of the surface temperature of the soil caused by the ground relief are mitigated by secondary effects, as canopy of trees, vegetation covering the soil etc. A sharp decrease of the extremes of soil temperature can be observed at greater depth.

- 5) The relevant importance of the wind mainly rests with its influence on snow distribution. When thaw occurs in spring, a definite pattern of snow-free and snow-covered patches can be observed. Snow distribution decides the length of the growing season at the habitat and therefore also the chances and rate of growth of afforestation. On snow-free ridges young Siberian pines suffer from drought damage in winter while parasitic fungi damage them in areas with a long snow cover. The range between these two unfavourable extremes are best suited for afforestation. A sparse stand of trees of 1-3 metres tall is enough to reduce the influence of wind considerably and guarantee an approximately even snow distribution like a sparse high forest. Thus the area from which avalanches can break off becomes smaller and the chances of growth are improved. Influence of wind and snow distribution are of such great importance that much care was devoted to these investigations. Every year during thaw some parts of ground become free from snow earlier than others. It was observed that in a given location a definite pattern of snow-covered and snow-free ground develops during thaw. This pattern remains unchanged year after year and might be termed thaw pattern. It is the result of the ground relief, the prevailing wind and solar radiation. With the help of the thaw pattern a system of isolines of the duration of snow cover was found which indicates plant distribution and is the most important basis of afforestation. The following increase of duration of snow cover was found: wind-exposed lichen heath (*Alectorietum ochroleucae*), snow cover 5-10 cm, for a few weeks only; *Loiseleuria* heath, snow cover 10-30 cm for three months; *Vaccinium uliginosum* heath, snow cover of 30-80 cm for four and a half months; *Vaccinium myrtillus* heath to *Rhododendron* heath, snow cover from 80-200 cm for six and a half to seven and a half months.

- 6) Evaporation depends on wind and solar radiation. It increases more rapidly with a gentler breeze than with stronger winds. Evaporation, wind and precipitation are strictly distributed according to the ground relief. Evaporation is twice as great at wind-exposed ridges as in hollows, 20 % greater on shadowy windward slopes than on sunny lee slopes. As the distribution of precipitation shows a reciprocal relation, ridges and windward slopes are very poorly provided with water. Within the ecological zone of vegetation evaporation increases from *Rhododendretum* over *Vaccinietum* and *Loiseleurietum* to *Alectorietum*. This indicates that there is some definite relation between evaporation and duration of snow cover. Wind is a decisive factor for both.
- 7) Methods of measuring soil moisture are not yet so highly developed that more extensive moisture measurements have been possible in order to solve the problem of its dependence on climate and soil physics. Therefore no ecological series of moisture could be obtained. The few measurements, however, showed that the loss of soil moisture due to wind is greater than the loss due to the influence of solar radiation. Drought damages for young plants are less likely on sunny places in the lee than on shadowy slopes with extreme wind exposure.
- 8) Plant communities and soil are also in such a definite relation that soil conditions can be deduced from the vegetation, and ecological series can be established. It is not difficult to coordinate the ecological wind and snow-series of soils with the duration of snow cover and therefore with the thaw patterns, while the ecological series of heat, humidity and nutrients are concerned with soils which either do not occur in the areas under investigation or can only be partly included.
- 9) Even the activity of the micro-organisms in the soil determined by its saccharase activity can be well co-ordinated with the various plant communities. As far as animal life in the soil is concerned, *Rhododendretum ferruginei* seems to be the community with most animal life at high elevated regions at 2,260 m, in lower regions, however, animal life is more vigorous in very shadowy forests with little undergrowth.

From all types of trees occurring in the Sub-Alpine zone only the growth and dry-matter production of the Siberian pine (*Pinus cembra*) have been investigated. This type of tree is most common in the area near Obergurgl.

- 1) Studies of the distribution and increment had the following results:
 - a) The determining factors for the natural reproduction of the Siberian pine are: the quantity of seeds available if fructi-

fication is poor, all the seeds will be eaten by the thick-billed nutcracker (*Nucifraga caryocatactes*); the stock of *Nucifraga* and the distance of the seeding area from the habitat of the stock, because the thick-billed nutcracker is the only natural disseminator of the Siberian pine; the suitable seedbed for which *Vaccinietum uliginosi* rich in moss and the *Rhododendretum ferruginei* in shadowy location as well as the *Vaccinietum myrtilli* are best suited; the depth and duration of snow cover.

- b) The same plant communities are favourable for artificial regeneration. Although we have not any knowledge about the races of Siberian pine yet, such knowledge is probably not very important as the Siberian pine is spread over a narrow zone only. Whenever possible, the seeds should be collected from well developed trees in habitats similar to the future habitats of the seeds.

Siberian pine trees should be grown in nurseries at high elevation and transplanted when at least four years old. Planting has to be done in holes or mounds. If raw humus occurs, the soil has to be mixed well and mulching may be advantageous. It is advisable to make the planting holes in the previous year because this improves the soil. At present 5,000 plants per hectare are used for afforestation. Losses during the first years are to be replaced. Later on losses will not be made up for because expert opinion assumes that the final stand should have about 3,000 trees per hectare. Today it is, however, not yet known if and where this number of trees will be sufficient for avalanche control.

Initial help, which is necessary for the growth in habitats with extreme conditions, can be supplied by wind baffles which protect the plants from wind and provide an even distribution of snow cover. A system of arrays of piles is very helpful when snow cover is very deep. Most advantageous is inoculation with mycorrhizal fungi or, if possible, green manuring for which purpose alsike clover (*Trifolium hybridum*) has given best results.

- 2) The annual variations of assimilation and respiration of young Siberian pines, which have grown spontaneously at 2,070 m above sea-level, were measured with the URAS for one year. It was shown that the adaptation to conditions in winter is already started in September and that assimilation at the end of October is only half the amount as in May although solar radiation is the same. In November assimilation is only a tenth of the original amount and is nearly completely stopped when ground frost occurs. During winter dry matter is only used up and the carbon dioxide balance is, therefore, always negative. When thaw occurs, assimilation is started again. The adaptation starts when the plant is still covered with snow, the gain in CO₂ is still very modest, at first. Only when the tem-

perature of the needles reaches a daily average temperature above 10 °C (end of May) they start assimilation unexpectedly vigorously, unless late frost occurs, snow falls or the optimum temperature is exceeded.

This period of optimum production lasts until the plant starts sprouting (end of July) when growth suffers a setback not fully explained yet. As the period of optimum gain in dry matter is in spring, trees which become free of snow late in spring, cannot probably make use of the most favourable period of growth.

