

Klima, Boden und Holzarten an der Wald- und Baumgrenze in einzelnen Gebieten Tirols.

Von Dr. Gertrud Schreckenthal-Schimitschek.

Aus der Lehrkanzel für forstl. Bodenkunde und forstl.-chem. Technologie
an der Hochschule für Bodenkultur, Wien.

Gedruckt mit Unterstützung durch das Bundesministerium für Land- und
Forstwirtschaft, die Tiroler Landesregierung und den D. u. Oe. Alpenverein.

Einleitung.

Die Kenntnis der Grenzgebiete von Pflanzenformationen ist von Wichtigkeit, da die dort auftretenden Bedingungen unter denen sich die Pflanzen gerade noch entwickeln können, einen Einblick in die Ökologie der Pflanzengesellschaften, vor allem des Waldbaues bieten. Unter Ökologie versteht man nach Haeckel die Wissenschaft von den Beziehungen der Organismen — in unserem Falle der Pflanzen — zur Außenwelt. Gerade der Waldbau beschäftigt sich schon lange mit ökologischen Fragen und hat viele Erkenntnisse vermittelt. So ist das Gebiet von der Wald- bis zur Baumgrenze in vertikaler Richtung einerseits vom wissenschaftlichen, andererseits aber auch vom wirtschaftlichen Standpunkt von Wichtigkeit; die Wirtschaft muß bestrebt sein, diese Grenze auf ihrer natürlichen Höhe zu erhalten oder, wo sie künstlich herabgedrückt wurde, wieder auf ihre natürliche Höhe zu bringen.

Vorliegende Arbeit behandelt die Beziehungen und Wechselwirkungen, die zwischen Klima, Boden und Vegetation an der oberen Verbreitungsgrenze der Holzarten bestehen. Hiebei wurde die Verjüngung besonders berücksichtigt.

Die Untersuchungen, die über das Klima des Hochgebirges vorliegen beschäftigen sich hauptsächlich mit den großklimatischen Verhältnissen, und sind daher nur zum Teil für ökologische und bodenkundliche Fragen verwertbar. Es mangelt nicht nur an der den besonderen Bedürfnissen angepaßten Aufstellung der Instrumente, sondern auch an der

entsprechenden Anzahl meteorologischer Stationen, deren Beobachtungen für biologische Vorgänge und für die sich im Boden abspielenden Prozesse verwertet werden können¹⁾.

Innerebner²⁾ z. B. hat gezeigt, daß die in der englischen Hütte gemessenen Luft-Temperaturen für biologisches Geschehen so gut wie wertlos sind. Eine Ausnahme bilden z. B. die bioklimatischen Stationsreihen bei Lunz.

Messungen im Gebiet der Wald- und Baumgrenze wurden nur in vereinzelt Fällen durchgeführt, obwohl die Bodentemperatur für die sich im Boden abspielenden chemisch-biologischen Vorgänge von hervorragender Bedeutung ist. Schon Ebermayer³⁾ sagt, daß die Bodentemperatur ein klimatischer Produktionsfaktor ist, der zumindest die gleiche Aufmerksamkeit wie die Luftwärme verdient.

Gerade die Umweltbedingungen in jenen Gebieten, in denen sich die Holzarten an der Grenze ihrer Verbreitung befinden, sind dazu geeignet, wichtige Aufschlüsse über die Ansprüche der Holzarten und ihre Verbreitungsmöglichkeit zu geben, denn hier können jene standörtlichen Bedingungen erfaßt werden, bei denen die Holzarten die die obere Wald- und Baumgrenze bilden, gerade noch fortkommen können.

Dem Klima kommt ohne Zweifel an der Ausbildung der Wald- und Baumgrenze die größte Bedeutung zu, jedoch können, besonders örtlich, auch die Bodenverhältnisse ihren Einfluß ausüben. Vor allem sind es die physikalischen Eigenschaften der Böden, die unter Umständen bestimmend auf die obere Verbreitungsgrenze von Pflanzen und Pflanzengesellschaften einwirken können.

Über physikalische Eigenschaften von Böden und ihre Bedeutung für das Wachstum der Holzarten in tieferen Lagen liegen zahlreiche Untersuchungen vor, in den Hochlagen hin-

¹⁾ Vgl. Drude: Physiognomie, Temperatur und Klimacharakter, Hb. d. biol. Arbeitsmeth. 1932.

²⁾ Innerebner: Über den Einfluß der Exposition auf die Temperaturverhältnisse im Hochgebirge. Meteorolog. Zeitschrift 1933. H. 9.

³⁾ Ebermayer: Die physischen Einwirkungen des Waldes auf Luft und Boden. Aschaffenburg 1873.

gegen wurden derartige eingehende Untersuchungen weder durchgeführt noch entsprechend gewürdigt.

Die Waldbodenbonität ist aber, wie Burger betont, ein physikalisches Problem, während bei den Ackerböden die chemischen Eigenschaften maßgebend sind.

Am meisten haben sich noch mit den Untersuchungen über Bodenarten und Bodenverhältnisse der Hochlagen Schweizer Forscher beschäftigt. Aus dem österreichischen Teil der Alpen lagen bisher keine derartigen Untersuchungen vor.

Verfasserin hat nun die Bodenarten bestimmt und ihre physikalischen Eigenschaften unter Berücksichtigung ihrer Eignung für die Holzarten charakterisiert. Die Ergebnisse der physikalischen Bodenuntersuchungen können natürlich nicht verallgemeinert werden und beziehen sich speziell auf die Untersuchungsgebiete. Für die Hochlagen mit gleichen Bildungsbedingungen (Klima, Gestein, Vegetation) dürften sie allerdings allgemeinere Geltung haben.

Die hier vorliegenden Untersuchungen sind zum Teil schon zum Studium der Frage des Waldrückganges in den Untersuchungsgebieten mit herangezogen worden¹⁾.

Zur Untersuchung kamen folgende Gebiete:

Inneres Pitztal sowie das westlich von St. Leonhard gelegene Gebiet des Rappenkopfes und der Arzler Alm (Glimmerschiefer und Schiefergneis).

Inneres Stubaital, besonders die Talschlüsse des Ober- und Unterbergtales sowie das Gebiet des Ring (Glimmerschiefer und Granitgneis). Nordabfall der Kalkkögel mit vorgelagertem Axamerkogel und Birgitzerkogel (Wettersteindolomit, Kalke, Kalkphyllit und Glimmerschiefer).

Inner-Weerberg bis Gilfersberg (Quarzphyllit).

Die Durchführung der Arbeit wurde durch das weitgehende Entgegenkommen des Vorstandes der Lehrkanzel, Prof. Dr. Wilhelm Graf zu Leiningen-Westerburg ermöglicht

¹⁾ Schreckenthal: Beiträge zur Frage des Waldrückganges in Tirol. Cbl. f. d. ges. Forstw. 1933.

wofür auch an dieser Stelle der herzlichste Dank ausgesprochen sei.

Mittel zur Arbeit wurden von Seiten des Ministeriums für Land- und Forstwirtschaft auf dem Wege der forstlichen Versuchsanstalt Mariabrunn zur Verfügung gestellt.

Es sei an dieser Stelle Herrn Ministerialrat Ing. Anton Locker, Herrn Regierungsförstdirektor Hofrat Ing. Johann Christian sowie den Herren der einzelnen Forstinspektionen für ihr Entgegenkommen bei Durchführung der Außenarbeiten bestens gedankt.

Die Drucklegung wurde, dank der Vermittlung der Herren Prof. Dr. R. v. Klebelsberg und Hofrat Christian, durch Beihilfen des Ministeriums für Land- und Forstwirtschaft, der Tiroler Landesregierung und des D. u. Oe. Alpenvereins ermöglicht.

Klimatische Faktoren, in ihrem Einfluß auf Boden und Vegetation an der Wald- und Baumgrenze.

Im folgenden werden für die Vegetation der Hochlagen wichtige und eigentümliche klimatische Verhältnisse zusammengestellt und eigene Messungen von Boden- und Lufttemperatur besprochen.

Lufttemperatur.

Mit zunehmender Höhe ergibt sich im allgemeinen eine Abnahme der Lufttemperatur; allerdings können Geländeaufformungen starke Abweichungen bewirken.

Die Strahlungsintensität wird mit zunehmender Höhe bei Tag größer, zugleich nimmt aber auch die Wärmeabstrahlung, die bei Tag und Nacht tätig ist, zu und zwar in größerem Maße als die Strahlungsintensität. Das Ergebnis ist also eine Abnahme der Luftwärme¹⁾, bei gleichzeitig größeren Temperaturunterschieden der Gegenstände zwischen Tag und Nacht.

¹⁾ In besonderen Schutzlagen können sich Abweichungen ergeben.

Der Wasserdampf- und Kohlensäuregehalt der Atmosphäre verringern die Erkaltung der Erdoberfläche. Der Wasserdampfgehalt der Luft nimmt aber mit zunehmender Höhe sehr rasch ab, „sodaß er schon in 2000 m Seehöhe auf Bergen kaum mehr die Hälfte von jenem am Meeresniveau beträgt“¹⁾). Die Abnahme der Dichte der schützenden Luft-hülle wirkt auf die Temperatur in den hohen Gebirgslagen ungünstig. Außerdem wird noch die Temperaturabnahme durch die stärkere Luftbewegung auf den Höhen vergrößert; es wird dadurch die am Boden erwärmte Luft rascher weggeführt.

Die Temperatur nimmt nach Hann-Süring im Gebiet einer allgemein langsamen Bodenerhebung viel langsamer ab, als in Gebieten einer steilen Bodenerhebung. Bei allmählicher Erhebung des Bodens nimmt die Temperatur um $0,54^{\circ}\text{C}$ auf 100 m ab (um 1°C auf 184 m), in der oberen Stufe der steilen Erhebung des Terrains um $0,66^{\circ}\text{C}$ auf 100 m (um 1°C auf 151 m). Diese Zahlen gelten für den Sommer. Nach Schröter sinkt bei 160 m Steigung die mittlere Temperatur der ganzen Vegetationsperiode, also der „Zeit des Jahres ausreichender Bodenfeuchtigkeit und genügender Wärme des Bodens und der Luft“ um 1°C (bei 100 m um $0,63^{\circ}\text{C}$)²⁾. Örtlich können sehr große Unterschiede der Temperatur mit der Höhe eintreten.

