

VERLAUF DER ALPINEN WALDGRENZE IM RAHMEN  
ANLIEGENDER GEBIRGSGELÄNDE

Development of the alpine timberline in relation to  
the surrounding mountain land slope configuration

Parcours de la frontière sylvestre alpine dans le  
cadre de terrains montagneux

Ход альпийской границы леса в смежных  
горный районах

von  
H. FRIEDEL

# INHALT

	Seite
I. Festlegung und Darstellung der klimatischen Waldgrenze	83
II. Weitere auf die Waldgrenze beziehbare Liniensysteme der umgebenden Gebirgsabhänge .....	95
1. Geomorphologische Geländelinien .....	95
2. Klimatologische Isolinien .....	106
3. Vegetations- und bodenkundliche Grenzlinien ..	122
4. Phänologische Isolinien	133
III. Wesen, Werden und Ursache der alpinen Waldgrenze	140
IV. Forstlich-ökotechnische Folgerungen aus den behandelten Zusammenhängen	145
Legende zu den Abbildungen	148
Zusammenfassungen .....	159
Diskussion	164
Literatur	167

**Anschrift des Verfassers:**

**Dr. H. FRIEDEL**

Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien  
 Außenstelle für subalpine Waldforschung in Innsbruck  
 Rennweg 1, Hofburg A-6020 Innsbruck

Das Thema, das sich unsere Forschungsstelle für ihr Symposium 1966 gestellt hat,

### "Ökologie der alpinen Waldgrenze"

wird in dieser Abhandlung in einer Art behandelt, die vielleicht etwas ungewohnt weit ausgreifend erscheinen könnte. Es wird versucht, all das heranzuziehen, was im anliegenden Gebirgsgelände seiner räumlichen Anordnung nach möglicherweise zu unseren geobotanisch und forstwissenschaftlich so wichtigen Phänomenen in direkte oder indirekte Kausalbeziehung gesetzt werden könnte. Der Verfasser hat solche ökologische Vorgangsweise mittels räumlichem Vergleich von großmaßstäblichen Geländeauf- und -grundrissen in bisherigen Veröffentlichungen unter der Bezeichnung Ökographie betätigt (H. FRIEDEL 1956, 1961, 1965). Entgegen einem anfänglichen Eindruck, daß vom Thema abgewichen wird, dürfte nachträglich wohl der engere Zusammenhang der herangezogenen Erscheinungen mit unserem Problem immer wieder deutlich werden. Um volle Schlüssigkeit des Ganzen zu erreichen, mußte also in dieser Abhandlung der Stoff des Symposium-Vortrages

"Die Waldgrenze in ihrem Bezug zu anderen höhenzonalen Erscheinungen"

der ihr zugrundeliegt, in etwas erweiterter Form wiedergegeben werden.

## I. FESTLEGUNG UND DARSTELLUNG DER KLIMATISCHEN WALDGRENZE

So, wie die Höhen-Schichtlinien (Isohypsen) in der Karte einen oft recht verwickelten Verlauf nehmen, im Aufriß uns dagegen als geradegestreckte, waagrechte Linien entgentreten, müssen auch die Isolinien klimatischer Höhenzonierung, falls es sich tatsächlich um richtige Höhenzonen des Klimas handelt, eine Gestalt vorweisen, die gerade im Aufriß den Schichtlinien, wenn auch mit gesetzmäßigen Abweichungen, weitgehend ähnlich ist. Dasselbe muß dann aber auch von der klimatischen Höhengrenze des Wald- und Baumwuchses erwartet werden, falls es sich wirklich um nur noch klimatisch bestimmte Höhengrenzen handelt.

Um also die klimatische Wald- und die klimatische Baumgrenze möglichst richtig zur Darstellung bringen zu können, müssen wir von den zu untersuchenden Hochgebirgstälern Gelände-Aufrisse kon-

struieren und in sie alle vorhandenen höchstgelegenen Restvorkommen von Wald- bzw. Baumbeständen eintragen, in der Hoffnung, mit ihnen tatsächliche Anlieger der entsprechenden klimatischen Höhengrenze gefunden zu haben. Wenn wir nun die von oben her einhüllende Verbindungslinie zwischen diesen in Betracht gezogenen Stützpunkten ziehen und zwar in der Weise, daß diese Linie die gestrecktest-mögliche Form und die größtmögliche Ähnlichkeit mit den Isohypsen erhält, dann dürfen wir annehmen, damit die bestmögliche Annäherung an die gesuchten klimabedingten Grenzlinien gefunden zu haben. Dabei werden allerdings viele der eingetragenen scheinbaren Höchstpunkte zwangsweise wieder weggefallen sein, weil sie unterhalb jener gleichmäßig ausgezogenen Verbindungslinie zurückgeblieben sind.

Die Wahrscheinlichkeit, tatsächliche klimatische Wald- und Baumgrenzen erfaßt zu haben, wird umso größer sein, je mehr benachbarte Täler untersucht wurden, je größer also das herangezogene Gesamtgebiet und je gesetzmäßiger sich darin die verschiedenen Täler hinsichtlich beider Linienarten und beider Talseiten zueinander verhalten.

Bei solcher Vorgangsweise entstammen die fixen Teilbausteine unserer Erhebungen über die beiden biologisch sehr wesentlichen Linienzüge, obwohl sie größtenteils nur unsichtbar gegeben sind, dennoch geradewegs sichtbaren Beobachtungstatsachen, sodaß man nur zum allerwenigsten theoretische Annahmen hereinziehen braucht. Immerhin werden bei dem Verfahren Waldbestände mit Rücksicht auf die künstlichen Verlichtungen, die sich immer wieder zeigen und zwar weithin und tief hinunter ausgedehnt, gegen darüber folgende Kampfzonenbestände in vielen Fällen mit ziemlicher Toleranz abzugrenzen sein. Zur Festlegung sowohl der Wald- als auch der Baumgrenze sind fürs erste natürlich ausschließlich erwachsene Bestände heranzuziehen, da ja möglichst stabile Verhältnisse zu erfassen sind.

Die einzelnen Stützpunkte der klimatischen Baumgrenze sind besser als die der Waldgrenze auffindbar. Gleichgültig, ob die Exemplare unserer subalpinen Holzarten in Grenznähe einzeln oder in kleinen dichten Gruppen auftreten, immer ist der Baumwuchs am oberen Rande seiner Existenzmöglichkeit stark gestaucht und unregelmäßig (SCHIECHTL 1967). Das geht bekanntlich bis zu vielwipfligen, windschiefen und fast stammlosen Krüppelformen, die ihre zahlreichen abgestorbenen Kronenteile jedoch immer wieder durch neues, frischgrünendes Astwerk zu kompensieren vermögen. So geartete Grenzhalter sind keineswegs einfach als kränkelnd anzusehen (abgesehen von besonderen Rassen wie der Legzirbe), auch nicht etwa als strauchige Wuchsformen aufzufassen, sind vielmehr stets eindeutig als wirkliche Bäume zu erkennen. Die Baumgrenze wird in dieser Abhandlung daher ohne Bedenken der Krüppelgrenze gleichgesetzt, da es sich ja auch bloß einfach um ein oberstes Auftreten unserer subalpinen Baumarten handelt. Wo diese imposanten knorrigen Gestalten



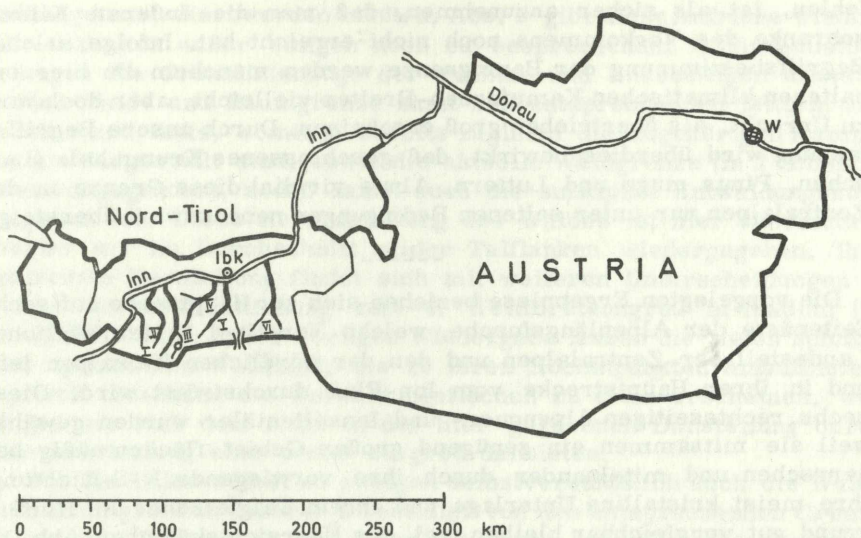


Abb. 1

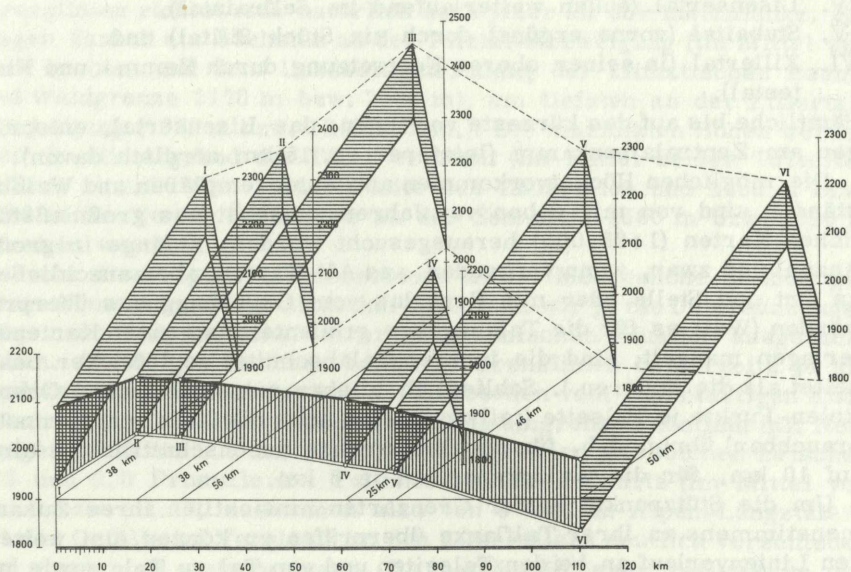


Abb. 3

fehlen, ist als sicher anzunehmen, daß man die äußerste Klimaschranke des Vorkommens noch nicht erreicht hat. Infolge solcher Begriffsbestimmung der Baumgrenze werden manchem die hier erhaltenen klimatischen Kampfzonen-Breiten vielleicht, aber doch wohl zu Unrecht, als übertrieben groß erscheinen. Durch unsere Begriffsfassung wird überdies bewirkt, daß geschlossenes Krummholz (*Latschen*, *Pinus mugo* und *Luttern*, *Alnus viridis*) diese Grenze in den Zentralalpen nur unter seltenen Bedingungen nennenswert übersteigt.

Die vorgelegten Ergebnisse beziehen sich zur Hauptsache auf sechs Seitenäste der Alpenlängsfurche, welche Nordtirol in den südlichen Landesteil der Zentralalpen und den der nördlichen Kalkalpen teilt und in ihrer Hauptstrecke vom Inn-Fluß durchströmt wird. Diese sechs rechtsseitigen Alpenquer- und Innseitentäler wurden gewählt, weil sie mitsammen ein genügend großes Gebiet flächenmäßig beherrschen und miteinander durch ihre vorwiegende N-S-Richtung, ihre meist kristalline Unterlage und ihrem Talgletscher im Hintergrund gut vergleichbar bleiben (vgl. das Übersichtskärtchen Abb. 1).

Von W nach E aufgezählt sind es:

- I. Kaunertal (vorne ergänzt durch ein Stück Inntal),
- II. Pitztal (hinten mit dem Taschachtal endigend),
- III. Ötztal (oben fortgesetzt durch das Ventertal),
- IV. Linsertal (außen weiterlaufend im Sellraintal),
- V. Stubaital (vorne ergänzt durch ein Stück Silltal) und
- VI. Zillertal (in seiner oberen Fortsetzung durch Zemm- und Floiertal).

Sämtliche bis auf das kürzeste von ihnen, das Linsertal, entspringen am Zentralalpenkamm (letzteres ca. 15 km nördlich davon).

Die möglichen Höchstvorkommen an Baumexemplaren und Waldbeständen sind von mir schon vor Jahren zunächst aus großmaßstäblichen Karten (1:25.000) herausgesucht worden, anfangs in großer Anzahl und zwar, wenn vorhanden, aus AV-Karten, aber anschließend an Ort und Stelle oder mit Fernglas vom Gegenhang aus überprüft worden (Weil es für die Talausgänge größtenteils an guten Kartenunterlagen mangelt, sind die inneren Talabschnitte verlässlicher bearbeitet als die äußeren.). Schließlich blieben nur noch 2 bis 6 Grenzlinien-Punkte je Talseite (teilweise auch noch bis 9 als einigermaßen brauchbar) übrig, d. h. für die Baumgrenze durchschnittlich je einer auf 10 km, für die Waldgrenze auf je 8 km.

Um die Stützpunkte beider Grenzarten hinsichtlich ihres Zusammenstimmens an ihrer Talflanke überprüfen zu können, um weiters den Linienverlauf an beiden Talseiten und von Tal zu Tal, sowie mit andersartigen Geländelinien vergleichen zu können, war es notwendig, sie in Gelände-Aufrisse einzuzeichnen, die mit sehr starker Über-

höhnung konstruiert werden mußten. Abb. 2 gibt diese Aufrisse wieder. Sie enthalten außer einigen noch zu besprechenden Geländeausformungen die Grenzlinienzüge der rechts- und linksseitigen klimatischen Wald- und Baumgrenze samt den entsprechenden Mitteln aus rechts und links, womit ja bereits zugleich die zugehörigen Kampfbzonen dargestellt sind, sowie die aktuelle Waldgrenze (in 2 Schematisierungsgraden), sodaß damit auch die subalpine Entwaldungszone gegeben ist. Diese Herabdrückung des Waldes ist hier übersichtshalber nur im Durchschnitt beider Talflanken wiedergegeben. Ihre getrennte Darstellung findet sich mit weiteren Unterscheidungen in einer Vorveröffentlichung zum 6. Weltforstkongreß in Madrid (H. FRIEDEL 1966). In der dortigen Wiedergabe lassen die vielen schmalen Spitzen von Waldland, die zu ihren Höchstpunkten hinaufzielen, optisch täuschend die Entwaldungsflächen zu klein erscheinen, wogegen sie sich dem Auge in der hier gegebenen Darstellung durch die Ausrundung eher etwas zu groß darbieten.

Wie die Täler selbst so zweigen selbstverständlich auch die Wald- und Baumgrenzen unserer 6 Testtäler von den entsprechenden Grenzlinien des Inntales ab und zwar von jenen an der rechtsliegenden, schattseitigen Inntalflanke. Je nachdem, wie sich letztere zurücklehnt, liegen die beiderseitigen Grenzabzweigungen natürlich nicht unmittelbar oberhalb des Ausflusses der sogenannten "Achen" aus diesen Seitentälern, sondern durchschnittlich 5 1/2 km taleinwärts davon. Die Höhenlage dieser äußeren Anfänge unserer forstlichen Grenzlinien richtet sich natürlich nach jener an der Inntalflanke. Sie liegen danach am höchsten an der Pitztal-Abzweigung (im Mittel aus dem rechts- und dem linksseitigen Anfang der klimatischen Baum- und Waldgrenze 2170 m bzw. 2060 m), am tiefsten an der Zillertal-Abzweigung (1970 m bzw. 1840 m ü. M.). Die maximalen Höhen werden weit im Hintergrund der Täler erreicht (im Mittel beider Talseiten 2130 m bzw. 2070 m in der Floite des Zillertales und 2460 m bzw. 2280 m im Venter Ötztal, wo an der Sonnseite 2500 m bzw. 2320 m erreicht werden).

Trotz dieser großen Unterschiede in der Meereshöhe bleiben gewisse Abmessungen von ähnlicher Größe, da wir ja die Untersuchungstäler nach Verwandtschaft ihrer geographischen Situation ausgesucht haben. So steigen in ihnen beiderlei Grenzlinien beiderseits je km ähnlich geringfügig taleinwärts an. Abgesehen vom andersartigen Endabschnitt im Talhintergrund laufen die Baumgrenzen nämlich mit Neigungen zwischen 6.5 und 10.0, die Waldgrenzen mit solchen zwischen 5.5 und 9.0 Promille ins Talinnere hinein aufwärts (im Mittel von ca. 9 bzw. ca. 7, zusammen also von 8 ‰). In Alpen-Längstälern ist das Gefälle im Vergleich zu den 6 Quertälern deutlich verschieden und zwar noch weit geringer. Es beträgt in jener Teilstrecke des Inntales, an der unsere Seitentäler abzweigen, nur 2 ‰ (von der

Zillertal-Mündung bis hinauf zur Pitztal-Mündung ansteigend, danach wieder ebenso geringfügig absteigend).

Diese schwachen, aber gesetzmäßigen und daher ökologisch wichtigen Abweichungen von der Waagrechten bleiben unserem Auge im Gelände gänzlich unbemerkbar. Um sie (und viele weitere ähnlich verlaufende Linienzüge an Gebirgsabhängen) gut sichtbar und vergleichbar darzustellen, wurde es notwendig, unsere Talaufrisse in sehr großer Überhöhung zu konstruieren. Zur sicheren Erfassung von Ähnlichkeiten und Verschiedenheiten in solchem quasihorizontalem Verlaufe bedurfte es für die 6 Seitentäler einer 20-fachen Überhöhung. Für die genannte Inntalstrecke wäre sogar eine 50-fache erforderlich, wogegen für die hintergründigen Talabschnitte, so auch für das vom Ötztalzug abzweigende Gurgltal, in dem unsere Beobachtungsstation liegt, schon eine 5-fache hinreicht.

Die Folge der ähnlich kleinen Schrägheit beider Klassen von Grenzlinien ist vor allem die, daß sie sich umso höher in den untereinander ebenfalls ähnlich ausgeformten Längsprofilen der 6 Quertäler empor- und umso weiter in sie hineinerstrecken, je länger diese sind und je weiter sie mit ihrer Richtung gegen das Alpeninnerste vorstoßen. Diese Beziehungen zeigt die zusammenfassende, schematische Abb. 3. Aus dem gleichen Grunde schwanken die Teilstrecken, in denen Baum und Wald gedeihen können, nur zwischen 71 und 88 % (ungefähr  $4/5$ ) der Vollstrecke jedes Gesamttales.

Wo das Gebirgssystem der Alpen seine größte Breite hat, stößt das längste unserer 6 Täler, das Ötztal, am weitesten gegen das Alpenzentrum vor. Hier erreichen Baum- und Waldgrenze daher die größte Meereshöhe und die größte Taltiefe. Der benachbarte Talzug Sellrein-Lisens (IV) ist der kürzeste, der auch den Zentralalpenkamm nicht erreicht. Er fällt mit seinen Werten, wie Abb. 3 zeigt, aus der ganzen Reihe der 5 übrigen Täler völlig heraus.

Baum- und Waldgrenze behalten aber, wie schon gesagt, dieselbe geringe Schiefe nicht bis ganz an den Talhintergrund heran. Sie erreichen vielmehr eine kurze Strecke, nämlich durchschnittlich  $4\frac{1}{2}$  km vor ihrem tatsächlichen Ende ihr Höhenmaximum. Hierauf schlagen sie einen Haken nach unten und verlaufen auf der genannten kurzen Strecke steil abwärts. In dieser Weise finden die Waldgrenzen etwa  $1\frac{1}{2}$  km vor den Baumgrenzen, durchschnittlich 85 m tiefer als am Talbeginn und weit früher ihr Ende, als es bei geradliniger Fortsetzung der Fall wäre.

Auch der Höhenabstand zwischen klimatischer Baum- und Waldgrenze, also die lotrechte Breite der subalpinen Kampfzone des Baumwuchses ergibt sich im dargestellten Aufnahmeverfahren und gemittelt aus rechter und linker Talseite in ziemlich gleichartiger Gesetzmäßigkeit: Am Talanfang variieren die Kampfzonen wenig um ungefähr 100 m Breite. Beim Baum- und Waldgrenz-Gipfel im Talinnern werden infolge von etwas steilerem Anstieg der Baumgrenze, durch-

schnittlich ca. 145 m (nach ihrem längsten Anstieg im langen Ötztal ca. 180 m) Breite erreicht, um dann schnell wieder auf ca. 100 m im Talhintergrund abzusinken.

In sachgerecht schematisch konstruierten Talgrundrissen können wir auch statistisch ausgeglichene waagrechte Breiten der Kampfzone erfassen und darstellen. In einem Tal, das wie das Ötztal zwischen annähernd parallel verlaufenden, talaus aber abfallenden Bergkämmen liegt, müssen die Höhen-Schichtlinien hinauswärts im großen und ganzen räumlich immer mehr auseinanderweichen. Auch Baum- und Waldgrenzen, da sie nur wenig von der Horizontalen abweichen, divergieren von innen nach außen. Diese trompetenförmige Verbreiterung des klimatischen Waldlandes ersieht man an dem schematischen Grundriß des Ötztals (Abb. 4 a). Noch deutlicher zeigt es sich nach konstruktiver Begradigung und maßstäblicher Verbreiterung des Tales (Abb. 4 b). Es verdeutlicht sich dabei weiterhin, daß die klimatische Kampfzone besonders in waagrechtter Breite im Vergleich zum anliegenden klimatischen Waldland und Freiland nur einen schmalen Übergangsstreifen darstellt, der wahrscheinlich noch umso schmaler würde, je konstanter die klimatischen Verhältnisse über lange Zeiträume bleiben würden. Im vollen Gleichgewicht mit der Umwelt tendieren biotische Erscheinungen eben öfter als abiotische zur Ausbildung scharfer Schwellen.

Im Gegensatz zur bisher besprochenen potentiellen verläuft die aktuelle Waldgrenze und die zwischen beiden liegende subalpine Waldschwindzone sehr unregelmäßig. Wenn man den Verlauf dieses gegenwärtigen Waldoherrandes schrittweise statistisch ausgleicht, so zeigt sich, daß darin nichts vom natürlichen Talein-Anstieg enthalten ist, daß man schließlich bei weiterem graphischen Ausgleich zu einer Waagrechten kommt. Das bedeutet zugleich, daß die künstliche Entwaldung vom Talanfang gegen den Talhintergrund zunimmt. Das zeigt sich am deutlichsten im graphisch gemittelten Aufriß eines Durchschnittstales der 6 untersuchten Täler (Abb. 5). Die Herabdrückung des Waldes beträgt an seiner Obergrenze im Mittel 120 Höhenmeter am Talanfang, 280 im Endabschnitt. Sie ist im Ganzen am größten im Pitztal und erreicht ein lokales Maximum (statistisch ausgeglichener Entwaldungszone) im Stubai mit ungefähr 400 m. Dazu ist zu bedenken, daß der Waldgürtel nicht nur von oben, sondern auch vom Talboden her angenagt wird. Der Waldverlust ist bekanntlich an den Sonnseiten der Täler größer als an den Schattseiten, weil er dort nicht nur von der höher gelegenen Waldgrenze beginnt, sondern auch weit tiefer hinunter reicht. Eine Umkonstruktion in die horizontale Kartenfläche (nebst Unterteilung in nützliche Rodungs- und schädliche Schwendungsflächen) bleibt einer späteren Abhandlung vorbehalten.

Eine weitere Frage, die mit dem bisher herangezogenen Datenstoff noch nicht genügend sicher beantwortet werden kann, ist die nach



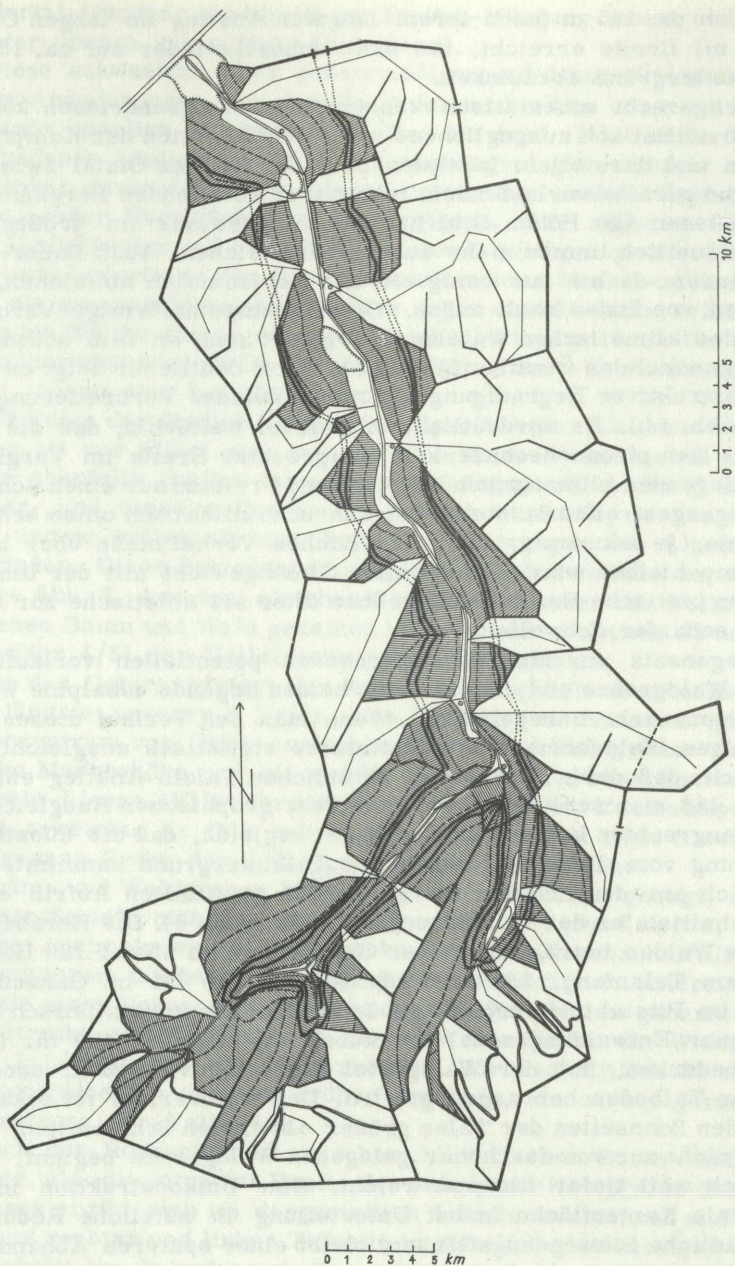


Abb. 4a

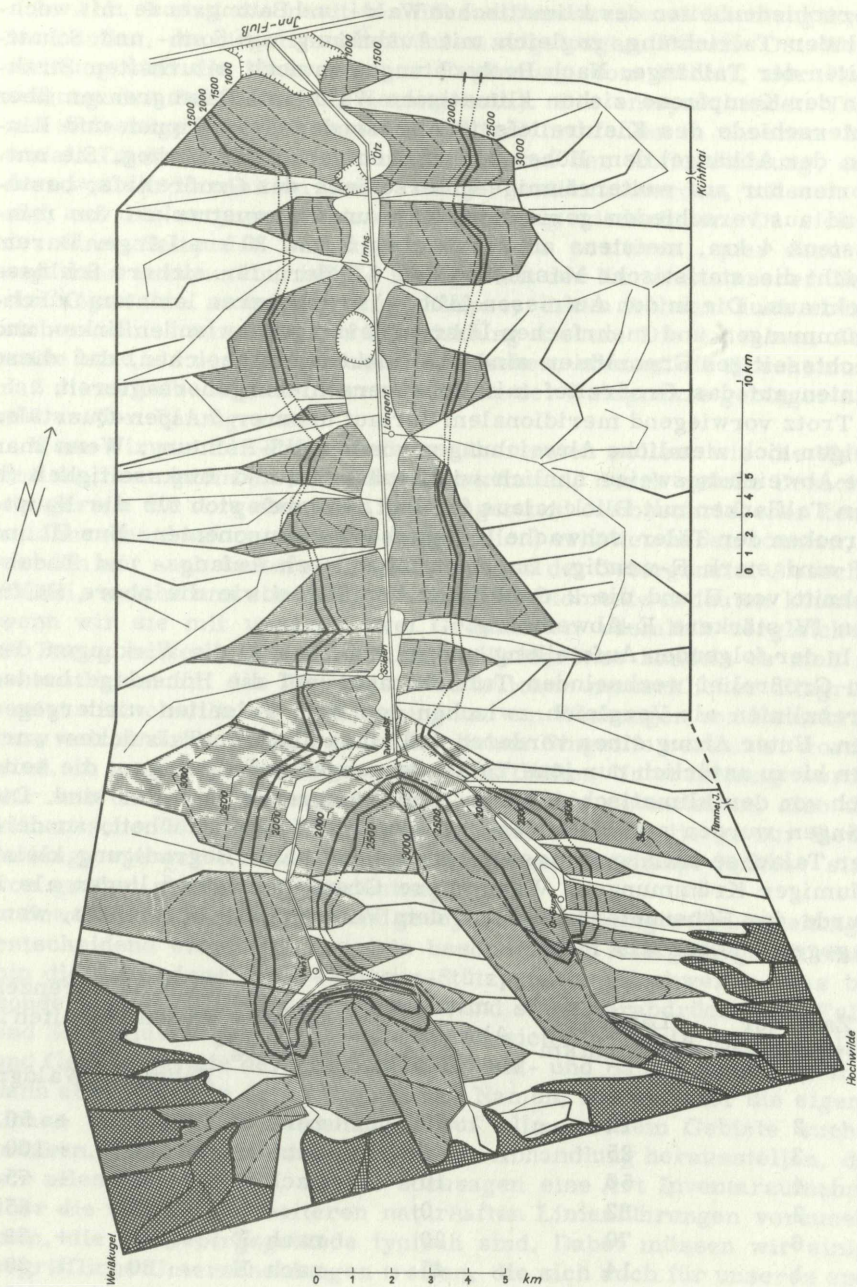


Abb. 4b

Verschiedenheiten der klimatischen Wald- und Baumgrenze mit wechselnder Talrichtung, zugleich mit Ausbildung von Sonn- und Schattseiten der Talhänge. Nach Beobachtungen an noch naturhaften Strecken der Kampfzone ziehen klimatische Wald- und Baumgrenzen über Unterschiede des Kleinreliefs (d.h. besonders von Rippen und Rinnen der Abhänge) dem Höhenverlauf nach geradlinig hinweg. Sie antworten nur auf weiterräumige Unterschiede des Großreliefs, bestehend aus verschiedenen gerichteten Tal- und Kammstrecken von mindestens 4 km, meistens aber zwischen 5 und 30 km Länge. Darum reicht die statistische Masse aus den 6 Tälern für sichere Schlüsse nicht aus. Die in den Aufrissen (Abb. 2) erkennbaren leichten Durchkrümmungen und mehrfachen Überschneidungen zwischen links- und rechtsseitigen Grenzlinien sind aber deutliche Anzeichen, daß diese Linien auf das Großrelief mit Höhenverschiebungen reagieren.

Trotz vorwiegend meridionalen Verlauf unserer 6 Alpen-Quertäler zeigen sich ziemliche Abweichungen von der NS-Richtung. Wenn man die Abweichungsweise ähnlich wie Rechts- (r) und Linksseitigkeit (l) der Talflanken mit Blick talaus festlegt, ergeben sich für die Hauptstrecken der Täler schwache bis starke W-Komponenten. Nur III und IV sind stark E-wendig. Daneben haben noch Anfangs- und Endabschnitt von II und die 2 Gabeltäler von III, sowie die obere Hälfte von IV stärkere E-Abweichung.

In der folgenden Aufstellung und in Abb. 8 sind die Wirkungen der im Großrelief wechselnden Talrichtungen auf die Höhenlage beider Grenzlinien als Vergleich zwischen den zwei Talseiten wiedergegeben. Unter Abzug eines vorderen und eines hinteren Talstückes wurden hiezu natürlich nur jene Talausdehnungen herangezogen, die seitlich von der klimatischen Baum- und Waldgrenze begleitet sind. Die Längen wurden auf breiteren Talböden nicht dem Flußbett, sondern der Talachse entlang gemessen, auch sonst unter Begradigung kleinräumiger Krümmungen. Wenn diese Grenzen r höher liegen als l, wurde der Höhenunterschied mit dem Vorzeichen + bezeichnet, wenn dagegen l höher als r mit

Zahl der Teilstrecken	Längen- summe in km	mittlere Abweichung von NS in Grad	Wende- richtung	Höhendifferenzen an den Talseiten in m	
				Baumgr.	Waldgr.
2	12	70	nach W	+ 100	+ 50
3	25	45	nach W	+ 120	+ 100
4	50	10	nach W	+ 85	+ 75
2	32	0	--	20	65
6	70	20	nach E	+ 20	+ 38
1	14	45	nach E	30	30
3	17	80	nach E	90	40



In Abb. 6 sind die positiven Höhendifferenzen vom Richtungskreis nach außen, die negativen nach innen aufgetragen (Für die Ost-West-Richtung sind die Meßwerte zur Ergänzung vom Kühtai, der Fortsetzung des Sellraintales, herangeholt.). Die entsprechenden Täler mit südseitigem Abfluß liegen in Südtirol und fehlen in unserem Material. Da die Größen sicherlich nicht von der Abflußrichtung, sondern von der Exposition der Talhänge bestimmt werden, müssen sie sich auf der entgegengesetzten Talrichtung wiederholen. Da sich an der einen Seite des Richtungskreises die positiven, quer dazu die negativen ansammeln, ist die Idealgestalt der Kurve in unserer Darstellungsweise sicherlich eine Ellipse, deren Achsen auch ebenso sicher schief zur EW- und NS-Richtung stehen. Die einzelnen Ausmaße sind als noch ungesichert anzusehen, ebenso die Erscheinung, daß die reliefbedingten Unterschiede an der Waldgrenze geringer sind als an der Baumgrenze.

Wenn wir nun der Fragestellung nähertreten wollen, wie die Wald- und die Baumgrenze entstanden sein könnten, durch welche Ursachen sie gerade die vorgefundenen Höhenlagen und die beschriebenen kennzeichnenden Ausformungen (Konfiguration) erhalten haben könnten, so werden wir nach weiteren Linienführungen der Gebirgsnatur Ausschau halten, welche uns allenfalls ursächliche Momente andeuten könnten, wenn wir sie mit unseren zwei Grenzlinien räumlich vergleichend in Bezug setzen. Bei der aktuellen Waldgrenze handelt es sich im wesentlichen um das Ergebnis willkürlicher menschlicher Eingriffe meist wirtschaftlicher Motivierung und um Wirkungen von Naturkräften, welche durch ebendiese willkürlichen Eingriffe verändert worden sind. In unserer rein naturwissenschaftlichen Untersuchung werden wir uns daher auf Kausalität und Genese der potentiellen, also der klimatischen Wald- und Baumgrenze beschränken, die ja zur Beurteilung, wie weit hinauf Wiederaufforstungen überhaupt denkbar sind, von großer praktischer Bedeutung sind.