- 3) In the course of a year we get the following picture of the carbon dioxide relations: from the annual gross assimilation the parts of the plant above ground respire 20 % during daytime, 7 % at night. Under snow, which covers the plants for half a year, they lose another 6 % so that the total loss through respiration is at least 38 % of the annual gross assimilation. With the remaining amount of carbon dioxide the plant could produce about 2.2 grammes of dry matter per gramme of needles in the course of a year. In fact the plants have only shown a rate of mass increment of 0.65 grammes in the same period. The great difference is surprising and has not been explained yet. It may be that the loss of considerable quantities of assimilate can be attributed to mycorrhizal fungi.
- 4) From investigations into the temperature of needles it has been deduced that the minimum temperature in winter may reach values which are dangerous to plant life. Investigations into frost resistance of Siberian pine needles had the following results: Frost hardiness follows a rhythm in the plant with a minimum in summer and a maximum in winter and is independent of environmental temperature. In winter, however, environmental temperature may have some influence. Plants projecting from snow cover show greater frost hardiness than those covered with snow. The difference in sensitivity to cold between old and young Siberian pines on the one hand and between Siberian pines grown in nurseries and those grown spontaneously on the other hand remained unchanged during the whole winter. Tests in frost resistance at the habitat confirmed these findings old Siberian pines proved to be completely frost resistant as well as single individual young pine trees above snow cover. Young Siberian pines which become free from snow rather early are less resistant. Siberian pine trees coming from nurseries and planted in autumn are also easily damaged if snow fall does not occur in time.
- 5) Investigations had to be made into the range of temperature where water in pine needles may freeze because freezing stops the absorption of water from the soil and its conduction in the cells. If the water in the needles is not frozen at the same time when absorption from the soil stops,

even temporary transpiration may cause loss of water which may result in lethal dehydration. The result shows that the needles start freezing at -5° in March, at -4° in April and at -2° in May. About 50 % of the water is frozen at -8° in March and -6° in May. A further lowering of the temperature (tested to as low as -45°) does not increase the percentage of ice. Thawing takes place slowly and in the same ranges of temperature as freezing.

At the natural habitat the formation of ice is, therefore, postponed by a lowering of the freezing point in winter; the period during which photosynthesis is possible is extended and destructive thawing and freezing occurs less often. During cold days with much solar radiation the temperature of the needles may oscillate above and below the freezing point several times and radiation damage may occur.

- 6) Greatest damage to young Siberian pines is caused by low-temperature parasitic fungi, mainly the snow-blight (*Phacidium infestans* Karst.) which is a lethal danger at habitats with a long duration of snow cover (snow drifts, hollows, shadowy slopes and forest edges). The maximum damage in Siberian pines occurs in the mature *Rhododendron* and *Vaccinium myrtillus* heath and decreases with increasing influence of wind at the habitat. Therefore the *Rhododendron* and *Vaccinium myrtillus* heath is a suitable germinal bed for Siberian pine, but later only few plants survive because of the danger from the low-temperature parasitic fungi. In the transition region damage caused by parasitic fungi is restricted to lee regions and hollows while frost and drought damage occur more frequently along the wind-exposed ridges. Between these two extremes the rate of growth of young pines is greatest in the *Vaccinium uliginosum* heath (depth of snow cover about 50–80 cm). It will, therefore, often be necessary to protect a plantation at very wind-exposed habitats (*Loiseleuria procumbens* and *Alectoria ochroleuca*) by snow fences from dehydration injury by frost. An even distribution of snow cover on ridges and hollows will be achieved at the same time. Locations with an unchanging snow cover of great depth have to be excluded from afforestation with Siberian pine at present.

Besides the systematic research, described above, into the relations of climate, soil and the existing growth in afforestation areas as well as the demands of pine on a habitat, investigations were also started into the possibilities of what kind of initial help could be provided für young plants in order to promote their growth in bare areas in the Sub-Alpine zone where they find such unfavourable conditions for growth.

- 1) Investigations into structures for avalanche prevention which depend on wind influence. The following wind baffles are in use: snow fences (accumulation fences) with a volumetric efficiency of about 0.65. These deposit snow in usually wind-blown areas (which are then more easily afforested) and reduce dangerous snow deposits on slopes behind these fences. Poolboards (paravents, panneaux de dépôt, Kolktafeln) which are vertical solid wooden fences that project at least 1 m from the snow surface, oriented at right angles to the drifting winds, and achieve wind scour and a compressing of snow within a radius of 6-10 metres around the boards in the area between the windward and the lee side of the ridges and thus break up the continuity of snow-drifts. Jet roofs (pupitres, Pultdächer, Düsen) which are panels put together to form structures like sloping shed roofs, the wind blowing between the roof and the ground is accelerated and blows away the snow from the leeward side of the ridge and thus development of snow-drifts is prevented. If all these structures for avalanche control are applied, a fairly uniform snow cover may be attained in many bare areas of the transition zone. As a result of extensive field and laboratory tests (wind tunnel) which have been performed for many years, these structures for avalanche control have extended the area for afforestation and have increased the rate of afforestation.
- 2) The application of microbiological knowledge as initial help to afforestation at high elevated regions resulted from the fact that the rate of tree growth will be promoted especially in poor soils where trees have not been grown for a long time. There is also no doubt that successful afforestation of many a waste land or on soil not used for tree growing for a long time can only be achieved when the development of mycorrhizal mycelium is promoted by artificial measures.
- 3) The promotion of the development of mycorrhizal mycelium can be most conveniently attained in forestry management by soil inoculation in nurseries at the same time as seeding or transplanting is done. Suitable fungi and the methods are discussed in detail.
- 4) In order to provide data which can be easily applied in practical work a diagram, ecogram, was made which makes use of the results of all investigations and all the other knowledge of the conditions in the Sub-Alpine zone. Probably four ecograms will be necessary to set up a programme for afforestation in the Sub-Alpine zone of the Central Alps. A trial ecogram has been made for the greater part of the area where wind and snow are the limiting factors of growth. Directions and a survey of the general basis for the use of ecograms were added. The general basis comprises detailed instructions as to how to judge the influences of ground relief, climate and soil, a survey of the requirements as to the habitats of the

main and secondary types of wood, data for judging and determining the upper limits of afforestation and a time-table for afforestation at high elevated regions. These data should help to make refined use of the ecogram which contains only essential facts. The ecogram gives a cross section through a ridge with a sunny lee side and a shadowy windward side. It consists of five diagrams one below the other and is divided into eleven sections. Each section of the diagrams shows both conditions and required measures in the section of the ridge. The individual diagrams show:

1. distribution of vegetation and soil types across the ridge (plants indicate the habitat),
 2. the distribution of wind force, maximum and minimum depth of snow cover and surface temperature of soil as the most important causes for the above-mentioned distribution of indicator plants,
 3. the natural occurrence of Siberian pine and larch as well as the damage caused by facts mentioned in 2.
 - 4a the measures of afforestation (choice of plants, possibility of seeding, as well as period of planting),
 - 4b structural measures to influence wind and snow (avalanche supports, snow fences, pool boards and jet roofs) for improving afforestation at unfavourable habitats).
- 5) Because of the avalanche disasters in 1951 and 1954 afforestation at high elevated regions was considered to be urgent. Use was made of the available results of the investigations and assumptions had to substitute missing knowledge.

The project "Lawinenvorbeugung Vorderes Zillertal" (Avalanche Precautions Lower Ziller Valley) may serve as an example to demonstrate extent, economic importance and practical experience. It is most suitable because this project comprises the largest area and work has made the greatest progress.

This project comprises a total area of about 100 square kilometres and aims at meliorating 16 torrents and nine avalanche paths by measures of forest management, as far as technical structures were not considered to be indispensable.