Die rascheste Temperaturabnahme hat der Frühsommer. „In Klimaten mit länger dauernder Schneedecke im Winter können die Unterschiede zwischen der Temperaturabnahme im Winter und im Sommer sehr groß werden.“ In unseren Breiten erfolgt in Bergländern bei stark bewegter Luft die Temperaturabnahme mit steigender Höhe rascher als bei ruhiger heiterer Witterung. In den dem Wind stärker ausgesetzten Voralpen wird sie also rascher vor sich gehen als in den geschützteren Zentralalpen, was auf die Wald- und Baumgrenze natürlich nicht ohne Einfluß ist.

¹⁾ Hann-Süring: Lehrbuch der Meteorologie. Leipzig, 1926.

²⁾ Schröter: Pflanzenleben der Alpen, S. 60, 61. Zürich, 1926.

Mit zunehmender Seehöhe nimmt die Größe der Jahreschwankung der Lufttemperatur ab; außerdem erfahren die Jahresextreme eine Verspätung. Die Sommer sind in der Höhe kälter als unten, die Winter relativ mild. „Die hervorstechendste Eigentümlichkeit der Temperaturen in großen Höhen ist das kalte Frühjahr.“ Hann-Süring gibt für die Ostalpen an:

	Jänner	April	Juli	Oktober	Schwankung
Täler, 400 m . . .	—11,4	0,7	10,5	0,9	21,9
Hochtäler					
1900 m	— 9,0	—0,6	9,2	1,4	18,2
Gipfel, 2400 m —	6,9	—1,5	8,1	1,5	15,0
Sonnblick,					
3100 m	— 6,6	—2,4	7,4	1,5	14,5

Die Jahresminima der Temperatur sind aber auf den Berggipfeln der höheren Breiten in 3—5000 m Seehöhe nur wenig niedriger als in den Tälern unten, in mittleren Höhen oft milder als dort. Alle Täler weisen zu allen Jahreszeiten eine größere Nachtkälte auf als Gipfel und Hänge. In den Wintermonaten (Dezember und Jänner) kann die mittlere Temperatur der Täler niedriger sein als die in größeren Höhen, besonders an Berghängen. „Die Kälte unten ist eine Folge der Wärmeausstrahlung während der langen Winternächte bei Luftruhe, die Wärme oben ist eine Folge des Abfließens der kalten Luft und des Ersatzes durch Zufluß der wärmeren Luft von der Höhe, aus der freien Atmosphäre.“ Je windgeschützter die Gebirgsteile sind, desto schärfer tritt diese Erscheinung hervor, also besonders in den Tälern der Südseite der Zentralalpen und in den östlichen mehr kontinentalen Teilen. (Hann-Süring.)

Wir finden oft in den Talsohlen der Hochlagen, wo sich die Kaltluft ansammeln kann, und auch auf Plateaus nicht befriedigende Bestockungsverhältnisse, dagegen am Hang gute Bestockung. Die Pflanzen sind sowohl auf der Talsohle wie am Plateau frostgefährdeter als am Hang, wo sich eine

„warme Hangzone“ ausbildet, da sich nach Geiger¹⁾ die Kaltluft nicht völlig gleichsinnig wie fließendes Wasser verhält. In den Zeiten der Fröste sind daher die Hangzonen am meisten begünstigt. Auch Schröter²⁾ weist darauf hin, daß die Wald- und die Baumgrenze in der Talsohle stets tiefer liegen als an den Hängen. Als das bestbekannte Beispiel für einen Kältesee ist die Station Gstettneralm der Lunzer Stationsreihe anzuführen³⁾.

Im Zusammenhang mit der Lufttemperatur muß auch die Frostgefahr besprochen werden. Von großer Bedeutung sind wieder die örtlichen Verhältnisse, die die Froststärke erhöhen können. Nach Geiger sind dies solche, die

1. einen starken Temperaturfall bei Nacht begünstigen, also Kälte an Ort und Stelle zu erzeugen vermögen,
2. eine Wärmezufuhr aus den tieferen Bodenschichten verhindern,
3. ein Verbleiben der Kaltluft an Ort und Stelle begünstigen.

Zum 1. Punkt erwähnt Geiger: Himmelsbedeckung und Wasserdampfgehalt der Luft; orographische Verhältnisse (Talnebel); Verhältnis der Oberflächengröße zum Volumen des Bodens, das für den Wärmeschub in Betracht kommt.

Zum 2. Punkt wird der Fall hervorgehoben, wo dicht verfilzte Grasnarben einen wärmeisolierenden Polster bilden. Es liegt bei bester Ausstrahlung eine fast vollkommene Isolierung von den tieferen Bodenschichten vor. Dies ist ein Umstand, der z. B. für das häufige Mißlingen und die Schwierigkeit der künstlichen und natürlichen Verjüngung verfilzter Grasflächen von Bedeutung ist.

Zum 3. Punkt erwähnt Geiger, daß Windbewegung für die nächtlichen Temperaturverhältnisse stets eine Erwärmung bedeutet. Weiters ist hier die Bedeutung der orographischen Geländebeschaffenheit zu erwähnen. Alle konkaven Geländeformen sind verhältnismäßig kalt, alle konvexen verhältnismäßig warm.

Nach Falkenberg⁴⁾ bedingt die Abhängigkeit der nächtlichen Himmelsstrahlung von der Zenithdistanz in konkaven Flächen (Mulden, Waldlichtungen die für die Strahlung ebenfalls eine konkave Fläche sind) eine Erniedrigung der

¹⁾ Geiger: Das Klima der bodennahen Luftschicht, S. 96—99. Braunschweig 1927.

²⁾ Schröter: a. a. O. S. 62.

³⁾ Schmidt: Die tiefsten Minimumtemperaturen in Mitteleuropa. Die Naturwissenschaften, 18. Jg., H. 17.

⁴⁾ Falkenberg: Muldenfrost und Frostflächen in Waldlichtungen. Meteorol. Ztschr. 1931. S. 22—25.

Temperatur dadurch, daß die Hänge der konkaven Flächen die intensivere Himmelsstrahlung großer Zenithdistanz abschirmen. Nächtlicher Muldenfrost kann dadurch auch ohne Fluß kalter Luft entstehen.

Von Interesse ist der Frostschutz, den die Vegetation gewährt: Unter ihrem Schirm sind junge Pflanzen vor direkter Ausstrahlung geschützt. Die großen Temperaturunterschiede, die sich z. B. unter dichter und lichter Latsche und im Freien ergeben, sind aus Lunzer Beobachtungen¹⁾ zu erkennen. Auch am Rand hochstämmiger Vegetation erstreckt sich diese Schutzwirkung auf kurze Entfernung hinaus. Jede Baumgruppe, jeder Vorwuchshorst, ja sogar jeder einzelstehende Baum bieten Frostschutz für die jungen Pflänzchen, die von hier aus ringförmig vordringen können. Extreme Wintertemperaturen können an und für sich die Lage der Vegetationsgrenze in den Hochalpen nicht wesentlich beeinflussen. Bevers²⁾ stellte in der Talsohle des Oberengadins, bei 1700 m, die noch von schönen Zirben-, Lärchen- und Fichtenwäldern umgeben ist, ein mittleres Minimum von $-26,2^{\circ}$ C fest. Kältegrade bis zu -35° treten hier auf.

Es wäre festzustellen, von welchen Grenzwerten an die Temperaturschwankungen hemmend auf den Pflanzenwuchs einwirken. Denn Schwankungen innerhalb gewisser Grenzen dürften auch im biologischem Sinne beschleunigend wirken können.

Für die Untersuchungsgebiete liegen leider keine genauen Temperaturaufzeichnungen vor, da die meteorologischen Stationen sich meist in niederen Höhenlagen befinden. Ficker³⁾ hat Mitteltemperaturen verschiedener Höhenstufen für Nordtirol aufgestellt, die aber nur als Orientierungshilfe zu gelten haben. Er stellte fest:

¹⁾ Schimitschek: Forstentomologische Untersuchungen a. d. Gebiet von Lunz. I. Zschr. f. angew. Entomologie 1931.

²⁾ Bevers, nach Braun-Josias: Die Vegetationsverhältnisse der Schneestufe in den Rätisch-Lepontinischen Alpen. Denkschr. d. Schweiz. Naturf. Ges. 48, 1913, Zürich.

³⁾ Ficker: Klimatographie von Tirol u. Vorarlberg. Wien 1909.

Höhe, Jahr, Winter, Frühlg., Sommer, Herbst, Jahresschwkg.

500 m	7,2	—2,7	7,5	16,3	7,8	20,8
800 m	6,8	—2,7	7,0	15,6	7,5	20,0
1100 m	5,5	—3,6	5,0	13,9	6,4	19,6
1400 m	4,2	—5,5	3,3	11,9	5,3	17,1
1700 m	1,6	—6,6	0,8	9,7	2,4	17,8
2000 m	0,2	—8,0	—0,6	8,5	1,1	18,3

Die Temperaturabnahme mit der Höhe erfolgt langsam. Im Jahresmittel beträgt sie zwischen 500 und 2000 m nur $0,47^{\circ}\text{C}$ für 100 m. Im Winter $0,33^{\circ}$, im Frühjahr $0,54^{\circ}$, im Sommer $0,52^{\circ}$ und im Herbst $0,45^{\circ}\text{C}$; im Jänner $0,35^{\circ}$, im Juli $0,51^{\circ}\text{C}$. Die Abnahme ist am langsamsten zwischen 500 und 800 m, auffallend rasch dagegen zwischen 1400 und 1700 m; hier beträgt im Mittel aller Jahreszeiten der Temperaturgradient $0,88^{\circ}\text{C}$. „In dieser Höhenzone ist die Temperaturabnahme am raschesten im Winter, am langsamsten im Sommer“.