Soweit nicht orographisch und geodynamisch bedingte Grenzziehungen entscheidend eingreifen, wie sie besonders im Kalkgebirge oft weithin die Auffindung von Waldgrenz-Stützpunkten erschweren, was besonders in Gestalt von ausgedehnten und stark herabdrückenden Fels- und Schuttfuren geschieht, handelt es sich hier stets um Kausalität und Genese gerade der klimatischen Wald- und Baumgrenze. Es liegt dann aber schon in deren Begriff und Namen, daß wir hier die eigentlichen ursächlichen Beziehungen auf klimatischem Gebiete suchen müssen. Trotzdem wird sich in dieser Abhandlung herausstellen, daß wir allen Grund haben, zuerst sozusagen eine Art Inventaraufnahme über die vielfältigen weiteren naturhaften Linienführungen vorzunehmen, die im Gebirgsgelände typisch sind. Dabei müssen wir einige begriffliche Unterscheidungen treffen, die sich auch für unseren speziellen Zweck bedeutsam erweisen werden.

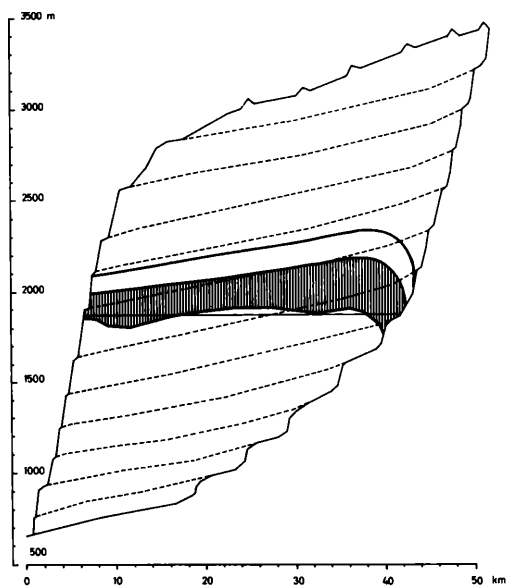


Abb. 5

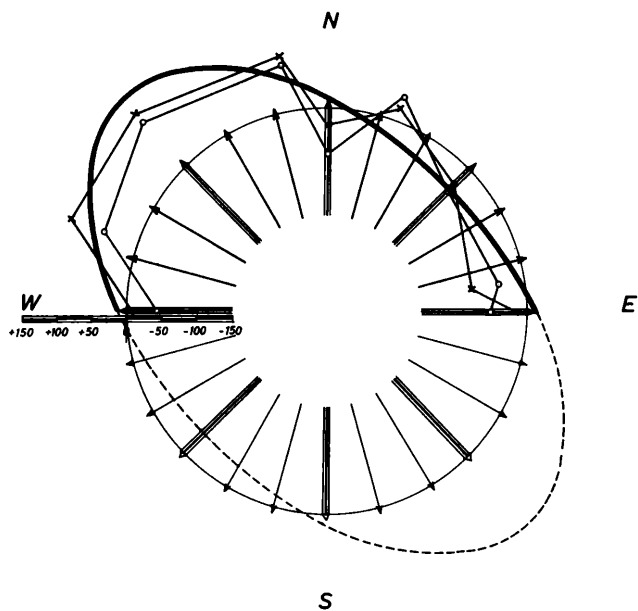


Abb. 6

## II. WEITERE AUF DIE WALDGRENZE BEZIEHBARE LINIENSYSTEME DER UMGEBENDEN GEBIRGSABHÄNGE

### 1. GEOMORPHOLOGISCHE GELÄNDELINIEN

Wenn wir von den tiefreichenden Beziehungen zwischen klimatischer Wald- und entsprechender Baumgrenze zu den klimatischen Eigenheiten des Berg-Geländes abzuhandeln haben, dann ist es unumgänglich uns auch mit dem Gebirgsrelief zu beschäftigen, ja dies noch systematischer anzugehen, als es sonst in diesem Thema-Bereiche üblich ist. Außer der Art der Bodenoberfläche beeinflusst bekanntlich das Relief das Klima der oberflächennahen Luft- und Bodenschicht. In Hochlagen wird es sogar fast gänzlich von ihm bestimmt und dieses Kleinklima wiederum ist fast schon dasselbe wie Bioklima.

Wir dürfen bei unseren Reliefstudien allerdings jene Zusammenhänge beiseite lassen, welche auf lithologische Sonderungen zurückgehen, welche also auf Schichtung, Bankung und Klüftung der Gesteinsmassen (auf deren biegender und brechender Tektonik jeder Größenordnung) beruhen. Denn solche Aufbaueigenheiten verhalten sich in Hochgebirgen richtungsunabhängig in Bezug auf den Verlauf der Waldgrenze. Um vorhandene Kausalbeziehungen aufzufinden, wollen wir zunächst vor allem solche orographische Züge registrieren, die sich grundsätzlich in ähnlicher Weise wie die Waldgrenze ausrichten, die also ihrem Wesen nach vorzüglich den Talhängen entlang laufen (zusätzlich auch solche, die sich senkrecht dazu einstellen). Es zeigt sich, daß wir damit Linienzüge des Geländes herausgreifen, die statt mit der Gesteinsart und ihrem Aufbau mit eiszeitlichen, sowie vor- und nacheiszeitlichen Erosionsvorgängen zusammenhängen.

Abwandlungen zweier Winkelabmessungen, nämlich Neigung (Inklination) und Richtung (Exposition) konstituieren in ihrem Zusammenspiel das Relief der Erdoberfläche. Für die hier durchzuführende Besprechung müssen wir uns außerdem auf einige besondere Bezeichnungen einigen. Geodätisch und kartographisch wird das Relief bekanntlich durch die Ausformungen (die Konfiguration) der Höhen-Schichtlinien (Isohypsen) zur Darstellung gebracht (Senkrecht dazu verlaufen die meist nach oben oder untenhin verzweigten Falllinien, die zur Darstellung aber nicht benötigt werden).

Man kann das Relief für bestimmte Zwecke aber auch als Polyeder auffassen und so die Ausformung der Landoberfläche ebenfalls in beliebiger Annäherung an die Wirklichkeit in Teilflächen bestimmter

Richtung und Neigung zerlegen, wobei die Winkel (wie bei den Schichtlinien die Höhen) angeschrieben werden. Diese zweite Art der Wiedergabe geschieht mittels eines Netzes von Grenzlinien, den Relieflinien. Solche fortschreitende Zerlegung der Gebirgsoberfläche in Teilflächen immer geringerer Unebenheit wollen wir Relief-Fazettierung nennen.

Bei Relieflinien, die zur Geländegliederung herangezogen werden, handelt es sich entweder um (vorspringende) Kantlinien oder um (einspringende) Kerblinien. Sie spielen entweder die Rolle von Höhen- bzw. Tiefenlinien des Landes oder sie laufen zwischen beiden den Hang entlang, wo sie dann als Stufenlinien Höhenzonen von Verebnungen und Versteilungen gegeneinander begrenzen.

Mehrere Relieflinien können mehrere Relieffazetten in geeigneter Weise zu dreidimensionalen Teilstücken ("Relieftorsetten") zusammenfassen. Je nachdem, ob dies durch Kant- oder durch Kerblinien geschieht, ergeben sich hiebei umgekehrt (einspringende) Hohl- oder Konkav- bzw. (vorspringende) Wölb- oder Konvexformen. Von solchen Relief-Teilbildungen fast grenzenloser Vieltalgartigkeit kann man zunächst immerhin verschiedene Größenordnungen unterscheiden, die sich in den Einzelfällen superponieren.

So mag hier ein Größtrelief der Erde (nämlich ganze Gebirgssysteme oder große Teilabschnitte davon) zerlegt gedacht werden in ein Großrelief (etwa der einzelnen Gebirgstäler und -ketten bis zu ausgedehnteren Unterteilungen davon), weiter in ein Mittelrelief (von kleineren Gräben und Rücken o.ä.) sowie in ein Kleinrelief (von einzelnen Rippen und Rinnen auf Versteilungen und von Kuppen und Mulden auf Verebnungen) und zuletzt in ein Kleinstrelief (etwa von schwachen Kluftgassen oder von Formen der Stiny'schen Bergquaderung, von Bodenfließwellen, Viehsteigen u.a.). Es wäre aber derzeit kaum schon sinnvoll, irgendwelche Grenzabmessungen zwischen den angeführten Ausmaß-Klassen festlegen zu wollen.

Als Fazetten des Großreliefs sind die vollen Talflanken unserer 6 Quertäler zu betrachten, deren Umrisse (Abb. 2) in der Horizontalprojektion alle mehr oder weniger deutlich als Vierecke erscheinen. Eine eigenartig regelmäßige Rhombenform kommt heraus, wenn man diese Talumrisse graphisch mittelt (Abb. 5). Ebenfalls noch grob gefaßte Fazetten wohl des Mittelreliefs sind jene Teilhänge des Ötztals im Grundriß der Abb. 4, welche gegen die Hauptachse des Tales abfallen und wegen der zwischengeschalteten kleineren Seitentäler meist dreieckige Gestalt aufweisen.

In das engere Verhältnis zwischen Reliefumständen und Baumvegetation haben wir bereits bei der ersten Auswertung unserer Aufrißserie hineingeleuchtet. Wie Abb. 6 zusammenfaßt, ergab sich, daß Änderungen der Talrichtung, im Format des Großreliefs (und teil-

weise wohl auch noch des Mittelreliefs) die Höhenlage der Kampfzone stark beeinflusst, eigenartigerweise aber nicht auch solche des Kleinreliefs, sodaß der kennzeichnend einfache Linienzug unserer beiden Grenzlinien zustande kommt.

Vertieft wird diese Erkenntnis, wenn wir Reliefeinheiten untersuchen, die mit ihren Bauelementen meist schon ins Bereich des Kleinreliefs hineingehören: Es ist die bekannte Tatsache, daß Gebirgsabhänge in nicht allzu engen Alpentälern von den Kämmen gegen die Tiefen weder gleichmäßig, noch einfach unregelmäßig abzufallen pflegen, sondern einen mehr oder weniger deutlichen, regelhaften Wechsel von Verteilungen ("Leiten") und Verebnungen ("Lenken") aufzuweisen haben.

In unserer reliefmorphologischen Betrachtung brauchen wir keinen Unterschied zu machen zwischen solchen Reliefeinheiten, die aus Lockermassen und solchen, die aus gewachsenem Fels bestehen. Besonders gut ausgeprägt sind große und kleine Schulterbildungen dort, wo kein allzu mächtiger Schuttmantel die Talflanken überkleidet. Sie reichen von schmalen Schotterböschungen und -terrassen am Talboden bis zu den weiten Sanftflächen und Steilstufen der höchsten Gletscherfluren. Solche Treppenaufbauten gibt es in beachtlichen Größen. Man denke etwa an die Inntalterrassen einerseits und an das Gepatsch-Firnfeld andererseits. Meist gehören sie freilich in die Klasse des Kleinreliefs.

Als Beispiel dafür, in welcher Vielzahl sie auftreten können, sei ein Ausschnitt aus einer Schichtlinienkarte des Alpenvereinsblattes "Kaunergrat-Geigenkamm" (1:25.000) gezeigt (Abb. 7), das sich quer über Ötz-, Pitz- und Kaunertal erstreckt und in dem ich mich bemüht habe, möglichst sämtliche Verebnungsflächen auszugrenzen. In dieser Karte liegen z. B. zwischen Öztaler und Kaunertaler Ache 2040 Verebnungen d. i. je Talseiten-Kilometer 27, darin je 100 Höhenmeter 1.7 Verebnungen, im Ganzen je km<sup>2</sup> 6.2. Unter der rohen Schätzung, daß 1/5 des Areals verebnet sei, hätte eine Verebnung durchschnittlich 3.2 ha Fläche. Ihre ökologische Wirksamkeit deutet sich dadurch an, daß sie, wenn begrünt, stets eine andere Feldvegetation, wenn bewaldet, einen anderen Waldtyp aufweisen als ihre Umgebung. Ihre landschaftliche Bedeutsamkeit zeigt sich darin, daß sie alle, soweit sie nicht vergletschert sind, auch weit abseits der Siedlungen ihre eigene Flurbezeichnung haben, wenn nicht allgemein bekannte, so doch einheimischen Bauern oder Äplern und Jägern oder Holzern vertraute.

Beispiele aus dem weiteren Bereich um das Ötztal:

a) sehr alte, nicht mehr verständliche Namen

Guslâr, Söfnâr, Samoâr, Kleblâr, Ramol, Gepatsch, Marzell, Falkaun, Faspun, Stablein



Abb. 7

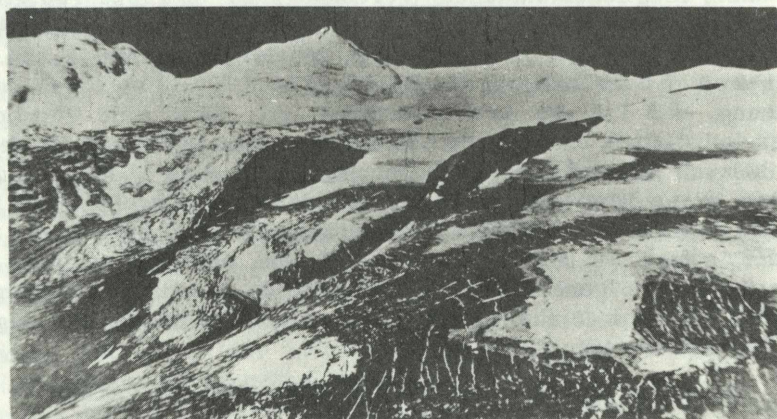


Abb. 14

- b) weniger alte  
Plattei, Mutmal, Plötzach, Putzach, Zierach,  
Tiem-, Gurgl-, Schalf-Sohm,  
Wild-, Rams-, Wind-, Zött-Oppen,
- c) jüngere Bezeichnungen  
Rappen-, Retten-, Wannen-Eben,  
Sebles-, Sömls-, Würmls-Boden,  
Mutt-, Pleiß-, Itl-Scheiben,
- d) wohl jüngste  
Kar-, Brems-, Gras-, Gams-, Sommer-Stall,  
Schaf-, Roß-, Sonn-, Nacht-, Rofen-Berg u. s. w.

Verebnungen ziehen sich manchmal weithin der Talachse entlang. Oft aber sind sie nur kurze Achselbildungen, setzen sich dann aber wieder nach längerer oder kürzerer Unterbrechung in Form von Reihungen, die das ganze Tal durchziehen können, fort. Auf der Gegenseite des Tales finden sie gewöhnlich ihre Entsprechung, sodaß beide in einer Talbodenstufe des Talhintergrunds zusammenlaufen. Sie sind ebenfalls quasihorizontal und schlagen ebenso hinten einen Haken, allerdings nach oben, weil die dortige Stufe etwas steiler ist, als die quasihorizontale Relieflinie. Meist haben diese Hangschultern die Eigenschaft, daß die talseitige Achselkante schärfer ausgebildet ist als die bergseitige Kehllinie. Die steilste Zone der Brüstung wird oft durch lange Felsstreifen betont oder durch lang hinlaufende Wändchenreihen. Erklärbar sind alle diese Regelercheinungen natürlich nicht anders, als dadurch, daß hier die nagende Kraft der Erosion einst irgendwie in diskontinuierlichen Zonen und Epochen an den Abhängen genagt haben muß.

Es war natürlich die Frage zu prüfen, ob diese quasihorizontalen Gefällszonen auf den Verlauf der Wald- und Baumgrenze irgend einen formbestimmenden Einfluß ausgeübt haben, wie es die sicher vorhandenen kleinklimatischen Wirkungen dieser Reliefformen nahelegen könnten. Dazu mußten sie genau aufgenommen werden und zwar verständlicherweise gerade in unseren ungewöhnlichen Aufriß-Überhöhungen. Die kennzeichnendsten Punkte an den talseitigen Hüften aller Verebnungen wurden (unter sorgfältigem Ausgleich an den übertieften, hängenden Seitentälchen) nach ihrer Hanglage aufgenommen und in das Koordinatensystem der Talflanke eingetragen.

Die starke Überhöhung machte eine überraschende Erscheinung sichtbar: Die Verebnungspunkte lassen sich auf zweierlei Weise so zusammenreihen, daß sie am dichtesten aufeinander folgen. Für einen Ausschnitt aus der Karte Abb. 7 und zwar getrennt für beide Talseiten vom Hauptstück des Pitztals ist das Ergebnis in den Aufrißen Abb. 8 dargestellt. Es zeigen sich deutlich Punktanordnungen in Gestalt von verhältnismäßig schmalen Streuungszonen, die aus den Achselpunkten der Verebnungsreihen zusammengesetzt sind. Die Mittellinien der Punktzonen stellen also die gesuchten Reliefkantlinien dar.



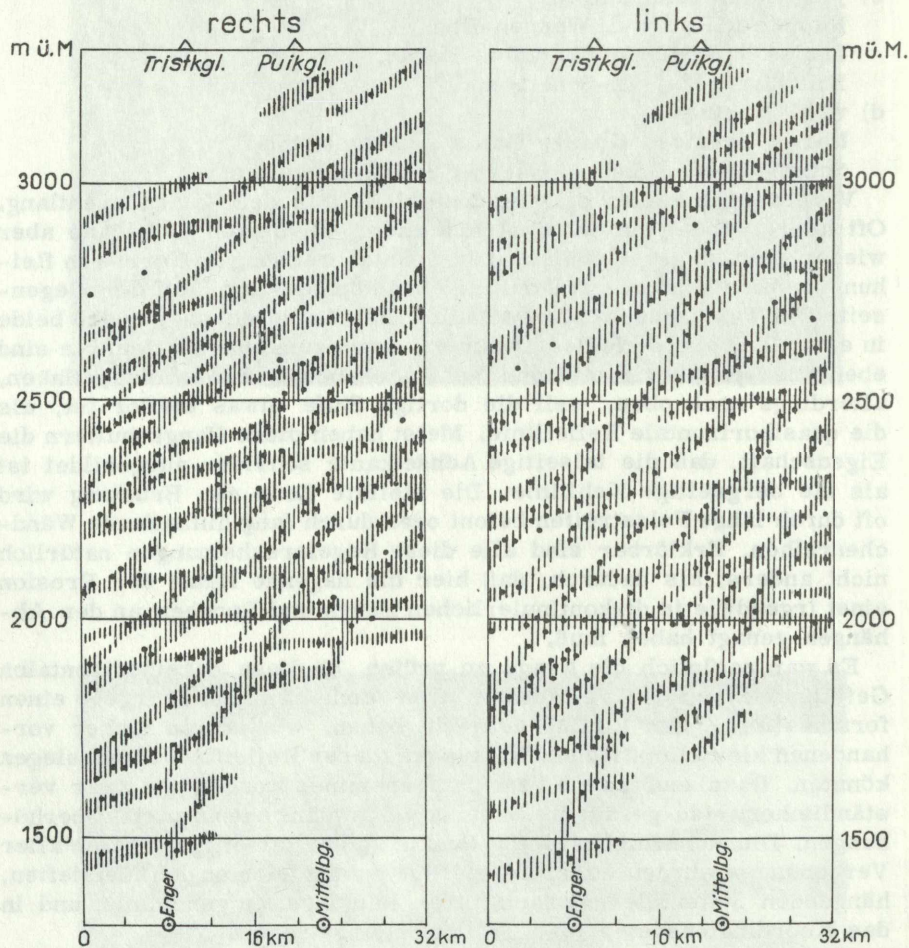


Abb. 8



Die beiden unterschiedlichen Liniensysteme, die sich überschneiden, und ihre weitgehende Entsprechung rechts und links der Pitztaler Ache sind deutlich ausgeprägt. Je eine Linie des ersten Systems scheint zusammen mit je einer der zweiten Schar von ein und derselben Hintergrundstufe auszugehen, die eine Art flacher und gerader, die andere im Ganzen steiler und gekrümmter verlaufend. Was mögen diese Unterschiede bedeuten?

1) Die flachere Schar von Stufenlinien entspricht wohl allein dem, was man als Relikt ehemaliger Talböden auffaßt, die noch an den Gebirgsabhängen ihre Spuren hinterlassen haben und sich an diesen zu mehreren übereinander abzeichnen. Jede der entsprechend vielen diskontinuierlichen Hebungsphasen der Alpenmasse war eben von je einer getrennten diskontinuierlichen Erosionsphase gefolgt. Der stoßweise ablaufende Prozeß hat sich (abgesehen von Geschiebestufen nahe dem Talboden) bekanntlich schon im Tertiär abgespielt. Eiszeitliche Gletscher haben diese Hangstufen (in verschiedenem Grade und in unbekanntem Ausmaße) überformt, aber nicht verursacht. Die hierhergehörigen Bildungen wollen wir in dieser Abhandlung einfach als die präglazialen bezeichnen. Auch Karstockwerke, Kammplateaus und Gipfelfluren gehören in diese Kategorie.

2) Die Stufenlinien der steileren, gekrümmten Art erinnern in ihrer Aufrißform sogleich an Gletscherstromlinien. Diese Klasse von Reliefserscheinungen muß es wohl vor allen anderen sein, welche uns die Erosionsarbeit von Gletscherströmen vorführt. Sie kann also im Gegensatz zur Klasse 1 in den Alpen nur im vergletschert gewesenen Teil vorkommen. Aber schon das fast gleichläufige Übereinander dieser Verebnungszonen macht es unmöglich, sie für alte Eisrandlinien von früheren Gletscherständen zu halten. Der Erosionsdruck des strömenden Eises muß ja mit der Tiefe unter der Gletscheroberfläche zunehmen und umgekehrt an der Oberfläche selbst (ausgenommen vielleicht an besonderen Widerständen) ganz oder nahezu null werden. Daß der Eissaum der Gletscherufer nicht mehr erodierend tätig ist, zeigt sich schon daran, daß er meist nur mittels abgeschertem Toteis oder aber überhaupt nicht (infolge der meist vorhandenen Randkluft) am Ufer anliegt. Die für unsere Stufenlinien vorauszusetzende Diskontinuität der Erosion kann in dem plastischen Gletscherstrom wohl nur durch mehr oder weniger stromlinienparallele Scherungsflächen zustande gekommen sein. Es dürfte sich fast durchwegs um hocheiszeitliche Erosionsergebnisse handeln. Wir wollen diese Klasse von Verebnungs-Versteilungs-Stufen im Gegensatz zu den präglazialen als infraglaziäre benennen.

3) Da hiernach die zwei bisher angeführten Linienklassen des Gebirgsreliefs nicht, wie vielfach angenommen, ehemalige Gletscherländer nachziehen, müssen wir als dritte Gruppe hier doch noch eigens jene Geländelinien anfügen, welche tatsächlich Uferlinien bisheriger Gletscherstände entsprechen. Es wäre aber falsch, von vorn-

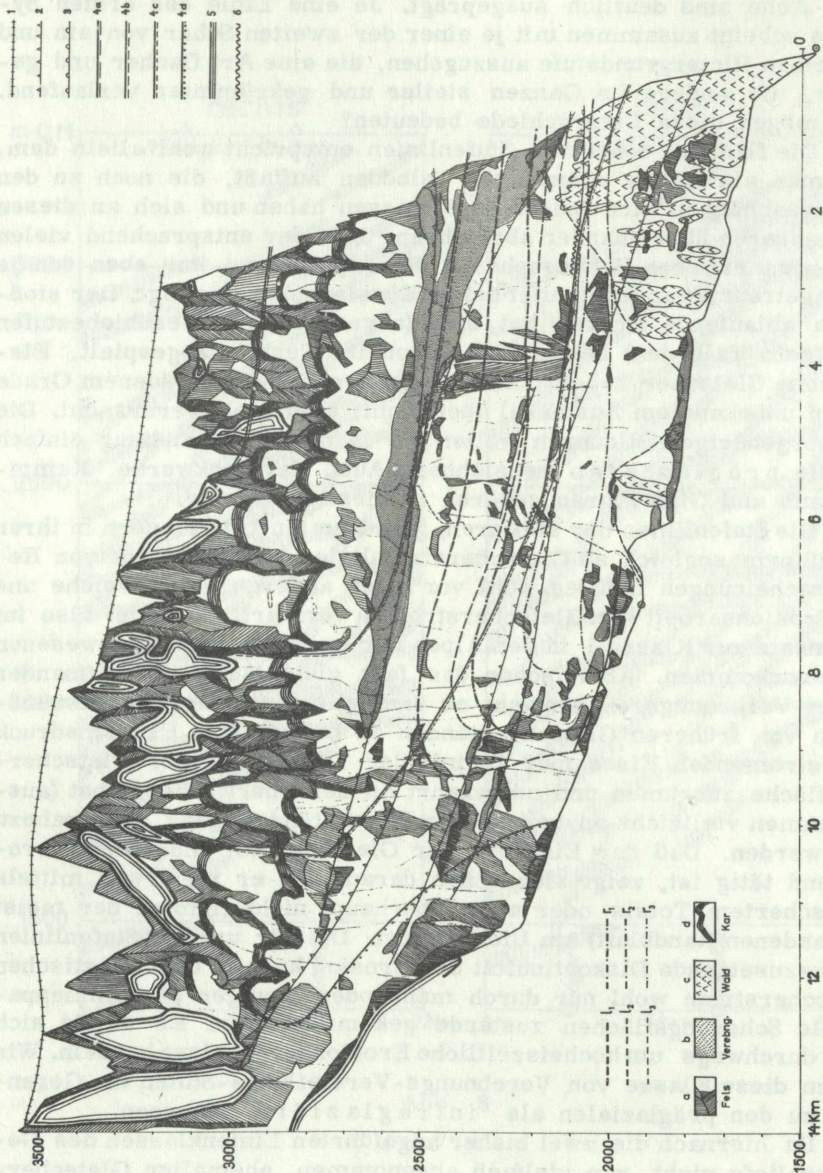


Abb. 9

herein anzunehmen, daß hier wirkliche reliefmäßige Randausformungen wenigstens durch Aufschüttung bestehen oder bestanden haben müssen. Ufermoränen, Eisrandterrassen u.ä. bilden und erhalten sich nur unter besonderen Bedingungen. An sich sind ehemalige Gletscherstände nicht einfach als Relieflinien, sondern bloß als noch merkbare oder längst verwischte Grenzlinien des Gesteinsverwitterungsgrades, der Bodenreife und Vegetationsausbildung vorhanden. Sie seien hier als zirkumglaziäre Liniensysteme von den beiden anderen unterschieden, wobei in der Gebirgsnatur normalerweise alle drei gegeneinander schief stehen müssen.

In dem 32 km breiten, das Pitztal querenden Probestreifen, welcher in Abb. 8 überhöht aufrißmäßig wiedergegeben ist, ergibt eine Auszählung der durch Punkte dargestellten Hangschultern folgende Anzahlen:

	präglazial	infraglaziär
rechte Talseite	105 + 95	125 + 95
linke Talseite	85 + 85	145 + 85

(Die beigegegebene zweite Zahl der vier Häufigkeitsangaben gibt die in Überschneidungen von Punktzonen hineinfallende, also beiderlei Verebnungsscharen gemeinsame Punktmenge.) In dem engeren Testbereich dieser Abb. 8 ordnen sich die Verebnungsreihen rechts wie links und sowohl präglazial als auch infraglaziär in je 13 Stockwerke, welche etwa zur einen Hälfte die ganze Bildfläche, sie aber zur anderen Hälfte nur teilweise durchziehen. Wenn man nun die Summe der so verbleibenden Stockwerklängen durch die Punktzahl dividiert, ersieht man, daß die neu behaupteten infraglaziären Reihen sogar dichter besetzt sind, nämlich eine Sanftfläche auf 1.2 km haben, als die präglazialen, nämlich eine auf 2.0 km. Abb. 9 faßt die besprochenen Liniensysteme des Gurglertales, Abb. 10 die des Ötztales an Hand von besonderen Einzellinien zusammen.

Von den nunmehr behandelten Reliefeigenheiten sind in Abb. 2, 5, 9 und 10 verschiedene wesentlich erscheinende Landschaftszüge eingetragen. Kennzeichnend, doch auch verständlich ist, daß sich die Verebnungs-Versteilungs-Zonen der infraglaziären Klasse in unseren 6 verschiedenen Untersuchungstälern auf keinerlei Weise einleuchtend konnektieren lassen, wohl aber die der präglazialen Schar, wenigstens gruppenweise miteinander in Entsprechung gebracht werden dürften. Solche mit Wahrscheinlichkeit analysierte Bündel von Sanft- und Steilzonen sind in Abb. 2 abwechselnd punktiert und weiß gelassen und in Abb. 5 gemittelt worden.

Alle die Verebnungsflächen im alpinen Steilgefälle haben, wie ich aus meiner vegetationskartographischen Erfahrung behaupten darf (H. FRIEDEL 1956), ihre geobotanische Sonderbedeutung gegenüber den "Leiten" gleicher Höhenstufe. Damit kommen wir aber zu der hier höchst einschlägigen Frage: Hat die beschriebene Reliefzonierung

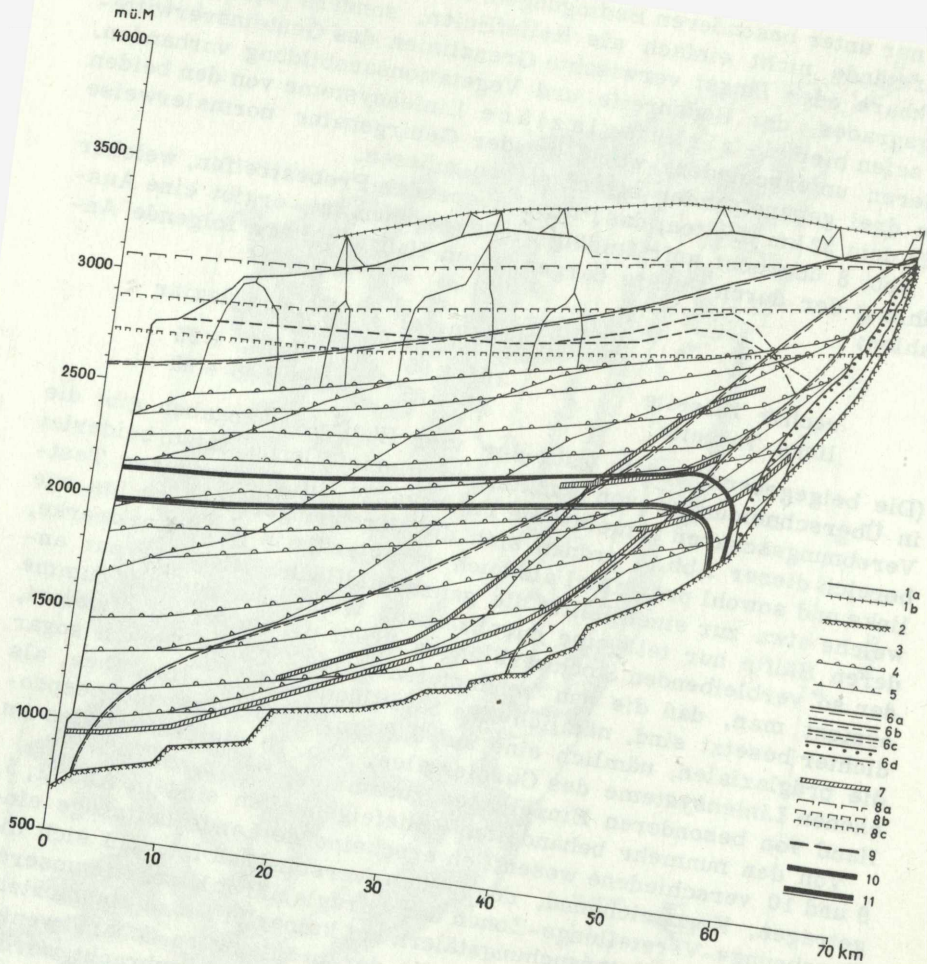


Abb. 10

auch auf die klimatische Waldkrone, soweit sie in deren Höhenlagen hineinreicht, auf ihren Verlauf oder ihre Meereshöhe irgendeinen bestimmenden Einfluß? Auch negative Ergebnisse haben ihr wissenschaftliches Gewicht. Nein, die subalpine Sanft-Steil-Abstufung gehört in dem uns interessierenden Höhenbereich - anders als in der Großalpniederung und z.T. auch in der Firnregion dem Klein-, höchstens grenzmäßig auch noch dem Mittelrelief an. Über diese Ausformungen aber ziehen klimatische Wald- und Baumgrenzen nicht-achtend hinweg.

Wo es großreliefhaft isolierte Bergkuppen gibt, die nach ihrer Höhe noch bewaldet sein müßten, findet man eine starke Depression der Waldbegrenzung, das sog. "Gipfelphänomen". Auf dem Großrelief unserer Karsthochflächen bedürften die klimatischen Begrenzungen noch intensiver Studien, doch betreffen diese Fragen ja nicht unseren zentralalpinen Bereich. Die aktuelle Waldgrenze freilich hält sich dagegen sehr wohl häufig große Strecken an die quasihorizontalen Kantlinien der Gebirgsabhänge, mehr als in den gegebenen stark zusammengezogenen Graphiken zum Ausdruck kommt. Aber es ist der Äpler, nicht irgendein klimatischer Wechsel, der die Abholzung öfters gerade bis an einen Steilabsturz vorangetrieben hat.

Das erhaltene negative Ergebnis findet seine Bestätigung in folgender Zusammenstellung der Gefällsstärken von Geländelinien unseres Gebietes, die alle noch (allenfalls ohne die letzte) als quasihorizontale bezeichnet werden dürfen. Sie sind aus den gegebenen Aufrißkonstruktionen entnommen oder gemittelt.

		Prozent	Grad
Klimatische Waldgrenze		0.7	0°27'
Klimatische Baumgrenze		0.9	0°31'
Klimatische Rasengrenze		0.6	0°23'
Klimatische Firngrenze		0.5	0°18'
Präglaziale Relieflinien		1.0	0°35'
Infraglaziale Relieflinien:			
Flachstrecke		1.0	0°35'
Steilstrecke		3.0	1°45'
Zirkumglaziale Geländelinien:			
Hauptstrecke			
etwa Spät-Würm, vor ungef.	16000 Jr.	1.2	0°45'
etwa Gschnitz-Zeit, vor ungef.	8000 Jr.	3.4	1°50'
etwa Daun-Zeit, vor ungef.	7000 Jr.	6.7	3°50'
Fernau-Stand, vor ungef.	300 Jr.	8.0	4°30'
Gegenwart		15.0	8°30'

Hinsichtlich ihres Gefälles stimmt nach hier angestellten Erhebungen kein anderer Linienzug der Geomorphologie mit unseren beiden Kampfzonenlinien überein. Alle schneiden vielmehr schräg gegen



sie ab, einschließlich der eigentlich nicht hieher gehörigen Firngrenze und Rasengrenze, welche letztere den verwandtesten Neigungswert aufweist, aber ihrer ganz verschiedenen Höhenlage wegen keine direkte Verursachung ausüben kann.

Wir können die gefundenen Reliefbeziehungen des klimatisch bedingten Wald-Grenzstreifens für unser Untersuchungsgebiet dahin zusammenfassen, daß dieser weder auf den Richtungs- noch auf den Neigungswandel des Kleinreliefs (z. T. auch noch nicht des Mittelreliefs) reagiert. Erst großräumigere Reliefausformungen können den Verlauf der Höhenlage der natürlichen Waldkrone nennenswert beeinflussen.