These are the planned details: improvement of 463 hectare of mountain pasture through construction of forest roads, installing plants for semi-liquid manure and changing to enclosed pasture management in order to make up for the loss of woodland-pasture and pasture which is weedy or far away and therefore intended for afforestation; the employment of a certified forest manager; construction of 70 km of farm road for the use of trucks; turning upper forest regions which have been badly damaged by lopping and grazing into commercial forests; lopping and collection of litter at an annual extent of 9,223 cubic metre is no longer permitted; raising the present upper forest limit from 1,600 to 2,000 m through afforestation of 611 hectares; afforestation of all clearings, avalanche tracks and other bare areas

within the commercial forest (442 hectares); wood cutting by employees of local authorities instead of uncontrolled wood cutting by the farmers. The total cost of all the work was found to be 36.4 millions of Austrian shillings.

When carrying out the work, it was found that the actual costs will be 21.3 million A.S. because much of the road construction could be done at the expense of the owners of the forests and mountain pastures. Until the end of 1960 the amount of 16.8 million A.S. was spent, that is nearly 80 % of the estimated costs. The realization of the project has already reached a stage at which something can be stated about the probable success:

1. In spite of a decrease of the pasture area an actual increase in profit has been achieved by a more economic management of the mountain pastures. At present only a few figures are available. The following results can be confirmed by figures and bring an annual saving of 151,000 A.S.
 - a) a reduction of staff: eight cheese makers are no longer needed in the cottages at the mountain pastures because milk is sent down to the dairies in the valley every day.
 - b) An annual saving of about 200 cubic metres of wood because less wood is needed for the maintenance of fences and as fuel for the cheese production.
 - c) Higher profit of 21.3 Groschen per litre because of transport of milk down to the valley.
 - d) Improved quality and therefore higher price for cheese produced in the dairy.
 - e) Improvement of profitableness of the dairies in the valley because of regular utilization throughout the year.
2. The results for forest management are very advantageous because of the provision of a road system. The immediate gain is 247,000 A.S. annually and there will be a further increase of 784,000 A.S. annually in about 25 years time. This amount is made up by:
 - a) higher price for wood because of cheaper delivery:
A.S. 160.-- per cubic metre,
 - b) because delivery is possible in summer, better adaptability to momentary market situation,
 - c) gradual increment of growth from 1.7 cubic metres per hectare and year to 3.0 cubic metres because of the new road system,
 - d) decrease of the effects of disasters (snow, wind, insects). In a certain case the increased profits in 1958 were 2.2 million A.S. because of the road system,
 - e) promotion of the tourist traffic because of better possibilities for walks.

- 6) The experience gained by afforestation at high elevated regions may be summarized as follows:
- a) The use of the rowan berry (*Sorbus aucuparia*) proved to be unsuccessful because this plant is so badly damaged by snow fall which occurs at the upper forest region until July. In spite of the great power of regeneration the plants perish or develop into shrubs only.
 - b) The problem whether seeding or planting is to be preferred has been solved only partly. It may be stated that seeding of Siberian pine is not successful in large areas for reasons of management and because the seeds are eaten by the fir jay. Seeding of larch seems to be more advantageous because the expenses will be a fifth of the cost of planting. Tests, however, do not yet allow a final conclusion.
 - c) Thorough investigations were made into the most favourable size and shape of the planting holes and it was found that a size of 0.3 x 0.4 m is most suitable. On an average fourteen planting holes can be made per hour. Care should be taken that the bottoms of the planting holes have modest gradients adequate to the exposure of the slope. It is also advisable to mix the A-horizon and the B-horizon of the soil well as this saves fertilizing.
 - d) Investigations into the problem whether hole planting or slit planting is to be recommended have not been concluded, probably hole planting is to be used in *Rhododendretum* and *Vaccinietum* while in soils covered with grass or very low shrubs slit planting is more advisable.
The time was checked that is needed for planting in prepared holes. Various factors impeding work were taken into account such as weather, gradient of slope, soil vegetation and use of male and female hands. It was shown that on the average 60 to 70 Siberian pines, five years old, could be planted per hour. With slit planting larch - taking into account a greater loss costs could be reduced to about three quarters while pine planting may lead to a reduction of labour expense but the total costs remain unchanged.
 - e) The success of afforestation will be statistically recorded. A system of 102 test circles with a radius of 3.5 m at a distance of 100 m were laid out and 7,500 measurements were taken from 3,225 plants. The evaluation of the measurements taken until 1962 will be done with the card index system. The method of recording was described in detail.
As far as the success of the project is concerned, the records collected up to now permit the following statements: Siberian pine younger than five years show a loss of 50 %, five to eight year old Siberian pine only a loss of 15 %.

Larch is the most favourable type of tree, plants shorter than eight centimetres show a loss of about one-third; the annual rate of growth is 10 15 centimetres and is therefore relatively great.

Spruce (*Picea excelsa*) was planted on a small scale and only near existing forests; it shows a loss of one-fifth and the rate of growth is 3 5 centimetres.

Today management of the forestation program at highly elevated regions in the inner Alps has a scientific basis for its work. More than half of the problems can be easily solved. The remaining problems concerning the influence of water relations, nutrients according to habitat, methods of planting, seeding etc. can be successfully dealt with if the necessary presuppositions for research such as climate house and measurement of water relations are available.

The present success in afforestation in the Sub-Alpine zone was only possible through careful investigation of a team of scientific specialists skilled in forest matters.

Translation: Dr. R. Müller

Veröffentlichungen der Forschungsstelle für Lawinenvorbeugung

Stand: Jänner 1963

- AULITZKY H.: Klima, Waldkrone und Aufforstung. Wetter u. Leben, 6, 42 43 (1953)
- AULITZKY H.: Waldkrone, Kleinklima und Aufforstung. Zbl. f. d. ges. Forstwesen, 73, 7 12 (1954)
- AULITZKY H.: Über mikroklimatische Untersuchungen an der oberen Waldgrenze zum Zwecke der Lawinenvorbeugung. Wetter u. Leben, 6, 93 98 (1954)
- AULITZKY H.: Die Bedeutung meteorologischer und kleinklimatischer Untersuchungen für Aufforstungen im Hochgebirge. Wetter u. Leben, 7, 241 252 (1955)
- AULITZKY H.: Über die lokalen Windverhältnisse einer zentralalpinen Hochgebirgs-Hangstation. Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B, 6, 353 - 372 (1955)
- AULITZKY H.: Über die Bedeutung und Grenzen ökologischer Klimatographie unter besonderer Berücksichtigung der subalpinen Stufe der Innenalpen. Int. Journ. of Biocl. and Biomet., 1, Part II, 7 Seiten (1957)
- AULITZKY H.: Waldbaulich-ökologische Fragen an der Waldgrenze. Cbl. f. d. ges. Forstwesen, 75, 18 33 (1958)
- AULITZKY H.: Hinweise für eine naturnahe Waldwirtschaft im Bereich der Waldgrenze. Allg. Forstzeitung, 69, 4 7 (1958)
- AULITZKY H.: Das Klimahaus am Patscherkofel. Exkursionsführer Forstschutz, Waldbau und Forsttechnik des XIII. IUFRO-Kongresses in Wien, 97 106 (1961)
- AULITZKY H.: Die Bodentemperaturverhältnisse an einer zentralalpinen Hanglage beiderseits der Waldgrenze. I. Teil: Die Bodentemperatur oberhalb der zentralalpinen Waldgrenze. Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B, 10, 446 532 (1961)
- AULITZKY H.: Die Bodentemperaturverhältnisse an einer zentralalpinen Hanglage beiderseits der Waldgrenze. II. Teil: Über die Bodentemperaturen im subalpinen Zirben Lärchenwald. Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B, 11, 301-362 (1962)
- AULITZKY H.: Die Bodentemperaturverhältnisse an einer zentralalpinen Hanglage beiderseits der Waldgrenze. III. Teil: Die Bodentemperatur in ihren Beziehungen zu anderen Klimafaktoren. Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B, 11, 363 - 376 (1962)
- AULITZKY H.: Welche Hinweise stehen der Hochlagenaufforstung heute zur Verfügung? Wetter u. Leben, 14, 95 117 (1962)
- AULITZKY H.: Arbeitsweise, Ziele und Arbeitsergebnisse der Forschungsstelle für Lawinenvorbeugung in Innsbruck. FAO-Wasserbau 1962
- AULITZKY H.: Die waldbauliche Behandlung des subalpinen Zirben-Lärchenwaldes. IUFRO 13th Congr. 1961, 24 (1962)
- AULITZKY H.: Bioklima und Hochlagenaufforstung in der subalpinen Stufe der Innenalpen. Schweiz. Ztschr. f. Forstwesen, 114, 1 25 (1963)
- AULITZKY H.: Was steht an bioklimatischen Unterlagen für die Hochlagenaufforstung heute zur Verfügung? Bündnerwald, 16 (1963, im Druck)