Der jährliche Gang der Temperatur ist in Nordtirol nach Ficker ein sehr einheitlicher, abgesehen von der Größe der Jahresschwankungen. Der Jänner ist der kälteste, der Juli der wärmste Monat. Der Herbst ist durchwegs wärmer als der Frühling. „Je höher wir kommen, umso bedeutender wird der Wärmeüberschuß des Herbstes.“ Im Frühjahr wird ein großer Teil der zugestrahlten Wärme zur Schneeschmelze verwendet. Die Mitteltemperatur des wärmsten Monats (Juli $9,4^{\circ}\text{C}$) überschreitet in Vent (1880 m), das man etwa mit den höchstgelegenen Orten des Pitztals vergleichen könnte, die 10° Isotherme nicht¹⁾.

Die größten Temperaturegensätze liegen im Frühlingsbeginn, besonders im März vor. Von besonderer Bedeutung wäre die Kenntnis des Ganges der Temperaturextreme. Die Station Vent²⁾ hat als

¹⁾ Temperaturmittel 1896—1915, Hydrographisches Zentralbureau, Wien 1929.

²⁾ Nach Ficker: a. a. O. S. 15.

mittleres absolutes Maximum	+24,4° C ¹⁾
mittleres absolutes Minimum	-24,7°
absolute Jahresschwankung	50,1° ¹⁾
absolutes Maximum	+28,2°
absolutes Minimum	-30,1°

Es sind dies die tiefsten, von Nordtiroler Stationen aufgezzeichneten Temperaturen in dem hochalpin gelegenen Vent. Zu tiefen Kältegraden soll Nordtirol nicht neigen. Manche Gebiete erfahren bedeutende Temperaturerhöhungen durch den Föhn. Die Föhnwirkung ist in jenen Tälern am intensivsten, „die im geraden und südlichen Verlauf vom Inntal zu den Zentralalpen hinaufführen und mit Südtirol durch eine niedrige Senkung verbunden sind.“ (Ficker.) Das Jahresmittel wird durch den Föhn um 0,6° C erhöht. Besonders zeichnen sich Frühling und Herbst durch Föhnhäufigkeit aus. In den niederen Lagen kommt dem Föhn auch eine günstige Rolle zu; so dürfte nebenbei erwähnt der Maisbau nur durch den Föhn möglich sein. Bis zum dreißigjährigen Krieg wurde im Inntal auch Weinbau erfolgreich betrieben.

Luftfeuchtigkeit und Niederschlag.

Hinsichtlich der relativen Feuchtigkeit zeigt das Klima der Hochlagen großen Wechsel. Größte Trockenheit kann mit völliger Sättigung der Luft (Nebel) wechseln. Die örtliche Lage spielt auch für die relative Feuchtigkeit eine sehr große Rolle.

Untersuchungen in Lunz²⁾ zeigten, daß z. B. in der Zeit vom 24. Juni bis 22. November 1930 die im Hirschtal gelegenen Stationen Schreier (780 m Höhe) und Mitterseeboden (770 m Höhe) eine hohe Doppelstundenzahl mit einer rela-

¹⁾ Mittleres Maximum und daher auch die absolute Jahresschwankung zu hoch. Fehlerhaft.

²⁾ Schimitschek: Forstentomologische und forstschutzliche Untersuchungen aus dem Gebiete von Lunz. I. Ztschr. f. angew. Entomologie 1931.

tiven Luftfeuchtigkeit von 91—100%, und zwar 623 bzw. 477 Doppelstunden aufweisen, dagegen Höherstein in 1230 m Höhe (sehr windausgesetzt) nur 268 und Bärenthal in 1460 m Höhe nur 304 Doppelstunden. Von größter Wichtigkeit ist die Kenntnis der Häufigkeitsverteilung der einzelnen klimatischen Faktoren. Über die Verhältnisse von der Wald- bis zur Baumgrenze liegen im allgemeinen sehr wenige Daten vor. Für die Voralpen versprechen die Lunzer Stationsreihen wertvolle Ergebnisse. Sehr wünschenswert wären solche Untersuchungen im Hochgebirge, wo sie zur Zeit in der Stufe der Wald- bis Baumgrenze leider noch fehlen.

Von Bedeutung ist die Verdunstung in den Hochlagen. Sie ist sehr hoch, wodurch auch die Vertrocknungsgefahr für die Pflanzenwelt gesteigert wird. Die größte Trockenheit herrscht im Dezember und Jänner.

Der Dampfdruck nimmt mit der Höhe ab. In der Gebirgshöhe des Sonnblicks z. B. enthält die freie Atmosphäre nur mehr ein Drittel des Dampfgehaltes in Meeresniveau.

In den Gebirgen herrschen infolge der Abkühlung der aufsteigenden Luftströmungen und der damit verbundenen Kondensation des Wasserdampfes stärkere Niederschläge. Da im Gebirge die Bildung des Niederschlages fast nur dadurch zustande kommt, daß die an der Luvseite der Gebirge aufsteigende Luft sich abkühlt und dadurch zur Feuchtigkeitsabgabe gezwungen wird, erhalten die Randketten der Gebirge (Außenketten) den Hauptanteil des Niederschlages (Nördliche Kalkalpen, Salzkammergut).

Die Niederschläge nehmen mit der Höhe zu aber nur bis zu einer bestimmten Maximalzone der Niederschlagsmenge. In den Alpen fehlt leider die Feststellung der maximalen Zone des Niederschlages; sie dürfte sehr verschieden sein. Nach Hann-Süring liegt sie im Winter an der Nordseite der bayerischen Alpen zwischen 600 und 1000 m. Für die Nordseite der Tauern werden 2300—2400 m angegeben. Auch in den Zentralalpen scheint nach Maurer eine Zone maximalen Niederschlages noch oberhalb der Firngrenze zu liegen.

Nach Knoch und Reichel¹⁾ wird man schwerlich vollkommen sichere Aufschlüsse über die Niederschlagszunahme in den höchsten Schichten und über die Höhenlage in der die Zunahme schließlich in eine Abnahme übergeht, gewinnen können. Nach Brockmann-Jerosch²⁾ können für die Abnahme der Niederschläge mit zunehmender Höhe für die Schweiz keine Anhaltspunkte gefunden werden.

Die Niederschlagsmenge ist starken örtlichen Schwankungen unterworfen. Paßhöhen haben z. B. geringere Niederschlagsmengen. Der Unterschied zwischen Luv- und Leeseite hört in großen Meereshöhen auf, es sei denn, daß z. B. die nördlich vorgelagerten Gebirge von dem betreffenden Massiv überragt werden, so daß die Luft bei weiterem Aufsteigen erneut Niederschläge abgibt. (Knoch und Reichel). Brockmann-Jerosch nimmt an, daß in den obersten Höhenstufen gleiche Höhen auch gleiche Niederschlagsmengen aufweisen, während in tieferen Gebieten sehr starke Unterschiede auftreten. Die Niederschlagsarmut der Täler, hervorgerufen durch Regenschatten, zieht sich oft an den Hängen weit hinauf. Im allgemeinen sind die Nebentäler regenärmer als die Haupttäler. Berge, die quer zur Windrichtung verlaufen, erzeugen einen Vorstau.

Von Wichtigkeit ist der jährliche Gang des Niederschlages.

Knoch und Reichel unterscheiden diesbezüglich fünf Haupttypen:

1. Die Sommerregentypen; das sind die Kalkalpenzonen mit starker Amplitude und einem Maximum im Juli, die äußeren Gebiete und die inneralpine Zone mit geringeren Amplituden und Höchstwerten im Juni, Juli und August.

2. Die Übergangstypen; bei diesen tritt neben dem Hauptmaximum im Sommer noch ein sekundäres Maximum im Oktober auf, oder das Hauptmaximum verschiebt sich völlig auf den Oktober.

3. Äquinoktientyp; Mai und Oktober mit annähernd gleichen Regensmengen (Ital. Westalpen, Westen der Poebene und regenreiche Gebiete an ihrem Nordrand).

¹⁾ Knoch und Reichel: Verteilung und jährlicher Gang der Niederschläge in den Alpen. Ref. von Wussow i. Met. Ztschr. 1931, S. 403.

²⁾ Brockmann-Jerosch: Vegetation der Schweiz. Zürich 1925.

4. Französischer Typ; Maximum im Oktober, kleine Amplituden.

5. Höhentyp; bei den Höhenstationen kann von einer Regelmäßigkeit im jährlichen Gang nicht gesprochen werden. Die Maxima fallen auf den Juli, Oktober, April und Mai, wobei meist noch sekundäre Maxima zu beobachten sind.

In der wichtigen Zeit des Vegetationsbeginnes im Frühjahr steht den Pflanzen im Hochgebirge genügend Feuchtigkeit (Niederschläge) zur Verfügung. Da in den Hochlagen im allgemeinen Böden vorherrschen, die für Wasser leicht durchlässig sind, auf den weniger durchlässigen Böden aber das Wasser meist oberflächlich abrinnt, so kommt es auch nach der Schneeschmelze nicht zu einer stärkeren Aufspeicherung des Wassers als im Sommer nach längeren Regengüssen. Dem Boden bleibt nur jene Wassermenge erhalten, die seiner Wasserkapazität entspricht.

Nach Ficker ist in Tirol die relative Sättigung der Luft bis zu etwa 1500 m hinauf ziemlich gleichförmig. Das Jahresmittel der relativen Feuchtigkeit (allerdings aus nur 6 Stationen) ist 78%. Aus höheren Regionen sind zur Zeit keine verwertbaren Messungen vorhanden. Das Minimum in den tiefen Lagen tritt im April, in den höheren Lagen im Mai, Juni ein.

Im Inntal nimmt die Bewölkung gegenüber der Außenzone der Alpen (Tegernsee, Kitzbühel) ab. Sie ist am geringsten im mittleren Inntal. Im Oberinntal nimmt sie wieder zu. Das Bewölkungsmittel für ganz Nordtirol beträgt im Winter 5,1, im Herbst 5,2, im Frühling 6,0, im Sommer 5,9; „in der warmen Jahreszeit wirken die allseits das Inntal umgebenden Bergketten ja wolkenbildend.“ (Ficker.) Die stärkste Bewölkung hat durchschnittlich der Mai.