## 2. KLIMATOLOGISCHE ISOLINIEN

Zu den Isolinen der Höhenlage und den genannten Liniensystemen der Relieflage treten die Isolinen des Klimas. Wie im Gebirge jeder Standort zugleich in mehreren Größenordnungen der Reliefausbildung zu liegen kommt, so gehört er auch zugleich mehreren Größenordnungen von Klimaabstufungen an: Geozonen vom Pol bis zum Äquator, vom Ozean bis in die Kontinente hinein, Höhenzonen vom Meeresspiegel bis zu den höchsten Gipfeln und Kleinzonen z. B. vom Moor zur Heide oder von einer Wiese zum Wald. Der Kleinräumigkeit der letztgenannten entlang der Bodenoberfläche entspricht ihre Geringmächtigkeit über und unter derselben, weshalb man mit gutem Recht einfach von Kleinklima spricht.

Zwischen dem Relief aller Größenordnungen und der Art, wie sich entsprechende weit bis engzonierte Abwandlungen des Klimas anordnen, besteht bekanntlich ein enger Zusammenhang. Er zeigt sich z. B. an den regionalen Klimaunterschieden in Gebirgssystemen, wenn man von den klimatischen Höhenzonen abstrahiert. Am engsten ist der Zusammenhang zwischen Kleinrelief und Kleinklima der Gebirge. Während die oberflächennahen Klimaunterschiede im Flachlande hauptsächlich von der Verschiedenartigkeit der Landoberfläche selber bewirkt werden (Wasserhältigkeit, Rauigkeit, Albedo usw.) sind es in Hochlagen des Berglandes weit überwiegend die Geländeunterschiede des Klein- und Mittelreliefs, welche die kennzeichnende kleinzonale Verteilungsform (Konfiguration) der Klimafaktoren bewirken.

Von hier aus lassen sich daher auch die drei Arten von Klimazonierungen am besten zusammenschauen. Geozonale Klimagürtel können innerhalb von heranreichenden Gebirgszügen aus ihrer globalen Nebeneinander-Ordnung ausgelenkt werden und laufen von da an enger zusammengedrängt und als höhenzonale Abstufungen übereinandergeordnet den Gebirgsabhängen entlang. Dort wiederum können sie neuerdings ausgelenkt werden, nun nämlich aus ihrer etagenartigen Höhenstaffelung. Es geschieht diesmal durch das Kleinrelief

der Talflanken. Sie ziehen nun z. B. entlang deren Rinnen und Rippen noch enger zusammengedrängt als kleinzonale Abstufungen weit bergauf und bergab.

So erscheint etwa nach der ersten Umlenkung die polare und subpolare Geozone als nivale und subnivale Höhenzone, die arktische und subarktische als alpine und subalpine Stufe usw. Entsprechendes könnte man vielleicht auch einmal hinsichtlich der zweiten genannten Umlenkung konstatieren. Es ist aber wichtig festzuhalten, daß diese Entsprechungen eben doch nur einen Teil der klimatischen Eigenheiten betreffen. Gemäß den anderen Faktoren bleiben alle Höhenzonen etwa in den Tropen Varianten des Tropenklimas, in der borealen Zone Varianten des kühlgemäßigten Klimas usw. So bleiben auch die subalpinen Kleinzonen in gewissem Maße doch noch Varianten des Subalpinklimas, die alpinen Kleinzonen zugleich immer noch Abwandlungen des Hochalpenklimas, trotz ihrer großen Abweichungen und obwohl sie von tiefer unten heraufziehen oder von höher oben herabreichen.

Schon hier können wir logisch abgeleitete, aber noch recht allgemeine Erklärungen zu unserer Zonen-Dreiheit geben. Die klimatischen Geozonen haben ihren Grund bekanntlich einerseits in der verschiedenen mittleren Einfallswinkel der Sonnenstrahlen auf die kugelförmige Erde, andererseits in der physikalischen Gegensätzlichkeit von Wasser und Land. Die klimatischen Höhenzonen wiederum beruhen einerseits auf den sehr verschiedenen Eigenschaften der troposphärischen Luftschichten, in welche die Berge empor tauchen, andererseits in den Veränderungen, welche auf- und abwärts verfrachtete Luft erleidet. Nun, und die klimatischen Kleinzonen? Abgesehen von der Mitwirkung schon erwähnter Oberflächenbesonderheiten kann man festhalten, daß nur solche Einwirkungen auf Relief d. h. auf verschiedene Richtung und Neigung der Hänge unterschiedlich anzusprechen vermögen, die selber eine Richtung haben. Die klimatischen Kleinzonen des Hochgebirges beruhen m. a. W. darauf, daß in den betreffenden Klimafaktoren irgendwie immer die zwei vektoriellen Größen Strahlung oder Wind oder beide mitwirksam sind.

Wie sich die klimatischen Zonen verschmälern, wenn man die der ersten Art mit jener der zweiten und dritten vergleicht, ist eigentlich höchst erstaunlich: Einem über 1000 km breiten klimatischen Gürtel des Erdenrundes entspricht eine nur noch wenige hundert Höhenmeter ausmachende Gebirgsstufe und dieser wiederum eine oft nur noch wenige Meter breite Kleinzone (Freilich kann ein eingeschaltetes Hochplateau die Höhenzone, ein brettartig unreliefierter Abhang des Mittelreliefs die Kleinzone fallweise außerordentlich verbreitern.).

Wir haben gesehen, die klimatische Wald- und ebenso die Baumgrenze lassen sich zwar vom Großrelief und von der Zone ihrer Höhenlage bestimmen, nicht aber vom Kleinrelief und damit also auch

nicht von dessen Wirkung, dem Kleinklima. Damit scheint eine nähere Untersuchung des Kleinklimas für unser Thema irrelevant zu sein. Wir wollen uns aber mit der erstaunlichen Tatsache der Unabhängigkeit vom Kleinrelief und Kleinklima nicht so ohne weiteres abfinden, wollen sie vielmehr umso einlässlicher in ihren Zusammenhängen ergründen. Zunächst, wie stark sind die kleinklimatischen Wirkungen des Kleinreliefs?

Trotz der meist sehr geringen Querausmaße unseres vom Kleinrelief her geformten Zonen-Kleinklimas verringert sich die Intensität der durch sie gegebenen Maßunterschiede keineswegs. Wie schon mehrmals an Hand von Beispielen aus unserem Stationsgelände ausgeführt, kann man allein schon innerhalb der subalpinen Stufe knapp nebeneinander sehr radikale Standortverschiedenheiten antreffen. Man vergleiche die mittlere klimatische Höhenzonierung von  $0.5^{\circ}\text{C}$  Jahresabkühlung und von 7 Tagen Schneeschmelzverzögerung pro 100 m Meereshöhenzunahme damit, daß hier in weniger als 100 m Horizontalabstand gleichzeitig um  $60^{\circ}$  verschiedene Bodenoberflächen-Temperaturen und um 4 Monate verschiedene Ausaperungszeiten häufig vorkommen und zwar alljährlich und zwischen immer wieder den gleichen Standorten.

Das sind kleinklimatische Unterschiede, welche globalen Klimadifferenzen zwischen Orten von mehr als tausend km N-S-Abstand gleichkommen. Diese radikale Differenzierung nimmt im allgemeinen mit der Meereshöhe zu. Höhere Gebirgsstufen stellen daher - wenngleich sie auch in sich gemeinsame Züge bewahren - nicht mehr im gleichen Sinne einheitliche Klimaräume dar wie tiefer gelegene Bergänge. (Erst wieder in jenen Höhen, wo jeweils die durchlaufenden Abhänge einzelnen Gipfelkörpern weichen, könnte möglicherweise allseitige starke Bewindung wieder eine Vereinheitlichung mit sich bringen.)

Wir wollen anschließend die über klimatische Höhen- und Kleinzonen vorgebrachten Beobachtungen und Überlegungen mehr allgemeiner Art im Einzelnen belegen und veranschaulichen, indem wir zur konkreten Wiedergabe der einzelnen Faktoren, welche diese komplexen Zonen zu bilden vermögen, übergehen. Wir müssen also den Geländegang dieser Einzelfaktoren in Gestalt von Isolinien des mehr oder weniger kontinuierlichen räumlichen Variationsfeldes zur Darstellung bringen. Dies freilich nur, soweit es bereits möglich ist. Nun, es wäre im Hochgebirge praktisch gar nicht möglich, wenn es unter den einschlägigen Faktoren nicht auch solche gäbe, deren Isolinien weithin sichtbar, z. T. auch gut photographisch und stereome-trisch aufnehmbar sind.

Zunächst sei noch Einiges kurz vorweggenommen. Wir betrachten als ersten Klimafaktor, der sich im Gelände unserem Auge darbietet, die Andauer der Schneedecke oder, was auf dasselbe hinausläuft, die Andauer der Aperaturzeit. Man kann diesen Faktor in





Abb. 11b

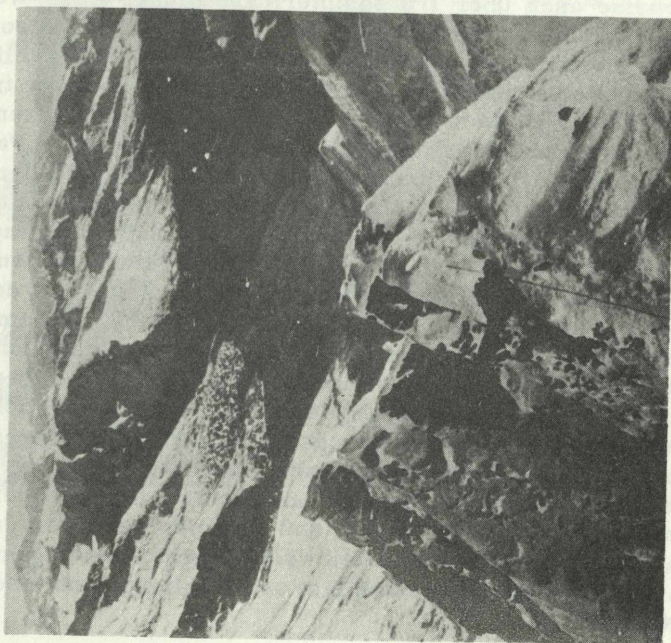


Abb. 11a

zwei Teilfaktoren zerlegen, deren Isolinien in ihrer Konfiguration radikal verschieden sind. Es handelt sich um zwei Arten von Andauer-Isochionen, von denen sich die einen in Kleinzonen, die anderen in Höhenzonen des Gebirgsklimas einzufügen vermögen, nämlich die frühjährlichen Ausaperungs- und die herbstlichen Einschneigungs-Isochionen. Wir können die Verlaufsart (die Konfiguration) von Isolinien der kleinzonalen Faktoren im Gebirge auch als relieforientiert und die Isolinien von höhenzonalen Faktoren auch als niveau-orientiert kennzeichnen. Die erste Bezeichnung käme also den Ausaperungs-Linien, die zweite den Einschnei-Linien zu.

Die beiden photographischen Aufnahmen Abb. 11 a und b vom Gipfel des Großglockners über den Kleinglockner (das einmal im Neuschnee, das anderemal im Altschnee) in den Hintergrund des oberen Mölltales machen den Unterschied anschaulich. Abb. 11 a zeigt den schichtlinienartigen Verlauf einer spätsommerlichen Einschnei-Isochione, der kaum merklich schief d.h. quasi horizontal gegen die Isohypsen abschneidet, Abb. 11 b den ganz anderen einer fröhsommerlichen Ausaper-Grenze, der in Teilstücke zerrissen mehr oder weniger antihorizontal den Formen des Kleinreliefs folgt (vgl. auch rechts und links vom Kleinglockner).

Wie in dem ersten Bilde können sich bis mindestens herab in die subalpine Stufe durch den ganzen Sommer jederzeit solche Einschnei-Linien vorübergehend über schon ganz aperes Gelände legen. Sie können zeitweise auch über fröhsommerliche Schnee-Aper-Wechsel hinwegschneiden. Stets werden sie aber den Berg im Spätsommer auch für das Jahr endgültig mit Schnee eindecken und so anschließend den Winter stoßweise über die herbstlichen Hänge abwärts tragen.

In Abb. 12 sind für das Gurglertal am Aufriß seiner linken Tal-seite (an Hand von laufenden Nachzeichnungen in gedruckte Panoramabilder von unserer Beobachtungsstation aus) die höhenzonalen Ausformungen solcher teils kurzzeitiger (abwinternder), teils bleibender (zuwintender) Einschneigrenzen eingetragen und zonenweise graphisch gemittelt. Im Gegensatz dazu steht die Abb. 13 einer vollen Ausaperungs-Isochione eines Einzeltages, die sich im Kleinrelief der Gebirgsflanke von der Gratlinie bis zur Tallinie in verwickeltem Verlauf auf und nieder windet, dabei auf Erde, auf Fels und auf Firn ebensowohl Schnee- wie auch Aperflächen bestehen läßt. Die relieforientierten Aper- und Schneefelder liegen zwar wohl auf Erhöhungen bzw. in Vertiefungen, aber keineswegs symmetrisch zu deren Mittellinie, sondern gegen deren Sonn- bzw. Schattseiten verlagert und ab gewissen Meereshöhen gegen ihre Luv- bzw. Leeseiten verschoben. Die bekannte Folge davon ist, daß in entsprechender Jahreszeit die Talflanken talaus- und taleinwärts gesehen einen ganz verschiedenen Eindruck machen: einen fast sommerlichen und einen fast winterlichen.

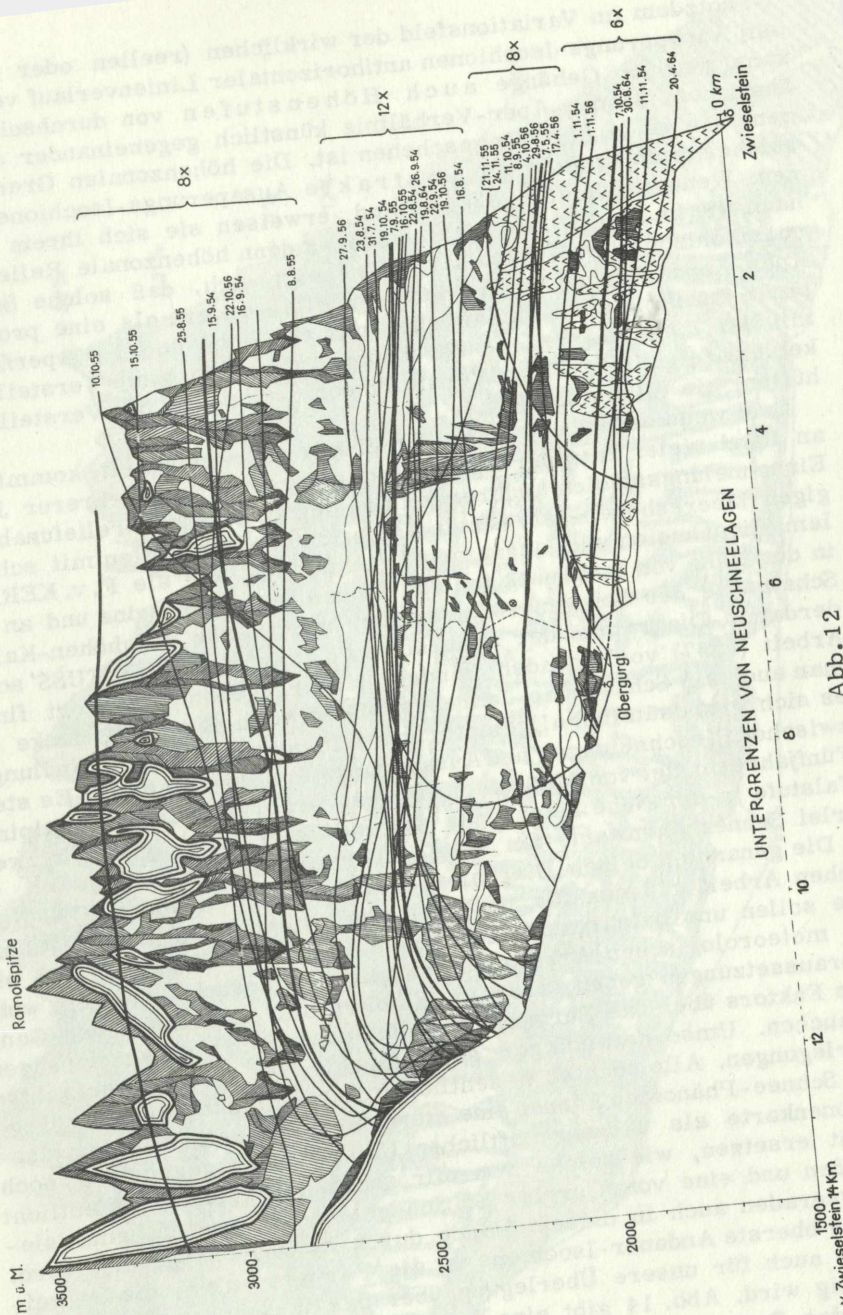


Abb. 12



Trotzdem im Variationsfeld der wirklichen (reellen oder konkreten) Ausaperungs-Isochionen antihorizontaler Linienverlauf vorwiegt, kann man im Gehänge auch Höhenstufen von durchschnittlich ähnlichem Schnee-Aper-Verhältnis künstlich gegeneinander abgrenzen, wie es in Abb. 13 geschehen ist. Die höhenzonalen Grenzlinien solcher Stufen wollen wir abstrakte Ausaperungs-Isochionen nennen. Wenn sie richtig gezogen sind, erweisen sie sich ihrem Wesen nach wie in Abb. 13 als nichts anderes denn höhenzonale Relieflinien quasihorizontaler Verlaufsart. Es zeigt sich, daß solche Schnee-Aper-Zonen besonders in Hochlagen alles andere als eine proportionale Zunahme der Schneeflächen mit der Höhe und der Aperflächen mit der Tiefe darstellen. Verebnungen (besonders die Versteilungskehlen) zeigen ein Plus, Versteilungen (besonders die Versteilungshüften) ein Minus an Schnee.

Erst wenn man über solche Zonierungen hinwegmittelt, kommt man an Hand vieler Ausaperungsstadien einerseits und mehrerer Jahre Einschneigungsstadien andererseits zu der klassischen reliefunabhängigen Meereshöhen-Jahreszeit-Variation der Aperzeiten mit schnellem Einschneien und langsamen Abschmelzen, wie sie F. v. KERNER in der Nähe von Innsbruck (an der Sonnseite des Solsteins und an der Schattseite des Glungezers) gewonnen hat. Dieses Berghöhen-Kalenderdatum-Diagramm der Schneedecke ist in der KRONFUSS'schen Arbeit (1967) vorliegenden Bandes wiedergegeben. Ebendort findet man auch ein Schneehöhe-Jahreszeit-Diagramm der Winterdecke wie es sich grundsätzlich allgemein, nur mit quantitativen Abwandlungen zwischen Einschneigungs- und Ausaperungsterminen einstellt. Es stellt Fünfjahresmittel von Meßreihen an der Vorderseite einer subalpinen Talstufe in der Nähe Innsbrucks dar und zeigt, daß eigentlich zwei-erlei Schneehöhenwerte am Pegel zu unterscheiden sind.

Die genannten beiden Diagramm-Darstellungen in der KRONFUSS'schen Arbeit müssen für uns hier eine wichtige Aufgabe erfüllen. Sie sollen uns belehren, daß zeitliche Läufe von Faktoren, wie sie in meteorologischen Arbeiten vorzüglich untersucht werden, wohl Voraussetzungen geben, aber im Hinblick auf den räumlichen Gang des Faktors über das Berggelände hin absolut noch nichts auszusagen brauchen. Umso notwendiger scheinen mir die hier vorgebrachten Darlegungen. Alle noch so wesentlichen Erkenntnisse über Vorgänge am Schnee-Phänomen können eine stereometrisch aufgenommene Isochionenkarte als wissenschaftlichen Untersuchungsgegenstand noch nicht ersetzen, wie solche von mir schon mehrfach veröffentlicht wurden und eine vom Gurgler Stationsgelände in zwei Schematisierungsgraden auch in diesem Bande durch KRONFUSS gezeigt wird.

Die oberste Andauer-Isochione ist die Firngrenze, die im weiteren auch für unsere Überlegung über das Wesen der Waldgrenze wichtig wird. Abb. 14 gibt eine Aufnahme derselben aus dem Firnfeld des Pasterzengletschers vom September 1932. Die Firngrenze

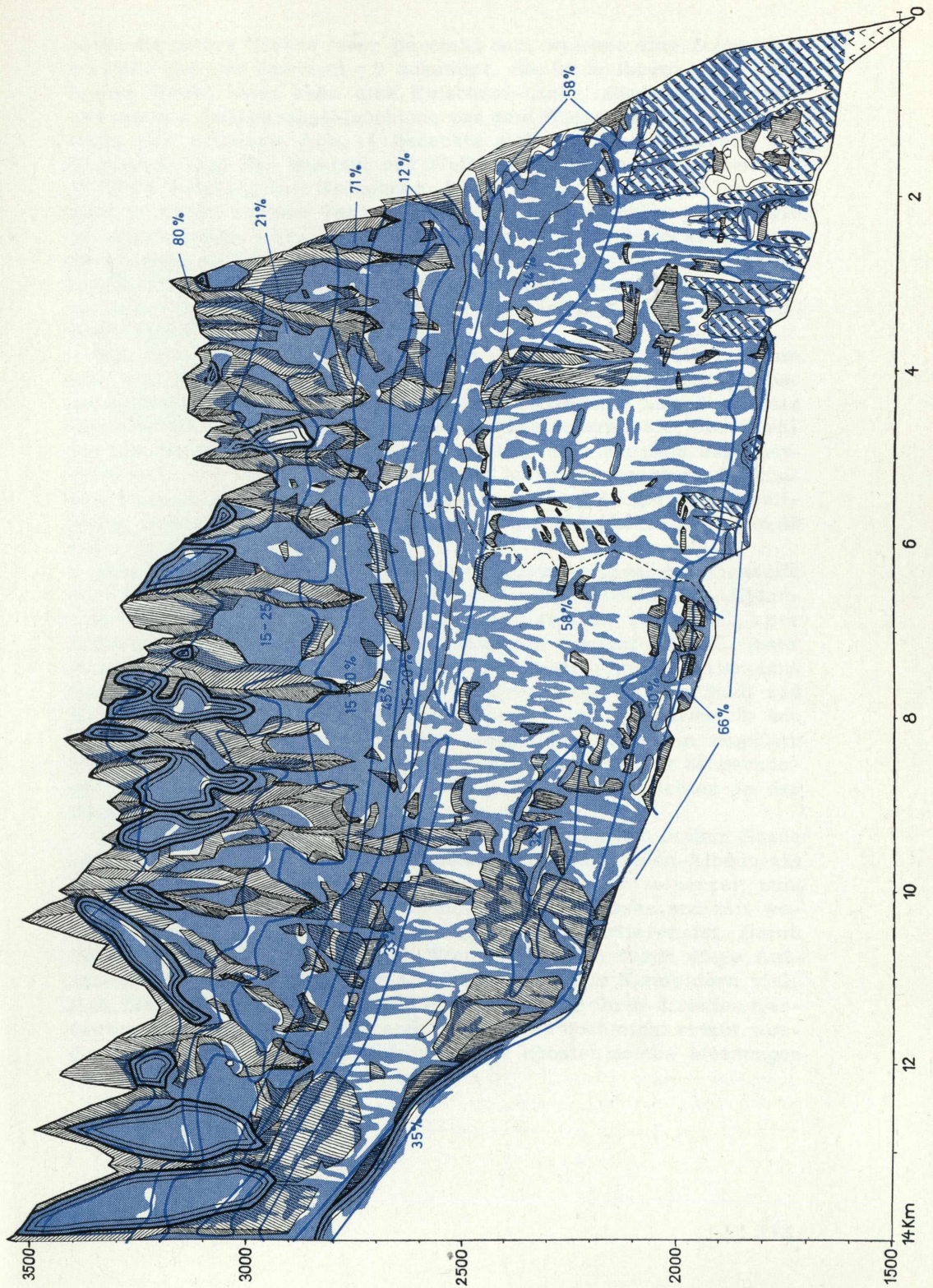


Abbildung 13





stellt die untere Grenze jener Bereiche dar, welchen eine Schneezeit = 1 Jahr und eine Aperzeit = 0 zukommt. Sie ist in ihrem real konkreten Wesen nicht etwa eine Einschnei-Linie, sondern die letzte und oberste Ausaperungs-Isochione vor dem Wieder-Einschneien. Im Falle der Aufnahme Abb. 14 bedeckte sich tatsächlich bereits am folgenden Tage der Himmel mit Wolken und am nachfolgenden das Firnfeld endgültig mit Neuschnee. Die konkrete Firngrenze ist weiters in ihrem realen Verlauf nicht etwa höhenzonaler Natur, wie oft angenommen wird, sondern, wie man an dem Bilde sieht, ausgesprochen relieforientiert zu nennen. Man kann von ihr aber sekundär wie von anderen Ausaperungs-Isochionen abstrakte Höhenzonenlinien bilden, welche allgemein die meteorologisch-nivale Höhenstufe gegen unten abschließen sollen.

Wie die andere in Abb. 14 sichtbare Isochione (es handelt sich um eine ehemalige, inzwischen stark verschobene Firngrenzlinie) beschränken sich natürlich die real über das Gelände hinauflaufenden Grenzen des "ewigen Schnees" streng auf Gletscherareale. Dort trennen sie deren Zehrgebiet vom Nährgebiet, dem Firnfeld des Gletschers, ab, das durch sie sogar allseitig umschlossen wird. Sie können hingegen die oft viel höher gelegenen unvergletscherten und zeitweise schneefreien Bereiche außerhalb der Firnfelder naturgemäß nicht miteinschließen.

Man hat dort zur Kennzeichnung der gesamten nivalen Höhenstufe auch wohl eine Zone der Dauer-Schneeflecken angenommen. Alljährlich voll übersommernde Schneeplätze gibt es zwar sehr wohl, aber nicht nur in diesen Höhen. Unter Alpinisten bekannt ist z. B. jener in nur 1200 m Meereshöhe gelegene am Einstieg in die Watzmann-Ostwand. In der näheren Umgebung Innsbrucks und von der Stadt aus sichtbar gibt es nur einen einzigen. Es ist ein mindestens in den letzten drei Jahrzehnten alljährlich übersommernder, in ungefähr 2300 m Höhe gelegener, etwa bumerangartig umgrenzter Schneekörper von zuletzt 10 - 20 a Oberfläche in einem Felstrichter an der Südseite des Kleinen Solsteins.

Die Lichtbildaufnahme von Abb. 14 wurde absichtlich in dem Grade unterbelichtet, daß die Verschiedenheit der Oberflächen-Albedo am deutlichsten hervortreten kann. Das Foto diente mir seinerzeit zum Beweis, daß die Albedo in Schnee und Firn zu messen und mit wenigen Messungen mittels jener Schneelinien zu kartieren ist. Durch Vermittlung von F. SAUBERER, Wien, konnte ich durch diese Aufnahme erreichen, daß seither Albedomessungen in Firnfeldern vielfach durchgeführt worden sind. Die Möglichkeiten ihrer direkten Kartierung sind hingegen wie für andere Faktoren noch nicht erfaßt worden. Auch im Schnee der subalpinen Stufe könnten solche Messungen und Kartierungen wichtig werden.

Außer den Einschnei- und Ausaperungslinien gibt es noch zwei weitere Sorten von klimatischen Isolinien, die den unschätzbaren Vorteil gewähren, fernsichtbar zu sein, je eine mit niveau- und eine mit relieforientierter Raumanordnung: die Nebel-Höhen-Isonephen und die Sonnen-Andauer-Isophoten.

Zuerst zu dem einfacheren Fall. Zwischen Nebel und Wolken besteht bekanntlich kein Wesensunterschied. Als Nebel wird vom Meteorologen im allgemeinen registriert, wenn sich der Beobachter oder eine Station oder Meßstelle in einer Wolke befindet. Für unsere Fernsicht-Klimatologie ist Nebel jede Wolke, die an die Gebirgshänge unseres Untersuchungsgebietes heranreicht. Es handelt sich also in unserer Gelände-Ökographie immer nur um die Schnittlinien der Oberflächen von Wolkenkörpern mit der Hangfläche des Gebirges. Dafür kommen in den Alpen nur solche des unteren (CL) und des mittleren (CM) Wolken-Niveaus in Frage. Das sind Alto-, Strato- und Cumulo-Formen (während Fracto-Formen nicht ins Gewicht fallen, also As, Ac St, Sc --- Cu, Cb). Gewöhnlich bestand die Aufgabe bloß darin, die Meereshöhen der in der Regel ebenen und quasihorizontalen Unterseiten zu bestimmen. Nur selten ergab sich Gelegenheit zur gleichzeitigen Bestimmung der Oberseiten (die im Falle Cu und Cb nicht eben verlaufen, aber dann auch weit oberhalb unseres Untersuchungsbereiches liegen). Da es vom eigentlichen Bodennebel nur Oberseiten gibt, wird auch er hier noch außer Betracht gelassen.

In unserem Beobachtungsmaterial, das von Innsbruck bis Oberegurgl reicht, treten als Nebelbildner vor allem die Stratus-Wolken auf und zwar zu allen Jahreszeiten und in über 90 % der Fälle. Wir unterscheiden davon Stratus-Decken, die den Himmel von einem Hang bis zum Gegenhang des Tales bedecken, und Stratus-Balken, die sich nur an einer oder beiden Talseiten entlang ziehen, Talseiten, die manchem eine zeitlang einseitig von oben bis unten so verhangen gewesen sind, daß man dies nur kurz vor- und nachher als einen dichten Stapel von Nebelbalken erkennen konnte. Eine solche Nebelwand-Bankung zeigte sich bei Innsbruck auch anlässlich einer Seilbahn-Auffahrt auf das Hafelekar als exakt rhythmischer Wechsel von Verdunkelung und Aufhellung des Nebels. Sonderformen sind Föhnbalken und Vorhänge vor der Gurgler Gletscherzunge. Den von Stratus-Formen übrig gelassenen Rest bilden Gewitter- und Haufenwolken, in welche letztere nur die höheren Gipfel unserer Beobachtungshänge zuweilen gerade noch hineinragen können.

Abb. 15 a und b zeigt zwei morgendliche Nebelbänke der besprochenen Art knapp übereinander an der Innsbrucker Nordkette, von denen sich bis bald nach Mittag der schwächere obere ganz, der stärkere untere bis auf Reste aufgelöst hat. Die Nebel vermindern und erheben sich im allgemeinen unperiodisch bei Aufheiterung, vermehren und senken sich bei Eintrübung. Darüber legt sich statistisch



Abb. 15 a



Abb. 15 b

vorherrschend ein ausgesprochener Tagesgang und eine anscheinend gleichweit ausgreifende Jahresperiodik. Abb. 16 zeigt diese Verhältnisse für die Sonnseiten von Gurgl und Innsbruck. Die beiden sind stark höhenverschieden, aber von erstaunlicher Ähnlichkeit und Regelmäßigkeit. Nebel, welche über Mittag durchhalten, scheinen sich auf bestimmte Höhenlagen zu konzentrieren und im allgemeinen identisch mit jenen Nebeldecken zu sein, die bis an beide Talseiten heranreichen. Diese in Abb. 16 enthaltenen Ergebnisse sind allerdings noch als ziemlich hypothetisch anzusehen, weil der ausgewertete Teil des auch noch kleinen Beobachtungsmateriales zu ihrer Sicherung nicht voll ausreichen dürfte.

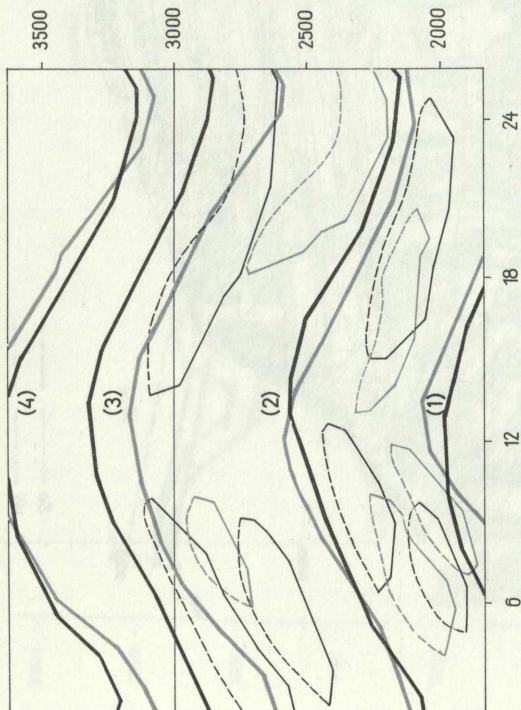
Als gesichert kann dagegen anerkannt werden, daß die Unterseiten-Isonephnen, wie die in Abb. 17 gezeigten vom Stationsgegenhang des Gurglertales, ähnlich den Einschnei-Isochionen in den meisten Einzelfällen und in den Durchschnitten einen quasihorizontalen Verlauf nehmen mit einem vom Gurgler- zum Ötz- und zum Inntal abnehmendem Gefälle und dem uns bereits wohl vertrautem Abwärts-Haken nahe dem Gurgler Gletscher (Das Beobachtungsmaterial von Abb. 17 ist dasselbe wie in dem Teil von Gurgl in Abb. 16.).

Um Methodik und Vorteile einer Fernsicht-Nebel-Klimatologie zu verdeutlichen, braucht nur ein einziges Beispiel angeführt werden. Es betrifft die Aufnahme von Meereshöhen an Nebel-Unterseiten vom 23. VII. 1964 an einem Regentag mit nachfolgender Aufheiterung auf einer Autofahrt öztalauwärts von halb drei bis vier Uhr nachmittags. Das Ergebnis ist in Abb. 18 wiedergegeben. Sie stellt die Kurven der Nebelhöhen an der rechten und an der linken Talseite des Öztalles dar. Die angedeuteten Beobachtungspunkte wurden erhalten, indem kennzeichnende Stellen an der Nebelgrenze entweder schon auf der Fahrt oder später nach Skizzen in der Karte identifiziert und aus dieser die Höhenlagen übernommen worden sind. Durch das ganze Tal waren die Unterseiten rechts höher als links und in den Talengen weit tiefer als in den Talbecken. Letzteres wurde in der Abb. gemäß bisheriger Erfahrungen so aufgefaßt, daß sich in den Talengen unter die durchgehende Nebelfläche je ein weiteres Nebelstockwerk eingeschoben hat. (Der an der Oberseite der Abb. angedeutete Fehler, welcher durch die ablaufenden drei Stunden wahrscheinlich entstanden sein dürfte, wäre vermeidbar gewesen, wenn sich zwei Aufnahme-Autos entgegengefahren wären.)

Die eben bezeichnete Tatsachenaufnahme ist in einer Zeitspanne von 3 Stunden geschehen. Selbst wenn sehr zahlreiche Meldungen von sehr vielen anzunehmenden Öztaler Hangstationen, ob sie sich im Nebel befinden oder nicht, einlaufen würden, wäre Gleiches noch nicht möglich. Die Höhenlagen von frischen Neuschnee-Untergrenzen könnte etwa über ganz Nordtirol an einem einzigen Tage kartographisch aufgenommen werden, wenn sich wenige motorisierte Wissenschaftler, versehen mit guten Landkarten und Ferngläsern das Gebiet aufteilen.

a.