- CZELL A. und W. und ROTTER W.: Untersuchung und Typisierung von Böden in Tirol 1948 1955 (Vorbericht). de natura Tiroliensi, Prenn-Festschrift, Schlernschriften, 188, 55 73 (1958)
- CZELL A. und NEUWINGER I.: Die Arbeiten des bodenkundlichen Institutes in Imst. Exkursionsführer Forstschutz des XIII. IUFRO-Kongresses in Wien, 117 120 (1961)
- CZELL A.: Düngungsversuch auf grüner Blaike in den Tiroler Zentralalpen. Presse-Umschau 13, 1 3 (1962). Österr. Stickstoffwerke A.G. Linz
- DONAUBAUER E.: Die Phacidium-infestans-Nadelkrankheit der Zirbe und deren Bedeutung für Hochlagenaufforstungen. Exkursionsführer Forstschutz des XIII. IUFRO-Kongresses in Wien, 110-114 (1961)
- FRIEDEL H.: Quatrieme voyage d'etudes dans les alpes autrichiennes. Commission europeenne des forets groupe des travail de la correction des torrents et la lutte contre les avalanches. 24 Seiten (1958). Druck Tyrolia Innsbruck
- FROMME G.: Schach der Waldverwüstung. Produktivitätszentrum Wien, 74 Seiten (1952)
- FROMME G.: Der Waldrückgang im Oberinntal. Mttl. d. Forstl. Bundesvers. Anstalt Mariabrunn. Heft 54, 221 Seiten (1957)
- FROMME G.: Klimageschichte und alpine Landschaftsformung. Die Pyramide, 78 86 (1958)
- FROMME G.: Über die Entwaldung in Tirol. Natur u. Land, 46, 79 82 (1960)
- FROMME G.: Über das Wachstum von Junglärchen (*Larix decidua* Mill.) auf subalpinen Standorten im Ötztal und Paznauntal (Tirol). Cbl. f. d. ges. Forstwesen (1963, im Druck)
- FUCHS A.: Die Scherfestigkeit von Schnee und Eis in Abhängigkeit von der Temperatur. Veröff. Museum Ferdinandeum in Innsbruck, 26/29, 4 Seiten (1949)
- FUCHS A.: Räumliche Abbildung von Schneegefügen als Dauerpräparate. Ztschr. f. Gletscherkunde u. Glazialgeologie, 2, 299 - 301 (1953)
- FUCHS A.: Über eine Verbesserung des Rotationszerreißapparates für Schneeproben. Ztschr. f. Gletscherkunde u. Glazialgeologie, 2, 302 303 (1953)
- FUCHS A.: Probleme der Schnee- und Lawinenforschung. Schisport, 2, (1953/54)
- GAMS W.: Die Bodenpilze im zentralalpinen Rohhumus. Diss. Univ. Innsbruck, 115 Seiten (1959)
- GAMS W.: Un nouvelle methode isolement des champignons du sol. Annales Scientific Univ. Besancon, II. Ser., 93 - 94 (1959)
- GAMS W.: Isolierung von Hyphen aus dem Boden. Sydowia, Annales Mycologici, Ser. II, 13, 87 94 (1959)
- GAMS W.: Winterliches Pilzwachstum im Boden. Sydowia, Annales Mycologici, Ser. II, 14, 288 294 (1960)
- GAMS W.: Studium zellulolytischer Bodenpilze mit Hilfe der Zellophanstreifenmethode und mit Carboxylethyl-Zellulose. Sydowia, Annales Mycologici, Ser. II, 14, 295 307 (1960)
- GAMS W. und MOREAU R.: Le genre *Mortierella* Coemans. Annales Scientific Univ. Besancon, II. Ser., 95 105 (1959)
- GAMS W. und MOREAU R.: Note praeliminaire sur la microflor de quelques sols alpines. Cot. Rd. Seances Acad. des Sciences, 251, 1560 1562 (1960)
- GÖBL F.: Das Mykorrhizaprobem bei der Zirbenanzucht. IUFRO 13th Congr. 1961, 24-3 (1962)
- GÖBL F.: Die Zirbenmykorrhiza in Pflanzgärten. Cbl. f. d. ges. Forstwesen (im Druck)