Der ganze Nordabfall der nördlichen Kalkalpen ist nach Ficker niederschlagsreich. Zu der niederschlagsreichen Randzone gehören das unterste Inntal, das Gebiet von Kitzbühel und das oberste Stanzertal. Dagegen hat das mittlere Inntal geringe Niederschläge. Die Trockenheit des Inntales erstreckt sich weit in die großen Seitentäler, das Zillertal, Wipptal,

Ötztal und Pitztal hinein. Zu den „Trockengebieten“ in den Alpen werden auch von Knoch und Reichel in den Zentralalpen die Ötztaler und Stubai Alpen gezählt. Die Talsohle ist bis in die hintersten Talgründe niederschlagsarm (so hat Vent nur 725 mm). Am Talschluß und an den beiderseitigen Talhängen gegen das Hochgebirge hinauf nehmen die Niederschläge wieder rasch zu. Nach Ficker scheinen in den Hochregionen der Zentralalpen in Tirol ziemlich gleichmäßig 1400 mm Niederschlag zu fallen, „was auch für die höchsten Regionen der nördlichen Kalkalpen gilt.“

Als Regenwind kommt in Nordtirol in erster Linie der NW-Wind in Betracht. Er übertrifft an Häufigkeit alle anderen Windrichtungen. Den größten Teil seines Wassergehaltes gibt er aber schon an der Nordseite der Kalkalpen ab. Die Winde steigen erst wieder rascher in den Seitentälern zu den Hochkämmen der Zentralalpen auf, „sodaß hier die Niederschlagsmengen wieder zunehmen.“ „Die relativ hohen Jahresmengen an Niederschlägen in Hochregionen werden aber durch das Zusammenwirken der Regenwinde Nord- und Südtirols verursacht.“ (Ficker.) Der Regenmonat Nordtirols ist der Juli. In Tirol bilden nicht die hohen Zentralalpen, sondern die verhältnismäßig niedrigen Randgebirge die Klimascheide.

Da in den Untersuchungsgebieten alle älteren Stationen mit langjährigen Messungen in den Tälern liegen, kommen in ihren Werten die von der Wald- bis zur Baumgrenze herrschenden Verhältnisse leider nicht zum Ausdruck.

Nachstehend werden die Klimadaten von Plangeröß und St. Leonhard im Pitztal angeführt, da z. B. jene Lärchenverjüngungen, die hier eingehender untersucht wurden, in der Nähe dieser Stationen liegen. Als Vergleich sind die Werte von Imst angegeben und werden außerdem die Daten von zwei Stationen, Vent und Längenfeld im Ötztal, das mit dem Pitztal parallel läuft, angeführt. Die Station Vent liegt ungefähr in der Höhe der Waldgrenze (die in Talschlüssen tiefer liegt als am Hang), zeigt aber, wie schon erwähnt, ähnliche

Verhältnisse wie das Inntal. Es hat also eine geringere Niederschlagsmenge als einem Hang in gleicher Höhe entsprechen würde. Beim Vergleich des Pitztals mit dem Ötztal ergibt sich, daß das Pitztal niederschlagsreicher ist. Vom Stubaital liegen nur kurzjährige Messungen vor, die sich oft nicht auf alle Monate erstrecken, so von Fulpmes, Neustift, Ranalt und von der Dresdner Hütte. Es können daher aus diesen Daten keine exakten Schlüsse gezogen werden. Immerhin ist das Tal relativ trocken. Die Werte, die von der Dresdener Hütte vorliegen und sich nur auf die Monate Juli—September beziehen, zeigen gegenüber den Talstationen die Zunahme der Niederschlagsmengen in den angegebenen Monaten¹⁾.

	Höhe	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	J.-S.
Imst	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1901-1915	826 m	57	30	34	48	54	96	102	97	66	46	47	69	747
Plangeröß im Pitztal														
1901-1915	1616 m	87	64	56	76	73	111	118	107	86	60	63	82	964
St. Leonhard														
1908-1920	1341 m	45	28	33	41	64	105	122	112	72	38	41	49	750
Längenfeld														
1896-1905	1164 m	33	39	50	50	76	67	107	97	79	55	34	40	727
Vent														(733)*
1876-1900	1892 m	25	33	42	54	64	74	108	97	93	52	46	38	726
Dresdner Hütte														
1902-1905	2308 m						119	156	125					(1104)*

* Mittlere Jahressumme, aber bezogen auf 25jähr. Periode 1876—1900.

Schnee- und Gletschergrenze.

Die Lage der zeitlichen Schneegrenze ist nicht nur vom Großklima abhängig, sondern sie wird insbesondere auch von kleinklimatischen Verhältnissen bestimmt. Diese sind durch die Terrainform, die Exposition, die Beschaffenheit des Bodens und die Vegetationsform gegeben. Sogar an ein und demselben Hang können sich in gleicher Höhenlage sehr

¹⁾ Beiträge z. Hydrographie Österreichs. Wien 1913 und nach Aufzeichnungen des Hydrographischen Zentralbureaus, Wien.

große Unterschiede ergeben. Schon Braun¹⁾ betont, daß der Verlauf des Ausaperns nicht als ein einfaches Zurückweichen des Winterschnees nach oben gedacht werden darf.

Die Mächtigkeit der Schneedecke ist auf kurze Entfernung oft sehr verschieden. Durch die Tätigkeit des Windes finden oft Anhäufungen hinter Graten und Riegeln statt, die einen großen Unterschied im Ausapern bedingen. Während am Grat oft Baumwuchs vorhanden ist, fehlt er in den dazwischen liegenden Vertiefungen. Die Ursache hierfür ist nicht in Kaltluftansammlungen zu suchen, sondern durch die wechselnde Mächtigkeit der Schneedecke kommt ein verschiedener Vegetationsbeginn auf kurze Entfernung zustande.

Die winterliche Schneedecke hat eine sehr bedeutende Schutzwirkung für die Vegetation. Sie ist ohne Zweifel ein Faktor, der besondere Beachtung verdient. Durch den Schutz der Schneedecke sinkt die Bodentemperatur bedeutend weniger tief ab als in schneefreien Lagen. Solche Stellen sind in der Regel vegetationslos oder doch vegetationsarm.

Messungen Woeikoffs²⁾ über die Temperaturverhältnisse im Schnee zeigten, daß die Temperatur mit zunehmender Tiefe bedeutend steigt. Aus diesen Messungen geht die Bedeutung einer mächtigen winterlichen Schneedecke als Schutz für die Vegetation klar hervor.

Am Nordabhang des Scheiblingstein bei Lunz hat Schimitschek³⁾ im Winter 1931/32 festgestellt, daß bei einer

¹⁾ Braun-Josias: Die Vegetationsverhältnisse der Schneestufen in den Rätisch-Lepontinischen Alpen. Denkschr. d. Schweiz. Nat. Ges. XLVIII, Zürich 1913.

²⁾ Woeikoff, zit. nach Steinböck: Die Tierwelt des Ewigschneegebietes. Ztschr. d. Deutschen u. Österr. Alpenvereines. 1931.

Lufttemperatur	—17° C
Schneeoberfläche	—15°
Schnee in 5 cm Tiefe	—11,3°
12 „ „	— 9,2°
32 „ „	— 6,4°
42 „ „	— 3°
52 „ „	— 1,6°

³⁾ Schimitschek: Forstentomologische und forstschutzliche Untersuchungen aus dem Gebiete von Lunz. II. Zentralbl. f. d. ges. Forstwes. 1932.

Schneedecke von 40 cm die Bodentemperaturminima in 5, 10 und 20 cm Tiefe nicht unter -5°C sanken, trotzdem die Lufttemperatur -20°C unterschritt. Auch bei langer Dauer tiefer Lufttemperaturen (z. B. durch 4 Tage unter -10°C bis -20°C) unterschritt die Bodentemperatur nicht -5°C .

Nach Keränen¹⁾ dringt die Sonnenstrahlung bis 20 cm tief in den Schnee ein. Daher wurden bei seinen Beobachtungen oft positive Werte der Temperaturen im Schnee festgestellt. Wichtig ist die Feststellung desselben Autors, daß der Boden zur Zeit des Verschwindens der Schneedecke wochenlang in allen gemessenen Tiefen eine wenig von 0° abweichende Temperatur hat. Sie beginnt dann erst im Mai plötzlich sehr schnell zu steigen²⁾. Durch die relativ hohe Bodentemperatur vor Schneeabgang kann das in den Alpen nach der Schneeschmelze nahezu plötzliche Ergrünen der Vegetation (niedrige Flora) erklärt werden. Häufig wird schon unter der Schneedecke ein Wachstum wenigstens einzelner Pflanzen festgestellt werden können.

Auch Braun betont: „Auf der weitgehenden Fortentwicklung unter der Schneedecke beruht zum Teil das Geheimnis des überraschend plötzlichen Erwachens der Alpenflora. Es kann vorkommen, daß die Grasnarbe schon vollständig ergrünt unter der Winterdecke hervorgeht.“

Die Schneedecke verleiht also der Pflanzenwelt Schutz gegen die Starr- und Nachtfröste, bei früher bzw. lang andauernder Schneelage auch gegen die Früh- und Spätfröste.

Beim Beginn des Winters wird in den Blättern die Stärke in Zucker umgewandelt. Die zuckerreichen, aber stärkearmen Blätter sind sehr widerstandsfähig gegen Kälte. Im Frühjahr erfolgt in den wintergrünen Blättern die Rückbildung des Zuckers in Stärke, wodurch sie bedeutend empfindlicher gegen Kälte werden. Durch Sonnenstrahlung allein kann die Rückbildung der Stärke schon sehr frühzeitig erfolgen. Dieselbe Pflanze, die im Winter Kältegrade von -10°C aushält, erfriert nach

¹⁾ Keränen: Über die Temperatur des Bodens und die Schneedecke in Sodenskyä. Ann.-Acad. Fennicae. A. Tom. XIII. Nr. 7. Helsingfors. 1920.