Gurglertal



b.

Jnnsbrucker Nordkette

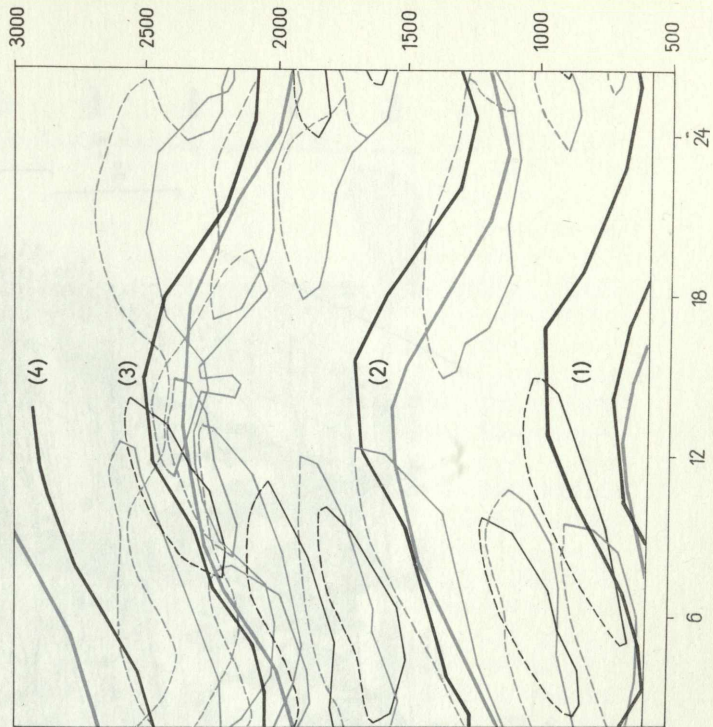


Abb. 16



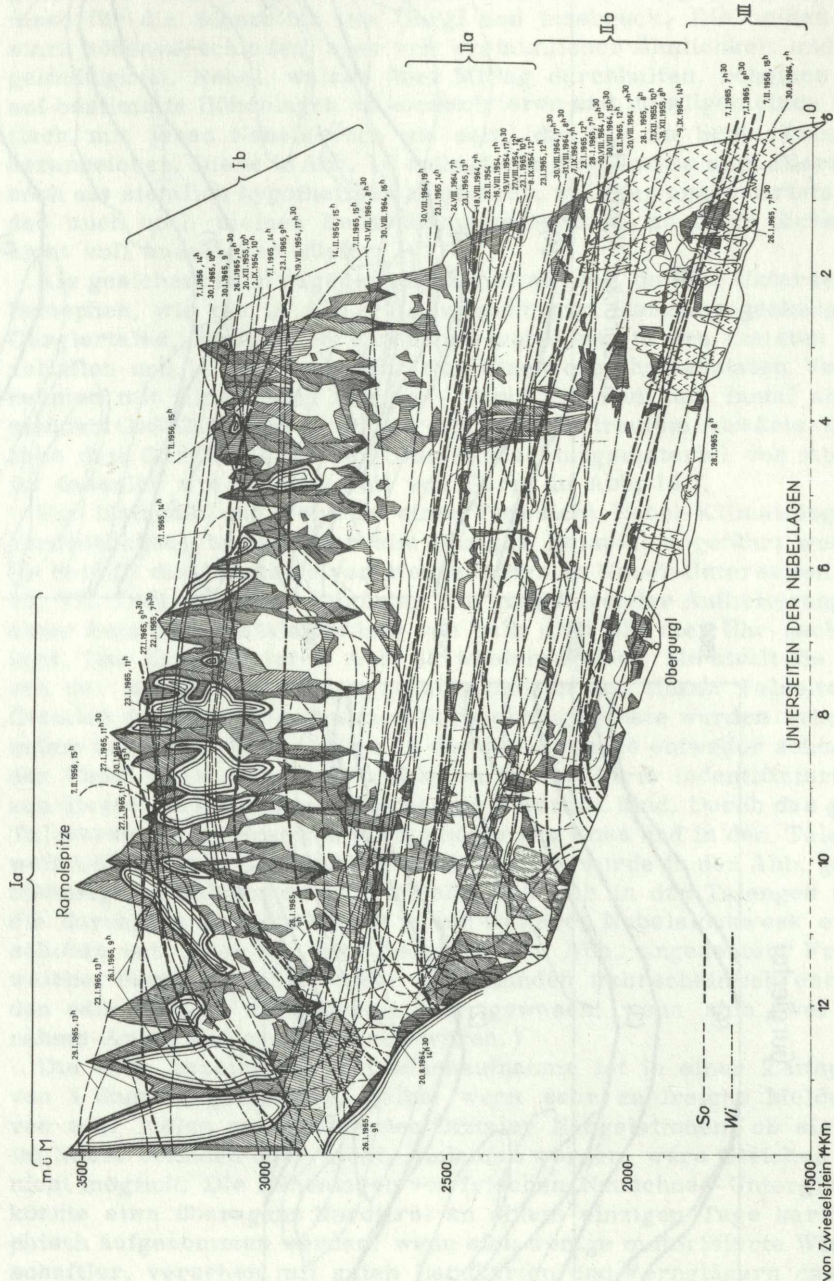


Abb. 17



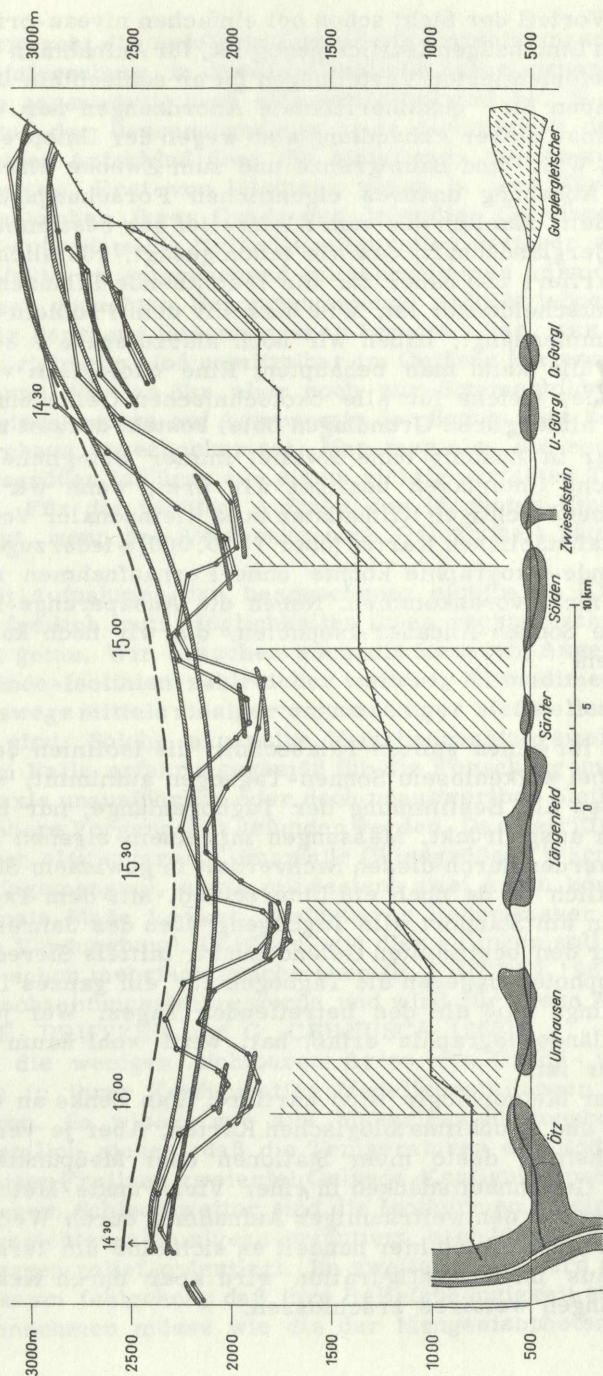


Abb. 18

Wenn der Vorteil der Sicht schon bei einfachen niveau-orientierten, höhenzonalen Linienzügen deutlich genug ist, für Aufnahmen von kleinzonalen relieforientierten Verteilungen ist er schlechthin unentbehrlich. Wir haben hier quasihorizontale Anordnungen nur wegen des engeren Themas dieser Abhandlung also wegen der Entsprechung zur klimatischen Wald- und Baumgrenze und zum Zwecke einer begrifflich klaren Abhebung unseres eigentlichen Forschungsgegenstands näher behandelt, nämlich des vom Kleinrelief her bestimmten Kleinklimas der Berglandschaft, das wie schon gesagt, räumlich sehr viel intensiver variiert und daher für die festsitzende Pflanzenwelt sehr viel lebensentscheidender ist. Wie dies mit dem Problem der Waldgrenze zusammenhängt, haben wir noch klarzulegen.

Auf alle Fälle kann man behaupten: Eine ökologisch vollwertige Standortskunde, welche für alle ökotechnischen Geländemaßnahmen im Bergland hinlängliche Grundlagen böte, besteht derzeit noch nicht. Sie wird aber in Zukunft ohne Zweifel immer dringlicher benötigt werden. Solche Unterlagen besitzen wir erst, wenn wir imstande sind, alle lebenswichtigen Klimadaten auch kleinzonaler Verteilungsart in großmaßstäblichen Karten (über 1 : 25.000) wiederzugeben. Eine solche Gelände-Ökographie könnte ohne Fernaufnahmen sichtbarer Klimalinien nicht vorankommen. Neben die Ausaperungs-Isochionen treten da die Sonnen-Andauer-Isophoten, die wir noch kurz zu behandeln haben.

Wenn man für einen ganzen Talabschnitt die Isolinien der Besonnungsdauer bei wolkenlosem Sonnen-Tagbogen aufnimmt, so ist das nichts anderes als Bestimmung der Tagbogenlänge, nur in anderen Maßeinheiten ausgedrückt. Messungen mit einem eigenen Tagbogen-Instrument werden durch diesen Sachverhalt in gewissem Sinne überflüssig. Freilich ist da noch ein Unterschied. Mit dem Tagbogengerät kann man am Standort alle Tagbogengrößen des Jahres messen, aber eben für den bestimmten Geländepunkt, mittels Stereoaufnahme der Tagesisophoten dagegen die Tagbögen für ein ganzes Landstück, dafür allerdings bloß die des betreffenden Tages. Wer jedoch den Sinn der Geländeökographie erfaßt hat, wird wohl kaum zweifeln, was wichtiger ist.

Auch in der Meteorologie wird kartiert. Man denke an die vielen synoptischen und großklimatologischen Karten. Aber je verwickelter ein Variationsfeld, desto mehr Stationen oder Meßpunkte benötigt man. Dieses Gewohnheitsdenken in einer Viel-Punkte-Methodik wird eigentlich erst mit den weiträumigen Aufnahmen durch Wetter-Satelliten durchbrochen. Auch hier handelt es sich bloß um fernsichtbare Isonephen. Aus ihrer Konfiguration wird aber durch Kenntnis von Zusammenhängen weiteres erschlossen.

Eben dahin geht die erfolversprechende Entwicklungsrichtung der Kleingeländeforschung, in der das räumliche Zusammenspiel der Einzelfaktoren gegenwärtig noch allzuwenig bekannt ist. So haben etwa die Isophoten der Besonnungsdauer trotz Sichtbarkeit den Nachteil, daß sie keinen Aufschluß über die einfallende Besonnungsmenge zu geben scheinen. Erst von letzterer gehen ja jene Wirkungen aus, welche in manchen ihrer Grade das lebendige Gedeihen der Jung-hölzer und außerdem die Geländekonfiguration weiterer unsichtbarer Kleinklimafaktoren entsprechend mitzubestimmen vermögen.

Von dieser gesuchten Besonnungsmenge enthält jedoch die schon jetzt flächig gegebene Besonnungszeit bereits alles, was davon nicht errechnet, vielmehr bloß unmittelbar im Gelände kartenmäßig erfaßt werden kann. Was an ihr aber noch zur Summenbildung mangelt, beruht gewissermaßen auf Astronomie der Sonne. Das soll besagen, daß es durchaus berechenbar sei. Man mag also die noch fehlenden Ergänzungsgrößen in Kürze aus einem richtig verfaßten Tabellenwerk entnehmen. Für die wichtige Aufgabe der Isophoten-Umkonstruktion wäre es gut, wenn der Verfasser noch Gelegenheit hätte, sie vor-zuführen.

Bloß mit Aufnahmen der besprochenen sichtbaren Klimafaktoren ist es nun freilich trotz Möglichkeiten ihrer rechnerischen Erweiterung nicht getan. Wir brauchen auch die unserem Auge unaufgreifbaren Gelände-Isolinien zahlreicher weiterer Klimadimensionen, die aber keineswegs mittels riesiger engmaschiger Meßstellen-Netze auf-zunehmen sind. Solche expansive Naturbeobachtungsweisen würden in unserem Falle erfahrungsgemäß für die Forschung und schon gar für die Praxis unausführbar oder doch unauswertbar bleiben. Es muß eine einfachere Vorgangsart gefunden werden. Das betrifft mindestens drei Klassen elementarer Klimamaße (Windgrößen, Wärmegrade und Niederschlagsmengen), sowie mindestens zwei Arten komplexer Daten (geeignete Maße 1. über verfügbares Bodenwasser und 2. über potentielle Verdunstung). Darüber, wie dies gelingen soll, wurde vom Verfasser schon mehrfach geschrieben (H. FRIEDEL 1961, 1962). Die Gurgler Beobachtungsstation wurde und wird für diese Aufgabe konstruiert (E. PRUTZER und G. CERNUSCA 1965).

Bereits die wenigen sichtbaren Arten von Grenz- und Isolinien geben uns in ihrer Konfiguration Modellvorstellungen für die der unsichtbaren. So wissen wir aus bisherigen Stationsbeobachtungen bereits ziemlich sicher, daß die Temperaturen der Bodenoberfläche im subalpinen Freiland zweierlei Gelände-Konfigurationen aufweisen: Nach längerem Schlechtwetter sind die Isothermen so ziemlich waagrecht ausgerichtet, also niveau-orientiert, nach längerem Strahlungswetter dagegen relief-orientiert. Im zweiten Falle wird man mit der Annahme kaum fehlgehen, daß ihre Reliefabhängigkeit ähnliche Ausformung annehmen müsse wie die der Mengenisophoten.

Andere Faktoren werden sich wiederum enger an die Andauer-Isochionen anlehnen, z.B. Schneehöhe und Windstärke. Abgesehen von den damit aufgezählten drei Grundkonfigurationen wird es verschiedene Übergänge zwischen ihnen geben. Wahrscheinlich lassen sich dieselben ebenfalls in die eine oder andere der drei Grundformen zerlegen, indem man, wie in obigem Temperaturbeispiel angedeutet wurde, das richtige Sortierungsprinzip nach Wetterlagen o. ä. herausfindet.

Derartige noch unsichere Annahmen über räumliche Korrelationen von noch unbekannten Liniensystemen mit schon kartographisch erfaßten, welche letztere uns dann als Leitlinien zu dienen haben, müssen allerdings erst verifiziert werden. Für dieses Arbeitsprogramm einer räumlichen Korrelationsforschung braucht man kein Riesenetz von Meßstellen, sondern nur einige wenige Testpunkte von solchen. Anstelle der üblichen Viel-Punkte-Methodik kann hier eine zeit- und mühesparende Leitlinien-Methodik treten.

In vorliegender Sammelveröffentlichung liegen Anfangsarbeiten räumlicher Korrelationsforschung vor. KRONFUSS bearbeitet die Raumkorrelation Schneeandauer / Schneehöhe. PRUTZER untersucht ein für weitere Korrelationsforschung sehr wichtiges Sortierungsprinzip: die längst notwendige Teilung des Niederschlags in skalaren Niederschlagsabsatz an der Bodenoberfläche und vektoriellen Niederschlagsstrom in der Atmosphäre.

### 3. VEGETATIONS- UND BODENKUNDLICHE GRENZLINIEN

Wir haben nun in Gestalt von Systemen geomorphologischer Grenzlinien und klimatologischer Isolinien die wichtigsten Variationsfelder der Hochlagen, soweit sie nicht biologischen Wesens sind, in cursorischer Weise besprochen. Es bleibt uns noch die Verpflichtung eine grobe Übersicht darüber zu geben, wie sich im Gebirgsgelände biologisch geartete Sachverhalte abstufen und anordnen. Hiefür kommen einerseits geobotanische Grenzlinien (Biochoren), andererseits phänologische Isolinien (Isophänen) in Betracht. Dazu ist dann allerdings zu ergänzen, daß wir die weit schwierigeren zoologischen Biochoren umgangen, sowie bodenkundliche Grenz- und Zonenbildungen ("Pedochoren") übersprungen haben. Die letzteren sind nämlich tatsachengemäß als Zwischenbildungen zwischen biotischen und abiotischen Gelände-Erscheinungen aufzufassen, da im allgemeinen tierische und pflanzliche Bodenbewohner geradezu als spezifische und integrierende Aufbauglieder (Fraktionen) der Bodentypen selber angesprochen werden können.

Geobotanische Grenzlinien (Biochoren) sind entweder Arealgrenzen oder Vegetationsgrenzen. Areallinien, groß- und kleinräumige, umschließen über ein größeres Gebiet eine Vielzahl von Einzelvorkommen bestimmter Pflanzensippen (Auto-biochoren) oder bestimm-

ter Pflanzengesellschaften (Sym - bio choren) aller möglichen taxonomischen Ränge. Es sind also bloß Schematisierungen, wo eigentlich Punktscharen am Platze wären. Anders jene Biochoren, welche einzelne bestimmte Florenbereiche oder einzelne besondere Vegetationsflächen (ebenfalls von Einheiten verschiedener taxonomischer Grade) im Gelände umgrenzen (Zöno - bio choren). Sie sind in der Natur selbst schon als wirkliche Grenzlinien gegeben, ob es sich nun um weite geozonale oder enge regionale Naturbereiche handelt.

Unmittelbar über größere Strecken ihrer räumlichen Ausdehnung überschaubar sind die uns hier näher interessierenden niveau- und relieforientierten Vegetationszonen. Sie haben bald mehr bald weniger scharfe und mehr oder weniger weithin sichtbar vor uns liegende, und danach leicht direkt kartierbare Randlinien. Dazu gehören die aktuellen, aber auch die potentiellen Wald- und Baumgrenzen, welche letztere ja nur teilweise infolge von geschehenen Zerstörungen gegenwärtig nicht unmittelbar zu erkennen sind. Hierher gehören aber auch kleinzonale Vegetationsgrenzlinien, wie sie hauptsächlich die Feldschichte der Vegetation betreffen und daher vorzüglich außerhalb und oberhalb des Waldes überschaut werden können.

Fast ebenso vielfältig sind aber außer- und oberhalb des Waldes bezeichnenderweise auch die bodenkundlichen Verhältnisse abgewandelt, so zwar, daß sich die Zonationen von Bodentypen und von entsprechenden Vegetationseinheiten räumlich miteinander weitgehend korrelieren. So können die Bodentyp-Flächen, die ja gewöhnlich nur punktweise, nicht aber flächenhaft einsehbar und daher für sich allein nur schwer kleinkartographisch aufzunehmen sind, durch Verwendung der sichtbaren Vegetationslinien als geeignetes Leitliniensystem in praktisch günstiger Weise mapped werden.

Das haben für den subalpinen Problemraum unsere Mitarbeiterinnen NEUWINGER und CZELL erkannt, schon mehrfach für die wissenschaftliche Öffentlichkeit behandelt und für unsere Aufgabenstellung verwertet. Eine von NEUWINGER und mir entworfene, noch etwas vorläufige Vegetations- und Bodenkarte unseres Stationsgebietes befindet sich in der NEUWINGER'schen Arbeit vorliegenden Bandes. Sie mag uns über die Vegetation-Boden-Korrelation eine ungefähre Vorstellung geben in Zusammenhang mit anderen fertigen NEUWINGER'schen Vegetation-Boden-Synthesen ihrer früheren Arbeiten.

Wie dem Leser bewußt geworden sein dürfte, beschäftigen sich sämtliche hier zur Rede stehenden Untersuchungen allgemein mit dem räumlichen Zusammenspiel von Unterschieden aller Sparten, welche das Gelände in den verschiedenen Höhenzonen weiter untergliedern. Es handelt sich in all diesen kleinräumigen Landschaftsausbildungen um ureigentlich geographische Sachverhalte, welche auf einfachstmöglichem Wege kartiert, in ihren Aufnahmen räumlich

verglichen und nach ihren Raumkorrelationen ausgewertet werden. Nach ihrer flächenmäßigen Größenordnung sind es Kleinlandschaften, die begrifflich dem Kleinrelief und Kleinklima entsprechen. Zu ihnen gehören natürlich auch entsprechende kleinräumig ausgebreitete Vergesellschaftungen (Zönosen) von Pflanzenarten, die somit besondere, (selbstverständlich ebenfalls kartographisch wiederzugebende) Vegetations-Kleinlandschaften bilden.

Kartiert wird Vegetation hiebei natürlich als sichtbare Landschaftserscheinung in ihren ebenso sichtbaren, meist fernsichtbaren Flächenunterschieden mittels deren umgrenzenden Zöno-Biochoren. Diese Flächenunterschiede werden im wesentlichen von den dort ganzjährig oder doch in ihren jahreszeitlichen Aspekten vorherrschenden Pflanzenarten gebildet. Bewachsene Erdoberflächen haben, wie sich von selbst versteht, in sämtlichen Fällen, an jedem Ort und in jeder ihrer Vegetationsschichten eine dominante Art. Meist nimmt sie sogar mehr als 90 % der Bodenfläche oder Pflanzenmasse ein. Es kann allerdings auch sein, daß in unreifer, offener oder stark menschlich beeinflusster Vegetation sich mehr oder weniger zufällig mehrere verschiedene Arten in ihrer Vorherrschaft von Ort zu Ort abwechseln. In solchen Fällen ist die Vegetationseinheit eben erst durch eine Dominantengruppe (oder zusätzlich mittels Subdominanten) gekennzeichnet. Je reifer und natürlicher die Vegetation, desto schärfer ist in der Regel an ihren Grenzen der Umschlag von einer Dominanz in die benachbarte.

Auf diese Weise gilt es, die Pflanzendecke in landschaftliche Vegetationseinheiten zu unterteilen, das Wesen dieser Einheiten zu bestimmen und sie kartographisch aufzunehmen. In diesen, eben vorgetragenen Sätzen stimme ich leider ganz und gar nicht mit der in Europa herrschenden pflanzensoziologischen Schule, der sogenannten floristischen überein. Nach ihr ist eine Pflanzengesellschaft erst identifiziert, wenn in ihrer vollen Arten-Garnitur eine engere charakteristische Artenkombination spezifischer Zusammensetzung hervortritt. Für diese vegetationsfloristische Schule könnten innerhalb einer auf diese Weise gekennzeichneten Assoziation bloße Dominanzwechsel nur verschiedene Fazies begründen. Aber auch in einer streng vegetationslandschaftlichen Betrachtungsweise ergeben sich Fazies. Hier könnte bloßer Wechsel der Begleitflora im einheitlichen dominanzbestimmten Kleinlandschaftsbild ebenfalls nur verschiedene Fazies der betreffenden in sich zusammengehörigen Sozialisation ausmachen.

Ich stehe nicht an, in der floristischen Vegetationskunde die eigentlich-botanische und rein-botanische zu sehen, welche in ihrer schlechthin zönologischen Betrachtungsweise z.B. floren- und vegetationsgeschichtlichen Forschungszielen u.a. Zwecken besonders dienlich sein kann. Aber Vegetation ist nun eben mehr als ein rein botanischer



Sachverhalt. Sie ist auch Medium einer tierischen Population, sie untergliedert auch z.B. die Erdoberfläche, wobei sie nicht nur von deren Eigenschaften bestimmt wird, sondern auch selber deren Eigenschaften rückbestimmt (geophysikalisch z.B. bis in weiteste Zusammenhänge). Letzteres geschieht nun aber nicht durch eingesprengte Charakter- und Differenzialarten, sondern eben in erster Linie durch die Dominanten und Subdominanten vorhandener Vegetationsschichten und Vegetationsaspekte.

Es ist daher zu betonen, daß die Dominanz-Tatsachen und ihre Auswirkungen über und unter der Bodenoberfläche nicht nur ebenso wichtige und ebenso untersuchenswerte Naturphänomene sind wie typische Artenkombinationen, sondern solche, die dem Beobachter als erste entgegentreten und für viele Zwecke gleichfalls als erste zu erforschen sind. Jedenfalls aber läßt sich sagen, daß die auf ihnen fußende landschaftliche Vegetationskunde die eigentliche geobotanische ist.

Beide Betrachtungsweisen schließen einander keineswegs aus. Sie könnten sich vielmehr vorteilhaft ergänzen. Dies trotz völlig verschieden gerichteter Systematik ihrer Einheiten. Die einen können nämlich letzten Endes nur in die großen Florenreiche, wie sie allerdings durch die großen klimatisch verursachten Vegetations-Geozone abgewandelt werden, ausmünden, die andern in ebendiese großen klimatischen Vegetationszonen, wie sie sich aber wiederum in verschiedene geobotanische Grundformationen spezialisieren. Für das hiemit geforderte wissenschaftliche Zusammenspiel dürfen diese Großeinheiten ohne Schwierigkeit so verschieden wie nur möglich sein. Dagegen müßte hiezu das Bemühen bestehen, die untersten elementarsten Einheiten miteinander in Einklang zu bringen. Das sind nicht die Assoziationen, mit denen es schon vergeblich versucht wurde, sondern jene Fazies der einen und der anderen Sorte. Es müßte also für bestimmte Zwecke anerkannt werden, daß man floristisch gefaßte Assoziationen nach Dominanzverhältnissen und daß man landschaftlich gefaßte Soziationen nach ihrer Begleitflora so untergliedern sollte, daß Übereinstimmung entsteht.

In Wirklichkeit blieben aber die beiden Schulen leider bis heute - ähnlich unterschiedlichen Sekten - einander fremd, was gewißlich auf eine fortbestehende Unreife der vegetationskundlichen Wissenschaft hindeutet. Es ist etwa so, wie wenn eine rein petrographische Behandlung der Gesteine allein wissenschaftlich erlaubt, eine geologische dagegen abgelehnt würde. Wie wenn das überdies mit der Unterstellung geschehe, daß die geologische im Vergleich zur petrographischen ihrem Wesen nach wissenschaftlich weniger exakt an das Problem Gestein der Erdkruste herangehe.

Nun wir sind in der Lage, die von uns benötigte Vorgangsweise mit Sicherheit zu kennen, nicht etwa als allein klugmachende, wohl aber als die für unsere besondere Aufgabe angemessene. Die besondere

Art von Fragestellung im Rahmen einer Gelände-Ökographie zwingt uns, wenn wir handfeste Ergebnisse bekommen wollen, die auch als Unterlagen einer Gelände-Ökotechnik dienen können, wenigstens für die nächste Zeit, landschaftliche, nicht floristische Vegetationseinheiten auszugliedern und aufzunehmen. Wir können also nicht beobachtungspunktweise erhaltene, abstrakte Artenkombinationen kartierend umgrenzen, sondern müssen den Verlauf von fernsichtbaren Zöno-Biochoren zwischen konkreten Dominanzen aus dem Gelände in die Karte nachzeichnen und mit weiteren ökologischen Grenz- und Isolinien in räumlichen Bezug bringen, d.h. ihre räumlichen Korrelationsbeziehungen untersuchen.

Aufmerksamen Bergsteigern, die über die Baumgrenze hinauf vordringen, entgeht es nicht, daß sie zunächst durch Heiden verschiedener Zwergsträucher kommen und dann besonders durch Rasen verschiedener Horstgräser. Tatsächlich läßt sich die alpine Stufe über weite Abschnitte der Alpen in 2 Teilgürtel untergliedern. Die Kleinzonen dieser beiden Unterstufen werden (stark schematisch und vom Schnee- zum Windboden hin aufgezählt) in ausgereifter Vegetation bekanntlich von folgenden Pflanzengesellschaften gebildet:

#### unteralpin

Borstrasen (div. Nardeten)	Almrauschheide (div. Rhododendren)	Beerenheide (div. Vaccinieten)	Gemsenheide (div. Loiseleurieten)
-------------------------------	---------------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------------

#### oberalpin

Fahlschorf (Polytrichetum sexangularis)	Krautweidicht (Salicetum herbaceae)	Krummseggicht (Caricetum curvulae)	Hüllseggicht (Elynetum myosuroidis)
---	---	--	---

lauter kennzeichnende Vegetations-Kleinlandschaften, die sich kleinzonal in gesetzmäßiger Beziehung zum Kleinrelief an den Gebirgshängen auf- und niederwinden.

In der Theorie wird der Oberrand der Zwergstrauch-Kleinzonen häufig mit der klimatischen Baumgrenze gleichgesetzt und zwar teils mit jener der postglazialen Wärmezeit, teils mit der der Gegenwart. Beides kann natürlich nicht für die Gesamtalpen zugleich richtig sein. Ersteres könnte in weiten, mehr oder weniger ozeanischen Außenbezirken stimmen, wo die Reiserzonen die (nach hier gezeigten Methoden ermittelte) klimatische Baumgrenze bis 300 m und mehr übersteigen, letzteres in kontinentalen Innenbezirken, wo das Zwerggesträuch unter schütterem Baumschutz sein Optimum hat, berechtigt sein, besonders im N und S des Vintschgaues (so auch in unserem Stationsgelände), wo oberhalb der klimatischen Baumgrenze die Reiserzonen in eigenartiger Weise von Krummsegge durchdrungen werden.

Das geübte Auge kann diese Typen des Pflanzenkleides unserer Bergflanken auch von fernher gut erkennen, weil es sich um ausgereifte Vegetationsformen handelt. Wo sich freilich ihre klare Zonation allzusehr mit anders angeordneten, noch unreifen Gesellschaftstypen überschneidet und räumlich vermischt, wird das Bild verwickelter und von ferne schwieriger zu analysieren.

Die vorgenannten reifen Vegetations-Kleinzonen spiegeln in ihrer Geländeverteilung ohne Zweifel räumliche Anordnungen von Kleinklimazonen wieder. Gewöhnlich wird für sie ein einziger Kleinklimafaktor verantwortlich gemacht, nämlich die Ausaperungszeit. Man kann danach die zwei angeführten Gesellschaftsreihen als ökologische Reihen von großer bis fehlender Schneeschutzbedürftigkeit (als chionophile bis chimonophile Gesellschaften) ansprechen. Dies ist aber zunächst nur in einem rein deskriptiven Sinne berechtigt.

Wie schon angedeutet, werden nämlich die relieforientierten Kleinklimazonen wohl nicht vom Schneebedeckungsgrad allein oder von Besonnungssummen allein konstituiert. Mit den beiden sichtbaren klimatischen Unterschieden im Kleinrelief sind vielmehr sicherlich weitere Kleinklimafaktoren mehr oder weniger raumkorreliert, so daß wir im strengen kausalen Sinne noch nicht ohne weiteres, ja, eigentlich erst experimentell festzustellen vermögen, welcher Einzelfaktor in den verschiedenen Fällen wirklich entscheidend ist. So habe ich vor Jahren (1961) Anzeichen angeführt, daß in den Pflanzengesellschaften der unteralpinen Reiservegetation zwar wohl die Zwergsträucher selber vom Ausaperungsdatum als Entscheidungsfaktor bestimmt werden, die zugehörigen Moose und Flechten dagegen von der korrelierten Andauer besonders starker oder besonders schwacher Grade potentieller Verdunstung.

Der Raum einer natürlichen Pflanzengesellschaft (Phytozönose), der in seiner Konkurrenz zu benachbarten Gesellschaften durch klimatische und edaphische Umweltfaktoren begrenzt wird, umschließt und produziert eben selber verschiedenste Teilstandorte. Diese können durch Einzelvereine (Synusien) der Pflanzengesellschaft besiedelt sein, welche sowohl physiognomisch wie ökologisch von einander gänzlich verschieden sind. Eine landschaftliche Vegetationskunde muß diesen synusischen Aufbau aus Holz-, Gras-, Kraut-, Moos- und Flechten-Vereinen der Teilstandorte erfassen.

So besteht der Zirben-Lärchen-Alpenrosen-Wald in der Nähe der Waldgrenze im weiteren Untersuchungsgebiet aus mindestens 48 makrophytischen Synusien:

16 angehörige Schicht- und Aspektsynusien am Boden,

32 zugeordnete Synusien an Sonderstandorten:

14 am Boden: unter Baumtraufen, auf Lichthöfen, in Dunkellöchern, an Naßgallen, auf Wildlosung, an Ameisenhaufen.

6 epipetrische (auf subkoronarem Fels und Block)

8 epixylische (Rindenhafter-)Vereine

4 saproxylische (Faulholz-)Vereine

Im urtümlichen Rothwald am Dürrenstein/Niederösterreich zählte ich 1937, soviel ich mich erinnern kann, über 70 angehörige und zugeordnete Synusien. In Einzeltypen tropischer Urwälder und Savannen dürften nach Anführungen im Schrifttum mindestens 500 zu unterscheiden sein. Diese Pflanzenvereine sind auch deshalb wichtig, weil zöologische Einheiten der Tierbesiedlung fast immer den Synusien entsprechende Gebilde sind. Biozöosen (d.i. Phytozöosen + Zoozöosen) können daher nur auf synusischem Wege begrifflich vollwertig ausgegrenzt werden.

Aber zurück zu den einfacher aufgebauten Pflanzengesellschaften der beiden angeführten viergliedrigen Reihen ober- und unteralpiner Stufe. Es sind Vegetations-Kleinlandschaften, die durch ihre Scharfgrenzen mit ebenfalls engräumigen, aber maßintensiven Faktorenkomplexen entsprechender Kleinklimazonen raumkorreliert sind. Man kann diese Vegetationseinheiten als endgültigen Bewuchs, der mit seiner Umwelt im Gleichgewicht ist, als Klimax, besonders dann betrachten, wenn sie auch mit einem besonderen zugehörigen Kleinbodentyp (vgl. NEUWINGER-CZELL'sche Typenbildung) verbunden sind. Wir dürfen diese Vollreife-Stadien aus dem gleichen Grund und mit gleichen Einschränkungen als Kleinklimax bezeichnen, wie man für ganze Geozonen Vegetationstypen von stabilem Entwicklungsabschluß als Großklimax aufzufassen pflegt.

Demnach ist es falsch - wie es häufig geschieht - von einem Alpenrosen-Klimax der ganzen unter- und von einem Krummseggen-Klimax der ganzen oberalpiner Stufe zu reden. Wenn sich nämlich das Auf und Ab des Kleinreliefs abflachen und ausgleichen würde, wäre die ganze Skala der Kleinzonen bodennahen Klimas und zugehöriger ausgereifter Feldvegetation immer noch da, nur etwas verbreitert und verschoben und nun eben nach dem verbliebenen Mittelrelief ausgerichtet. Wo freilich die Kleinzonen der alpinen Stufe gegen unten hin an die querstehende Front des Waldes heranreichen, verschwinden sie zwischen Baum- und Waldgrenze, meist indem sie sich zum einheitlichen Alpenrosen-Unterwuchs im höhenzonalen Zirben-Lärchen-Bestand auflösen.