- HAMPEL R. : Lawinenvorbeugung durch Aufforstung oberhalb der bestehenden Waldgrenze. Mttl. u. Inform. 2, 3 5 (1954)
- HAMPEL R. : Forschungsarbeiten und Versuche auf dem Gebiet der Wildbachverbauung. Allg. Forstztg., 76, 288 290 (1954)
- HAMPEL R. : Statistik der Grünverbauung. Fachl. Vereinszeitschr. d. Dipl. Ing. d. Wildbach- u. Lawinenverbauung Österreichs, H. 5 (1954)
- HAMPEL R. : Wildbach- und Lawinenverbauung und Naturschutz. Jb. Ver. z. Schutz d. Alpenpflanzen und -tiere, 20, 97 105 (1955)
- HAMPEL R. : Lawinenvorbeugung. Österr. Vierteljahresschr. f. Forstwesen, 99, 21 29 (1958)
- HAMPEL R. : Lawinenvorbeugung im Pitztal. Allg. Forstzeitg., 69, 12 13 (1958)
- HAMPEL R. : Bruchversuch an einer Bogensperre. Österr. Wasserwirtschaft, 12, 187 193 (1960)
- HAMPEL R. : Die Hochlagenaufforstung in Österreich und in Italien. Allg. Forstztg., 72, 117 (1961)
- HAMPEL R. : Wildbach- und Lawinenverbauung Vorderes Zillertal. Exkursionsführer Waldbaudes XIII. IUFRO-Kongresses in Wien 117 125 (1961)
- HASSENTEUFEL W. : Die Grünverbauung von Wildbächen. Allg. Forstzeitg., 61, 1 4 (1950)
- HASSENTEUFEL W. : Die Grünverbauung von Wildbächen. Österr. Wasserwirtschaft, 2, 271 277 (1950)
- HASSENTEUFEL W. : Eine neue Methode der Lawinenverbauung. Allg. Forstzeitg., 63, 164 166 (1952)
- HASSENTEUFEL W. : Lawinenschutz in Tirol, im besonderen auf der Innsbrucker Nordkette. Aufbau 9, 134 143
- HASSENTEUFEL W. : Zur Bedeutung der Pflanzensoziologie für die Wildbach- und Lawinenverbauung. Angew. Pfl. soziologie, Festschrift f. E. Aichinger II, 1279 1282 (1954)
- HASSENTEUFEL W. : Wald und Lawinen auf der Innsbrucker Nordkette. Österr. Vierteljahresschr. f. d. Forstwesen, 95, 272-276 (1954)
- HASSENTEUFEL W. : Stand der Schnee- und Lawinenforschung in Österreich Ende 1953. Schweiz. Ztschr. f. Forstwesen, 7, 1 10 (1954)
- HASSENTEUFEL W. : Biologische Wildbachverbauung. Österr. Wasserwirtschaft, 7, 204 210 (1955)
- HASSENTEUFEL W. : Naturnaher Ausbau von Wildbächen. Wasser u. Boden, 3, 67 68 (1957)
- HASSENTEUFEL W. : Die Natur selbst muß Naturkatastrophen verhüten. Holzkurier, 12, Heft 38, 7 8 (1957)
- HASSENTEUFEL W. : Die bisherige Tätigkeit des Lawendienstes. Fachl. Ver. ztschr. d. Dipl. Ing. d. Wildbach- u. Lawinenverbauung Österreichs, H. 7, 33 Seiten (1957)
- HASSENTEUFEL W. : Bremsverbauungen. Fachl. Ver. ztschr. d. Dipl. Ing. d. Wildbach- u. Lawinenverbauung Österreichs, H. 7, 54 - 67 (1957)
- HASSENTEUFEL W. : Lawinenschießen. Fachl. Ver. ztschr. d. Dipl. Ing. d. Wildbach- u. Lawinenverbauung Österreichs, H. 7, 70 76 (1957)
- HASSENTEUFEL W. : Die Pflanze als Bodenfestiger. Forstwiss. Cbl., 77, 129 138 (1958)
- HASSENTEUFEL W. : Wildbachverbauung und Forstwirtschaft. Der land- und forstwirtschaftliche Betrieb, 8, 104 106 (1959)
- HASSENTEUFEL W. : Die Bepflanzung von Kahlhängen. Garten und Landschaft, 69, 143 146 (1959)
- HASSENTEUFEL W. : Wildbachverbauung und Landschaftspflege. Natur u. Land, 46, 83 85 (1960)
- HASSENTEUFEL W. : Wald und Lawinen auf der Innsbrucker Nordkette. Die Pyramide, 8, 33 40 (1960)
- HASSENTEUFEL W. : Lawinenverbauung auf der Innsbrucker Nordkette. Exkursionsführer "Forstschutz" für den XIII. IUFRO-Kongreß in Wien, 97 106 (1961)

- HOLZER K.: Die winterlichen Veränderungen der Assimilationszellen von Zirbe (*Pinus Cembra* L.) und Fichte (*Picea excelsa* Link) an der alpinen Waldgrenze. Österr. Bot. Ztschr., 105, 323 346 (1958)
- HOLZER K.: Winterliche Schäden an Zirben nahe der alpinen Baumgrenze. Cbl. f. d. ges. Forstwesen, 76, 232 244 (1959)
- HOPF J.: Über die Bedeutung, Art und Verteilung windabhängiger Bauten in der Lawinenverbauung und -vorbeugung. Allg. Forstzeitg., 69, 47 52 (1958)
- HORAK E.: Die Pilzvegetation im Gletschervorfeld (2290 2350 m) des Rotmoosferners in den Ötztaler Alpen. Nova Hedwigia II, 487 507 (1960)
- HORAK E.: Indolwuchsstoffbeziehungen im Bereich der Fichtenmykorrhiza. Diss. Univ. Innsbruck (1961)
- HORAK E.: Untersuchungen der Wuchsstoffsynthese der Mykorrhizapilze. Ber. I. Intern. Mykorrhizasymposiums in Weimar
- JAHN E.: Ergebnisse von Bodentieruntersuchungen an der Wald- und Baumgrenze. Cbl. f. d. ges. Forstwesen, 77, 26 - 51 (1960)
- JAHN E. und SINREICH A.: Befallsfolgen von Gliederfüßlern in absterbenden Zirben (*Pinus Cembra* L.). Anzeiger f. Schädlingskunde, 33, 17 20 (1960)
- MOSER M.: Neue Einblicke in die Lebensgemeinschaft von Pilz und Baum. Umschau, 51, S. 533 (1951)
- MOSER M.: Die Röhrlinge, Blattpilze und Schlauchpilze. Kleine Kryptogamenflora von H. Gams. Stuttgart: Gustav Fischer-Verlag, 2. Auflage, 327 Seiten (1955)
- MOSER M.: Die Bedeutung der Mykorrhiza für Aufforstungen in Hochlagen. Forstwiss. Cbl., 75, 8 18 (1956)
- MOSER M.: Bodenbiologie. Fachl. Ver. ztschr. d. Dipl. Ing. d. Wildbach- und Lawinenverbauung Österreichs, H. 7, 22 24 (1957)
- MOSER M.: Die künstliche Mykorrhizainpfung an Forstpflanzen. I. Die Erfahrungen bei der Reinkultur von Mykorrhizapilzen. Forstwiss. Cbl., 77, 32 40 (1958)
- MOSER M.: Die künstliche Mykorrhizainpfung an Forstpflanzen. II. Die Torfstreukultur von Mykorrhizapilzen. Forstwiss. Cbl., 77, 273 278 (1958)
- MOSER M.: Die künstliche Mykorrhizainpfung an Forstpflanzen. III. Die Impfmethodik im Forstgarten. Forstwiss. Cbl., 78, 193 202 (1959)
- MOSER M.: Der Einfluß tiefer Temperaturen auf das Wachstum und die Lebenstätigkeit höherer Pilze mit spezieller Berücksichtigung von Mykorrhizapilzen. Sydowia, Annales Mycologici, Ser. II, 12, 386 399 (1958)
- MOSER M.: Pilz und Baum. Schweiz. Ztschr. f. Pilzkunde, 37, 37 53 (1959)
- MOSER M.: Die Mykorrhiza Zusammenleben von Pilz und Baum. Die Umschau in Wissenschaft und Technik, H. 9, 267 270 (1958)
- MOSER M.: Beiträge zur Kenntnis der Wuchsstoffbeziehungen im Bereich ectotropher Mykorrhizen I. Arch. f. Mikrobiologie, 34, 251 269 (1959)
- MOSER M.: Die Gattung *Phlegmacium*. Verlag Klinkhardt, Bad Heilbrunn, 38 Tafeln, 440 Seiten (1960)
- MOSER M.: Das bodenbiologische Laboratorium in Imst. Exkursionsführer Forstschutz der XIII. IUFRO-Tagung in Wien, 114 117 (1961)
- MOSER M.: Die Bildung von Indolwuchsstoffen durch Mykorrhizapilze. Ber. Dtsch. Bot. Ges., 75, 28 (1962)
- MOSER M.: Soziologische und ökologische Fragen der Mykorrhiza-Induzierung. IUFRO 13th Congr. 1961, 24 (1962)