²⁾ Da in den dortigen Gebieten (wo die Schneedecke 7–8 Monate liegen bleibt) der Sommer verhältnismäßig warm ist, können die Verhältnisse in gewissem Grad mit bestimmten mitteleuropäischen verglichen werden.

erfolgter Stärkerückbildung schon bei weit höheren Temperaturen. (Durch eine Schneedecke wird natürlich die Stärkerückbildung verzögert werden.) — Nach Sorauer tritt bei Koniferennadeln im Gebirge während des Winters Ölbildung ein. Durch die Fettbildung mancher Bäume im Winter soll ein erhöhter Kälteschutz bedingt sein. Fettbäume, die vorwiegend in kälteren Gegenden vorkommen, führen im Sommer in Holz und Rinde Stärke, im Winter tritt aber im Holz und Rinde Fett auf. Als Fettbäume werden Kiefer, Fichte, Erle, Birke, bestimmte Weiden und Eberesche bezeichnet.¹⁾

Molisch teilt mit, daß nach im schwedischen Lappland ausgeführten Untersuchungen die Hochgebirgspflanzen einen verhältnismäßig hohen osmotischen Druck infolge einer höheren Konzentration des Zellsaftes haben. Dadurch erreicht die Pflanze einen größeren natürlichen Schutz gegen Erfrierungen.

Die winterliche Schneedecke hat also für die Pflanzenwelt als Kälteschutz in den Alpen wie natürlich auch in anderen Gebieten hohe Bedeutung.

Zumindest die gleiche, wenn nicht eine noch höhere Bedeutung kommt der Schneedecke als Windschutz und damit auch als Schutz gegen die Vertrocknungsgefahr zu.

Eine übermäßig lange Schneebedeckung ist natürlich nachteilig. Sie kann z. B. bei großer Mächtigkeit zu Verpilzung der Koniferen (Fichte, Latsche) führen. (*Herprotrichia nigra*.)

Von Bedeutung für die Vegetationsdauer ist die Dauer der Schneedecke. Kerner v. Marilaun²⁾ hat für das obere Inntal den Beginn des Abschmelzens und den Beginn der dauernden Winterschneedecke festgestellt. Da die Daten für die größeren Höhen von Nordtirol ziemlich allgemein gültig sind, sei die Tabelle mitgeteilt.

Höhe	Abschmelzen der dauernden Winter-Schneedecke		Beginn der dauernden Winter-Schneedecke	
	Südexpos.	Nordexpos.	Südexpos.	Nordexpos.
600 m	14. Feber	27. Feber	10. Dezember	4. Dezember
900 m	27. Feber	22. Feber	7. Dezember	2. Dezember
1200 m	16. März	6. April	4. Dezember	24. November

¹⁾ S. Benecke-Jost: Pflanzenphysiologie. Jena 1924.

²⁾ Kerner v. Marilaun: Untersuchungen über die Schneegrenze im Gebiet des mittleren Inntales. Denkschr. d. Akad. d. Wiss. 54 B. 1887.

Abschmelzen der dauernden Winter-Schneedecke			Beginn der dauernden Winter-Schneedecke	
Höhe	Südexpos.	Nordexpos.	Südexpos.	Nordexpos.
1500 m	11. April	2. Mai	2. Dezember	10. November
1800 m	12. Mai	28. Mai	16. November	27. Oktober
2100 m	1. Juni	12. Juni	6. November	18. Oktober
2400 m	21. Juni	12. Juli	26. Oktober	1. Oktober
2700 m	13. Juli	—	5. Oktober	—
3000 m	4. August	—	24. September	—

Deutlich tritt die Verzögerung der Schneeschmelze an der Nordexposition hervor. Die direkte Insolation übt also einen großen Einfluß auf den Zeitpunkt des gänzlichen Abschmelzens der dauernden winterlichen Schneedecke aus. Mit zunehmender Höhe ergibt sich somit auf den Nordlagen eine beträchtliche Verkürzung der Vegetationszeit gegenüber den Südlagen gleicher Seehöhe.

Als Monatsmittel der Schneegrenze in Nordtirol gibt Kerner an:

Monat	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
S-expos. . .	650 m	740 m	960 m	1270 m	1700 m	2190 m
N-expos. . .	590 m	600 m	720 m	1110 m	1540 m	2030 m
Monat	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
S-expos. . .	2680 m	3130 m	3210 m	2150 m	1300 m	740 m
N-expos. . .	2470 m	2930 m	2760 m	1890 m	1010 m	660 m

Die Schneegrenze verläuft am unteren Rand der im Sommer verbleibenden Schneereste. Die lokale oder orographische Schneegrenze wird von der Exposition, Insolation, der Neigung des Hanges und von der Windwirkung beeinflusst; sie wechselt daher sehr stark mit der Terrainform. An N- und O-Lagen reicht sie tiefer herab, an S- und W-Lagen liegt sie höher. Durch Lawinenreste wird die Schneegrenze örtlich beeinflusst.

Unter klimatischer Schneegrenze versteht man jene Linie, welche die Orte der unteren, dauernden Schneebedeckung verbindet. Die Sommerwärme reicht hier nicht mehr hin,

um den auf horizontaler Fläche angefallenen Schnee wegzuschmelzen¹⁾. Dies ist die Grenze des ewigen Schnees.

Durch die Exposition ergeben sich auch Schwankungen in der klimatischen Schneegrenze. Innerhalb größerer Gebirgsgruppen kann sie recht ähnlich verlaufen. Die klimatische Schneegrenze ist natürlich nicht feststehend, sondern so wie die Gletschergrenze von periodischen Klimaschwankungen abhängig. Der Einfluß des Expositionsklimas auf die Schneegrenze geht aus folgender Aufstellung hervor²⁾. Die Schneegrenze differiert auf Sonn- und Schatthalden in den Penninischen Alpen (nach Jegerlehner) um 500 m
 Berner Alpen (nach Jegerlehner) 170 m
 Disgrazia und Berninagruppe (nach Jegerlehner) 300—200 m
 Ostalpen (nach Richter) ca. 200 m.

Die klimatische Schneegrenze übt auf die Hauptzüge der Pflanzenverbreitung in den Hochlagen einen bestimmenden Einfluß aus (Braun). An geschützten Orten findet sich oft auch in sehr hohen Lagen Vegetation; dieses Ansteigen von Pflanzen hängt von der orographischen Schneegrenze ab. Je größer das Gebiet oberhalb der Schneegrenze ist, desto tiefer reicht sie herab.

Auch bei der Gletschergrenze, unter der man jene Linie versteht, die „diejenigen Orte umfaßt, wo das von oben nachgeschobene Eis während des Sommers gerade noch geschmolzen wird“ (Handschin) ergibt sich der gleiche Umstand. Infolge des stetigen Nachschubes von oben, der Menge des Eises sowie dessen festerer Konsistenz liegt die Gletschergrenze tiefer als die Schneegrenze.

Wie bereits erwähnt wurde, übt die klimatische Schneegrenze einen bestimmenden Einfluß auf die Pflanzenverbreitung in den Hochlagen aus. Die Waldgrenze und die Schneegrenze nähern sich nach Handschin nie auf mehr als

¹⁾ Nach Handschin: Beiträge zur Kenntnis der wirbellosen terrestrischen Nivalfauna der schweizerischen Hochgebirge. Diss. 1919.

²⁾ Bähler: Die wirbellose terrestrische Fauna in der nivalen Region. Rev. Suisse. de Zool. T. 1920. Genève.

700—900 m. Untersuchungen, die in Graubünden, Walis, Berner Oberland und im Tödi-Gebirge durchgeführt wurden, zeigten einen Verlauf der Baumgrenze zwischen 1600 (Tödi-Gebirge) und fast 2200 m (Monte Rosa) und einen Verlauf der Schneegrenze zwischen 2350 (Tödi-Gebirge) und 3300 m (Monte Rosa). Es bestehen demnach bestimmte Beziehungen zwischen Baumgrenze und dauernder Schneegrenze.

Derartige Zusammenhänge bestehen jedoch zwischen Gletschergrenze und Baumgrenze durchaus nicht. Gletschergrenze und Waldgrenze können sich durchdringen. Handschin führt die Finscher- und die großen Engadiner Gletscher an. Diese großen Talgletscher werden auf beiden Seiten von Weidland und Koniferen begleitet. In der Regel macht sich der Einfluß der Gletschers nur auf seine nächste Umgebung bemerkbar. Durch das Eis wird der Boden nur auf einige Meter Entfernung abgekühlt. Diese Verhältnisse können durch die 1931 im Pitztal durchgeführten Beobachtungen und exakten Messungen durchaus bestätigt werden. (Siehe Seite 156.)

Die Windverhältnisse im Hochgebirge.

Die Windstärke nimmt im allgemeinen mit der Höhe zu. Nach Braun¹⁾ wird die größte mittlere Windgeschwindigkeit im Hochgebirge während der Wintermonate erreicht. Nach Messungen am Säntis beträgt sie im Winter 28,8 km je Stunde, im Herbst 27,5, im Sommer 25,1, im Frühjahr 22,9 km. Also gerade zur Zeit der Vegetationsruhe sind die Windanriffe am stärksten.

Auf freien Höhen ist im allgemeinen die Windstärke bei Nacht am größten, bei Tag am kleinsten, also umgekehrt wie in der Niederung. Dies gilt zumindest mit voller Sicherheit für den Sommer²⁾.

¹⁾ Braun-Josias: Die Vegetationsverhältnisse der Schneestufen im Rätisch-Lepontinischen Alpen. Denkschr. d. Schweiz. Nat. Ges. XLVIII. 1913. Zürich.

²⁾ Hann-Süring: Lehrbuch der Meteorologie, Leipzig 1926.

In Randgebirgen, so in den Voralpen, ist die Windwirkung im allgemeinen eine bedeutend stärkere als in den Zentralalpen. Auf Erhebungen, die einzeln aus ebenen Gebieten aufragen, liegt die Waldgrenze durch die Windwirkung sehr tief (z. B. Brocken, Großer Feldberg). Während in den Voralpen der Wind häufig der den Baumwuchs begrenzende Faktor ist (z. B. Dürrenstein, Wechselgebiet), treten derartige Verhältnisse in den Zentralalpen viel seltener und mehr örtlich auf.