Wenn nun aber der Wald gewaltsam aus seiner angestammten Grenzheimat vertrieben ist, d.h. Baum- und Waldgrenze künstlich herabgedrückt sind, stoßen die gekennzeichneten alpinen Vegetationsverhältnisse einschließlich zugehöriger Bodentypen bis an die aktuelle Waldgrenze herab vor, wo sie von Natur aus gar nicht mehr hingehören. So erstet die subalpine Endwaldungszone als eine gefährdende pseudoalpine Surrogatlandschaft. Hier sind die genannten Vegetations-Kleinzonen und zugehörigen Boden-Kleinzonen nicht mehr ganz so ausgeprägt, ihre Grenzen gegeneinander nicht mehr so scharf, auch die wechselseitige Raumkorrelation nicht mehr so exakt.

Nach plötzlicher Entwaldung braucht es geraume, aber sehr verschiedene Zeiten, bis sich die neue Zonierung durchsetzt, falls sie nicht überhaupt durch allzu intensive Almwirtschaft oder durch stark anlaufende Erosion völlig unterdrückt wird. Umgekehrt kann Waldjungwuchs spontan neuerdings nach oben vorstoßen und dabei die besagten Kleinzonen allmählich wieder zum Verschwinden bringen. Das setzt nicht nur voraus, daß der Holzraubbau aufhört, sondern auch daß, wie gerade heute, die Almwirtschaft zurücktritt und eine günstige Klimaschwankung es erleichtert. (Die gegenwärtige säkulare Schwankung scheint nur thermisch, nicht auch hygrisch günstig.)

Es kann also keine Rede davon sein, daß die pseudoalpine Vegetationszonierung des subalpinen Entwaldungsbereiches ebenso wie die echt-alpine als Kleinklimax-Bündel aufgefaßt werden dürfe. Hier gibt es kein wirklich stabiles Gleichgewicht zwischen Pflanzendecken und Umwelt, ist vielmehr alles gemäß ursprünglichen oder nachträglichen Waldeinflüssen oder Wirtschaftseinwirkungen und geodynamischen Umsetzungen in Fluß. Aus solcher Vegetation kann hier derzeit höchstens der für Gelände nahe der Waldzone speziell eingearbeitete Vegetations- und Bodenwissenschaftler unter Berücksichtigung aller weiteren ökologischen Umstände brauchbare Gutachten für den Praktiker ableiten. Die ökologisch wichtigen Vegetationskleinzonen hat der Verfasser in unserer Forschungsstelle von Anfang an unter großem Zeitaufwand immer wieder vorgeführt und vorgetragen, weil Erforschung unseres Problemraumes ohne Kenntnis und Verwertung des gegenwärtigen Wissenstandes über die im Gelände bestehenden biologischen Zusammenhänge unmöglich wäre. Das besagt zugleich, daß vor eiligst daraus fabrizierten Generalrezepten ("Ökogrammen") gewarnt werden muß. Sie können bei subalpinen Wiederaufforstungen in gefährlicher Weise irreführen und damit das Vertrauen in die hier so nötige Forschung zerstören. Wie eine wissenschaftlich hieb- und stichfeste Methodik für den Praktiker erarbeitet werden kann, soll im Schlußkapitel aus dem Gesamtinhalt abgefolgert werden.

Zu den oben behandelten Eigenheiten der subalpinen Entwaldungszone ergeben sich weitere Feststellungen, die für Erkenntnis des Wesens von Wald- und Baumgrenze wichtig sind.

1) Wo kein Wald ist, muß der spontane Jungwuchs in seinen ersten Jugendstadien innerhalb der vorhandenen Feld- und Bodenschichte der Freilandvegetation enthalten sein. Das bedeutet für diese Jungpflanzen, daß sie in der subalpinen Entwaldungszone wie die übrige Feldvegetation den dortigen radikalen reliefzonierten Kleinklimaten unterworfen sind.

2) Darum vermag sich die erste Jugend der subalpinen Holzarten innerhalb des Entwaldungsbereiches spontan nur in ganz beschränkten Kleinzonen mit nennenswerter Anzahl durchzusetzen.

3) Erst wenn die Pflanzen etwas größer geworden sind, können sich in ihrem Schutzbereich neue Ankömmlinge außen herum anreihen. Das wiederum ergibt eine engstreifige, relieforientierte Alterszonation.

4) Die derart vorstoßende junge Waldvorhut ist gezwungen, sich in einer ihr fremden, meist aus alpinen Höhen stammenden Feldvegetation (von Reiserheiden oder einem ihr ebenfalls fremden Rasen) anzusiedeln. Die Junghölzer können in dieser Fremdvegetation von vornherein keine echten Gesellschaftsmitglieder darstellen, sondern müssen als ein im Gesellschaftsmosaik ganz selbständig auftretender Pflanzenverein (als eine zöologisch unabhängige Synusie) angesehen werden.

5) In seiner kleinzonalen Relieforientierung unterscheidet sich das Junggehölz scharf von der höhenzonalen Raumordnung der erwachsenen Bestände, welche die Wald- und Baumgrenze bilden, sowohl der klimatischen Grenzlinien, welche in naturhaft gebliebenen Gebirgsbereichen trotz vorhandenem Kleinrelief sichtlich quasihorizontal durch das Gelände ziehen, als auch der aktuellen, welche sich in dieser Hinsicht meist ganz unregelmäßig verhalten.

Die schon erwähnte NEUWINGER-FRIEDEL'sche Vegetations-Boden-Karte des Obergurgler Stationsgeländes zeigt, ebenso wie die von GIERSIG zugrundegelegten Luftaufnahmen (vgl. den Ausschnitt Abb. 19) alle besprochenen Erscheinungen ganz deutlich. Diese sollten allerdings noch über weitere Gebiete der Alpen überprüft und ergänzt werden. Denn es handelt sich in der Entwaldungszone des Stationsgebietes fast ausschließlich um Zirben.

Innerhalb ihrer regionalen Vorzugsgebiete führen aber nicht nur die Jungzirben, sondern auch die beiden anderen subalpinen Hauptholzarten ihre spontanen Jugendvorstöße in relieforientierter Weise aus, nur eben etwas anders orientiert. Die Lärche rückt anscheinend mehr seitlich, die Fichte noch weiter abseits vom Windboden, näher dem Schnee- und Felsboden gegen oben vor. Wo allerdings das Kleinrelief weniger entscheidend hervortritt, zeigt sich mehr eine gewisse Zuordnung zur Bodenart. Spontan aufkommende Jungzirben überwiegen bekanntlich im podsoliierten, entsprechende Jungfichten nach NEUWINGER und CZELL im verbrauchten und Junglärchen, wie bes. AUER feststellte, im noch unterentwickelten Freilandboden. Dagegen liegen, wie NEUWINGER erkannte, bei Hochlagenaufforstungen mit ihren Pflanzenlöchern aus vermischten Bodenhorizonten die Dinge ziemlich anders. (Auch später streben in subalpinen Altbeständen die Mengenverhältnisse der Holzarten von Natur aus ihren Gleichgewichten nach andern Regeln zu.)

Um unsere Folgerungen über das Wesen der Waldgrenze treffen zu können, müssen wir im Auftreten von Vegetationslinien noch einen letzten weiteren Begriffsunterschied anwenden. Die besprochenen relieforientierten Kleinzonen der Vegetation sind samt ihren Grenzen



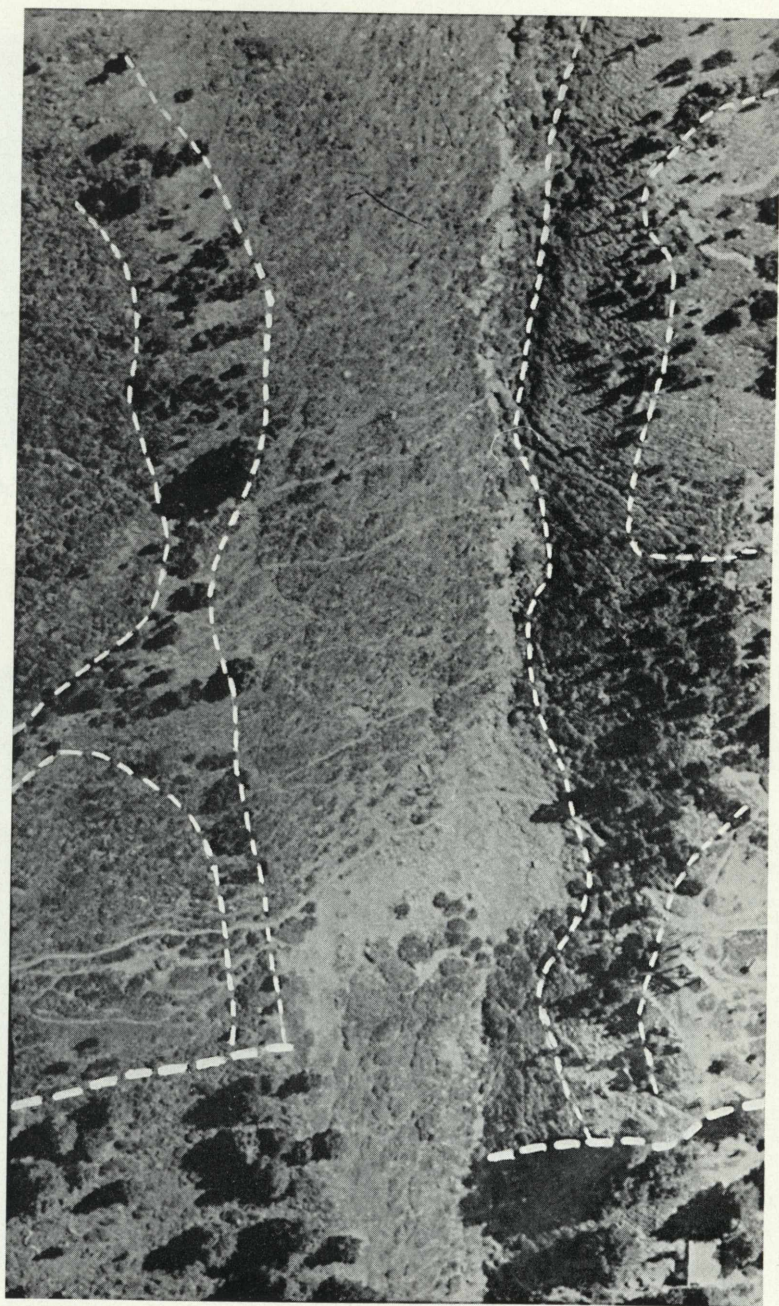


Abb. 19



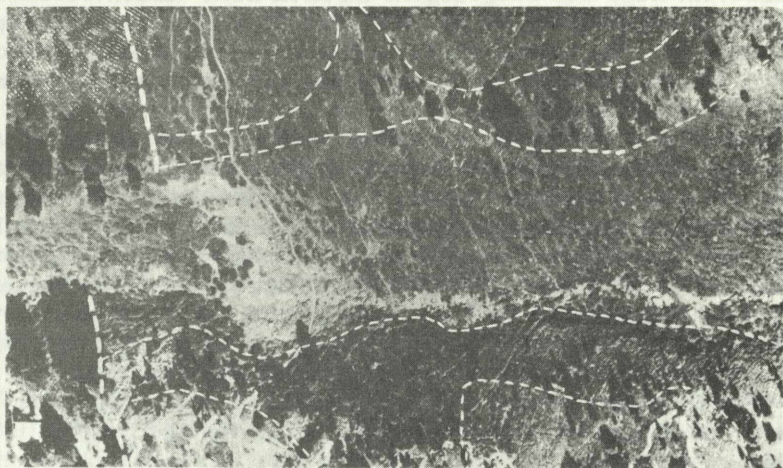


Abb. 19



Abb. 20



vor unserem Auge als ausgezogene Streifen bzw. Linien vorhanden. Dasselbe gilt (abgesehen von menschlichen Störungen und orographischen Unterbrechungen) von den niveaurientierten Baum- und Waldgrenzen. Ganz anders z.B. die oft herangezogene Grenzlinie zwischen einer unter- und einer oberalpinen Stufe. Sie ist nur in der Art gegeben, daß man die höchst gelegenen Stellen der Zwergstrauch-Kleinzonen (nicht bloß individueller Zwergstrauch-Vorkommen) durch eine sozusagen strichlierte Linie, wie bei den Schnee - Aper - Linien besprochen, quasihorizontal verbindet. Wir haben dort die beiden Arten von Linienzügen als konkrete und abstrakte unterschieden.

Ähnlich wie die Scheidelinie am oberen Ende der vollen Waldstufe gegen die alpinen Höhen muß es weiters eine ebenfalls sehr fundamentale, niveaurorientierte Zöno-Biochore geben, welche die alpine in entsprechender Weise aus höhenklimatischen Ursachen von der nach oben folgenden nivalen Vegetationsstufe trennt. Wir müssen sie nunmehr ebenfalls näher bestimmen und in die eben getroffene Unterscheidung einordnen. Ihr ähnlicher Rang in ihrer zonentrennenden Rolle läßt vielleicht gerade von dort oben weiteren Aufschluß zu unserem Waldkronen-Thema erhoffen.

Keinesfalls kommt der meist hiefür herangezogenen Firngrenze die erwähnte wichtige geobotanische Rolle zu. Sie ist gar keine Biochore, sondern eine Isochione, ihrem Wesen nach nur auf vegetationsfreien Gletscherflächen, nicht aber in den dazwischen liegenden vegetationshältigen Aperflächen zu finden, außerdem gar nicht höhenzonaler Natur, sondern relieforientiert. Darüber hinaus schwankt sie von Jahr zu Jahr im Gegensatz zur konservativen Nivalvegetation um weit mehr als hundert Meter in ihrer Höhenlage und um weit über einen Monat in ihrem Ausbildungsdatum. Sie mag in mehrjährigen Durchschnitten als rein abstrakt gefaßte, quasihorizontal verlängerte Niveaulinie zur ersten Annäherung an die wahre Grenzbestimmung dienlich sein, kann aber nie und nimmer als wirkliche biologische Höhenzonen-Scheide in der alpin-nivalen Vegetation angesehen werden.

Auch Geschlossenheit oder Offenheit der Gründecke fortgeschrittensten Ausbildungsgrades liefert uns in den Alpen keinen geeigneten Gesichtspunkt für die Grenzziehung. Es sind in diesen Höhen nicht geobotanisch, sondern rein orographisch bedingte Merkmale. Auf aperaturen verebneten Altflächen kann es hoch in der Nivalstufe sehr wohl noch kleinere Flächen geschlossenen Bewuchses hauptsächlich von Polster- und Rosettenpflanzen (Chamäphyten) geben und selbst auf glattem Fels gibt es z.B. streckenweise lückenlose Decken von Nabelflechten (Gyrophoreten).

Im Gebirgssystem unserer Alpen ist die alpine Stufe, wie allgemein bekannt, vor allem durch dichte Pflanzendecken von Graminiden mit festen Horsten und zäher Strohtunica ausgezeichnet wie *Carex curvula*, *Elyna*, *Sesleria coerulea* u.a. Nach dieser Dominanztatsache

können wir dem klimatisch verursachten Oberrand der Waldstufe einen klimatisch verursachten Oberrand der Alpenstufe entsprechen lassen: Mindestens in unserem Gebirgssystem dürfen wir danach nämlich der alpinen Waldgrenze eine nivale Rasengrenze und der alpinen Baumgrenze eine nivale Horstgrenze zur Seite stellen. In Abb. 20 wird ein altes Stück Gebirgsoberfläche, das Wanneneben, nördlich unserer Station gezeigt, auf der in etwa 2900 m mit dem Fernglas ein Stück klimatischer Rasengrenze zu sehen ist.

Freilich sind die Scheidelinien gegen die nivale Vegetationsstufe nicht nur über weite Strecken orographisch verhindert, sondern überdies, wie schon angedeutet, relieforientiert. Die Trennung zwischen alpinen und nivalen Höhen kann also in der reliefbestimmten Kleinzonierung der Vegetation allein mittels künstlicher Verbindung einzelner Höchstpunkte erfolgen. Rasen- und Horstgrenze sind somit abstrakter Natur im Gegensatz zur wichtigsten geobotanisch-höhenzonalen Grenzbildung, der nach oben letzten, die echt konkreter Natur ist, nämlich der alpinen Wald- und Baumgrenze.

#### 4. PHÄNOLOGISCHE ISOLINIEN

Der biologische Jahres- und Tagesperiodismus ist als solcher erblich angelegt, wird aber unmittelbar vom Jahres- und Tagesgang klimatischer Faktoren (wärmer-kälter, feuchter-trockener, heller-dunkler) zu einem mit diesen synchron abrollenden Zyklus ausgestaltet, dabei in seinen Einzelheiten vom jeweiligen Witterungslauf bestimmt. Speziell im vorwiegend thermischen Jahreszeitenwechsel unserer Gegenden spielt, wie man heute weiß, die Infrarotstrahlung eine besondere Auslöserrolle.

Tiefer als die Tagesperiodik greift natürlich der Jahreszyklus ein, Seine äußerlich sichtbaren Phänomene setzen einerseits die phänologischen Saisonkreise des Jahres und andererseits die zönologischen Aspektfolgen der Vegetation zusammen. Sowohl die generativen Reihungen im Blühen und Fruchten als auch die vegetativen im Treiben und Schwinden am Körper besonders der eigentlichen Trophephyten gehören hierher.

Außer den besprochenen Biochoren, welche Einzel-Auftreten oder Zusammen-Vorkommen lebendiger Träger im Gelände umgrenzen, haben wir nach diesen Tatsachen in unserer Ökographie als zweite biogene Linienklasse die Isophänen, welche Entfaltungs- und Rückbildungsstadien im lebendigen Jahreszyklus zur Darstellung bringen und als Linien gleicher Phase in der Landschaft teils leichter, teils schwerer sichtbar eingeschrieben stehen. Für phänologische Aufnahmen speziell forstwissenschaftlicher und forsttechnischer Bezeichnung zumal im Alpenbereich bis zur Baumgrenze bietet sich die



Lärche an. Forstliche Terminmaßnahmen gerade in Hochlagen sind begreiflicherweise durch biologische Zeitangaben weit besser festlegbar als bloß durch starre kalendarische.

Für unsere engere Aufgabenstellung ist es notwendig, von den Niederungen bis in die Hochlagen vergleichbar zu bleiben. Das erleichtern die phänologischen Zustandswechsel der Lärche. Ihre vegetativen Phasen (Begrünungs-, Vergilbungs- und Verkahlungsstadien) sind gut fernsehbar und daher auch von Weitem direkt mappierbar. In den Kalkalpen (besonders auf Dolomit) ist die Lärche freilich sehr lückenhaft verbreitet, meist aber doch vorhanden, wenngleich über größere Abstände oft nur in einzelnen Exemplaren.

Unser lärchenphänologisches Beobachtungsmaterial reicht über den größten Teil von Nord- und Südtirol, konzentriert sich aber begreiflicherweise auf die häufigst benutzte Fahrstrecke von Innsbruck nach Obergurgl. In diesem Bereich verdichtet es sich vor allem auf die Umgebung unserer Beobachtungsstation und auf die von Innsbruck, ein wenig auch auf die Umgebung der Abzweigung des Ötztals vom Inntal. Zeitlich stammt es zum kleineren Teil aus den Jahren 1954 - 56, zum größeren aus 1964 - 66. Die Daten reichen natürlich nur bis zur aktuellen Waldgrenze, über sie hinaus bis zur klimatischen Baumgrenze sind nur theoretische Ergänzungen möglich.

Die Abb. 21 und 22 veranschaulichen bisher ausgewertete Ergebnisse über den phänologischen Auf- und Abbau-Prozeß des grünen Nadelkleides der Lärche in seiner Abhängigkeit von Kalenderdatum und Höhenlage. Abb. 21 gibt zunächst einige Jahreszeit-Meereshöhen-Diagramme und zwar stellt Abb. 21 a die frühjährliche Aufwärtswanderung der Begrünungsstadien unseres laubabwerfenden Nadelbaumes dar

- 1) ab Innsbruck Hofgarten auf die schattseitigen Berge im Süden der Stadt und
  - 2) entlang des Ötztaler Talbodens sowie von diesem ab Poschach auf den Abhang der Gurgler Beobachtungsstation.
- Abb. 21 b die herbstliche Abwärtsverschiebung seiner Vergilbung und Entnadelung auf ebendiesen beiden Routen.

Im Einzelnen bedeuten die wiedergegebenen Kurven folgendes:

#### a) Stadien der Lärchen - Begrünung

1. fernsichtbare Grenzlinien zwischen Bereichen mit bereits schwach begrünten Lärchen gegen solche mit noch winterlich kahlen. Sie entsprechen, in der Nähe gesehen, erfahrungsgemäß nicht einer allerersten Öffnung der Kurztriebknospen, sondern einer solchen mit Nadellängen von 2 bis 3 mm. (Nicht zu verwechseln mit dem schwach grünlich-gelben Ton, welcher anlässlich der schon vorher beginnenden Streckung der Langtriebe entsteht.)

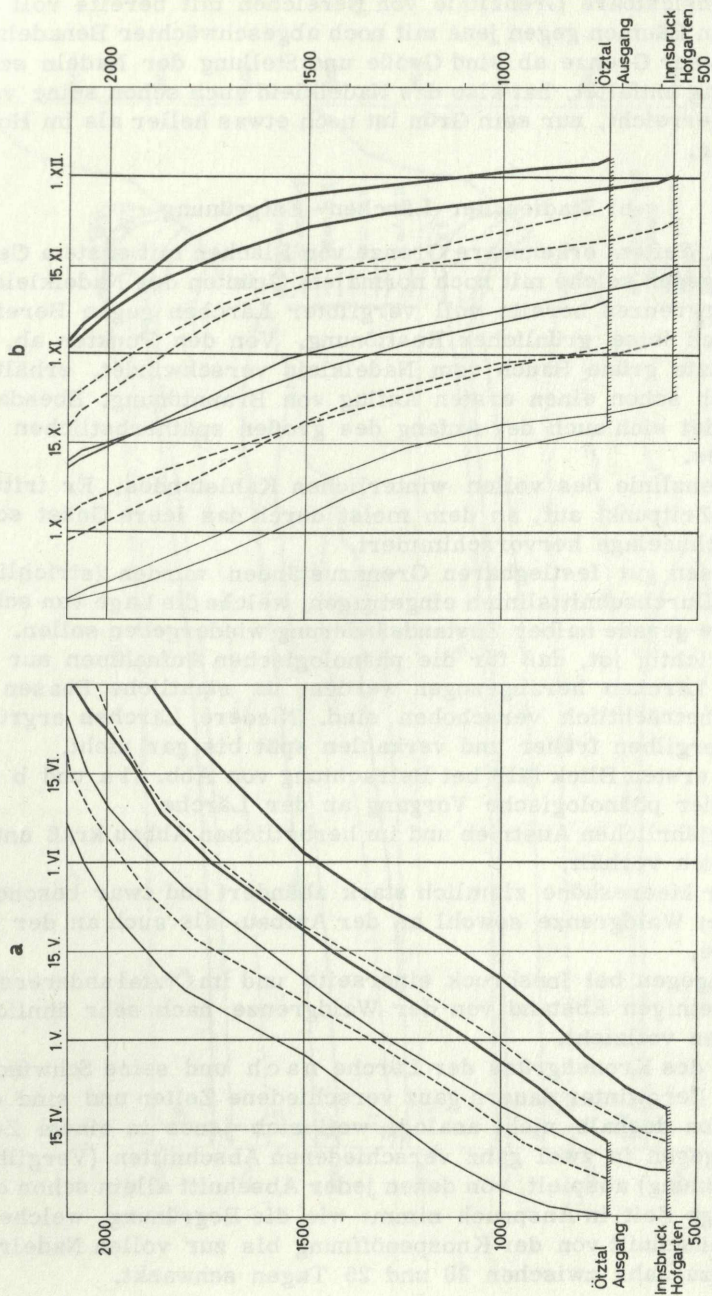


Abb. 21

2. die fernsichtbare Grenzlinie von Bereichen mit bereits voll benadelten Bäumen gegen jene mit noch abgeschwächter Benadelung. Von dieser Grenze ab sind Größe und Stellung der Nadeln schon endgültig entfaltet, hat also das Nadelkleid auch schon seine volle Dichte erreicht, nur sein Grün ist noch etwas heller als im Hochsommer.

#### b) Stadien der Lärchen - Entgrünung

1. die von Weitem erkennbare Grenze von Flächen mit erstem Gelbanflug gegen solche mit noch normalem Grünton des Nadelkleides.
2. Flächengrenzen bereits voll vergilbter Lärchen gegen Bereiche mit noch leise grünlicher Resttönung. Von den Punkten ab, wo der letzte grüne Hauch vom Nadelkleid verschwindet, erhält es zugleich schon einen ersten Anflug von Brauntönung. Ebendamt verbindet sich auch der Anfang des großen spätherbstlichen Nadelfalles.
3. die Grenzlinie des vollen winterlichen Kahlstandes. Er tritt zu einem Zeitpunkt auf, an dem meist durch das leere Geäst schon eine Schneelage hervorschimmert.

Außer diesen gut festlegbaren Grenzzuständen wurden (strichliert) auch noch Durchschnittslinien eingetragen, welche die Lage von schätzungsweise gerade halber Zustandsänderung wiedergeben sollen. Besonders wichtig ist, daß für die phänologischen Aufnahmen nur erwachsene Lärchen herangezogen werden, da sämtliche Phasen am Jungholz beträchtlich verschoben sind. Niedere Lärchen ergrünen später, vergilben früher und verkahlen spät bis gar nicht.

Auf den ersten Blick fällt bei Betrachtung von Abb. 21 a und b auf, daß sich der phänologische Vorgang an der Lärche

- 1) im frühjährlichen Austrieb und im herbstlichen Abbau kraß unterschiedlich verhält,
- 2) mit der Meereshöhe ziemlich stark abändert und zwar besonders nahe der Waldgrenze sowohl an der Aufbau- als auch an der Abbauseite,
- 3) sich dagegen bei Innsbruck einerseits und im Ötztalandererseits bis in einigen Abstand von der Waldgrenze nach sehr ähnlichen Gesetzen vollzieht.

Bildung des Kronengrüns der Lärche nach und seine Schwindung vor dem Bergwinter dauern ganz verschiedene Zeiten und sind einander schon deshalb nicht analog, weil sich jenes in einem Zuge, dieses dagegen in zwei ganz verschiedenen Abschnitten (Vergilbung und Verkahlung) abspielt, von denen jeder Abschnitt allein schon doppelt solange Zeit in Anspruch nimmt wie die Begrünung, welche im Höhendurchschnitt von der Knospenöffnung bis zur vollen Nadelreife von Jahr zu Jahr zwischen 20 und 25 Tagen schwankt.

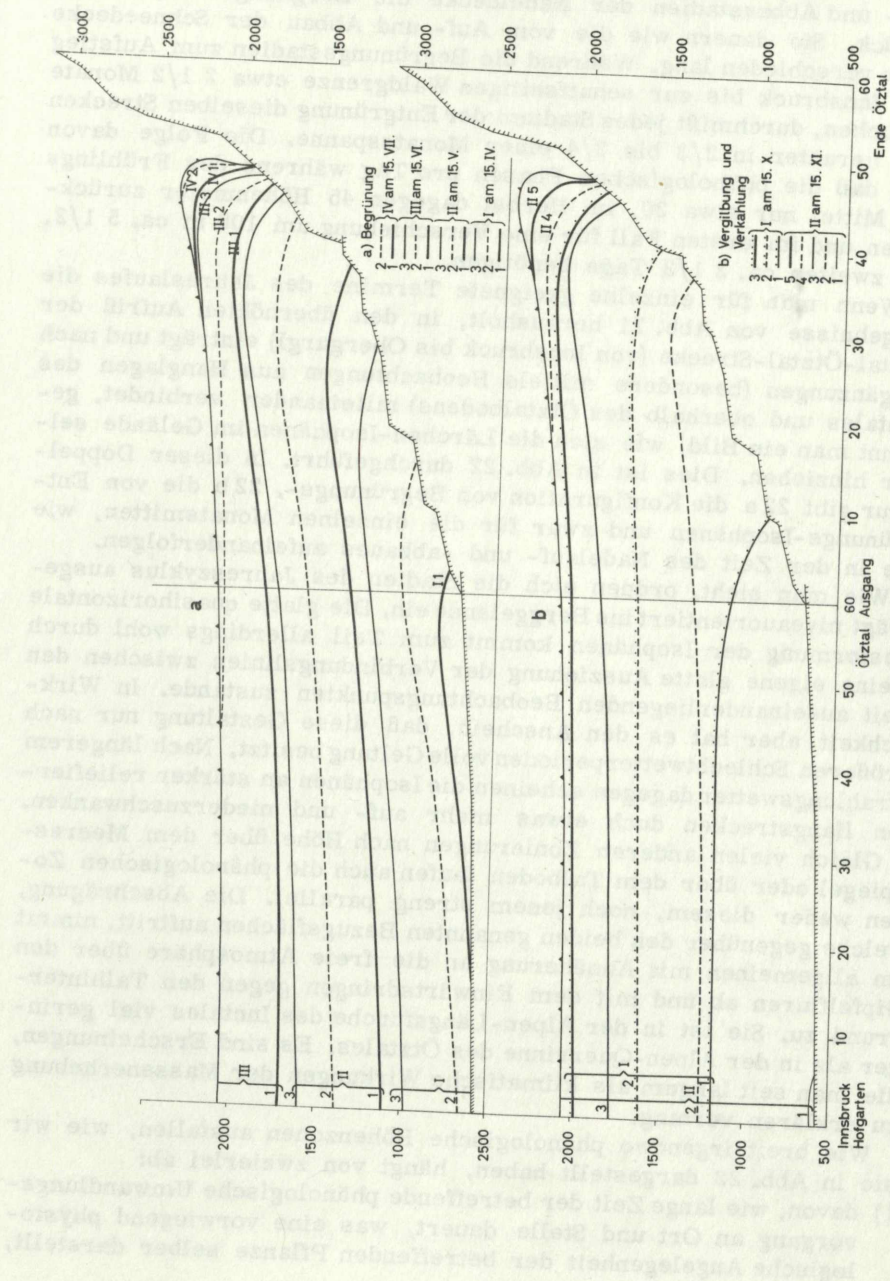
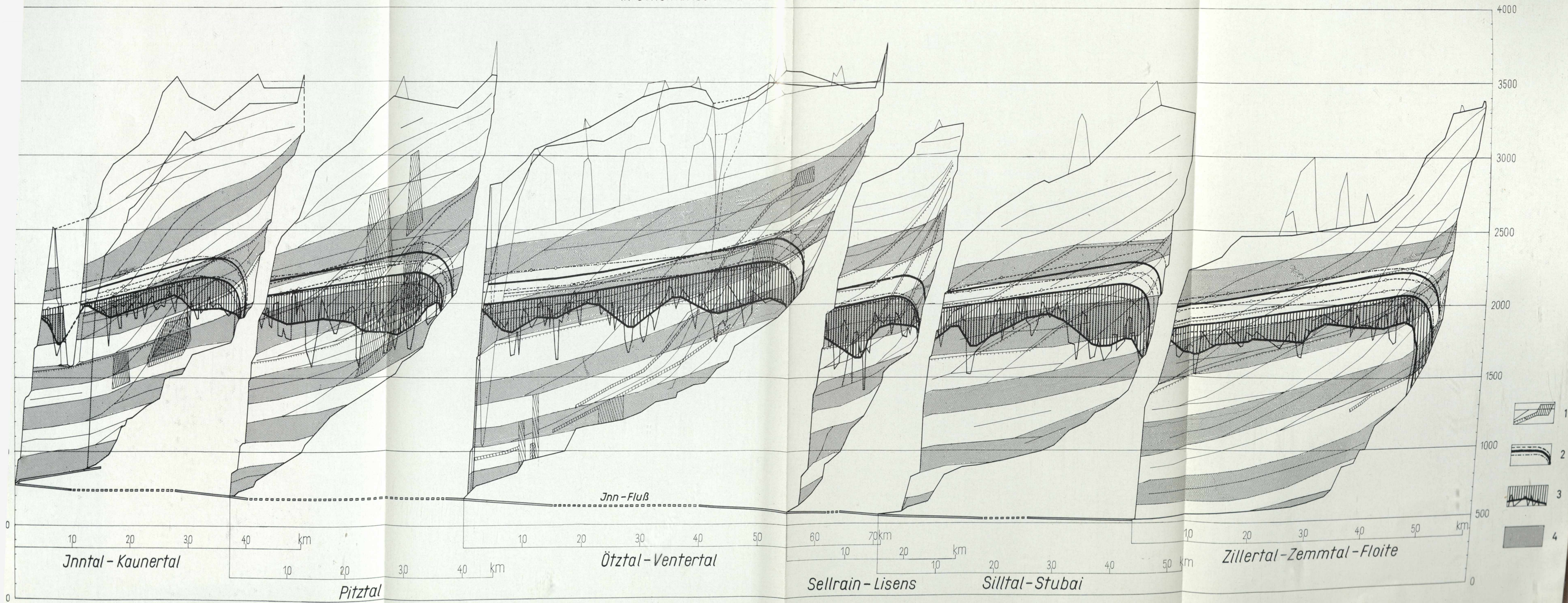


Abb. 22



H. FRIEDEL

# Sechs rechtsseitige Nebentäler des Jnntales in schematischen u. überhöhten Aufrissen





Umgekehrt steht es mit den Zeiträumen der Wanderung von Aufbau- und Abbaustadien der Nadeldecke die Berghänge empor und zurück. Sie dauern wie die vom Auf- und Abbau der Schneedecke sehr verschieden lang. Während die Begrünungsstadien zum Aufstieg von Innsbruck bis zur schattseitigen Waldgrenze etwa 2 1/2 Monate brauchen, durchmißt jedes Stadium der Entgrünung dieselben Strecken bis herunter in 2/3 bis 3/4 einer Monatsspanne. Die Folge davon ist, daß die phänologischen Phasen pro Tag während des Frühlings im Mittel nur etwa 20, im Herbst dagegen 45 Höhenmeter zurücklegen und im ersten Fall für eine Verschiebung um 100 m ca. 5 1/2, im zweiten ca. 2 1/2 Tage benötigen.

Wenn man für einzelne geeignete Termine des Jahreslaufes die Ergebnisse von Abb. 21 herausholt, in den überhöhten Aufriß der Inntal-Ötztal-Strecke (von Innsbruck bis Obergurgl) einträgt und nach Ergänzungen (besonders mittels Beobachtungen aus Hanglagen des Inntales und oberhalb des Ötztalbodens) miteinander verbindet, gewinnt man ein Bild, wie sich die Lärchen-Isophänen im Gelände selber hinziehen. Dies ist in Abb. 22 durchgeführt. In dieser Doppelfigur gibt 22a die Konfiguration von Begrünungs-, 22b die von Entgrünungs-Isophänen und zwar für die einzelnen Monatsmitten, wie sie in der Zeit des Nadelauf- und -abbaues aufeinanderfolgen.