- MOSER M.: Die Bedeutung der Mykorrhiza bei Aufforstungen. (Mit besonderer Berücksichtigung der Hochlagen). Ber.I. Internat. Mykorrhizasymposium in Weimar
- NEUWINGER I. und CZELL A.: Standortsuntersuchungen in subalpinen Aufforstungsgebieten. I. Teil: Böden in den Tiroler Zentralalpen. Forstwiss. Cbl., 78, 327 372 (1959)
- OSWALD H.: Beobachtungen über die Samenverbreitung bei der Zirbe. Allg. Forstztg., 67, 200 202 (1956)
- PETRAK F.: Über Phacidium infestans Karst., einen gefährlichen Parasiten der Zirbelkiefer und einige andere in seiner Gesellschaft wachsende Pilze. Sydowia, Annales Mycologici, Ser. II, 9, 518 526 (1955)
- PISEK A. und TRANQUILLINI W.: Sind unsere immergrünen Nadelhölzer auch im Winter tätig? Umschau, H. 2, 44 46 (1959)
- RASCHENDORFER I.: Stecklingsbewurzelung und Vegetationsrhythmus. Forstwiss. Cbl., 72, 159 171 (1953)
- RASCHENDORFER I.: Blaikentypen in den Tiroler Alpen. Fachl. Ver. ztschr. d. Dipl. Ing. d. Wildbach- u. Lawinenverbauung Österreichs (1954)
- RASCHENDORFER I.: Blaikentypen in den Ostalpen. Schlernschriften, 188, 91 111 (1958)
- ROUSSEL L.: Le Phytotron du Patscherkofel. Revue forêstiere francaise, 12, 769 774 (1960)
- SCHIECHTL H. M.: Die Folgen der Entwaldung am Beispiel des Finsingtales in Nordtirol. Cbl. f. d. ges. Forstwesen, 73, 13 28 (1954)
- SCHIECHTL H. M.: Systematik und Technik der Grünverbauung von Blaiken. Fachl. Ver. ztschr. d. Dipl. Ing. d. Wildbach- u. Lawinenverbauung Österreichs, Heft 5 (1954)
- SCHIECHTL H. M.: Merkblatt der Grünverbauung. Fachl. Ver. ztschr. d. Dipl. Ing. d. Wildbach- u. Lawinenverbauung Österreichs, Heft 5 (1954)
- SCHIECHTL H. M.: Bautypen-Benennung und -Systematik bei der Grünverbauung. Allg. Forstzeitg., 66, 2 Seiten (1955)
- SCHIECHTL H. M.: Grundlagen der Grünverbauung mit besonderer Berücksichtigung der Wildbach- und Lawinenverbauung Tirols. Diss. Univ. Innsbruck (1956)
- SCHIECHTL H. M.: Über einige ingenieurbio-logische Arbeiten in Nordtirol. Alpenländ. Bienenzeitung, Heft 8 (1956)
- SCHIECHTL H. M.: Rutschhänge müssen befestigt werden. Ztschr. f. Natur u. Technik, S. 907 (1958)
- SCHIECHTL H. M.: Grundlagen der Grünverbauung. Mttl. Forstl. Bundes-Vers. anst. Mariabrunn, Heft 55, 273 Seiten (1958)
- SCHIECHTL H. M.: Rutschhänge müssen begrünt werden. Orion, Heft 11 (1958)
- SCHIECHTL H. M.: Kampf dem Ödland. Der heutige Stand der Grünverbauung und die Möglichkeiten ihrer Anwendung. Natur u. Land, Heft 3, 86 - 89 (1960)
- SCHIECHTL H. M.: Grünverbauung an der Autobahn Innsbruck-Brenner. Exkursionsführer Forstschutz des XIII. IUFRO-Kongresses in Wien, 125 131 (1961)
- SCHIECHTL H. M.: Zwei neue Methoden der Grünverbauung zur Befestigung der Böschungen beim Bau der Brenner-Autobahn. Österr. Ing. Ztschr., 107, 234 241 (1962)
- SCHIECHTL H. M.: Die Bekämpfung von Rutschungen mit Hilfe der Grünverbauung. Jb. Ver. z. Schutze d. Alpenpflanzen u. -tiere, 27, 89 97 (1962)
- SCHIECHTL H. M.: Neue Wege der Grünverbauung zur Befestigung von Böschungen. Umschau, Heft 6, 182 183 (1962)
- SCHIECHTL H. M.: Einige ausgewählte Ergebnisse aus der Forschungsarbeit für Grünverbauung und über den heutigen Stand ihrer Anwendung. In "Grünverbau im Straßenbau", Schriftenreihe Forschungsarbeiten aus dem Straßenwesen, Heft 51, 46 53 (1962). Bad Godesberg: Kirschbaum-Verlag

- STERN R. : Untersuchungen über die Eignung der Zirbe für Hochlagen-aufforstungen. Diss.Hochschule für Bodenkultur in Wien (1956)
- TRANQUILLINI W. : Der Ultrarot-Absorptionsschreiber im Dienste ökologischer Messungen des pflanzlichen CO₂-Umsatzes. Ber.Dtsch. Bot.Ges., 65, 102 112 (1952)
- TRANQUILLINI W. : Über den Einfluß von Übertemperaturen der Blätter bei Dauereinschluß in Küvetten auf die ökologische CO₂-Assimilationsmessung. Ber. Dtsch. Bot.Ges., 67, 191 204 (1954)
- TRANQUILLINI W. : Die Bedeutung des Lichtes und der Temperatur für die Kohlensäureassimilation von Pinus-Cembra-Jungwuchs an einem hochalpinen Standort. Planta, 46, 154 178 (1955)
- TRANQUILLINI W. : Vom Existenzkampf des Baumes im Hochgebirge. Jb.Ver. z.Schutze d.Alpenpflanzen u. -tiere, 21, 105 - 114 (1956)
- TRANQUILLINI W. : Standortsklima, Wasserbilanz und CO₂-Gaswechsel junger Zirben (Pinus Cembra L.) an der alpinen Waldgrenze. Planta, 49, 612 661 (1957)
- TRANQUILLINI W. : Die Frosthärte der Zirbe unter besonderer Berücksichtigung autochthoner und aus Forstgärten stammender Jungpflanzen. Forstwiss.Cbl. 77, 89 104 (1958)
- TRANQUILLINI W. : Die Stoffproduktion der Zirbe (Pinus Cembra L.) an der Waldgrenze während eines Jahres. I.Standortsklima und CO₂-Assimilation. II. Zuwachs und CO₂-Bilanz. Planta, 54, 107 151 (1959)
- TRANQUILLINI W. : Das Lichtklima wichtiger Pflanzengesellschaften. Handbuch der Pflanzenphysiologie, Band V: Die CO₂-Assimilation, Teil 2, 304 - 338 (1960). Springer-Verlag
- TRANQUILLINI W. : Climate and Water Relations of Plants in the Sub-Alpine Region. Journal of Ecology, Oxford (im Druck)
- TRANQUILLINI W. : Zur Bestimmung der Stoffproduktion aus CO₂-Gaswechselanalysen. In: Die Stoffproduktion der Pflanzendecke, 47 53 (1962). Stuttgart: Gustav Fischer-Verlag
- TRANQUILLINI W. : Beitrag zur Kausalanalyse des Wettbewerbs ökologisch verschiedener Holzarten. Ber.Dtsch. Bot.Ges., 75, 353 364 (1962)
- TRANQUILLINI W. : Die Abhängigkeit der Kohlensäureassimilation von Lärchen-, Fichten- und Zirben-Jungpflanzen von der Luftfeuchtigkeit bei verschiedener Bodenfeuchte. Planta (im Druck)
- TRANQUILLINI W. und AULITZKY H. : Die bioklimatisch-physiologischen Messungen in Obergurgl während der Vegetationsperiode 1953. Fachl.Ver.ztschr.d.Dipl.Ing.d.Wildbach-u.Lawinenverbauung Österreichs, Heft 7 (1957)
- TRANQUILLINI W. und HOLZER K. : Über das Gefrieren und Auftauen von Kieferennadeln. Ber.Dtsch.Bot.Ges., 71, 143 154 (1958)
- TURNER H. : Über das Licht- und Strahlungsklima einer Hanglage der Öztaler Alpen bei Obergurgl und seine Auswirkung auf das Mikroklima und auf die Vegetation. Arch.Met.Geoph. Biokl., Ser.B, 8, 273 325 (1958)
- TURNER H. : Maximaltemperaturen oberflächennaher Bodenschichten an der alpinen Waldgrenze. Wetter u. Leben, 10, 1 12 (1958)
- TURNER H. : Hochgebirgsklima. In: Das kleine Alpenbuch. Frankfurt-St.Johann i.Tirol: Umschau-Pinguin-Verlag, 1958
- TURNER H. : Wirkungen von Strahlung und Oberflächentemperatur auf die Vegetation in der subalpinen Stufe. Ber.Dtsch. Wetterdienst Nr.54, 5.Int.nat.Tagung f.Alpine Meteorologie in Garmisch-Partenkirchen Sept.1958, S.61 (1959)
- TURNER H. : Jahresgang und biologische Wirkungen der Sonnen- und Himmelsstrahlung an der Waldgrenze der Öztaler Alpen. Wetter u. Leben, 13, 95 113 (1961)