Die Zunahme der Windgeschwindigkeit mit der Höhe ist nahe über dem Boden am größten und nimmt nach aufwärts rasch ab. (Dabei ist nackter Boden vorausgesetzt.) Die höheren Windgeschwindigkeiten bedingen aber auch eine erhöhte Verdunstung am Boden. Durch jede Vegetationsdecke wird natürlich die Windgeschwindigkeit am Boden und damit auch die austrocknende Windwirkung verringert.

Nach Geiger kann die Luftruhe innerhalb der Vegetation eine nahezu vollkommene sein, „sofern nur die Vegetation hinreichend dicht ist“. Stocker fand (zit. nach Geiger) folgende Windgeschwindigkeiten:

zwischen <i>Calluna</i> in	10 cm Höhe	1,0 m/sec.
	30 „ „	1,4 „
in den Wipfeln der		
<i>Calluna</i> .	50 „ „	3,7 „
über der Heide in	180 „ „	9,3 „

Wie schon Geiger betont, ist diese große Luftruhe innerhalb der niederen Pflanzendecke für die Pflanzen von hoher Bedeutung¹⁾, insbesondere in den windausgesetzten Hochlagen. Es wird zwischen der niederen Pflanzendecke ein eigenes Kleinklima ausgebildet, das für die natürliche

¹⁾ Geiger hat auch darauf hingewiesen, daß die blühenden Pflanzen der Hochregionen deshalb niederen Wuchs aufweisen, weil sie nur in der bodennächsten Luftschicht die nötige Wärme zum Gedeihen finden. Durch die Luftruhe in der niederen Pflanzendecke können diese günstigen Bedingungen von den Pflanzen ausgenützt werden.

Verjüngung von Wichtigkeit ist. Nicht zuletzt dürfte das gute Gelingen von Zirbenverjüngungen innerhalb der niederen Sträucher auf diese günstigen kleinklimatischen Ursachen zurückzuführen sein.

Von besonderer Bedeutung für den Pflanzenwuchs in den Hochlagen ist die Windwirkung. Durch den Wind werden physiologische und mechanische Schäden verursacht.

Die physiologischen Schäden äußern sich unter anderem in einer Austrocknung des Bodens. Nach Bernbeck¹⁾ kann auch ein Zurückbleiben des Wurzelwachstums als Folge der durch den Wind verursachten Bodenaustrocknung festgestellt werden. Ebenso kann der Wind Zwergwuchs verursachen, weiters Vertrocknungserscheinungen an Blättern und jungen Trieben durch verstärkte Transpiration herbeiführen. Wasserzufuhr und Transpiration halten sich nicht das Gleichgewicht, es tritt Trockentod ein. Bei großer Insolation erfolgt eine Steigerung der austrocknenden Windwirkung (Erhöhung der Verdunstung).

Auch die Windfahnen, wie sie besonders bei der Fichte anzutreffen sind, und die die herrschende Windrichtung deutlich erkennen lassen, sind zum größten Teil auf physiologische Windwirkung zurückzuführen. Nach mehreren Beobachtungen starben bei starken Winden stets die der Windrichtung zugekehrten Triebe ab. Verkrümmungen können ebenfalls Folgen der Windwirkung sein.

Nach Untersuchungen Bernbecks ist der Wasserverlust von unbedecktem Boden in der warmen Jahreszeit bei einer Windgeschwindigkeit von 5 m zweimal so groß wie bei Luftruhe, bei einer Windgeschwindigkeit von 10 m sogar drei- bis viermal so groß. Da die Windgeschwindigkeit mit der Höhenlage zunimmt, nimmt demnach auch die Bodenaustrocknung zu. Durch ständige Windwirkung können nach Bernbeck auch empfindliche Zuwachsrückgänge durch

¹⁾ Bernbeck: Das Wachstum im Winde, Forstwiss. Zentralbl. 1920.

Störung der Wasserversorgung, der Wärmezufuhr, der Assimilation und der Atmung entstehen. Auf optimal feuchten Boden verhält sich der Zuwachs bei Windstärken von 0:5:10 m wie 3:2:1. Die in Windlagen des Gebirges und Hochgebirges oft äußerst geringen Stärken-Zuwachsleistungen der Nadelhölzer sind zum Teil auf Windwirkung zurückzuführen. Ständige Windwirkung erzeugt in Windlagen örtlich ein Trockenklima.

Jedenfalls drückt der Wind, besonders in den seiner Wirkung stark ausgesetzten Voralpen, die Waldgrenze herab. Ein gutes Beispiel bietet das Gebiet des Dürnstein bei Lunz, wo an der windausgesetzten Seite (Leonhardi) die durch den Wind bedingte Waldgrenze bei ca. 1500 m liegt, an der windabgekehrten Seite steigt sie höher und zwar bis ca. 1700 m¹).

Wie bereits erwähnt, setzt jede Vegetationsdecke die Bodenaustrocknung herab. Der niederen Pflanzendecke kommt auch in dieser Hinsicht an der Wald- und der Baumgrenze eine große Rolle zu. Von den Pflanzen der niederen Pflanzendecke sind nach Braun *Rhododendron*, *Vaccinium vitis idaea*, *Vaccinium myrtillus*, *Calluna* sehr windempfindlich. Dagegen sind *Loiseleuria procumbens* und *Vaccinium uliginosum* verhältnismäßig windhart. In Windlagen, besonders an schneefreien Stellen, können nicht nur einzelne Sprosse der genannten windempfindlichen Pflanzen, sondern ganze Teile von Beständen austrocknen. Sie stehen geradezu unter der Windschur. Braun vergleicht das Aussehen solcher Bestände mit einem Stoppelfeld. Von den Holzarten der oberen Wald- und Baumgrenze sind besonders windhart: die Bergkiefer (Latsche), die Zirbe, Lärche, Bergahorn, ferner die *Sorbus*-Arten. Dagegen leidet die Fichte am meisten.

Neben der physiologischen ist die mechanische Wirkung des Windes hervorzuheben. Auf den Boden macht sich die mechanische Windwirkung durch Windangriffe, die besonders im Winter an windausgesetzten schneefreien Stellen ent-

¹) Siehe auch Schröter, a. a. O., S. 50.

stehen, bemerkbar. Durch diese Winderosionserscheinung wird der Rasen untergraben (Braun). Durch mitgeführte feste Teilchen wie Schneekristalle, Reifkristalle, Sand, die als Scheuermaterial wirken, wird Windschliff verursacht. Nicht nur höhere Pflanzen wie Wacholder, sondern auch Rasenpolster werden dadurch in Mitleidenschaft gezogen.

Zu erwähnen sind noch die Windbrüche und Windwürfe. Die niederen elastischen Strauchgewächse haben infolge ihrer kriechenden Wuchsform nicht darunter zu leiden. Von den Bäumen der höheren Alpenstufe sind Zirbe, Lärche und Bergahorn verhältnismäßig sturmfest.

Besondere Beachtung verdient im Zusammenhang mit der Sturmwirkung der Föhn, der als warmer, trockener Fallwind auftritt.

Der Föhn wurde besonders von Ficker¹⁾ in Innsbruck studiert. Das obere Inntal westlich der Brennerscharte ist föhnfrei. Es stellt ein Kältereservoir dar. Forstlich spielt besonders beim Frühjahrsföhn seine austrocknende Wirkung eine große Rolle; außerdem kann der Föhn zum böigen Sturm ausarten und große Bruch- und Wurfchäden verursachen²⁾. Vom forstlichen Standpunkt ist die Podhorskysche³⁾ Arbeit über den Föhn von Bedeutung. Die großen Föhnchäden führt der Verfasser auf die Schaffung reiner und zu dichter Bestände zurück, besonders auf die zu ausgedehnte Bevorzugung der Fichte. Podhorsky fordert in Föhngebieten richtige Standraumwahl (Abhärtung durch die Natur selbst, also Erziehung standfester Bestände), Bodenschutz unter Zuhilfenahme von Füllhölzern wie Grünerle, Bergkiefer. Für die höheren Föhnlagen werden räumliche Lärchenbestände gefordert, wie sie im vorderen Stubaital auftreten, teils auch Mischbestände. Besonders wird die

¹⁾ Ficker: Klimatogr. v. Tirol u. Vorarlberg. Wien. 1909.

²⁾ Über solche berichtet z. B. Ruth: Bericht über die Aufarbeitung, Bringung und Verwertung der Windwürfe in den Waldungen des oberen Pinzgaues in den Jahren 1926—28. Österr. Ztschr. f. Fw. 1930, S. 182 ff.

³⁾ Podhorsky: Die forstschädlichen Eigenschaften des Föhns und deren waldbauliche Bekämpfung. Schweiz. Ztschr. f. Forstwesen 1927.

Zirbe als der natürliche Föhnbaum hervorgehoben. Die Zirbe vermag sich gegen alle Möglichkeiten von Föhnangriffen zu schützen. In ihrer unangreifbaren Eiform vermag sie sogar Tromben zu widerstehen. (Wie sie sich in tieferen Föhnlagen verhält ist noch nicht festgestellt.)

Podhorsky hat auf Grund der Gefahren, die der Föhn bietet, die Schaffung einer eigenen Schutzwaldtype, die sich oft der Bannwaldtype nähern muß, für geboten erachtet.

Der Föhn verursacht nicht nur Bruch- und Sturzschäden, sondern bedeutet auch für die Aufforstung im Hochgebirge durch seine austrocknende Wirkung eine Gefahr.

Fassen wir die Bedeutung des Windes für die Wald- und für die Baumgrenze zusammen, so ergibt sich, daß der Wind in den ihm ausgesetzten Lagen durch seine physiologische und mechanische Wirkung bestimmend auf den Verlauf der Wald- und der Baumgrenze sein kann. Sie können durch ständige Windwirkung stark herabgedrückt werden.