Wie man sieht, ordnen sich die Stadien des Jahreszyklus ausgeprägt niveauorientiert ins Berggelände ein. Die glatte quasihorizontale Ausformung der Isophänen kommt zum Teil allerdings wohl durch meine eigene glatte Ausziehung der Verbindungslinien zwischen den weit auseinanderliegenden Beobachtungspunkten zustande. In Wirklichkeit aber hat es den Anschein, daß diese Gestaltung nur nach größeren Schlechtwetterperioden volle Geltung besitzt. Nach längerem Strahlungswetter dagegen scheinen die Isophänen an stärker reliefierten Hangstrecken doch etwas mehr auf- und niederzuschwanken.

Gleich vielen anderen Zonierungen nach Höhe über dem Meeresspiegel oder über dem Talboden laufen auch die phänologischen Zonen weder diesem, noch jenem streng parallel. Die Abschrägung, welche gegenüber den beiden genannten Bezugsflächen auftritt, nimmt im allgemeinen mit Annäherung an die freie Atmosphäre über den Gipfelfluren ab und mit dem Einwärtsdringen gegen den Talhintergrund zu. Sie ist in der Alpen-Längsfurche des Inntales viel geringer als in der Alpen-Querrinne des Ötztals. Es sind Erscheinungen, die man seit langem als klimatische Wirkungen der Massenerhebung zu erklären vermag.

Wie breit irgendwo phänologische Höhenzonen ausfallen, wie wir sie in Abb. 22 dargestellt haben, hängt von zweierlei ab:

- 1) davon, wie lange Zeit der betreffende phänologische Umwandlungsvorgang an Ort und Stelle dauert, was eine vorwiegend physiologische Angelegenheit der betreffenden Pflanze selber darstellt,



- 2) davon, wie schnell sich mit der Höhe die umweltlichen Vorbedingungen des phänologischen Ablaufes ändern, womit wir eine vorwiegend ökologische Sachlage im betreffenden Gelände vor uns haben.

Die Begrünungszonen zeigen sich (offenbar aus physiologischen Gründen) als so schmal, daß sie trotz ihrer langsamen Aufwärtsbewegung von Monatsmitte zu Monatsmitte durch Zwischenräume getrennt erscheinen, die Entgrünungszonen hinwieder so breit, daß sie sich trotz ihrer schnellen Abwärtsbewegung in den gleichen Zeitabständen noch weitgehend überdecken. So mag es wohl vorkommen, daß ein ganzer Lärchenbestandener Abhang eines weniger hohen Bergkammes scheinbar ohne Höhenunterschiede auf einmal vergilbt, kaum aber, daß er von oben bis unten zugleich ergrünt. Beide phänologischen Prozesse stimmen jedoch (offenbar aus umweltlichen Gründen) darin überein, daß sie unten viel schneller ablaufen als oben nahe der Baumgrenze.

Zu der mit der Massenerhebung zusammenhängenden Abweichung von der Horizontalen tritt noch eine mehr kurzstreckige, aber viel stärkere. Sie ist auch umgekehrt gerichtet, da sie taleinwärts nicht in einem Ansteigen, sondern in einem Absinken besteht. Die auffallende Verbreiterung der Phänozonon gegen den Talboden des Ötztales (ein wenig auch schon des Inntales) ist, wie Abb. 22 zeigt, mit einer Abwärtskrümmung der Isophänen verbunden, eine Erscheinung auch anderer Isolinien, welche seit SCHARFETTER (1938) als Talphänomen bezeichnet wird. Beim Abstieg von den Bergflanken zum Talboden wechseln wir eben aus den wärmeren Hanglagen in die Kaltlufttrinne zu ihren Füßen, bestehend aus wechselnden Kälteseen in Talbecken und Kältegebläsen in Talschluchten, wie man es gerade im Eng-Weit-Wechsel des Ötztales erleben kann. Besonders wenn eine enge Talschlucht in einen breiten Talboden eingeschnitten liegt, wie etwa im unteren Pitztal und unteren Sill-Stubai-Tal, kommt es zu Inversionen der Isophänen, sodaß z. B. unten die Lärchen schon gelb sind, während sie höher oben noch grünen. Wir erkennen nun auch, daß das auffallende Hakenschlagen vieler klimatischer Linien dort, wo Talgletscher den Abschluß bilden, nichts anderes ist als eine Verstärkung obigen Talphänomens durch die TOLLNER'schen Gletscherwinde (TOLLNER 1931, FRIEDEL 1936).

Die vorgeführten phänologischen Tatsachen an den Lärchen sind Erscheinungen des mehrere Meter hoch in die Atmosphäre eingreifenden Baumlebens. Daß sich niedriges Junggehölz darin weitgehend anders verhält, wurde schon angedeutet. Phänologische Zyklen haben nun aber nicht nur ausgewachsene Bäume, sondern auch die Pflanzen der Feldschichte. Hier zeigt sich, daß deren Isophänen in entsprechenden Hochlagen (mit wetterlagenbewirkten Einschränkungen) nicht höhenzonal, sondern relieforientiert verlaufen. Ihre Konfiguration kann, so scheint es, ebenso von Strahlungsverhältnissen wie durch

die Bewindung oder durch Schneelagenverhältnisse bestimmt werden. Als Beispiel sei mit Abb. 23 das kleinräumige Verhalten des Frühlingszyklus der rostblättrigen Alpenrose dargestellt. Es bezieht sich auf die Umrahmung einer Mulde, die durch Zusammentreffen zweier Murkegel nahe im Süden unserer Station entstanden ist.

Damit haben wir die Einzeltatsachen beisammen, welche es erlauben, in den nachfolgenden beiden Schlußkapiteln gesicherte Folgerungen zu ziehen über Werden und Wesen der alpinen Waldgrenze und über Methoden von Forschung und Praxis im anliegenden Gelände. Dazu möchte ich nicht die Bemerkung unterlassen, daß ich die Sammlung des verwendeten Datenstoffes zu einem großen Teil dem eigenen Antrieb meiner getreuen engeren Mitarbeiter PRUTZER, CERNUSCA und KRONFUSS verdanke. Deshalb fühle ich mich gedrängt, ihnen an dieser Stelle meinen herzlichen Dank auszusprechen.

### III. WESEN, WERDEN UND URSACHE DER ALPINEN WALDGRENZE

Am Ausgangspunkt vorliegender Untersuchung über Werden und Wesen der oberen Waldbegrenzung stand eine Begriffsunterscheidung, die sich für das Weitere als fundamental erwies: die Gegenüberstellung von zweierlei räumlichen Anordnungsweisen (Konfigurationen) von Naturphänomenen im Berggelände: einerseits vorwiegend niveauorientiert oder höhenzonal, andererseits vorwiegend relieforientiert oder kleinzonalabgestufte oder abgegrenzte Erscheinungen. Zur ersten Klasse gehört die klimatische Wald- und die klimatische Baumgrenze. Diesen vegetations- und forstwissenschaftlich so bedeutsamen Niveaulinien konnten mehrere weitere, ebenfalls höhenzonale Grenz- und Isolinienzüge zur Seite gestellt und näher betrachtet werden. Es mag daher zuerst als Abweichung vom Thema empfunden worden sein, als die Linienzüge der zweiten Gruppe in gleicher Weise herangezogen und analysiert worden sind. Aber auch diese zweite Klasse steht einer forstlich-biologisch wichtigen und sachverwandten Umrandungslinie zur Seite, nämlich des aufwärtsdringenden autochthonen (natürlichen) Waldjungwuchses.

Es wird anfangs auch überflüssig erschienen sein, daß nicht nur die Klimalinien, sondern auch die Relieflinien in viele Richtungen hin in Augenschein genommen worden sind. Es war aber u.a. nötig, um gewissen Irrtümern vorzubeugen. Es gibt nämlich echte, niveauorientierte Klimalinien und solche, die auf höhenzonalen Reliefscheinungen (präglazialen und infraglazialen Relieflinien) beruhen. Als Beispiel dafür dienten die abstrakten Isochionen des Ausaperungsgrades, welche tatsächlich nur auf höhenzonal übereingestaffelte Stufen der Gehänge zurückgehen. Zur Erklärung der kli-

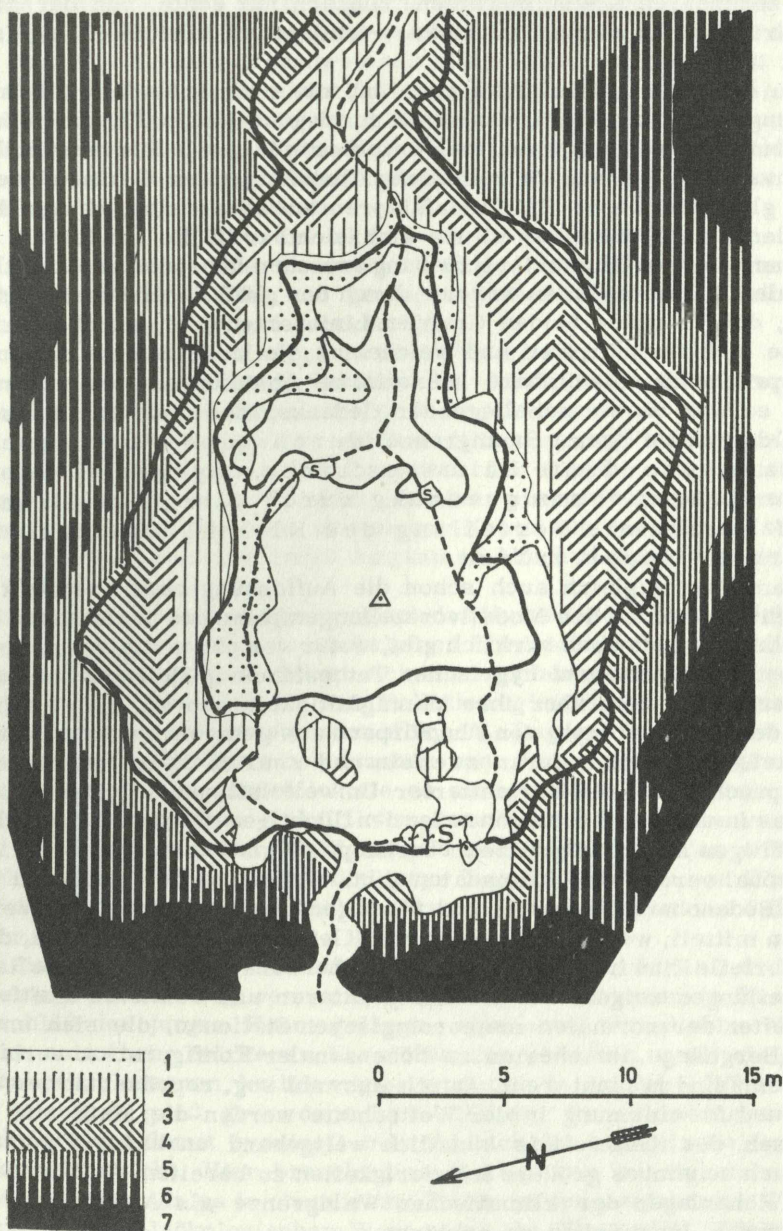


Abb. 23

matischen Wald- und Baumgrenze kommen nach ihrem Verlauf nicht die sekundären Kleinklimalinien, sondern nur echte, von der atmosphärischen Schichtung her niveaurorientiert entstehende Klima-Isolinien in Betracht.

Zu der altbekannten Tatsache, daß die räumliche Intensitätsverteilung kleinklimatischer Faktoren durch eine Mehrzahl von Meßstellen erfaßt werden muß, tritt der offenbar weniger selbstverständliche Sachverhalt, daß andere räumliche Abstufungen im Gelände, welche mit gleichem Recht als Klimafaktoren auffaßbar sind, keiner Meßstellennetze bedürfen, weil sie sich sichtbar in die Landschaft einordnen. Unsere Hauptunterscheidung zwischen höhenzonalen und kleinzonalen Klima-Isolinien war nur durch den glücklichen Umstand möglich, daß es unter beiden Gruppen Linienarten gibt, welche im Gelände sichtbar auftreten und welche uns die Modellvorstellungen für entsprechende unsichtbare klimatische Abstufungen geben können. Und so war es ein naheliegender Gedanke, daß die klimatische Waldgrenze (samt Baumgrenze) durch eine real höhenzonal angeordnete Klimaabstufung, dagegen die spontane Jungwuchsumgrenzung durch eine vom Kleinrelief bestimmte Verteilung des Kleinklimas ihre Erklärung finden müsse.

Damit ist zugleich auch schon die Auffassung zum Ausdruck gebracht, daß es zu den Modellvorstellungen passende unsichtbare Klimaabmessungen auch wirklich gibt, wofür vor allem die verschiedensten thermischen und hygrischen Tatbestände in Betracht zu ziehen wären. Wenn man aber ihre Mannigfaltigkeit - soweit sie überhaupt von der Erde und nicht von Flugkörpern aus gemessen werden - überschaut, könnte man daran zweifeln und zwar nicht an der Existenz entsprechender relieforientierter Umwelteinflüsse, sondern daran, daß es in unseren Hochlagen außer den flüchtigen Nebeln und den schnell hinfalligen Einschniegrenzen überhaupt so glatte, echt und real höhenzonal verlaufende Klimadaten gibt. Wenn man nur genügend nahe der Bodenoberfläche mißt und über genügend verschiedene Wetterlagen mittelt, werden sich stets vom Kleinrelief mitbeeinflusste, durch vektorielle Einwirkungen aus bloßer Höhenzonalität ausgelenkte Raumverteilungen zeigen. Die Lufttemperaturen und relativen Luftfeuchtigkeiten der normalen meteorologischen Stationen, die sich entlang der Berghänge am ehesten zu höhenzonaler Konfiguration verbinden lassen, sind ja nicht real. Durch Auswahl sog. repräsentativer Stellen und Abschirmung in der Wetterhütte werden die Maße von Einflüssen des Kleinreliefs künstlich weitgehend unabhängig gemacht. Danach scheint es größere Schwierigkeiten zu bereiten, Ausformungen und Höhenlagen der klimatischen Waldgrenze als Anordnungen der spontanen Jungwüchse zu erklären.

Die Verbreitung biologischer Sachverhalte läßt sich manchmal aus einem einzigen elementaren Klimafaktor erklären, erfahrungsgemäß

aber nur dann, wenn es sich um extreme Lagen handelt, wo sich gerade dieser Faktor im biologischen Minimum befindet. Meist muß man die Abstufungen von ganzen ökologischen Komplexen heranziehen, um den Verlauf irgendwelcher klimabedingter Biochoren verständlich zu machen. In einer früheren Arbeit (FRIEDEL 1965) habe ich die beiden Hauptrichtungen, in die reliefbedingte Kleinklimaunterschiede der subalpinen Entwaldungszone auseinandertreten und die uns natürlich in verschiedenen Intensitätsgraden entgegentreten, folgendermaßen gekennzeichnet:

#### Hitzrocknis-Flächen,

mit mittlerer bis großer Schneebedeckung, deren Boden im Sommer infolge von starker Ein- und geringerer Ausstrahlung an heiteren Tagen ungünstig heiß und trocken wird;

#### Frostrocknis-Flächen,

mit starker windbewirkter Verdunstung, deren Boden im Winter infolge von geringstem Schneeschutz tief gefroren ist.

In unserem Stationsgebiet reichen Hitzrocknis-Flächen von der aktuellen Waldgrenze an den Leeseiten der Rippen unter geringer Abschwächung gegen die Vorderkante einer oberen Verebnung empor, Frostrocknis-Flächen von ebendieser Kante auf den Rippen selbst und auf ihren Luvseiten unter langsamer Abschwächung zur aktuellen Waldgrenze hinunter.

Hitzrocknis scheint kleinklimatisch das Haupthindernis einer selbsttätigen Wiederbewaldung der subalpinen Entwaldungszone zu sein. In unserem Stationsgelände drängt sich der spontane Jungwuchs in engen geschlossenen Streifen, die mit Falllinien gleichlaufen, zusammen. Es sind gerade die Frostrocknisflächen. Dagegen werden die dazwischen liegenden Hitzrockniszonen vom Junggehölz fast gänzlich gemieden, sodaß hauptsächlich sie es sind, die bis heute einen Zusammenschluß zu einer einheitlichen, neu bestockten Fläche verhindern. Von der aktuellen Waldgrenze nahe einer schmalen unteren Verebnung in 2070 m drängt die junge Front (abgesehen von Einzelvorkommen anderer Standorte) in ihren obersten Keilen bis 2160 m empor.

In dieser Höhe oder vielleicht noch um wenigstens höher würde in unserem Gelände also, wenn zukünftig der glatt höhenzonale Zusammenschluß der jungen Front gelänge, eine neue klimatische Waldgrenze entstehen. Stärkeres Vorstoßen der obersten, noch einigermaßen geschlossenen keilförmigen Vorhuten in größere Höhe wird also durch zu groß gewordene Intensität der Frostrocknis selber verhindert und damit eventuell indirekt auch die klimatische Baumgrenze verursacht. Hier braucht dies nicht weiter im einzelnen begründet werden, da es in ebendiesem Bande in ausgezeichneter Weise auf experimental-ökologischem Wege geschieht (TRANQUILLINI 1967).

Daß die ausgebildete klimatische Waldgrenze anfangs in ihrer Höhenlage durch den Grad der Frostrocknis bestimmt wird, darf nicht

die Vorstellung erwecken, ihr entlang seien nun überall die gleichen Schwellenwerte desselben Faktorenkomplexes herrschend. Die Waldgrenze schneidet im Gegenteil ja auch über Flächen des entgegengesetzten Kleinklimas, über die noch waldfeindlicheren Hitzetrocknisflächen, glatt hinweg. Wir haben das Wesen der klimatischen Waldgrenze (und in ähnlicher Weise auch das der klimatischen Baumgrenze) erst richtig verstanden, wenn wir das Zustandekommen auch dieser Tatsachen durchschauen.

Erinnern wir uns an die Feststellung, daß sich die gesamte reifere Vegetation der Feld- und Bodenschichte, die oberhalb der aktuellen Waldgrenze vorkommt, bis hinauf in nivale Höhen relieforientiert in Kleinzonen anordnet, daß also die Wald- und die Baumgrenze gegen oben die letzten konkret höhenzonalen Biochoren sind. Alle anderen sind ihrem Wesen nach abstrakte Verbindungslinien von einander entsprechenden Punkten im Felde ihrer relieforientierten Kleinzonation. So muß sich eben auch der spontane Waldjungwuchs im subalpinen Freiland anfangs streng in diese Gesetze der Feldvegetation einordnen.

Nach oben vorstoßen kann nun aber der Wald gar nicht anders als mittels Jungpflanzen. Daraus folgt, daß die kleinreliefzonierten Jungwuchszonen noch ohne vollen seitlichen Zusammenschluß, das notwendige genetische Vorstadium neu entstehenden Waldes in der subalpinen Stufe darstellen. Auch nach der Eiszeit bis zur postglazialen Wärmezeit kann das Werden neuer hochgelegener Wälder und Waldkronen mindestens in unseren Alpen nicht anders vor sich gegangen sein.

Die Fähigkeit, kleinzonale Aufsplitterung zu glatter Höhenzonalität zu überwinden, die sich auf Wald und Waldkrone beschränkt und auch in der vorwiegenden Niveauorientierung der Baumisophänen gegenüber der vorwiegenden Relieforientierung von Feldschicht-Isophänen wieder spiegelt, beruht offenbar auf der großen Stammhöhe der Bäume, auf der außerordentlichen Mächtigkeit der Baumschicht, der alle andere Vegetation nichts Gleichwertiges entgegensetzen hat. In einem Bodenabstand, wie ihn die Baumkronen besitzen, ist die kleinklimatische Gegensätzlichkeit und Uneinheitlichkeit an sich schon herabgesetzt. Dazu kommt aber als Hauptsache die Fähigkeit der hochstrebenden Bäume selber, besonders im geschlossenen Waldwuchs, zeitliche und räumliche Gegensätze auszugleichen. Baumbestände haben diese Wirkungen nicht nur in ihrem Innern, sondern eine Strecke weit auch nach außen. In dieser kleinklimatischen Ausgleichswirkung bildet in Hochlagen nur noch das Krummholz (Latschen und Luttern) ein Übergangsglied zwischen Feld und Wald.

Jungholzbestände betätigen also im Heranwachsen zunehmende ausgleichende Deck- und Randwirkungen, sodaß sich im Schutze der ersten Besiedler günstigster Kleinstandorte des schwierigen Geländes in deutlicher engstreifiger Alterszonation immer neue Nachkommen-



schaft anreicht. In unserem Stationsgelände sind es fast ausschließlich Zirben. Die ältesten Jungbäume der Vorstoßzonen stehen hier knapp entlang der Rippen-Höhenlinien am Beginn der Luvseiten. Sie sind heute (vgl. OSWALD 1963) ca. 75 Jahre alt und bis zu 7.5 m hoch. Man kann also annehmen, daß hier der Vorstoß um 1890 begonnen hat, sofern nicht schon vorher Jungpflanzen da waren, die nicht am Leben geblieben sind. Die seitliche Ausbreitung des spontanen Jungwuchses gegen die ungünstigen Zwischenräume geht offenbar von Natur aus äußerst langsam vor sich, ja braucht vielleicht viele Jahrhunderte. Im Stationsgelände dürfte der Vorgang in weiteren 75 Jahren, wenn die ältesten Baumstreifen schon ganz erwachsen sind, jedenfalls noch nicht abgeschlossen sein.

Auf alle Fälle ist die Entstehung einer glatten höhenzonalen Wald- und Baumgrenze das selbsttätige Werk der Holzarten selber und ihre Selbsterhaltung, solange keine allzugroben Störungen von außen erfolgen, die Wirkung des selbsterzeugten Binnenklimas. Man darf es sich nicht gänzlich einheitlich vorstellen, sondern nur soweitausgeglichene, daß der durchgehende Waldwuchs möglich wird. Die klimatische Eigenproduktion widerspricht auch nicht der Möglichkeit, daß knapp außen entlang der Wald- und Baumgrenze ein rein höhenzonaler Verlauf von Klimalinien festzustellen wäre. Wir kennen dieselben noch nicht. Sicherlich wären auch sie ein Werk der Grenzbäume selber.

#### IV. FORSTLICH-ÖKOTECHNISCHE FOLGERUNGEN AUS DEN BEHANDELTEN ZUSAMMENHÄNGEN

Wald ist lebendige Gipfelleistung der Erde, ist sozusagen Hochnatur, ähnlich wie Hochkultur geschichtliche Gipfelleistung des Menschen ist. In Ländern, wo solche Blüte ist oder war, da gibt oder gab es immerhin auch die der Natur, mindestens auf zugehörigen Bergen. Je länger aber erstere herrscht, destomehr verkommt und verschwindet nach bisheriger fürchterlicher Regel die zweite. Wo es aber erst waldlose Mondgebirge gibt, wuchert Armut neben Resten alten Reichtums und werden Kulturkatastrophen leicht von Naturkatastrophen überboten, indem die tödlichen Hiebe nicht nur auf Menschen niederprasseln, sondern gleicherweise auf ihren restlichen Wald und sich dergestalt das Unglücksrad weiterdreht. Ohne das Gelingen schwierigster Forschungen könnte die Menschheit heute nicht mehr gedeihen, auch nicht die eben genannte Regel durchbrochen werden. Unser hiesiger, bescheidener Anteil an äußerst nötiger wissenschaftlicher Katastrophen-Vorbeugung, die Subalpinforschung, bedürfte in unserem Lande der allerbesten Forscher und der allerbesten Forschungsmittel. Unsere Aufgabe anders als ernst zu nehmen und diese Arbeit anders als sachlich, geht einfach nicht mehr an.

Wenn die kleinzonale, relieforientierte Anordnung spontanen Jungwuchses das natürliche und gesetzmäßige Vorstadium wieder nach oben vorstoßenden Hochlagenwaldes ist, dann gilt es, soweit tunlich, bei subalpinen Neuaufforstungen eine derartige Ausbreitungsart mit ihren getrennten Vorstoßkeilen zunächst einmal nachzuahmen, dann aber den seitlichen Zusammenschluß durch künstliche Mittel möglichst zu beschleunigen. Ursache der eigenartigen Jungwuchsverteilung ist die radikale kleinklimatische Uneinheitlichkeit der subalpinen Entwaldungszone und erste Voraussetzung für Vorgangsweisen, wie sie eben als erforderlich angedeutet wurden, ist eine tiefgehende Standortskunde der so mannigfaltigen Flächen entwaldeter Hochlagen.

Um die überragende Bedeutung der kleinzonalen Anordnungen klarzumachen, wurden sie hier den höhenzonalen begrifflich gegenübergestellt. Das konnte begreiflicher Weise vorläufig nur an Hand der fernsichtbaren Vertreter geschehen, die von uns vorher erfaßt sein mußten, was ja relativ leicht durchzuführen ist. Gewiß, auch abstrakte Durchschnittsbildung über Höhenzonen ist nötig. Man könnte sonst für Gebirgsländer keine regionalen Karten erstellen. Wenn aber die klimatischen Unterschiede im Kleinrelief einer Höhenzone größer sind als die zwischen den benachbarten Höhenzonen selber, darf man dabei nicht stehen bleiben. Freibewegliche Menschen und Tiere mögen zum Teil zeitlich nacheinander eine Art Durchschnitt der räumlichen Unterschiede erleben, keinesfalls aber die festsitzende Pflanze.

Wenn zur Bewältigung von Hochlagenaufforstungen heikle forstliche Maßnahmen unterschiedlicher Art verschiedenartigen Teilflächen zuzuordnen sind, müssen diese Flächen in ihren vollen Umrissen, also kleinkartographisch vorliegen. Das heißt, daß unsere Standortforschung Gelände-Ökographie sein muß (was man in dieser Hinsicht als Zusammenziehung von Öko-Kartographie verstehen möge).

Wollte man etwa von der Schneebedeckungsdauer in der Weise Aufnahmen machen, daß man das Gelände in verschiedene Luv- und Lee-, Hohl- und Wölbflächen einteilt und diesen errechnete Durchschnitte der Schneebedeckung zuerkennt und nachträglich allenfalls nach eigens vorgenommenen Schneepegelmessungen korrigiert, so ist dies angesichts der direkten Kartierbarkeit unsinnig. Nun, ähnlich unzulänglich ist es, wenn man Hangflächen nach ihrer Richtung und Neigung durchschnittliche Einstrahlungswerte zumißt und an mehreren Stellen mittels Horizontoskop verbessert. Es mag für kleine Flächen an schwach gewellten Hängen hingehen, wenngleich es keinen Forschungswert für unsere Aufgabenstellung hat. In stark reliefiertem Hochgelände muß es grösste Fehler ergeben, die angesichts der direkten Kartierbarkeit der begrenzenden Schlagschatten ganz unnötig sind.

Zweiter Programmpunkt der subalpinen Gelände-Ökographie ist die räumliche Korrelationsforschung vor allem der Verteilungsähnlichkeiten mit den verschiedenen Kleinklimafaktoren, die unsichtbar

und nicht direkt kartierbar sind (aber auch mit Boden und Vegetation). Wollte man diese Faktoren in der Weise wie bislang üblich weiterbehandeln, so würde es wohl niemals gelingen, hinreichende Unterlagen für lebenswichtige Hochlagenaufforstungen zu gewinnen. Auf unserer Station wollen wir dem die Leitlinien-Methodik entgegenhalten.

Ihr gemäß ist z.B. zu prüfen, ob die diffuse Einstrahlung bei bedecktem Himmel, wie anzunehmen, höhenzonal verteilt ist, ob weiters die Globalstrahlung bei heiterem Himmel, wie anzunehmen, der direkten Sonneneinstrahlung raumkorreliert ist. Was dann wohl auch für die Raumverteilung von überhitzungsgefährdeten Flächen ebenfalls anzunehmen und zu prüfen wäre. Den ersten Schritt in Richtung auf räumliche Korrelationsforschung hat in seiner diesem Bande zugehörigen Arbeit KRONFUSS getan. Man konnte erwarten, daß sich die Konfiguration der Schneelagen-Andauer und jene der Schnee-Masse als gleichartig angeordnet erweisen. Da diese Arbeit zu umfangreich gewesen wäre, war wenigstens zu prüfen, ob nicht immerhin auch die Isochionen der Schneehöhe mit denen der Ausaperung einen, wenn auch schwächeren Miteinanderlauf zeigen. Das KRONFUSS'sche Ergebnis war, daß eine unerwartet exakte Gleichförmigkeit zwischen beiderlei Isolinien vorliegt.

Um im eben behandelten ökographischen Programmpunkt Nr. 2 solche Verwandtschaften von Raumverteilungen leichter herausfinden zu können, wurde eine Apparatur entwickelt, die es erlaubt, Klimafaktoren in verschiedenster Weise unterteilt zu messen und die Messungen nach verschiedenen Wetterumständen selbsttätig sortiert zu sammeln. Wenn damit einmal die wichtigsten Raumgesetze über die verschiedenen kleinzonalen Faktoren gefunden sind, wäre noch als Punkt 3 mittels weniger umfangreicher Einrichtungen ("mobiler Stationen") zu untersuchen, wie sich regional in den gesetzlich raumkorrelierten Konfigurationen die Absolutgefälle abwandeln.

Das Ganze ist gewiß ein riesiges Arbeitsprogramm und es wäre schön, wenn sich andere Forschungsstellen daran beteiligten. Und doch ist es erst die eine Seite des Gesamtproblems, eben nur die ökographische. Schon im Zuge ihrer Arbeiten müßte aber auch noch die andere Seite, die ökotechnische, angegangen werden, müßten nach Standort und Holzart variierte Pflanzversuche angegangen, ihre Ergebnisse im Labor (Klimahaus) analysiert und in verbesserter Weise neuerlich im Freiland überprüft werden.

Wenn es finanziell und personell ermöglicht wird, diese schreiend dringliche Forschung zum Ziel zu führen, wird es sich nicht nur für ihren Zweck gelohnt haben, sondern der ganzen Umweltlehre und Forstwissenschaft neue Impulse geben.

## LEGENDE ZU DEN ABBILDUNGEN

### Abb. 1:

Übersichtskärtchen über die geographische Lage der 6 Tälschaften, die in vorliegender Arbeit auf Form und Höhe der klimatischen Wald- und entsprechenden Baumgrenze im anliegenden Gebirgsgelände untersucht werden. Die 6 Täler zweigen von jenem Stück Inntal (zwischen Landeck über Innsbruck bis Wörgl) rechtsseitig ab, in welchem es ein ausgesprochenes Alpenlängstal ist, und ziehen gegen jenes Stück des ostalpinen Zentralalpenkammes (vom Reschen über den Brenner zur Birnlücke), wo dieser an der Südseite Nordtirols eine Strecke weit die Südgrenze Österreichs trägt und wo das Gebirgssystem der Alpen seine größte Breite besitzt. Das Ötztal (III) dringt am weitesten gegen das Alpenzentrum vor, am wenigsten IV (Sellrain-Lisens).

### Abb. 2:

Darstellung des Höhen-Verlaufes von Baum- und Waldgrenze in 6 nordtiroler Alpen-Quertälern, die süd-(links-)seitig vom Inntal abzweigen. Die Täler sind in 20-fach überhöhtem Aufriß dargestellt, um die nur schwach von der Horizontalen abweichenden forstlichen Linien in ihrer Verlaufsart zu verdeutlichen. Die überhöhten Umrisse der Täler sind stark schematisiert. In den Tälern I und III (Nummernfolge von links nach rechts) sind Vorder- und Oberseite der beiden Talflanken getrennt gezeichnet, in den übrigen Aufrissen das graphische Mittel von beiden wiedergegeben. Gipfelkörper, welche die schematischen Oberseiten stark überragen, sind getrennt aufgesetzt gezeichnet. Die Linie des Innflusses, von dem die Seitenflüsse abzweigen, ist durch eine stark ausgezogene Doppellinie wiedergegeben, in welchen die beiden Halbstrecken zwischen den Abzweigungen, um Platz für die Talaufrisse zu schaffen, auseinandergetrennt und waagrecht gestrichelt verbunden sind. Von den beiden gleichartig gezeichneten Dreiergruppen verschiedenartiger Linien (s. Zeichendarstellung rechts N. 2) bezeichnet die obere Dreiergruppe die klimatische Baum-, die untere die klimatische Waldgrenze u. zw. je eine gestrichelte jene der linken Talseite, eine strichpunktierte jene der rechten Talseite, je eine dickausgezogene dazwischen die aus den beiden Talseiten graphisch gemittelte Grenze. Die Zonen zwischen den oben und unten gleich signierten Linien sind also die entsprechenden klimatischen Kampfzonen des Baumwuchses. In den Grenzlinien enthaltene kleine Kreise geben die höchsten Lagen von restlichen Wald- bzw. Baumbeständen an, nach denen die klimatischen Grenzlinien erfaßt worden sind. Sämtliche forstliche Linien zeigen den Anstieg mit der Massenerhebung und die hintergründige Abwärtsbiegung durch die Gletscherwinde. Außer der klimatischen (potentiellen) Waldgrenze ist auch die aktuelle zur Darstellung gebracht u. zw. nur im Mittel aus rechter und linker Talseite und in zwei Schematisierungsgraden (s. Zeichendarstellung rechts N. 3). Die stark ausgezackte Linie unterhalb der klimatischen Waldgrenze ist das graphische Mittel der (in der Allg. Forstzeitung 77. Jg. H. 6) wiedergegebenen beiderseitigen aktuellen Waldgrenzen. Die dickere Linie ist eine graphisch ausgeglichene Wiedergabe davon. Die stark schraffierte Fläche zwischen ihr und der klimatischen Waldgrenze ist also eine vereinfachte Darstellung der subalpinen Entwaldungszone (im Mittel aus rechts und links). Außer in VI ist die Zunahme der subalpinen Entwaldung gegen den Talhintergrund deutlich. Die dünnen Linien in den Aufrissen (s. Zeichendarstellung rechts N. 1) geben verschiedene Reliefverhältnisse an den Flanken der 6 Täler wieder oder ihre Mittelbildung aus beiden. Es sind zur Hauptsache die Verbindungslinien von Verebnungsreihen u. zw. ihrer Vorderkanten. Unterhalb entlang geführte gezähnte Linien sollen einzelne darunter als besonders ausgeprägt hervorheben.

Nach der Auffassung des Verfassers sind zwei Arten zu unterscheiden: flachere, geradere ("präglaziale") und steilere, gekrümmtere, ("infraglaziale"). Die ersteren lassen sich aus den verschiedenen Tälern relativ gut (mindestens in Gruppen) als einander analog auffassen, also wohl auch miteinander hinsichtlich ihrer Entstehungszeit konnektieren, die letzteren aber nicht. Zwecks besserer Übersicht wurden die Zonen von Verebnungs-Versteilungs-Linien bis etwa 2500 m ü. M. abwechselnd punktiert (Zeichendarstellung 4) und weiß gelassen. Die Talschaften I bis III und IV bis VI sind (vielleicht durch nachträgliche Verstellung) voneinander verschiedenen. Größere, stark felsige Flächen, sowie längere schmale Wändchenreihen entlang der Verebnungslinien wurden schraffiert wiedergegeben. Im höheren Bereich von III wurden durch dünnere Linien auch Hangdreiecke und Grate zwischen den Seitentälern angedeutet.

Abb. 3:

Schematische Zusammenfassung der Abmessungen über Form, Lage und Breite der klimatischen Kampfzone des Baumwuchses (im Mittel aus rechter und linker Talseite) der 6 herangezogenen Seitentäler und der Schattseite des Innaltales, von der sie abzweigen. Die vertikalen Höhenangaben sind gegen die horizontalen Längenangaben 100-fach vergrößert dargestellt.