ERRATA

Seite 109 (Teil I): In Abb. 24 wurde statt des April-Temperaturmittels Talboden ($-1,1^{\circ}\text{C}$) irrtümlich das mittlere Maximum ($4,5^{\circ}\text{C}$) eingetragen. Der Verlauf der April-Kurve wäre unter Zuhilfenahme des April-Mittels Lichtung-Poschach ($-0,6^{\circ}\text{C}$) entsprechend zu ändern.

Seite 110 (Teil I): Der zweite Absatz (Im Übergangsmonat . . . kühl bleibt.) ist zu streichen.

Meßgeräte

der Firma

Wilhelm Lambrecht, Göttingen

Feuchte-, Temperatur-, Wind-,
Niederschlags- und Verdunstungsgeräte
Barometer und Thermometer aller Art
liefert:

GENERALVERTRETUNG FÜR ÖSTERREICH:

Heinrich Kapeller's Nchf.

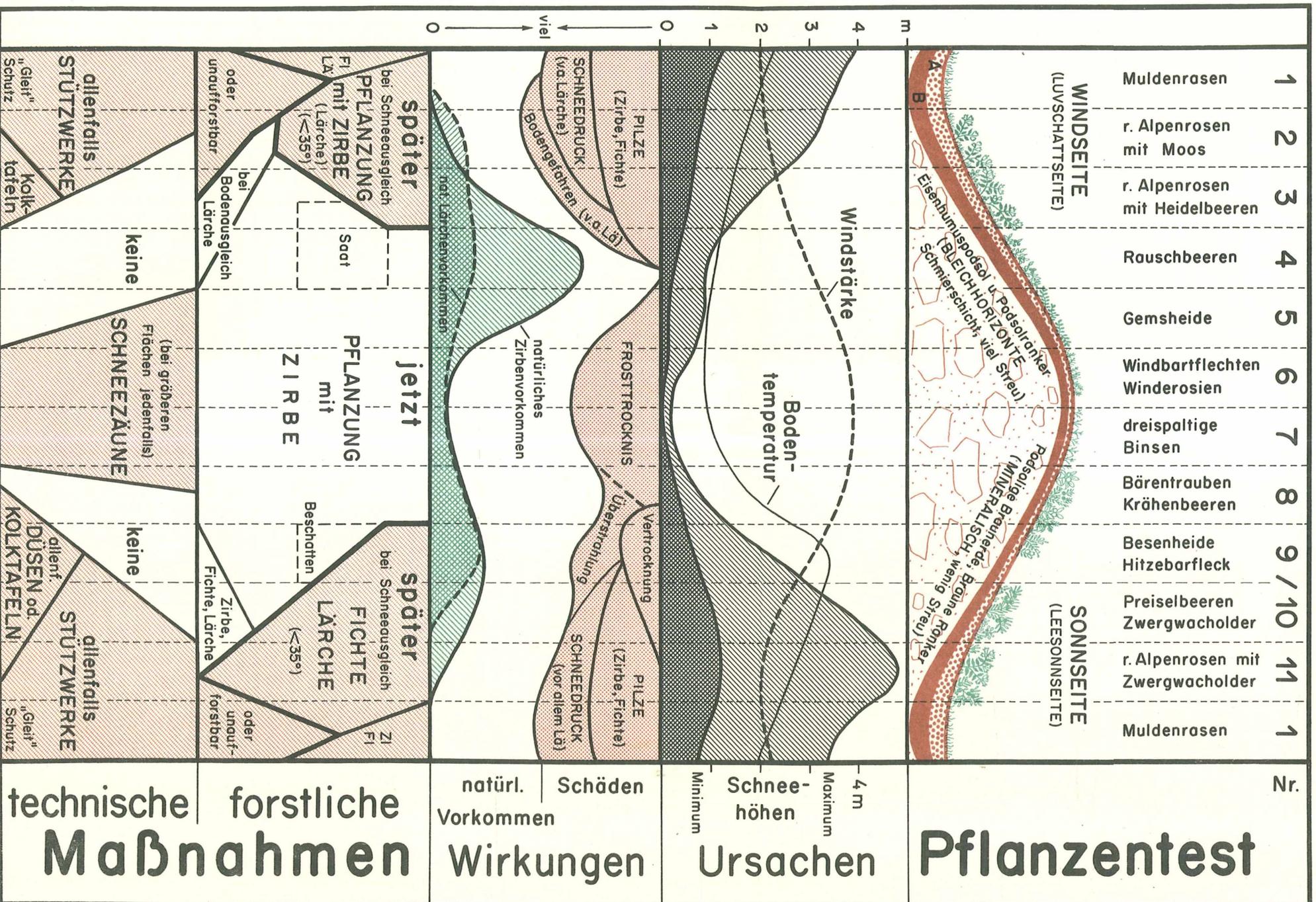
Gesellschaft m. b. H. & Co., Kommanditgesellschaft

WIEN V, FRANZENSGASSE 13

Tel. 57 14 28, 57 47 59

Das vorläufige Wind-Schnee-Ökogramm zur Hochlagenaufforstung

(nach H. Aulitzky)



KURZGEFASSTE ANLEITUNG ZUR PRAKTISCHEN ANWENDUNG DES VORLÄUFIGEN WIND-SCHNEE-ÖKOGRAMMES

I. Geltungsbereich

In der "Kampfzone" der subalpinen Stufe der Innenalpen (Wuchsgebiet I nach TSCHERMAK), vorwiegend in Nord-Süd-Tälern, jedoch nicht in Gebieten stark gestörter Vegetationsentwicklung (abgebrannte, gemähte, gedüngte, stark beweidete und erodierte Flächen) und nicht im Bereich von Hochmooren und Quellfluren. (Für Zirbe bis 2200 m, für Lärche bis 2100 m und für Fichte bis höchstens 2000 m Seehöhe.)