Zu erwähnen ist noch die Bedeutung des Gletscherwindes für die Pflanzen. Tollner¹⁾ hat örtliche Luftströmungen festgestellt, die gerade an Schönwettertagen von den Firn- und Eisflächen hinweg in die unvergletscherten Täler vordringen. Es sind langsame, gleichmäßige Ströme kalter Luft, die mehrere Kilometer weit über die Gletscherzunge hinaus vordringen können. In den Sommermonaten wird die Lufttemperatur im Wirkungsbereich dieser Firnwinde um einige Grade erniedrigt. In der Talsohle, nahe der Gletscherzunge, wird ein kleines kälteres Klimareich hervorgerufen. In Tälern mit breiter Talsohle und steilem Längsprofil dringt die Gletscherluft weniger weit vor als in schmalen steilwandigen Tälern mit flachem Längsschnitt. Da diese kühlen Gletscherwinde gerade an Schönwettertage geknüpft sind, wirken sie in ihrem Bereich bremsend auf die Entwicklung pflanzlichen Lebens. Hier bleiben nur widerstandsfähige Florenelemente

¹⁾ Tollner: Gletscherwinde und ihr Einfluß auf die Pflanzenwelt. Österr. bot. Zeitschr. 81. 1932. S. 64, 65. — Gletscherwinde in den Ostalpen. Met. Ztschr. 1931.

erhalten. Diese Luftströme haben nur geringe vertikale Höhe; schon 50—100 m über dem Talgrund herrschen günstigere klimatische Verhältnisse.

Der schädlichen Windwirkung stehen, abgesehen von dem natürlichen Austausch der Luftmassen, jedoch auch nützliche Wirkungen gegenüber, so insbesondere die Verbreitung vieler Samen und Pollen. Am Mittelbergferner fand Steinböck je m² im Durchschnitt 2000 Stück Gletscherflöhe (*Isotoma saltans* Nic.) deren Nahrung von der Pflanzenwelt gelieferte Stoffe bilden, die durch den Wind auf Schnee und Eis gebracht wurden. So haben eigene Untersuchungen gezeigt, daß der am Mittelbergferner abgelagerte Gletscherschlamm 1.06 Prozent organische Substanz und 0.12 Prozent N enthält.

Strahlungsverhältnisse im Hochgebirge.

Als wichtigste Wärmequelle im Hochgebirge kommt die Insolation in Betracht. Von bestimmten Höhengrenzen an würde die Lufttemperatur (ohne direkte Insolationswirkung auf Boden und Organismen) allein nicht ausreichen, alle biologischen Vorgänge zur Abwicklung zu bringen. Die Strahlung ist mit vollem Recht als biologisch wirksame Wärme zu bezeichnen.

Mit zunehmender Höhe nimmt die Strahlungswärme immer mehr zu. Vergleicht man die mittleren täglichen solaren Wärmemengen (gr. cal. cm²) für Wien und Davos, so ergibt sich¹⁾:

Davos: Mittel im Jahr 214

Wien: „ „ „ 143

Für die einzelnen Jahreszeiten ergeben sich folgende Werte:

Als Summe in Kg. Cal.

	Davos	Wien
Winter	7.5	2.61
Frühling	22.8	16.97

¹⁾ Hann-Süring; a. a. O. S. 39.

Sommer	32.—	24.88
Herbst	15.7	7.87
Jahr	78.—	52.33

Die Unterschiede zwischen Schattentemperaturen und Sonnentemperaturen werden, wie aus folgender Tabelle hervorgeht, mit zunehmender Höhe immer größer.

Abnahme der Lufttemperatur mit zunehmender Höhe bei gleichzeitiger Zunahme der Bestrahlungswärmem (aus Handschin)¹⁾.

Station	Höhe	Schatten	Sonne	Unterschied
Whitebey	20 m	32,2° C	38,8° C	5,6° C
Pontresina . . .	1800 m	26,5	44,0	17,5
Berninahospiz . .	2330 m	19,1	46,4	27,2
Fuß v. Desehorn .	2450 m	9,4	37,0	27,6
Diavolezza	2960 m	6,0	59,5	53,5

Genauere Untersuchungen wurden von C. Dorno²⁾ in Davos durchgeführt. Es wurden die Intensitäten der Wärmestrahlung (nur der Sonne) in den vier Jahreszeiten festgestellt. Die Frühjahrswerte sind die größten, ihnen folgen der Reihe nach die Herbst-, Sommer- und Winterwerte der Intensität. Vergleicht man aber die Intensität bei gleicher Sonnenhöhe, so hat der Winter die stärkste, der Sommer die schwächste, Frühjahr und Herbst mittlere Wärmeintensität.

Auch die Wärmesummen auf den einzelnen Expositionen sind verschieden.

Dorno betont: „Keineswegs zeigt die Hochgebirgssonne exorbitant hohe absolute Maximalwerte; solche sind nur etwa 10% höher als in Potsdam.“ „50% höher als in Potsdam ist dagegen die wirkliche Wärmesumme, die Davos im Jahresverlauf empfängt.“ Als Hauptvorzug des Hochgebirgsklimas stellt Dorno fest: „Kräftige, aber nicht aus-

¹⁾ Handschin: Beiträge zur Kenntnis der wirbellosen terrestrischen Nivalfauna der schweizerischen Hochgebirge. Inauguraldissertation 1919.

²⁾ Dorno: Studien über Licht und Luft im Hochgebirge. 1911.

artende, sich im Tages- und Jahresverlauf wenig ändernde Wärmestrahlung." Bezüglich der blauviolettten und ultravioletten Strahlung (nur der Sonne) hat Dorno festgestellt: Die ultraviolette Strahlung zeigt große Unterschiede von den anderen Strahlungsarten; sie hängt viel mehr als diese von den Jahreszeiten ab und zwar derart, daß der Winter ganz geringe Intensitäten gegenüber dem Sommer aufweist; in den sechs Monaten der zweiten Jahreshälfte treten wesentlich höhere Werte auf als in den entsprechenden der ersten Jahreshälfte. Die Schwankungen betragen teilweise das Hundertfache jener der Wärmestrahlung. Mit steigendem Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre wachsen die ultravioletten Intensitäten (ganz im Gegensatz zur Wärmeintensität.) Die höchsten Werte werden an zu Wolkenbildung neigenden Tagen gefunden. Die ultraviolette Strahlung ist im Sommer etwa 20mal so stark wie im Winter: von ihr bringt ein Sommertag fast so viel wie ein ganzer Wintermonat.

Von den Strahlungsgattungen wirken chemisch die kurzwelligen Strahlen, also ultraviolett, blauviolett; den größten Helligkeitsgrad für das menschliche Auge haben die mittelwelligen, grün, gelb, rot; erwärmend wirken rot und ultrarot. Für die Pflanzenernährung sind in erster Linie die roten, „neben den weniger wichtigen blauen" entscheidend; unter ihrem Einfluß besorgt das Blattgrün die Assimilation¹⁾.

Ein Vergleich der Strahlungsarten (nur der Sonne) untereinander ergibt: Die Sonnenstrahlung ist in den verschiedenen Jahreszeiten von ganz verschiedener Zusammensetzung, keine einzige ähnelt der anderen:

- im Winter: recht bedeutende Wärmeintensität bei ganz minimaler ultravioletter Intensität;
- im Frühjahr: größte Wärmeintensität bei wenig gesteigerter ultravioletter Intensität;
- im Sommer: große Wärme- und größte ultraviolette Intensität gleichzeitig;

¹⁾ Schröter: Pflanzenleben der Alpen. Zürich 1926, S. 63.

im Herbst: große Wärme bei verhältnismäßig noch stark anhaltender ultravioletter Intensität.

Bezüglich der Gesamtstrahlung hat Dorno festgestellt: Gesamt-Helligkeitsstrahlung: Im Gegensatz zu Orten der Ebene hat in den Hochlagen die erste Jahreshälfte größere Lichtsummen als die zweite, und die erste Hälfte der Vegetationsperiode größere als die zweite. Auch unterscheidet sich im Hochgebirge die Lichtsumme des Winterhalbjahres weit weniger von der des Sommerhalbjahres als an Orten der Ebene.

Vergleiche mit Parallelmessungen in Kiel beweisen direkt die weit größeren Absolutheiligkeiten des Hochgebirges und die weit günstigere Verteilung der Helligkeiten über das Jahr. Im Winter beträgt die Davoser Helligkeit das 6-fache der Kieler, im höchsten Sommer das 1,8-fache.

Dorno betont als Hauptfaktor des Hochgebirgsklimas die Stärke seiner Sonne nicht nur im Verhältnis zur Sonnenstärke des Flachlandes, sondern auch im Verhältnis zum Schatten.

Den Farbenwechsel der Hochgebirgswiesenflora (nach der Schneeschmelze weiß, Krokus und Narzissen, dann blau, Enzian usw. bringt Dorno nach Stahls Theorie¹⁾ mit der wechselnden Zusammensetzung des Sonnenlichtes, in Zusammenhang, an dem im Frühjahr die ultraviolette Strahlung geringen, im Sommer und Herbst starken Anteil nimmt.

Von Interesse sind die Untersuchungen von Angström²⁾ über die Albedo verschiedener Oberflächen. Albedo ist das Verhältnis der reflektierten zur einfallenden Strahlung. Durch die Größe der Albedo ist nach Geiger die Strahlenmenge bestimmt, welche die Erdoberfläche absorbiert.

¹⁾ Zusammenhang zwischen der den Pflanzen von der Sonne zugesandten durch die Atmosphäre veränderten Strahlung und den Eigenschaften der auf ihre Ausnützung angewiesenen Blattfarbstoffe.

²⁾ Angström nach Geiger: Das Klima der bodennahen Luftschicht. Seite 115.

Albedo verschiedener Oberflächen.