Das Höhenmaximum im Innthal liegt, soweit es die rechte Talflanke betrifft, bei der Abzweigung des Pitz- und des Ötztales. Die Maße der 6 Zweigtäler sind auf Linien aufgetragen, die gegen die Grundlinie um 35° schief gestellt wurden. Die Längen dieser Linien geben an, wie weit sich der Wald taleinwärts erstreckt (Die Breiten der Kampfzonen sind natürlich normal zur Grundlinie abzunehmen.).

Die Abb. macht deutlich, daß die Breite der Kampfzonen sowohl entlang der rechten Innaltalseite, wie auch (im Mittel von rechts und links) entlang der Seitentäler bis zum talinneren Höhenmaximum ungefähr gleichbleibt, ebenso die Steilheit mit der sie taleinwärts ansteigen. Die im Talinneren erreichten absoluten Meereshöhen sind dagegen sehr verschieden. Sie hängen (abgesehen von der Ausgangshöhe im Innthal) davon ab, wie weit sich der Wald ins Tal hineinzieht (also von der Tal-länge oder wie bald der Talboden die subalpinen Höhen übersteigt). Abgesehen vom kurzen Lisensertal, das seiner Länge nach aus dem Rahmen fällt, reicht demgemäß Wald- und Baumwuchs im Öztal am höchsten, im Zillertal am wenigsten hoch empor (Die inneren Höhen sind von der am Talende angefügten Höhen-skala abzulesen.). Wenn man dagegen die Meereshöhen innerhalb des Hintergrund-Hakens entlang der schiefgezeichneten Basislinie mit jenen am Taleingang vergleicht, bemerkt man, daß Baum- und Waldgrenze ganz innen tiefer abschließen als sie außen angefangen haben.

Abb. 4a und b:

Grundrißmäßiger Verlauf und Abstand der Baum- und Waldgrenze

in für unseren Zweck vereinfachtem (a), sowie in umkonstruiertem (b) Kartenbild des Ötztales.

a: Bei unserem Studium der alpinen Waldgrenze geht es weniger um quantitative Festlegungen, sondern fürs erste mehr um qualitativ kennzeichnende Raumanordnungen in der dreidimensionalen Gebirgslandschaft. Nach aufrißmäßiger Darstellung der Höhenzonalität unserer klimabedingten Gehöhlzlinien mit ihrem langsamen Anstieg und schließlicher Abkrümmung mag uns auch ihr Grundriß, also ihr Kartenbild, etwas besagen, freilich nur wenn von allen jenen topographischen Einzelheiten, die unsere Fragestellung nicht berühren, abgesehen wird. Dies geschah in Kärtchen a.

b: Wie außerdem in Aufrissen durch Überhöhung jedes Abweichen von der Horizontalen verstärkt sichtbar wird, so kann man Grundrisse quer zu einer Längsrichtung überdehnen, um das Abweichen von dieser Longitudinalen zu verdeutlichen. Das setzt allerdings voraus, daß man zuvor die Längsachse z. B. eines Tales durch Drehung der zu ihr abfallenden Hangstücke geraderichtet. Daher im Grundriß b Streckung der Öztaler Längsachse und quer dazu Überdehnung 1:2.

So zeigt sich schon in a und verstärkt in b vor allem dreierlei:

1. Die im Vergleich zur mittleren Neigung von Talboden und Kammlinien nur geringfügige Abweichung der Wald- und Baumgrenze vom Verlauf der Schichtlinien bewirkt, daß erstere ebenso wie die letzteren in Hochgebirgstälern gegen außen trompetenartig divergieren.

2. Daß im Gegensatz dazu die Wald- und die Baumgrenze mit ihrem Abwärtshaken im Talhintergrund stark vom Verlauf der Isohypsen abweichen, bewirkt ihren im Grundriß blasenartig gerundeten, inneren Abschluß als Gegensatz zu dem spitzwinkeligen der Schichtlinien.

3. Die klimatische Kampfzone zwischen Baum- und Waldgrenze zeigt sich auch im Grundriß im Vergleich zum anliegenden Wald- und Freiland als ein schmaler Zwischenstreifen, d.h. als eine bloße Unschärfe ein und derselben Grenz Tatsache. Diese Unschärfe der klimatischen Begrenzung beruht wohl auf den ständig laufenden Klimaschwankungen. Blicke das Klima konstant, so würde der Wald sich hienach gegen oben mit einer scharfen Gleichgewichtsschwelle begrenzen.

fein schraffiert	Handdreiecke, die in Richtung zur Ache abfallen
weiß gelassen	die kleinen Seitentäler des Ötztals
stark ausgezogen	Wald- und Baumgrenze
unterbrochen gezeichnet	schematisierte Isohypsen
doppelt umrandet	Gletscher des Talhintergrundes
gezähnt umrandet	Bergsturm Massen, welche Talbecken begrenzen

Abb. 5:

#### Durchschnittlicher Aufriß der 6 Täler

Wenn man die äußeren Umrisse und darin wiederum unsere forstlichen Grenzen und noch zu besprechende Liniensysteme des Geländes graphisch mittelt, erhält man ein sehr regelmäßiges Durchschnittsbild. Dies beruht u.a. darauf, daß wir von vorneherein ähnliche Täler ausgesucht haben. Alle sind Hochgebirgs-, Alpenquer-, Zungengletscher- und Innseitentäler ähnlicher Größenordnung. Das Durchschnittstal zeigt in seiner vertikalen Abbildung (abgesehen von den gleichmäßig gewordenen "präglazialen" Reliefzonen) als Ergebnis des graphischen Ausgleichs folgendes:

Die Talumrahmung nimmt die Gestalt eines schiefstehenden, aber sehr regelmäßigen Rhombus an mit je zwei gegenüberliegenden zugespitzten und abgestumpften Ecken. Wenn man die beiden Spitzecken mittels einer Diagonale verbindet, so schneidet sie ungefähr inmitten durch die Waldgrenze (falls man deren Richtung über ihr Höhenmaximum hinaus bis zum Talhintergrund verlängert). Die in diesem Schnittpunkt normal zur Diagonale errichtete Linie ist eine zweite Diagonale, deren Projektion auf die Horizontale innerhalb des Tales eine Mittelstrecke von 20.2 km Länge (ohne die etwas abweichenden Endabschnitte) heraus schneidet. Für diese besonders gesetzthafte Innenstrecke ergibt sich die mittlere Meereshöhe

des Talbodens	zu 1170 m,
der Waldgrenze	zu 1995 m,
der Baumgrenze	zu 2130 m,
der Kammlinien	zu 2990 m.

Die Kampfzone hat in diesem Talmittelstück eine durchschnittliche Breite von etwas mehr als 130 Höhenmetern. Das sind nur 7.1 % der hier im Durchschnitt 1820 in hohen Talflanken. Die klimatische Waldgrenze liegt ungefähr in mittlerer Höhe zwischen Talboden und Kammlinie, sodaß sich natürliches Waldland und natürliches Freiland ungefähr die Waage halten. Von ersterem macht aber die im Mittel 210 m hohe subalpine Entwaldungszone (zwischen potentieller und aktueller Waldgrenze) in der senkrechten Abbildung immerhin 21.4 % aus, wozu noch die untere Entwaldung und die zahlreichen Durchbrechungen des Waldgürtels durch Schneisen und Lawenengassen kommen.



Abb. 6:

Abhängigkeit der klimatischen Grenzzone des Waldes von der Talrichtung

Die klimatische Wald- und die klimatische Baumgrenze unserer 6 Täler (wie sie aus wenigen Stützpunkten abgeleitet sind, halb empirische, halb theoretische Linienzüge) zeigen sich zwar vom Kleinrelief unabhängig, nicht aber vom Relief überhaupt. Da in Abb. 2 über mehrere Kilometer lange Talstrecken bald die links-, bald die rechtsseitigen Grenzlinien höher gelegen sind, wurden ihre Lagen in Abb. 6 nach den über diese Strecken herrschenden Talrichtungen gegliedert.

In der Abb. sind die höheren Lagen an der rechten Talseite als positiv vom Richtungskreis nach außen, die höheren Lagen an der linken Talseite als negativ nach innen aufgetragen. Die Daten für die Waldgrenze sind mit kleinen Kreisen, die für die Baumgrenze mit Kreuzchen bezeichnet. Das Ergebnis scheint sich der Gestalt einer Ellipse schief zur N-S-Richtung zu nähern.

Abb. 7:

Umgrenzung der Verebnungen

an den Talhängen links des Kauner- und rechts des Pitztales.

Verkleinerte photographische Wiedergabe eines Ausschnittes aus AV-Karte, Blatt "Kaunergrat-Geigenkamm".

Es wurde eine reine Schichtlinienkarte benützt. Sichtbar in der Abb. sind nur die dicker ausgezogenen Isohypsen von 100 m Äquidistanz. Die feineren von 20 Höhenmeter Abstand, welche die Ausgrenzung der Verebnungsflächen erst erlaubten, sind nicht erkennbar. Die quasihorizontal durchlaufende Reihenbildung dieser Flachstellen wird erst deutlich, wenn sie in überhöhte Hangaufrisse eingetragen werden (s. Abb. 8).

Abgesehen von den beiden Talböden liegen die etwas größeren unter den vielen ausscheidbaren Ebenflächen entweder in hängenden Seitentälchen oder nahe und über der Firngrenze. Daß ein Teil davon in der Bankung des Gesteins begründet sein mag, schließt die Möglichkeit ihrer Einordnung in ausgedehnte geomorphologische Verebnungslinien nicht aus. In den Seitentälchen zeigen sich die Verebnungen gegen ihre Entsprechungen an den Abhängen der beiden großen Täler über-tieft.

Abb. 8:

Aufrißmäßige Darstellung der einzelnen Verebnungsflächen an den beiderseitigen Abhängen eines 32 km langen Mittelstückes des Pitztales. Jede der vielen Verebnungsflächen ist durch einen Punkt, der in der Mitte ihrer talseitigen Kantlinie liegt, repräsentiert und in 40-facher Überhöhung eingetragen. Deutlich sind Reihungen in Form von zweierlei schmalen Streuzonen, die sich überschneiden, erkennbar, sowie erstaunlich weitgehende Entsprechungen in diesen Anordnungen zwischen den beiden Talflanken.

Die beiden Hänge erscheinen in dieser Darstellung sozusagen in zweierlei Richtungen geritzt oder gerillt, was freilich in solcher Ausprägung nur in Talstrecken zu finden ist, wo die Hänge felsige Unterlagen ohne stärkeren Schuttmantel besitzen. Die steilere der beiden Reliefzonierungen wurde im Text unter der Bezeichnung "infraglazial" von der flacheren als "präglaziale" unterschieden und besprochen. Bei der hier außerordentlich starken geologischen Durchknetung des Gesteins im Gebirgsaufbau kommt eine tektonische Erklärung der beschriebenen Erscheinung wohl kaum in Frage, zumal sie in allen 6 Tälern verschieden stark, aber doch gleichsinnig wiederkehrt.

Abb. 9:

Das Gurglertal

(neben dem längeren Ventertal zweiter Gabelast des Ötztales)

mit seiner linksseitigen Talflanke

(welche der klimaökologischen Station der FBVA gegenüberliegt)

in fünffach überhöhtem Aufriß

mit Einzeichnung einiger ökographischer Grenzlinien und Sonderflächen.

- a Felsgelände
  - Letzter Gipfel rechts Nörderkogel
  - tiefster Einschnitt Gurglerjoch
  - dritter großer Gipfel links davon Ramolkogel
- b restliche Waldareale
  - Verebnungsräume
  - Hauptverebnung "Gurgler Sohm"
  - Hauptversteilung darunter "Gurgler Leiten"
  - Darin mehrere kleinere Ebenflächen
  - Vier Verebnungsschultern in der oberen Felsregion
- d Karbildungen
  - zwei besonders deutliche Karstockwerke herausgehoben

Zwei kleine Kreise mit Mittelpunkt: ganz links unten Zwieselstein, am Unterrand etwas links von der Mitte Obergurgl.

Zwei Hüttenzeichen: links oben Ramolhaus, rechts unten Lenzenalm.

Steil aufwärts dünn strichliert: Anstiegsweg zur Gegenhangstation (Radzeichen) und weiter zum Gurglerjoch.

Schwach angedeutete Linien: Bäche und kleine Seen.

- 1 Gipfelfluren
- 2 u. 3 höhenzonale Relieflinien:
  - a "infraglaziale" Verebnungs-Vorderkanten
  - b "präglaziale"
- Besonders deutlich das Divergieren von a und b am "Sohm"
- 4 a - b: "zirkumglaziale" Uferlinien des
  - Gurglerferners, zeitlich etwa entsprechend:
  - a wärmzeitlich (vor ca. 18.000 Jahren)
  - b gschnitzzeitlich (vor ca. 12.000 Jahren)
  - c daunzeitlich (vor ca. 8.500 Jahren)
  - d fernauzeitlich (vor ca. 300 Jahren)
- 5 rezenter Gletscherstand
- 6 erhalten gebliebene Ufermoränen
- 1 u. r Forstliche Grenzlinien
  - 1 dem gegebenen linksseitigen Aufriß zugehörig
  - r vom rechtsseitigen Gegenhang nach links herüberprojiziert
- Index 1 klimatische Baumgrenze
  - 2 klimatische Waldgrenze
  - 3 aktuelle Waldgrenze.

Abb. 10:

Aufriß-Übersicht über Geländelinien im Ötztal

von höhenzonaler Verlaufsart und ökographischer Bedeutung, zumeist im Mittel beider Talseiten.

- 1 a Vordere Abgrenzung und schematischer Gratverlauf (ein unteres Gipfel-flur-Stockwerk). Die Unterbrechung deutet die Abzweigung des Gurgler- und Timmeltales an.
- 1 b Höheres Gipfel-flur-Stockwerk der den Gratverlauf 1 a überragenden Berg-spitzen.
- 2 Grundlinie (Flußverlauf) und Hintergrund des Tales. Im oberen Teil des Talaufnisses deuten diese Linien Hangdreiecke und Grenzgrate zwischen den rechtsseitigen Seitentälern an.
- 4 u. 5 Stufenlinien des Hangreliefs u. zw. Verbindungslinien der Vorderkanten wichtiger Verebnungsreihen, davon:
  - 4 "präglazialer" Art
  - 5 "infraglazialer" Art

- 6 "zirkumglaziäre" Uferlinien der Gletscherstände des Hintereisferners (in seinen früheren Ausdehnungen Rofner, Venter, Öztaler Gletschers) für Vergleiche schätzungsmäßig eingetragen:
- a vor ca. 18.000 Jahren (etwa würmzeitlich),
  - b vor ca. 12.000 Jahren (etwa gschnitzzeitlich),
  - c vor ca. 8.500 Jahren (etwa daunzeitlich),
  - d vor ca. 100 Jahren (subrezenter Hochstand),
  - e (gegenwärtiger Tiefstand).
- 7 Reihungen von Felswändchen, welche unterhalb von Verebnungskanten die Verteilungszonen markieren.
- 8 a u. b Schwankungsbreite der Firngrenze (im höhenzonalen Sinn) im Laufe des letzten Jahrzehntes (nach Notizen über den Schalfferner im Gurglertal und den Gleirschferner im Sellrein)
- 8 c ungefähre Lage der Firngrenze zu Zeiten der subrezenten Hochstände
- 9 klimatische Rasengrenze (der höhersteigende Ast vom Gurgler-, der andere vom Ventertal)
- 10 mittlere klimatische Baumgrenze
- 11 mittlere klimatische Waldgrenze

Abb. 11a und b:

Blick vom Großglockner-Gipfel über den Kleinglockner ins obere Mölltal mit zwei entgegengesetzten Arten der Schneelage.

- a zeigt eine einheitlich entwickelte Neuschneedecke, gegen unten durch eine quasi-horizontal durchlaufende Einschneiungs-Isochione begrenzt, aufgenommen bald nach einem spätsommerlichem Schneefall, sozusagen einem vorübergehendem Vorspiel des auf dem Glockner schon eingetretenen, stoßweise vom Berg zu Tal hinabsteigenden Bergwinters.
- b stellt die kleinzonal zurückweichende, in Teilstücke aufgelöste, dem Kleinrelief antihorizontalangepaßte Ausaperungs-Isochione von winterlichem Altschnee dar, wie er nach der Erwärmung des vom Tal heraufgestiegenen Bergfrühlings übrig blieb und wie er sich in sehr ähnlicher Konfiguration alljährlich wiederholt.

Auch der Neuschnee löst sich bis in den Herbst nahe an den Glocknergipfel herauf immer wieder auf. Aber es geschieht in einer vom Altschnee sehr verschiedenen Art, weil es sich noch ganz anders ins Gelände legt, als wie er nach einem ganzen Winterlauf verteilt sein wird. Die Neuschneeabschmelzung richtet sich (wie knapp oberhalb des Kleinglockners gut sichtbar ist) nicht nach dem Kleinrelief, sondern nach der feineren Musterung des Kleinstreliefs.

Abb. 12:

Einschnei-Isochionen am Gurglertalaufriß wie sie in den Jahren 1954-1964 beobachtet, zumeist in vervielfältigten Panoramabildern nachgezeichnet und in den vorliegenden Aufriß übertragen wurden. Da uns einstweilen hauptsächlich die bloße Konfiguration der Isochionen interessiert, noch nicht so sehr die verschiedenartigen Absolutgefälle im jährlichen Einschnei-Prozeß wurden die Linien in dieser Abb. zunächst einfach nach ihrer Höhenlage am Nordende des Gurglertales gruppiert und graphisch gemittelt. Die Linien zeigen die typischen Merkmale höhenzonaler Verlaufsart mit quasi-horizontalen Anstieg und in Gletschnähe verstärktem Talphänomen. Drei Isolinien fallen stark aus dem Rahmen. Sie sind wahrscheinlich bei Talauswind durch Zusammenwirken mehrerer Stockwerke von Niederschlagswolken zustande gekommen, die verschieden weit talauswärts wirksam waren. Bei Föhn war dies öfter zu beobachten, während sonst der Niederschlagswind im Gurglertal normalerweise tal-einwärts bläst.

Abb. 13:

Ausaperungs-Isochione vom 1. V. 1955

im 5-fach überhöhten Aufriß der sonnseitigen (E20° S) Talflanke des Gurglertales.

schraffiert Flächen mit Spitzhütchen mit mehrfacher Umrandung dünn umrandet	schwarze Signaturen:
	Felsflächen
	restliche Waldareale
	Gletscherflächen
	Verebnungen
	blaue Signaturen:
blaugerasterte Flächen	restliche Schneelage des Altschnees vom Winter 1954/55 am 1. V. 1955
weißgelassene Flächen	bis zum 1. V. 1955 ausgeaperte Hangteile
Umrandung der blaugerasterten Flächen	Schnee-Aper-Rand vom 1. V. 1955 = reelle (konkrete) Ausaperungs-Isochione vom 1. V. 1955
stark ausgezogene Linien	= abstrakte Ausaperungs-Isochionen d.h. von den Stufenlinien des Reliefs abhängige Zonengrenzen prozentuell ungefähr glei- chen Ausaperungsgrades.

Eine schematisierte aktuelle Waldgrenze ist durch die dünner ausgezogene Blau-  
linie rechts unten angedeutet. Vom Blauraster gestreifte Flächen rechts unten ge-  
ben das Gebiet kleinerer Musterung von Schnee- und Aperflecken im Walde an.

- |                         |           |
|-------------------------|-----------|
| 1. Gratzone             | 80 % aper |
| 2. Firnfeldzone         | 21 % aper |
| 3. obere Karschwelle    | 71 % aper |
| 4. unteres Karstockwerk | 12 % aper |

Vier weitere schmale Zonen beziehen sich auf die große obere Verebnung ("Gurgler  
Sohm")

Schnee plus; an der hinteren Kehllinie und in den Mulden der Verebnung

Schnee minus; an der vorderen Kantlinie und auf den Kuppen der Verebnung

- |  |           |
|--|-----------|
| 9. große Steifläche ("Gurgler Sonnenleiten") | 58 % aper |
|--|-----------|

- |  |           |
|--|-----------|
| 10. felsiger Steilrand gegen den Gletscher, den Bach<br>und den Talboden | 57 % aper |
|--|-----------|

- |   |                  |
|---|------------------|
| 11. auf dem Gletscher und auf dem Talboden selbst | 35 u. 66 % aper. |
|---|------------------|

Deutlich ist der vorwiegend quasihorizontale Verlauf der abstrakten Isochionen und  
der vorwiegend antihorizontale, kleinräumiger wechselnde der konkreten Isochionen  
zu sehen.

Man beachte auch die vorhandenen Schneelagen über Fels in der Gipfelregion, so-  
wie Aperflächen über Firn und Eis in Gletscherbereichen.

Der Schneebedeckungsgrad nimmt keineswegs einfach mit der Meereshöhe zu. Diese  
statistische Abhängigkeit erscheint erst, wenn man zwischen den Isohypsen über die  
ganze Aufrißbreite mittelt.

Abb. 14:

Firnfeld des Pasterzengletschers

aufgenommen im September 1932 von oberhalb der Gamsgrube.

Im Hintergrund der Johannisberg, im Mittelgrund der Hohe und der Mittlere Burg-  
stall, links zwischen beiderseits herankommenden Gletscherströmen der sog. Huf-  
eisenbruch mit einem vom Wind verursachten, tiefer gelegenen Sekundärfirnfeld  
(das unterseits von den beiden Eisströmen zu der berühmten "Firnmoräne" der  
Pasterze ausgezogen wird).

Unterbelichtung macht durch verstärkt erscheinende Albedo-Unterschiede zweierlei  
Ausaperungs-Isochionen deutlich. Die innere davon ist genau die reelle Firn-  
grenze von 1932, da kurz danach der endgültige Wintereinbruch erfolgt ist.  
An der voll und ganz relieforientierten Konfiguration dieser glaziologisch wichtigen  
Linienführung kann kein Zweifel bestehen.

Abb. 15 a und b:

Typische Nebelbalken an der Innsbrucker Nordkette.

Aufgenommen am 28. VII. 1965 vom Dorf Rinn aus durch E. PRUTZER.

a) Zustand um 8<sup>h</sup>

zwei Nebelstockwerke, rechts unten ein drittes.

b) Zustand um 13<sup>h</sup>

Das obere hat sich ganz, das untere fast aufgelöst, sowie etwas angehoben. Die scheinbaren Unregelmäßigkeiten in der Höhenausdehnung erwiesen sich fast stets als bloße Unterschiede darin, wie weit die Nebelstagen horizontal gegen das Inntal vorragen.

Ausaperung fast abgeschlossen. Die Seegrube ist die schneereichste Stelle der Nordkette.

Abb. 16 a und b:

Höhenlagen der Nebel mit ihren Unterseiten und ihre zeitliche Periodik.

a) am Gegenhang unserer Station im Gurglertale

b) an der Innsbrucker Nordkette

dargestellt an Hand des bisher ausgewerteten Beobachtungsmaterials

vom Winter (grau) 15. XII. bis 15. II. und

vom Sommer (schwarz) 15. VI. bis 15. VIII.

der Jahre 1954 bis 1965.

Die Oberseiten (strichliert) sind nur zum Teil beobachtet, meist nur nach Analogie erschlossen.

Man muß in unserem Beobachtungsmaterial von solchen Nebellagen, welche über den ganzen Tag durchhalten, jene unterscheiden, welche sich um die Mittagszeit auflösen und nachmittags meistens neu bilden. Die ersteren sind größtenteils zugleich Nebeldecken, die über die ganze Talbreite reichen, die letzteren Nebelbalken, welche den Himmel mindestens über der Talmitte freilassen. Abb. 16 zeigt diesen Unterschied deutlich sowohl für das Gurgler-, als auch für das Inntal und ebenso im Sommer wie im Winter.

Das Bild der Meereshöhen und Tageszeiten von Nebellagen in Innsbruck (b) und in Oburgl (a) hat miteinander überhaupt erstaunlich große Ähnlichkeit, obwohl sie (kollin und subalpin) mehr als 1000 m verschieden hoch und (inmitten und seitlich der Zentralalpen) mehr als 100 km auseinander liegen. In beiden Gegenden waren sommers und winters in unserem Datenstoff vier häufigste Höhenlagen von Nebeldecken der Niederschlags- oder doch trüben Tage erkennbar. (Immer sind die Höhen der Unterseite gemeint, die eigentlichen Bodennebel waren in die Untersuchung noch nicht einbezogen.)

Da sind zunächst zwei Randgruppen, nämlich

(1) einerseits bloß 200 bis 400 m oberhalb und (4) andererseits 1900 bis 2100 oberhalb des Talbodens, welche letztere dort am Gurglerkamm und hier an der Nordkette nur an wenigen Stellen aufsitzen (sodaß noch höher gelegene Decken in unserer Untersuchung nicht mehr mitzählen).

Zwischen diese Randdecken treten die zwei geländeökologisch besonders wichtigen Hauptgruppen nämlich (2) die erste 600 bis 800 m höher als die bodennahen Decken, die zweite (3) nochmals 600 bis 800 m über der ersten. Von allen diesen mit Grund nur abgerundet angegebenen Doppelzahlen betrifft (gleichsinnig mit den relativen Kammhöhen hier und dort) die jeweils kleinere den Gurgler-Abhang, die größere den Karwendel-Abhang, sodaß also diese Art Schichtung offenbar hinten im Hochalpentale enger, herausen im Haupttal im Vergleich dazu deutlich aufgelockert erscheint.

Dies sind die bevorzugten Höhenlagen der Nebeldecken an trüben Tagen. An solchen treten auch Nebelbalken zusammen mit den Decken auf. An heiteren Tagen aber erscheinen die Balken für sich allein u. zw. sowohl in eben den schon erwähnten bevorzugten Lagen der Nebeldecken als auch in Zwischenlagen, oft in Einzahl, oft zu mehreren übereinander, manchmal so gestapelt, daß sie in schräger

Sicht als einheitliche Nebelwand erscheinen. Zwischen die 4 vorgenannten Sonderlagen können sich anscheinend im Gurglertal häufig noch zwei, im Inntal noch 3 Balken zwischenlagern in etwa 200 bis 300 m Höhenabstand ihrer Unterseiten und von je etwa 80 bis 240 m Mächtigkeit.

Man darf wohl annehmen, daß sich die vier großen Nebelgeschoße in a und b in ihrem Wesen entsprechen, daß sie also (im statistischen Sinne) durch quasihorizontale Isolinien auch wirklich miteinander verbunden sind (vgl. Abb. 18). Diese Meereshöhen-Isonephen müssen als deutlich niveau-orientierte Zonenbildner wie andere auch von der Bodennähe zur Kammhöhe, sowie vom Gurgler- zum Ötz- und zum Inntal in ihrer Schiefe abnehmen. Dieses Divergieren gibt die Erklärung dafür, daß die Nebel-Etagen in Innsbruck gegen Obergurgl auseinandergerückt, aufgelockert sind.

Die Höhenlage der Nebelunterseiten hat selbstverständlich unperiodische Änderungen bei Witterungsumschlägen. Zusätzlich hat sie aber, wie die Abb. zeigt, eine ausgesprochene Tagesperiodik von erstaunlicher Amplitude. Besonders gut mit Augen verfolgbar ist dies während mehrere Tage anhaltenden Witterungen und an über den ganzen Tag anhaltenden Decken. Die Schwankung beträgt im Mittel 470 m, worin aber wohl fürs Auge nicht sichtbare Auflösungen und Wiederangliederungen von Nebelgeschoßen inbegriffen sind. Die Maxima liegen bei ca. 14<sup>h</sup>, die Minima etwa bei 24<sup>h</sup>.

Die sommerlichen Kurven schließen sich in unserer Abb. 16 auffallend eng den winterlichen an. Dieser geringe Unterschied besagt, daß die Jahresperiodik entweder sehr gering ist oder mit größerer Wahrscheinlichkeit, daß die Kurven sich vom Winter zum Sommer um ein ganzes Stockwerk verschoben haben. Im zweiten Falle müßte die Jahresamplitude von ähnlicher Größe wie die Tagesperiode sein. Zwischen beiden Möglichkeiten kann erst sicher entschieden werden, wenn für Innsbruck und Gurgl genügend ganze Jahresläufe ausgewertet sind.

In b gibt es einige Unregelmäßigkeiten, in (3) gibt es z. B. Nebelbalken, die gerade mittags vorhanden sind. Es handelt sich um Nordföhn mit Nebelzungen, die über die Scharten der Nordkette tiefer herunterreichen, was in der Abb. durch den herabhängenden Vorsprung angedeutet ist. (1) hat sich in b gespalten und für 4 waren keine nachmittägigen Beispiele vorhanden.

Abb. 17:

Nebellagen aus den Jahren 1954 1965 am Osthang des Gurglertales.

Schnittlinien der Nebelunterseiten mit der Hangfläche, aufgenommen vom Gegenhang aus

(zuerst meist auf Panoramabildern nachgezeichnet).

Zur Gewinnung mittlerer Konfigurationen gruppiert nach den Meereshöhen am Nordende des Gurglertales und getrennt nach Sommerhalbjahr (strichliert) und Winterhalbjahr (strichpunktirt) in den überhöhten Aufriß übertragen. Die dünnen Linien sind die Einzelfälle, die dicken graphische Gruppendurchschnitte.

Ausgesprochen niveau-orientierte Konfiguration mit den besprochenen Endhaken. Abweichungen vom Typus beruhen auf einem Wechsel von übereinanderliegenden Nebelstockwerken und auf Ausbildung eines Föhnbalkens.

Abb. 18:

Beispiel einer Fernsichtnebelaufnahme an einem Regentag mit nachmittägiger Aufreiterung  
Das Ötztal am 23. VII. 1964 im Längsschnitt.

Unten im Grundriß die Talboden-Verbreiterungen vom Gurglertal (mit dem Gurglergletscher im Abschluß rechts) bis zum Ausgang des Ötztals ins Inntal links. Darüber ein schematischer, vom Gletscher abgeschlossener Aufriß der Grundlinie des Tales. (Die senkrechten Linien begrenzen Strecken engen und weiten Talbodens.) Oben ebenfalls aufrißmäßig die Nebelaufnahmen. Die kleinen Kreise geben die Hangpunkte an, welche unter der Wolkendecke eben noch sichtbar und nach Lage und Höhe identifizierbar aufzunehmen waren, getrennt nach Talseite, miteinander gradlinig verbunden.



Auffallenderweise lagen mit Ausnahme einer kurzen Strecke über Sölden die Nebelunterseiten orographisch rechts durchwegs um 50 bis 200 m höher als links. Im Talhintergrund findet sich die typische Abwärtskrümmung auf dem Gletscher. Über sämtlichen Engstrecken reichten die Nebel um 100 bis 400 m tiefer herunter als über den Talbecken. Mit den schraffierten Streifen werden die gegebenen Unterseiten (nach den Erfahrungen an der Innsbrucker Nordkette) dahin interpretiert, daß sich in den Talengen ein unteres Nebelstockwerk einschiebt, wie es hinter Obergurgl auch unmittelbar sichtbar war.

Die ganz oben gezogene unterbrochene Linie soll andeuten, daß die Nebellagen wegen der für die Ausfahrt verbrauchten Zeit einer Korrektur bedürfen: Um 1430 dürfte die Unterseite am Inntalausgang in Wirklichkeit höher gelegen sein, weil sie nachmittags in der Regel absinkt (in unserem Falle vermindert durch den der Aufheiterung gewöhnlich vorangehenden Anstieg). Bei der Ankunft am Talende war der Himmel über dem Inntal bereits blau, nur am gegenüberliegenden Tschirgant-Bergstock lag noch der in der Abb. 18 angedeutete Nebelbalken.

Abb. 19:

Der spontane Jungwaldvorstoß im Stationsgelände. Vergrößerter Ausschnitt aus einer Luftaufnahme im Gebiet der Gurgler forstökologischen Beobachtungsstation aus dem Jahre 1955. Das Foto zeigt ein Stück der Lawinenbahn der "Beerrinne" und die durch unterbrochene weiße Linien umgrenzten Gehölze in ihrer Nachbarschaft; unten die aktuelle Waldgrenze (Rechts an ihr die Basis der Station. Der Wind kommt vorwiegend aus Norden im Bild links.), dünner umgrenzt: Areale der spontan aufgekommenen Zirbenjugend in streng relieforientierter Anordnung. Links der Beerrinne der sonnige Lee-Einhang, der infolge seiner anhaltenden Schneelage und seiner periodischen Hitzetrocknis fast gänzlich jungwuchsfrei ist, dagegen liegt auf den Rippen, sowie am anschließenden Luv-Einhang (rechts bis nahe an die Tiefenlinie der Rinne heranreichend) ein Geländestreifen freudigen Jungwuchses.

Abb. 20:

Das "Wannen-Eben"

Rest alter Landoberfläche, von unserer Station aus gegen N von G. CERNUSCA aufgenommen,

eine Gratverebnung in ca. 2900 m ü. M., welche vom jenseitigen Windachtal leicht zugänglich ist und auf der sich eine obere klimatische Rasengrenze schon aus der Fernsicht andeutet, sodaß der dreieckige Gipfel rechts davon biologisch gerade in die nivale Höhenstufe reicht.

Im Mittelgrund das Timmeltal,

im Vordergrund der alpine Rasen des "Windeggs" der Angereralp-Verebnung.

Abb. 21a und b:

Höhenverschiebung phänologischer Stadien der Lärche in ihrem jahreszeitlichen Ablauf

a frühjährliche Aufwärtsbewegung der Begrünungs-Stadien:

dünn ausgezogen	erster Grünanflug
dick ausgezogen	volle Begrünung
unterbrochen ausgezogen	halbe Begrünung

b herbstliche Abwärtsbewegung der Entgrünungs-Stadien:

Die Entgrünung besteht aus zwei aufeinander folgenden Phasen, Vergilbung und Verkahlung, von denen jede für sich schon etwas länger dauert als die Begrünung.

dünn ausgezogen	erster Gelbanflug
mittel ausgezogen	volle Vergilbung, erste Verkahlung
dick ausgezogen	volle Verkahlung
unterbrochen ausgezogen	halbe Vergilbung und halbe Verkahlung.

Die Kurven beziehen sich auf zwei verschiedene Auf- und Abwärtswege:

einerseits Innsbruck Hofgarten ——— Baumgrenze i. S. v. Innsbruck oder zurück  
 andererseits Ötztal Ausgang ——— Obergurgl oder zurück,  
 Zusammengestellt nach Fern- und Nahsichtaufnahmen aus den 6 Jahren 1954 - 56  
 und 1964 - 66.

Die Begrünung steigt langsam empor u. zw. auf dem Innsbrucker Aufwärtsweg stark  
 verspätet gegenüber dem Aufstieg vom Ausgang des Ötztals aus.

Die Entgrünung steigt sehr schnell herab u. zw. bei Innsbruck und im Ötztal zeit-  
 lich wenig verschieden.

Abb. 22 a und b

Isophänen des Nadelkleides der Lärche

in räumlicher Anordnung zu Zeiten entsprechender Monatsmitten, dargestellt im  
 überhöhten Aufriß des Bereiches Innsbruck-Obergurgl.