II. Praktische Anwendung

Man verschaffe sich zuerst einen allgemeinen Überblick vom Aufforstungsgelände, indem man (möglichst während der Ausaperung) an den gegensätzlichsten Geländepunkten (Sonn- und Schattseiten, Luv- und Leeseiten, Rippen und Gräben) die dort vorkommenden Testpflanzen feststellt. An Hand des Ökoogrammes sieht man, inwieweit mit für Holzarten ungünstigen Standorten und Schäden zu rechnen ist.

Zur Testung des einzelnen Standortes geht man von den im obersten Abschnitt des Ökoogrammes angeführten "Zeigerpflanzen" aus, deren Geländeverteilung von Relief, Kleinklima und Boden abhängt. Die beiden obersten Diagramme erklären die Ursachen des jeweiligen Pflanzenvorkommens (z.B. viel oder wenig Wind und Schnee). Das 3. Diagramm von oben zeigt sowohl Ausmaß und Art der Schäden als auch die natürliche Holzartenverteilung. Auf Grund dieser Voraussetzungen werden im 4. und 5. Teilbild die passenden forstlichen und technischen Maßnahmen zugeordnet. (Entscheidung über Lawinenverbauungen nur auf Projektebene!) Den verschiedenen Testpflanzenbereichen werden also unter Erläuterung von Ursache und Wirkung am Standort die entsprechenden forstlichen und technischen Maßnahmen der Hochlagenaufforstung zugeteilt.

Fall 1: Muldenrasen

Meist sehr hohe und langanhaltende Schneebedeckung, daher sehr große Schneedruck- und Schneepilzschäden. Aufforstung mit Zirbe und Lärche (Schattseite) oder Fichte und Lärche (Sonnseite) erst nach erfolgtem Schneeausgleich und Bodendurchmischung; ansonsten unaufforstbar. Bereich der Lawinen-Stützverbauung.

Fall 2: Rostrote Alpenrosen mit Moosen

Sehr hohe und langanhaltende Schneebedeckung, daher sehr große Schneedruck- und Schneepilzschäden neben Bodengefahren (Vernässung, dichte Humusaufgaben). Aufforstung mit Zirbe und Lärche erst nach Schneeausgleich bzw. Bodendurchmischung (bei Torfmoosen nur Latsche); ansonsten unaufforstbar. Normalerweise Bereich der Lawinen-Stützverbauung, manchmal noch im Kolktafelbereich.

Fall 3: Rostrote Alpenrosen mit Heidelbeeren

Hohe und langanhaltende Schneebedeckung mit beträchtlicher Schneepilz- und Schneedruckgefährdung, mitunter dichte Rohhumusaufgaben; geringes bis gutes natürliches Zirbenvorkommen je nach Schneehöhe und Boden. Daher nur bei geringen Schneelagen sofortige, sonst erst spätere, Zirbenaufforstung nach Schneeausgleich; Lärche nur bei erfolgreicher Bodendurchmischung in nicht zu steilen Lagen; je nach Schneehöhe und Lage im Relief Stützverbauung, Kolktafeln oder keine technische Maßnahmen.

Fall 4: Rauschbeeren

Bereich mittlerer Schneehöhe und Bewindung, daher günstigster Aufforstungsstandort mit geringen Schäden. Sofortige Pflanzung (eventuell auch Saat) von Zirben, bei Bodendurchmischung auch von Lärchen; keine technischen Maßnahmen erforderlich.

Fall 5: Gemsheide

Windige und schneearme Standorte mit Frosttrocknisschäden an den Windseiten der Bäumchen. Sofortige dichte Zirbenpflanzung, an windausgesetzten Punkten im Schutz von Schneezäunen.

Fall 6: Windbartflechte und Winderosion

Sehr windausgesetzte und meist schneefreie Standorte mit starken Frosttrocknisschäden. Sofortige dichte Zirbenaufforstung im Schutz von Schneezäunen oder erst später nach eingetretenem Schneeausgleich aufforsten.

Fall 7: Dreispaltige Binsen

Sehr windausgesetzte und meist schneefreie Standorte auf Sonnseiten mit sehr starken Frosttrocknisschäden. Sofortige dichte Zirbenaufforstung im Schutz von Zäunen oder erst später nach eingetretenem Schneeausgleich aufforsten.

Fall 8: Bärentraube / Krähenbeere

Windige und schneearme Standorte an Sonnseiten mit Frosttrocknisschäden. Sofortige dichte Zirbenaufforstung, allenfalls Verwehungsbauten.

Fall 9: Hitzebarfleck / Besenheide

Schneearme bis schneereiche Standorte hoher Bodenoberflächenüberhitzung, daher Schneedruck-, Schneepilz- und Strahlungsschäden möglich. Vorsicht mit Saaten! Bei geringen Schneehöhen sofortige Aufforstung mit Zirbe, Fichte und Lärche, ansonsten erst später nach Schneeausgleich. Lärche nur auf mineralischem Boden und Geländeneigung unter 35-40°; ansonsten spätere Aufforstung nach erfolgtem Schneeausgleich. Eventuell Pflanzlochabdeckung. Je nach Schneehöhe und Lage im Relief keine technischen Maßnahmen oder aber Düsen (Lee), Kolktafeln und Stützwerke.

Fall 10: Preiselbeere / Zwergwacholder

Schneearme bis schneereiche Standorte mit zeitweiliger starker Bodenoberflächenerwärmung, daher Schneedruck-, Schneepilz- und Strahlungsschäden möglich. Nur bei geringen Schneehöhen sofortige Zirbenaufforstung, bei etwas mehr Schnee mit Zirbe, Fichte und Lärche. Bei höherer Schneelage erst später mit Fichte und Lärche nach erfolgtem Schneeausgleich aufforsten (Lärche nur bei mineralischem Boden und Geländeneigung unter 35-40°). Je nach Schneelage und Lage im Relief keine technischen Maßnahmen oder aber Düsen bzw. Kolktafeln oder im Steilgelände Stützwerke.

Fall 11: Rostrote Alpenrosen mit Zwergwacholder

Meist schneereiche Standorte mit geringerer Bodenoberflächenerwärmung, daher vielfach schon Schneepilz- und Schneedruckgefahren, vor allem in Wäcbenbereichen. Spätere Aufforstung mit Fichte und Lärche nach erzieltm Schneeausgleich. Nur bei geringen Schneehöhen (Schäden an Vegetation) sofortige Aufforstung mit Zirbe, Fichte und Lärche (Lärche nur bei mineralischem Boden und Geländeneigung unter 35-40°). Im Steilgelände Stützverbauungen, mitunter auch noch zum Wirkungsbereich der Düsen und Kolktafeln gehörig.