Die phänologischen Isolinien sind niveau-orientiert angeordnet.

Sie zeigen quasihorizontalen Anstieg mit Talphänomen, das taleinwärts zunehmend  
 steile Abwärtshaken mit sich bringt

gefranste Linie: schematischer Talgrund

gezackte Linie: klimatische Baumgrenze

a Die relativ schnell abgeschlossene Begrünung schreitet im Verlauf von 4 Monaten  
 in so schmalen höhenzonalen Ablaufgürteln an den Talflanken empor, daß zwi-  
 schen ihnen von Monatsmitte zu Monatsmitte noch ein Abstand bleibt.

- 1 volle Begrünung
- 2 halbe Begrünung
- 3 erster Grünanflug

b Obwohl die Isophänen der Entgrünung sehr schnell hangabschreiten, überdecken  
 sich die Ablaufzonen des relativ langdauernden Abbaues des Nadelkleides weit-  
 reichend. Die Isophänen der ersten Monatsmitte mußten daher übersichtshalber  
 von jener der zweiten durch Punktierung unterschieden werden.

- 1 erster Gelbanflug
- 2 halbe Vergilbung
- 3 volle Vergilbung
- 4 halbe Verkahlung
- 5 volle Verkahlung

Abb. 23:

Beispiel einer kleinzonalen phänologischen Abstufung Blüh-  
 Isophänen der rostblättrigen Alpenrose  
 um eine Geländeeinmuldung zwischen zwei Murkegeln unweit im S der Station.  
 Zustand vom 1. 8. 1954.

Flächensignaturen: Phäno-Stadien

1. Knospen klein, braun, kegelförmig
2. braune Hochblatthülle abgefallen, Trieb noch zusammengefaltet
3. Einzelblüten des Knospeninneren schwach spreizend, mit erstem rötlichen  
Anflug
4. Blüten noch geschlossen, aber schon rot und voneinander abgespreizt,
5. Blüten voll entwickelt
6. verblühend
7. abfallende braune Kronenreste, verdickter grüner Fruchtsatz

Ausgezogene Linien: Ausaperungs-Isochionen (von außen nach innen) am

1. VII. 1955
10. VII. 1955
20. VII. 1955

Unterbrochene Linien: Schwach ausgeprägte

Ausflußrinne (unten) und  
 Einflußrinne (oben), sowie  
 Umgrenzung des Muldenbodens  
 aus eingeschwemmten feineren Korn,  
 mit Nardus und Sibbaldia bewachsen.

## ZUSAMMENFASSUNG

1. Durch Eintragung höchst gelegener Vorkommen von Wald- und Baumbeständen in hierfür konstruierte Talaufrisse und durch ihre Verbindung mit einer möglichst einfach verlaufenden Hüllkurve können bestmögliche Annäherungen an die klimatische Wald- und Baumgrenze erhalten werden, wenn dabei ein genügend großes Gebiet bearbeitet wird.
2. In den gegebenen Beispielen von 6 tirolischen, rechtseitigen Abzweigungen des Inntales zeigen die erhaltenen Grenzlinien einen mittleren Anstieg von 8 % bis zum talinneren Höhenmaximum des Waldes, das in 2070 bis 2280, und von Einzelbäumen, das in 2130 bis 2460 m ü.M. liegt, sowie eine starke Depression durch die Gletscherwinde im Talgrund. Die Herabdrückung der aktuellen Waldgrenze gegen die klimatische ergibt sich hiebei im Mittel als 208 m, und erreicht in der Nähe des klimatischen Höchstpunktes Beträge von 220 bis 400 m.
3. In einer Übersicht werden geomorphologische, klimatologische, pedologische, geobotanische und phänologische Grenz- und Isolinien-Systeme des Gebirgsgeländes herangezogen und dabei Höhenzonen niveau-orientierter Faktoren und Kleinzonen relief-orientierter unterschieden.
4. Eine stabile Waldgrenze gehört zur ersten Klasse, spontan vordringende Jungwüchse derselben gehören jedoch zur zweiten. Vorstadien der Wald- und Baumgrenze werden also durch kleinzonale Faktoren bestimmt, bis die Bäume imstande sind, sich in einheitlicher Front zusammenzuschließen, womit sie sich das begrenzende Bestandesklima an der Waldgrenze durch ihre eigene Deck- und Randwirkung selber geschaffen haben.
5. Die tiefgreifenden Unterschiede des subalpinen Kleinklimas und die geringen Möglichkeiten heimischer Holzartenwählerzwingen eine differenzierte Abwandlung der Pflanzweise und ergeben für unsere Forschung folgende Dringlichkeitsreihung: Kleinklima-Kartographie, Versuchspflanzungs-System, Laboratoriums-Analyse der Ergebnisse.

## SUMMARY

1. The best approximation to the climatic timber and treeline is gained by plotting the highest occurrence of a number of timber and treelines on valley profiles specially prepared for the purpose and by joining these points with a simple curve. The system works well so long as a sufficiently large area is used.

2. Six right bank tributaries of the Inn valley in Tyrol are used as examples. In the examples the limits show an average upward gradient of 8 ‰ to the highest point reached by forest in the valley interior. This lies between 2070 - 2280 m altitude, while for isolated trees the figures are 2130 - 2460 m, thus a considerable depression due to the glacier wind down-valley. The depression of the actual timberline as compared with the climatic one averages 208 metres, and near the climatic maximum may reach from 220 - 400 m.

3. In a survey of mountain land, geomorphological, climatological, pedological, geobotanical and phenological features affecting timberlines are assembled. Thus, high zones influenced by altitude oriented factors, as well as small zones resulting from relief are differentiated.

4. A stable timberline belongs to the first class, while spontaneous advancing young growth belongs to the second. Initial stages of both timber and treeline are thus limited by microenvironmental factors until the trees are able to form a closed front thereby creating the necessary stand climate through cover and edge effects.

5. The large differences in subalpine microclimate and small selection of suitable indigenous woody species means a modification of planting practice, and results in the following priority rating for research: microclimate mapping, research into planting methods, and laboratory analysis of results.

## RÉSUMÉ

1. En inscrivant les effectifs de forêts et d'arbres des plus hautes altitudes sur des élévations de vallées construites à cet effet et en les reliant par un réseau de courbes très simple on peut obtenir un rapprochement approximatif de la frontière climatique sylvestre, si on englobe une étendue aussi large que possible.
2. Au Tyrol six vallées adjacentes droites de la vallée de l'Inn ont été prises comme exemple. Les lignes de démarcation obtenues montrent un rehaussement moyen de 8 ‰ jusqu'au maximum à l'intérieur de la vallée, situé à 2070 à 2280 m pour la forêt et à 2130 à 2460 m d'altitude pour les arbres isolés, ainsi qu'une forte dépression au fond de la vallée due aux vents glaciaires. La frontière sylvestre actuelle a été repoussée en moyenne de 208 m au-dessous de la frontière climatique et à proximité du maximum climatique de 220 à 400 m.
3. Dans un aperçu un système d'isolignes et de limites géomorphologiques, climatologiques, pédologiques, géobotaniques et phénologiques du terrain alpin est examiné en y différenciant les zones d'altitude des facteurs orientés d'après le niveau et les microzones orientées d'après le relief.
4. Une frontière sylvestre stable appartient à la première classe, tandis que les jeunes bois progressant spontanément appartiennent à la seconde classe. Les stades préliminaires de la limite sylvestre sont donc déterminés par des facteurs microzonaux, jusqu'à ce que les arbres soient en état de se joindre en front uni, se créant ainsi eux-mêmes par leur propre effet de protection le climat vital adjacent.
5. Les différences profondes du microclimat subalpin et le choix réduit d'essences indigènes exigent une modification différenciée de la plantation et il en résulte pour nos recherches l'ordre d'urgence suivant: cartographie du microclimat, système de plantations-tests, analyse des résultats au laboratoire.

## Р е з ю м е

1. Если записать самые высокорасположенные леса и группы деревьев в чертежи долин, составленные для этой цели, и соединить их как можно проще сплошной облегающей кривой, то, при условии, что обрабатывается достаточно широкий район, получается очень достоверное приближение к климатической границе леса и древесной растительности.

2. В данных примерах 6-ти правосторонних ответвлений от долины р. Инн в Тироле полученные черты границы поднимаются в среднем на 8 ‰ до максимальной высоты леса и границы отдельных деревьев, лежащих, соответственно, 2070 – 2280 и 2130 – 2460 м над уровнем моря на конце долины, и наблюдается резкая депрессия границы в верховьях долины, вызванная ледниковыми ветрами. Понижение действительной границы леса в отношении к климатической достигает в среднем 208 м, а в отношении к климатическому максимуму – 220 – 440 м.

3. Дается обзор систем геоморфологических, климатологических, педологических, геоботанических и фенологических границ и изолиний горного района, различая при этом высотные зоны, обусловленные факторами, зависящими от уровня, и микорозоны факторов, зависящих от рельефа.

4. К первому классу принадлежит устойчивая граница леса, ко второму же – местно продвигающийся молодняк.



Первичные стадии образования границы леса и древесной растительности зависят, следовательно, от микрозональных факторов, до тех пор, пока деревьям не удастся соединиться в плотный фронт, причем климат на границе леса создается именно экранирующим и краевым эффектом самих деревьев.

5. Резкие разницы в субальпийском микроклимате и ограниченные возможности выбора древесных пород вынуждают дифференцировать метод лесонасаждения и определяют для наших исследований следующую последовательность по важности темы: картография микроклиматов, система опытных насаждений, лабораторный анализ результатов.

## DISKUSSION

**PURRER:** Sie haben bei der Besprechung der bisher durchgeführten subalpinen Aufforstungstätigkeit gesagt, daß die erfolgreichen Höhengaufforstungen vielfach auf Glück zurückzuführen seien. Ich möchte dem insoweit zustimmen, als man bisher mangels ökologischer Grundlagenerkenntnisse die Erfolgsaussichten solcher Aufforstungen nicht auf Grund wissenschaftlicher Erkenntnisse vorhersagen konnte. Ich stimme aber insoweit nicht zu, als doch bei Betrachtung der geschichtlichen Entwicklung des ganzen Waldbaues deutlich wird, daß viele Dinge, die erst später wissenschaftlich ergründet wurden, schon lange vorher von den Forstmännern intuitiv richtig erkannt und zum Erfolg geführt wurden. Ich bin daher überzeugt, daß wir auch heute schon in den Hochlagen Aufforstungsflächen bearbeiten könnten, bei denen wir mit einer hohen Erfolgswahrscheinlichkeit rechnen können. Weiters sagten Sie, daß der Kleinstandort von überzeugender Bedeutung sei. Das ist auch meine Überzeugung. Ich glaube jedoch, daß wir im Bergland auch großräumige Flächen haben, die einen mehr oder minder gleichförmigen Standort darstellen. Dort werden Mißerfolge bei der Aufforstung durch kleine Standortsabweichungen nur auf einem geringen Teil der Fläche vorkommen. Ich habe daher keine Bedenken, Hochlagenaufforstungen verstärkt zu betreiben. Man wird eben die Arbeiten zuerst auf die erfolversprechenden Flächen verlegen und dann erst in die anderen Gebiete, für die uns die Wissenschaft hoffentlich bald entsprechende Grundlagen bieten wird.

**FRIEDEL:** In diesen Punkten möchte ich Ihnen unbedingt zustimmen. Auch der Praktiker ist selbstverständlich nicht auf den Kopf gefallen. Wir Wissenschaftler müssen uns aber eben erst bemühen, das, was der Praktiker mit seinem Fingerspitzengefühl vermag, in definitionsgerechte und maßgerechte Fassung zu bringen. Ebenso richtig ist, daß gar nicht immer die Extreme wenige Meter beisammen sind. Wir haben absichtlich ein Stationsgelände mit so kleinen Reliefformen gesucht, weil wir messen wollen, ohne allzulange elektrische Leitungen zu benötigen. Wenn nun große brettartige Reliefformen an Stelle jener kleinen treten, so werden sie trotzdem irgendwo von einer einspringenden oder vorspringenden Kante oder Biegung begrenzt sein und die Extreme liegen dann nur eben weiter voneinander entfernt und ergeben weitläufigere, aber ebenso komplizierte Grenzlinien und eben so große Unterschiede ökologischer Verhältnisse. Selbstverständlich wird man unsere minutiösen Aufnahmen für den Praktiker auch weitgehend schematisieren. Hier eine neunstufige Detailaufnahme für die Forschung. Der Praktiker wird aber mit dieser schematisierten und noch vierstufigen auskommen. Letztere ist aber keine wissenschaftliche Forschungsaufnahme, sondern die Umsetzung für die Praxis. Wir haben zweifelsohne erfolgreiche Aufforstungen z. B. im Zillertal mit seinem gedämpfteren Klima. Aber wenn ich hier von Glück sprach, so meinte ich dies nicht in Bezug auf die Praktiker, sondern auf uns Wissenschaftler, auf die damals von unserer Forschungsstelle ausgearbeiteten Gutachten und Maßnahmenpläne, wonach dann die Praxis vorgegangen ist.

**RUTHNER:** Im Zuge zukünftiger Planung im industriellen Pflanzenbau sind wir darauf angewiesen, Vegetationsabläufe vorauszubestimmen. Wir wissen, daß die Pflanze ihr Leben auf 32 Umweltfaktoren aufbaut, wo jeder Faktor, wenn er über das Maximum oder Minimum hinausgeht, das Leben der Pflanze gefährdet. Obwohl 20 Faktoren in die Nährlösung hineinfallen, so bleiben doch noch 12 physikalische Faktoren übrig, die wir beobachten müssen. Wir sind dazu übergegangen, diese

Faktoren empirisch zu erheben und mit den übrigen Faktoren in einer zu wählenden Zeitkonstante in einen Computer einzuspeisen. Wenn wir z. B. einen Wachstumsablauf von zwei Monaten mit einem 2-Minuten-Takt versehen und wir 12 Werte messen, sammeln wir über 520.000 Meßwerte, die wir in den Computer einspeisen und dann in sog. Wachstumskammern rückführen, wo wir alle diese natürlichen Faktoren in künstliche umwandeln. Wir erhalten dann Istwertkarten, die dem Umweltgeschehen der natürlichen Pflanzen entsprechen. Durch Revision und Kontrolle mit Testfaktoren bilden wir dann sog. Sollwertkarten, die uns dann ein Bild ähnlich einer Visitenkarte von Pflanzen liefert. Diese Sollwertkarte, die sich ausschließlich auf künstliche Umweltfaktoren aufbaut, hat praktisch in der ganzen Welt ihre Gültigkeit. Auf den extremen subalpinen Standorten könnte man durch Vergleich der Istwert- und Sollwertkarten mit den klimatischen Verhältnissen sagen, hier besteht die Möglichkeit, daß die Pflanze gedeiht. Andernfalls muß ich sie mit solchen Eigenschaften ausstatten, daß sie diesen Anforderungen gewachsen ist.

FRIEDEL: Ich möchte Herrn Senator sagen, daß ich mich hüten werde, diese Argumentation anzugreifen. Ich will jedoch zur Ergänzung Herrn Doz. TRANQUILLINI fragen, ob er nicht auch Standortsforschungen im Freien und Pflanzversuche im Freien trotzdem immer noch für nötig hält, wie großartig die genannten modernen Verfahren auch sind. Vielleicht könnte er einige Worte über das Verhältnis zwischen Labor- und Freilandversuchen aussagen.

TRANQUILLINI: Wir sind der Ansicht, daß man zunächst das Verhalten der Pflanzen im Freiland untersuchen soll. Bei solchen Experimenten lassen sich die Beziehungen zwischen Umwelt und pflanzlicher Reaktion nicht immer klar erkennen, weil die Verhältnisse im Freiland zu komplex und zu variabel sind. Um diese undurchsichtigen Zusammenhänge besser durchschauen zu können, geht man dann ins Labor und analysiert dort unter künstlichen Umweltsbedingungen den Einfluß der einzelnen Elemente dieser Umwelt auf die Pflanzen.

FRIEDEL: Noch eine ganz kleine Ergänzung: Nachdem wir im Labor diese Analyse durchgeführt haben, ist das nun gewiß methodisch exaktere, aber noch theoretische Ergebnis erst noch für die Praxis durch forstliche Freilandversuche neuerlich zu verifizieren. Damit ist erst der Kreis geschlossen.

FLIRI: Mich reizt es persönlich außerordentlich, durch eine Kombination von Faktoren in einer elektrischen Rechenmaschine den Dingen auf den Grund zu kommen. Habe ich Sie richtig verstanden, daß man praktisch die Verteilung jedes dieser Faktoren im Gelände auch maßstabgerecht kartieren kann?

RUTHNER: Das habe ich nicht gesagt! Ich habe nur erklärt, daß der Istzustand auf die besagte Art festzustellen ist. Wir können dann im Vergleich zum Istzustand der Klimakarte sehen, ob die Pflanze dort überhaupt kultiviert werden kann oder nicht. Wir gehen also ebenfalls ins Freiland, wir nehmen ja die Klimafaktoren draußen auf.

FLIRI: Es sind ja nicht nur Klimafaktoren.

RUTHNER: Wir nehmen alle 32 Faktoren auf.

FLIRI: Wie engmaschig stellen Sie sich so ein Tatsachen-Netz vor?

RUTHNER: Wir haben zur Zeit mit einem 2-Minuten-Takt gerechnet. Die Nährstofffaktoren muß man aus der Bodenanalyse bekommen. Luft- und Bodenfeuchtigkeit, Luft- und Bodentemperatur, Wind, Lichtwellenlänge, -intensität, und -zeitdauer, Sauerstoff, Durchlüftung, Wasser, Kohlensäure, ph-Wert können wir unmittelbar herauslesen.

**FRIEDEL:** In unserem geschätzten TRANQUILLINI haben wir einen Mann, der sehr genau weiß, was aus einem Laborversuch herauszuholen ist. Dies ist der Grund, warum ich ein begeisterter Anhänger seiner Labors und seiner Versuche bin. Ich fürchte aber, daß man mit Labor plus Computer, auch wenn man die Umweltumstände noch so schön taxiert und numeriert, die größten Fehler machen könnte, wenn nicht der erfahrene Ökologe dahintersteht, sondern allein die Maschine arbeitet. Ein richtig programmierter Computer müßte z.B. gelernt haben, daß Lebewesen nicht nur je nach Stärke der Klimafaktoren, sondern auch nach Art ihres Beisammenseins verschieden reagieren und dies nicht nur nach Regional- und Höhenklima, vielmehr besonders nach zu wenig bekanntem Hochlagen-Kleinklima. Ein Computer und ein Labor gibt soviel Geist von sich, als in sie hineingesteckt wird.

## LITERATUR

### A. Schriften vorwiegend biologischen Inhalts

- AUER Ch. 1949: Untersuchungen über die natürliche Verjüngung d. Lärche im Arven-Lärchenwald des Oberengadins. Mitt. d. Schweiz. Anst. f. d. forstl. Versuchsw. 25
- BRAUN-BLANQUET I. 1913: Die Vegetations-Verhältnisse der Schneestufe i. d. Rhätisch-Lepontinischen Alpen. N. Denkschrift d. Schweiz. Natf. Ges. 48
- BRAUN-BLANQUET I. 1964: Pflanzensoziologie. 3. Aufl. Springer Wien
- BRAUN-BLANQUET I. und JENNY H. 1926: Vegetationsentwicklung und Bodenbildung in der alpinen Stufe d. Zentralalpen. Denkschr. d. Schweiz. Natf. Ges. 63/2
- BROCKMANN-JEROSCH H. 1919: Baumgrenze und Klimacharakter. Rascher, Zürich
- DÄNIKER A. 1923: Biologische Studien über Baum- und Waldgrenze. Vierteljahrsschr. d. Natf. Ges. 68, Zürich
- FANKHAUSER F. 1901: Der oberste Baumwuchs. Schweiz. Zeitschr. f. Forstw. 52, H. 1
- EGLIN B. 1926: Die Vegetationsgrenze der Alpenrose als unmittelbarer Anhalt zur Feststellung früherer Waldgrenzen i. d. Alpen. Zeitschr. f. d. Forstw. 46
- FIGALA H. 1928: Studien über die Nordtiroler Zirbe. Österr. Forstw. 46
- FRENZEL B. und FISCHER H. 1957: Beobachtungen zur Phänologie eines Alpenaltales. Arch. f. Met. 8
- FRIEDEL H. 1936: Wirkungen der Gletscherwinde auf d. Ufervegetation der Pasterze. Biokl. Beibl. Bd. 1, Braunsch.
- FRIEDEL H. 1956: Die alpine Vegetation d. ob. Mölltales. Wiss. AV-Hefte, H. 16, Innsbruck
- FRIEDEL H. 1961: Schneedecken-Andauer u. Vegetations-Verteilung i. Gelände. Mitt. d. Forstl. Bundesversuchsanstalt Mariabrunn H. 59
- FRIEDEL H. 1961: Hochlagen-Aufforstung. Veröff. Mus. Ferdinandeum, Bd. 41, Innsbruck
- FRIEDEL H. 1962: Forschung f. Land- und Forstwirtschaft d. Hochlagen. Ber. z. Landesforsch. u. Landesplan. Bd. 6, H. 1
- FRIEDEL H. 1966: Die Waldgrenze in ihrem Bezug zu anderen höhenzonalen Erscheinungen. Allg. Forstz. Bd. 77, H. 6, Wien
- GAMS H. 1918: Prinzipienfragen d. Vegetationsforschung. Vierteljahrsschr. d. Natf. Ges. 63, Zürich
- GAMS H. 1927: Wandlungen d. alpinen Baumgrenze. Aus Heimat u. Welt Bd. 40, H. 6, Stuttgart
- GAMS H. 1951: Baumgrenzen im Karwendel bei Schwaz. Schlern-Schr. 85 (Schwazer Buch) Innsbruck
- GAUSSEN H. 1938: Etages et zones de Vegetation de la France. Ann. de Geogr. Be. 47



- HEIN L. 1932: Die alpine Waldgrenze in Europa. Beih. Bot. Zentralbl. 49
- HESS E. 1941: Die natürlichen Waldgrenzen im Kanton Wallis. Bull. Murithienne 59
- HERMES K. 1955: Die Lage d. ob. Waldgrenze i. d. Gebirgen d. Erde u. ihr Abstand z. Schneegrenze. Kölner geogr. Arb., Köln
- IMHOF E. 1900: Die Waldgrenze in der Schweiz. Gerl. Beitr. z. Geophysik Bd. 4
- KERNER v. MARILAUN A. 1908: Der Wald und die Alpwirtschaft. Berlin
- KESSLER W. 1935: Über die Ursachen der Kälteresistenz. Planta 24
- KÖPPEN W. 1919: Baumgrenze und Lufttemperatur. Peterm. Mitt.
- KREBS N. 1912: Die Waldgrenze in den Ostalpen. Dtsch. Rundsch. Geogr. Bd. 34/1, Wien
- KUBIENA W.L. 1948: Entwicklungslehre des Bodens. Wien Springer
- LARCHER W. 1957: Frosttrocknis an der Waldgrenze und in der alpinen Zwergstrauchheide. Veröff. Mus. Ferdinandeum 37, Innsbruck
- LARCHER W. 1963: Zur spätwinterlichen Erschwerung der Wasserbilanz von Holzpflanzen an der Waldgrenze. Ber. d. Natw.-Mediz. Vereins Bd. 53 (Festschr. Gams) Innsbruck
- MAIR N. 1966: Zuwachs und Ertragsleistung subalpiner Wälder. Allg. Forstz. 77, H. 6, Wien
- MAREK R. 1910: Waldgrenzstudien i. d. Österr. Alpen. Peterm. Mitt. Erg. H. 168
- MARCHAND E. et BOUGET I. 1909: Der Einfluß der unteren Wolkenschicht auf die Höhenverteilung der Vegetation in den Zentralpyrenäen (frz) Ciel et Terre 30/5
- MICHAELIS P. 1934: Zur Kenntnis des winterlichen Wasserhaushaltes. Jb. f. wiss. Bot. 80
- MICHAELIS P. 1936: Ökologische Studien an der alpinen Waldgrenze. Zschr. f. angewandte Met.
- NEUWINGER I. 1963: Beziehungen zwischen Relief, Pflanzendecke und Boden an der Obergrenze d. Zirben-Lärchenwaldgürtels. Ber. d. Natw.-Mediz. Vereins i. Innsbruck (Festschrift Gams), Bd. 53
- NEUWINGER I. 1966: Über Bodenbildung, Nährstoffvorrat und Stoffproduktion an der zentralalpinen Waldgrenze. Allg. Forstz. 77, H. 6, Wien
- NEUWINGER I. und CZELL A. 1959: Standortsuntersuchungen in subalpinen Aufzuchtungsgebieten. Forstw. Cbl. 78/11
- NEVOLE I. 1914: Die Verbreitung der Zirbe in der österr.-ung. Monarchie. Wien-Leipzig
- OSWALD H. 1963: Verteilung und Zuwachs der Zirbe der subalpinen Stufe an einem zentralalpinen Standort. Mitt. d. Forstl. Bundesversuchsanstalt Mariabrunn, Bd. 60
- PALLMANN H. und HAFFTER P. 1934: Pflanzensoziolog. und bodenkundl. Untersuchungen im Oberengadin. Ber. Schweiz. Bot. Ges. 42/2

- PISEK A. 1963: An den Grenzen des Pflanzenlebens im Hochgebirge. Jahrb. d. Ver. z. Schutze d. Alpenpflanzen Bd. 28, München
- PISEK A. und LARCHER W. 1954: Zusammenhang zw. Austrocknungstendenz und Frosthärte bei Immergrünen. Protoplasma 44/30
- RIKLI M. 1909: Die Arve der Schweiz. N. Denkschrift d. Schweiz. Natf. Ges. 44
- ROSENKRANZ F. 1938: Klimacharakter und Pflanzendecke v. Mitteleuropas. Beih. z. Bot. Zentralbl., 1, Leipzig
- ROSENKRANZ F. 1951: Grundzüge der Phänologie. Wien
- RHOMEDER E. 1941: Die Zirbelkiefer als Hochgebirgsbaum. Jahrb. d. Ver. z. Schutze d. Alpenpflanzen, Bd. 6, München
- SCHARFETTER R. 1938: Das Pflanzenleben der Ostalpen. Wien
- SCHIECHTL H. 1966: Physiognomie der Waldgrenze im Gebirge. Allg. Forstz. 77, H. 6, Wien
- SCHNELLE F. 1948: Studien zur Phänologie Mitteleuropas. Ber. d. Dtsch. Wetterdienstes 1/2
- SCHÖNBECK H. 1957: Zirbe und Tannenhäher. Mitt. d. Natw. Vereine f. Kärnten 67, Klagenf.
- SCHRECKENTHAL-SCHIMITSCHEK G. 1934: Klima, Boden und Holzarten a. d. Waldgrenze und Baumgrenze in einzelnen Gebieten Tirols. Mus. Ferdinandeum, Innsbruck
- STEINER H. 1935: Winterliches Bioklima und Wasserhaushalt der Pflanzen an der alpinen Baumgrenze. Bioklim. Beibl. d. Met. Z. 2/2
- TSCHERMAK L. 1935: Klima und Holzarten in den Ostalpen. Bioklim. Beibl. d. Met. Z. 2/4
- TSCHERMAK L. 1948: Hohe Lage der oberen Wald- und Baumgrenze in den Innenalpen und Klimacharakter. Wetter und Leben 1
- TRANQUILLINI W. 1958: Die Frosthärte der Zirbe unter besonderer Berücksichtigung autochthoner und aus Forstgärten stammender Jungpflanzen. Forstw. Cbl. 77/87
- TRANQUILLINI W. 1966: Über das Leben der Bäume unter den Grenzbedingungen der Kampfzone. Allg. Forstz. 77, H. 6, Wien
- ULMER W. 1937: Über den Jahresgang der Frosthärte einiger immergrüner Arten der alpinen Stufe. Jb. f. wiss. Bot. 84
- WAGNER H.: Die Fassung der Gesellschaftseinheiten auf Grund der großmaßstäblichen Vegetationskartierung. Coll. Int. du CNRS 97 Paris (Methodes de la cartographie de la Vegetation)
- WEGENER A. 1933: Das Wesen der Baumgrenze. Met. Zschr. 40

## B. Schriften vorwiegend nichtbiologischen Inhalts

- AHLMANN H. W. 1948: Glaciological research on the North Atlantic coasts. Roy. Geogr. Soc., London
- BARTORELLI U. 1965: L'Assolazione. Publ. dell. Ac. It. di Science Forestali, Florenz
- BRÜCKNER E. 1887: Die Höhe der Schneelinie. Met. Z.
- BRÜCKNER E. 1905: Höhengrenzen in der Schweiz. Nat. wiss. Wochenschr. N.F. Bd. 52
- DEFANT A. 1933: Der Abfluß schwerer Luftmassen auf geneigtem Boden. Sitzb. Berlin Akad. 18
- DIRMHIRN I. 1951: Untersuchungen der Himmelsstrahlung in den Ostalpen mit besonderer Berücksichtigung ihrer Höhenabhängigkeit. Arch. f. Met. 2
- DIRMHIRN I. 1958: Studien über die Oberflächentemperatur fester Körper. Wetter u. Leben 10
- EIMERN I. van 1955: Zur Methodik der Geländeaufnahme. Mitt. d. Dtsch. Wetterd. 2/14
- EKHART E. 1940: Zur Kenntnis der Schneeverhältnisse der Ostalpen. Gerl. Beitr. z. Geoph. 56
- EKHART E. 1950: Zur Bewölkungsklimatologie der Alpen. Geogr. Annaler 32
- FLACH E. 1951: Zum tägl. u. jähr. Gang der Bewölkung. Zeitschr. f. Met. 5
- FRECH F. 1903: Über das Antlitz der Tiroler Zentralalpen. Z. d. DÖAV Bd. 34
- FRIEDEL H. 1952: Gesetze der Niederschlagsverteilung im Hochgebirge. Wetter u. Leben, Bd. 4, H. 2, Wien
- FRIEDEL H. 1953: Wirkungen der Schnee Verteilung im Pasterzenggebiet. Carinthia II. Bd. 142 H. 2 (Festschrift Paschinger)
- FRIEDEL H. 1965: Kleinklima - Kartographie. Mitt. d. Forstl. Bundesversuchsanstalt Mariabrunn, H. 66
- GEIGER R. 1940: Probleme der Mikrometeorologie des Hochgebirges. Wetter u. Leben 5
- GEIGER R. 1960: Das Klima der bodennahen Luftschicht. 4. Aufl., Braunschw.
- GRUNOW J. 1953: Niederschlagsmessungen am Hang. Met. Rundschau 6
- HAUER H. 1955: Die Konvektionsbewölkung im Hochgebirge. Arch. f. Met., Geoph. u. Bioklim. A 8
- HEIGEL K. 1957: Die Bodenfeuchte in Abhängigkeit von Exposition, Bodenart und Bewuchs. Wetter u. Leben 9
- HERMES K. 1955: Die Lage der oberen Waldgrenze in den Gebirgen der Erde und ihr Abstand zur Schneegrenze. Kölner geogr. Arbeiten, Köln
- HELLMANN G. 1915: Über die Bewegung der Luft in den untersten Schichten der Atmosphäre. Met. Z. 32
- JOHNSON N.K. 1929: A study of the vertical gradient of temperature near the ground. Geoph. Mem. 46, London

- JEGERLEHNER I. 1902: Die Schneegrenze in den Gletschergebieten d. Schweiz. Gerl. Beitr. z. Geoph. V
- KAEMPFERT W. 1942: Sonnenstrahlung auf Ebene, Wand und Hang. Reichsamt f. Wetterdienst, Wiss. Abt. 9
- KÖHN W. 1948: Über den Einfluß einer Schneedecke auf die Bodentemperaturen. Wetter u. Leben 1
- KERNER F. v. 1887: Über die Schneegrenzen im Gebiet des mittleren Innates. Wien
- KLEBELSBERG R. v. 1949: Das Ötztal, Natur und Bild. Jahrb. d. ÖAV, Bd. 74
- KNOCH K. 1963: Die Landesaufnahme, Wesen und Methodik. Ber. d. Dtsch. Wetterdienstes 85, Bd. 12, Offenbach
- KÖPPEN W. 1920: Lufttemperatur an der Schneegrenze. Petm. Mitt. 66
- KUBIENA W.L. 1948: Entwicklungslehre des Bodens. Wien, Springer
- LAUSCHER F. 1934: Wärmestrahlung und Horizonteneinengung. Sitzb. Akad. 143, Wien
- LAUSCHER F. und DIRMHORN J. 1951: Untersuchungen über die Strahlungsverhältnisse auf den Alpengletschern. Arch. f. Met. (B) 3
- LIEZ H. 1903: Verteilung der mittleren Höhe in der Schweiz. Iber. d. Geogr. Ges. Bern 18
- LJUNGNER E. 1944: Der Einfluß der Massenerhebung auf die Höhengrenzen in Skandinavien und in den Alpen. Geografica 15, Upsala
- MACHATSCHKE F. 1964: Geomorphologie. 8. Aufl., Teubner, Stuttgart
- MICHAELIS P. 1934: Die Schichtung der Windgeschwindigkeit, der Lufttemperatur und Evaporation über einer Schneefläche. Beih. z. Bot. Zentralblatt, 53 B, Leipzig
- PASCHINGER V. 1912: Die Schneegrenze in den verschiedenen Klimaten. Petm. Mitt. Ergh. 173
- PRUTZER E. 1961: Die Verdunstungsverhältnisse einiger subalpiner Standorte. Mitt. d. Forstl. Bundesversuchsanstalt Mariabrunn, H. 59
- PRUTZER E. und CERNUSCA G. 1965: Meßprobleme und Instrumentar einer klimaökologischen Freilandstation. Mitt. d. Forstl. Bundesversuchsanstalt Mariabrunn, H. 66
- DE QUERVAIN A. 1904: Die Hebung der atmosphärischen Isothermen in den Schweizer Alpen und ihre Beziehung zu den Höhengrenzen. Gerl. Beitr. z. Geoph. 4, Leipzig
- RICHTER E. 1887: Schneegrenze und Firnfleckenregion. Mitt. DÖAV
- ROLLER M. 1948: Über die Auswirkung einer Schneedecke auf die Bodentemperaturen. Wetter u. Klima 1
- SCHEDLER A. 1951: Die Bestrahlung geneigter Flächen durch die Sonne. Jrb. d. Z. Anst. f. Met. u. Geod. 87, Wien
- STREIFF-BECKER R. 1947: Die Schneegrenzen in den Alpen. Leben u. Umwelt H. 7
- THORNTHWAITE C.W. 1952: Micrometeorology of the surface layer of atmosphere. Publ. Climat. 1 - 5, 1948 - 52

- TOLLNER H. 1931: Gletscherwinde in den Ostalpen. Met. Ztschr. 48
- VOLZ F. 1958: Globalstrahlung auf geneigte Hänge. Met. Rundsch. 11
- WAGNER A. 1938: Theorie und Beobachtungen der periodischen Gebirgswinde. Gerl. Beitr. z. Geoph. 52
- WINKLER E. 1963: Beiträge z. Klimatologie hochalpiner Lagen d. Zentralalpen. Ber. d. Natw.-Mediz. Ver. i. Innsbruck, Bd 53, (Festschrift Gams)