Vegetationsfreier Boden:

	trocken	feucht
schwarze Erde	0,14	0,08
Granitfels, teilw. mit Flechten überzogen .	0,12	0,15
grauer Sand	0,18	0,09

Mit Vegetation bedeckter Boden:

Boden mit <i>Calluna vulgaris</i> bestanden . .	0,18	
Niedereres Gras, dazwischen einige <i>Saxi- fraga granulata</i>	0,25	
hohes hellfarbiges Gras	0,31-0,33	0,22

Zum Vergleich:

weißes Leinen (auf die gleiche Grasfläche aufgelegt)	0,63
alter Schnee	0,70
frischgefallener Schnee, besonders ebene und helle Fläche	0,81

Die Vegetationsdecke erhöht also die Albedo der Erdoberfläche. Wenn man nach Geiger als angenäherten Mittelwert für nackten Boden 0.15, für die Vegetationsoberfläche 0.30 annimmt, so reflektiert bei gleicher einfallender Sonnenstrahlung die Vegetationsoberfläche die doppelte Intensität gegenüber nacktem Boden. Es sind vor allem die langwelligen (roten) Strahlen, welche die Vegetationsoberfläche in starkem Maß reflektiert. „Das starke Reflexionsvermögen der Vegetationsoberfläche für die langwellige Strahlung hat ein geringes Absorptionsvermögen und damit auch ein geringes Emissionsvermögen zur Folge.“ Nach Geiger ist dies von entscheidender Bedeutung bei Nacht. „Die Ausstrahlung bei Nacht erfolgt nämlich gerade mittels der langwelligen, der relativ niedrigen Erdtemperaturen entsprechenden Strahlung. — Die lebende Vegetationsoberfläche scheint sich also

auf diese Weise gegen die allzstarke nächtliche Wärmeabgabe durch Strahlung zu schützen. Die unter sonst gleichen Umständen stärkere Reflexion der Sonnenstrahlung bei Tag, die geringere Ausstrahlung bei Nacht bedingt für die Temperaturverhältnisse über einer Vegetationsoberfläche ein gemäßigteres Klima als über nacktem Boden."

Diese günstigeren kleinklimatischen Verhältnisse kommen Kulturen, die im Schutz der niederen Pflanzendecke durchgeführt werden, zugute. Es mag in diesem Umstand auch ein Grund des besseren Gedeihens künstlicher Aufforstungen in höheren Lagen unter Ausnützung der niederen lebenden Pflanzendecke gegenüber solchen auf kahlen Boden liegen.

Eine dichte lebende Pflanzendecke läßt nur einen Teil der Sonnenstrahlung dem Boden zukommen, dessen Größe von der Höhe und Dichte der Vegetationsdecke abhängt. Nach Angström (bei Geiger) gelangt durch 1 m hohes Gras einer Wiese in 10 cm Höhe über dem Boden nur noch ein Viertel, bis zum Boden nur noch ein Fünftel der oben auffallenden Strahlung, während in 50 cm Höhe die Intensität kaum geschwächt ist. Dadurch treten in einer Vegetationsdecke bei Tag niemals so hohe Temperaturen auf wie bei nackter Bodenoberfläche, „wo die Vertikalerstreckung der wärmeabsorbierenden Schicht praktisch gleich Null ist." Durch diese Wärmeverteilung ergeben sich bei Vorhandensein einer Vegetation gemilderte Mittagstemperaturen (Geiger). Im Walde werden die Sonnenstrahlen nach Angström „fast restlos von den Baumkronen abgefangen".

Nach den Untersuchungen von Smith (nach Geiger) können die Temperaturen der Blätter im Sonnenlicht erheblich über die Temperatur der umgebenden Luft ansteigen. „Unter tropischer Sonne bilden 10° C Differenz keine Seltenheit und werden auch in unseren Breiten erreicht." Sogar bei bewölktem Himmel kann infolge des diffusen Lichtes das Blatt noch um 4° C wärmer sein als die Luft. Das diffuse Licht ist für die Pflanzen überhaupt von großer Bedeutung.

Bodentemperatur.

Bezüglich der Bodentemperatur gilt nach Hann-Süring im allgemeinen:

1. Die feste Erdoberfläche erwärmt sich bei Tage im Sommer weit über die Lufttemperatur, bei Nacht und im Winter erkaltet sie unter die Temperatur der überlagernden Luftschichten. Die mittlere Temperatur der Erdoberfläche ist höher als die der Luft.

2. Die niedrigste Temperatur tritt an der Erdoberfläche um Sonnenaufgang ein, die höchste um ein Uhr nachmittags, somit etwas mehr als eine Stunde nach der stärksten Inso-lation.

3. Die täglichen Wärmeänderungen dringen von der Bodenoberfläche nur bis zu einer Tiefe von 1 m in den Erd-boden ein; in dieser Tiefe verschwindet selbst in sehr heißen Klimaten die tägliche Temperaturschwankung.

Im Hochgebirge liegt die mittlere Temperatur der oberen Bodenschichte höher als die mittlere Lufttemperatur, was einerseits auf die Wirkung der direkten Einstrahlung, anderseits auf die Herabminderung der Ausstrahlung durch die lange Dauer der Schneebedeckung zurückzuführen ist. Die Bodentemperatur fällt mit zunehmender Meereshöhe im allgemeinen langsamer als die Lufttemperatur.

Schröter gibt die Kerner'schen Untersuchungen in Tirol an; dieser fand folgende Differenzen zwischen mittlerer Luft- und Bodentemperatur: Der Boden ist wärmer als die Luft (im Jahresmittel):

bei 1000 m um 1,5° C	bei 1900 m um 3,0° C
bei 1300 m um 1,7° C	bei 2200 m um 3,6° C.
bei 1600 m um 2,4° C	

Wie schon Handschin für die nivale Stufe betont, kann die Strahlungswärme als biologisch wirksame Wärme aufgefaßt werden. Dies gilt selbstverständlich auch für die subnivale Stufe des Hochgebirges.

Der Boden erfährt im Sommer im Hochgebirge eine starke Erwärmung. Wie schon früher betont, wird Wärme im Sommerhalbjahr gespeichert. Die tagsüber eingestrahelte Wärme wird in der Nacht nicht ganz abgegeben.

Interessant sind einige Messungen von Handschin und Steinböck:

Station		Luft- und Bodentemperatur im Hochgebirge		
		August	Sept.	Oktober
Bernina-Hospiz, 2330 m	Luft	7,8	5,4	-4,8
	Boden 30 cm	9,3	6,9	+0,8
Sils (Engadin), 1811 m	Luft	10,3	7,3	2,8
	Boden 5 cm	15,8	12,4	6,2
	30 cm	13,0	10,7	5,6
Alpiglitscher, 2700 m	Luft	6,0		
	Boden 5 cm	10,0		
	20 cm	6,5	21, 7. 1930	
Pitztaler Jöchl, 3000 m	Luft	10,5		
	Boden 5 cm	12,5		

Der tägliche Gang der Temperatur in verschiedenen Bodenarten läßt je nach den verschiedenen Leitungsvermögen Unterschiede erkennen. Auch bei gleicher Bodenart ergeben sich in den obersten Schichten starke Schwankungen; sie sind in erster Linie von der Struktur des Bodens (Luftgehalt), in zweiter Linie vom Wassergehalt abhängig. Je fester und nasser der Boden ist, desto besser leitet er die Temperatur¹⁾. Die Unterschiede der Temperatur verschiedener Bodenarten hängen mit der Wärmekapazität, Wärmeleitung und mit dem Wassergehalt des Bodens, wohl auch mit der Korngröße und dem Steingehalt und der Struktur der Bodenteile zusammen²⁾.

Nasser Boden ist im Durchschnitt um 1—2° C [nach Bühler], zu einzelnen Tageszeiten um 3—4° C kälter als der trockene. Nach dem gleichen Autor hatte unter neun verschiedenen Bodenarten (Verrucano, Bündnerschiefer, Flysch, Gneis, Humus, Jurakalk, Sand, Ton, Kreidekalk) der Humus das höchste Minimum und das niedrigste Maximum, also die kleinste Temperaturschwankung von allen untersuchten Bodenarten.

¹⁾Hann-Süring: a. a. O. S. 50, 51.

²⁾Bühler: Waldbau, I. S. 360.

Schmidt¹⁾ hat bei Untersuchungen in Weinbergen bei Vöslau bezüglich der nächtlichen Abkühlung folgendes festgestellt: dort wo „der Boden dicht ist und frei von Pflanzen, dort ist die Abkühlung (nächtliche) wesentlich geringer, dadurch sind auch die unmittelbar aufliegenden Luftschichten wärmer. Vegetationsbedeckter, verunkrauteter, insbesondere noch feuchter Boden ist von vornherein kalt, gibt auch keine Wärme her. Aber auch Bodenbearbeitung wirkt in ähnlicher Weise verschlechternd, sie ist noch wochenlang nachher bemerkbar.“

Was den jährlichen Wärmegang der festen Erdoberfläche anbelangt, so speichert sich vom Frühjahr an ein täglich zunehmender Wärmerest im Boden, da nicht die ganze vom Boden aufgenommene Sonnenstrahlung durch Ausstrahlung und Wärmeleitung abgegeben wird. Die höchste Bodentemperatur tritt in der oberen Schichte durchschnittlich im Juli ein. In der einen Jahreshälfte strömt so viel Wärme in die oberen Bodenschichten ein, als in der anderen wieder nach außen abgegeben wird. Nach Ablauf des Jahres bleibt daher im Boden im Mittel kein Wärmerest zurück. „Wenn man unterhalb einer dicken Schneedecke im Winter an der Erdoberfläche ein Abschmelzen des Schnees beobachtet, so ist dies durch die Wärmeabgabe des Bodens vollkommen erklärlich.“ (Hann-Süring.)

Die jährliche Wärmeschwankung im Erdboden nimmt anfangs rasch, dann immer langsamer mit der Tiefe ab.

Da die Bodentemperatur in erster Linie von der absorbierten Sonnenstrahlung abhängt, ist es natürlich, daß die Bewölkung auf die Bodentemperatur von großem Einfluß ist.

Die innere Erdwärme ist als Wärmequelle für die Erdoberfläche und für die untersten Luftschichten nach Hann-Süring von „sehr untergeordneter Bedeutung“. Der mittlere Grad der Temperaturzunahme mit der Tiefe wird mit 1°C pro 35 m (= $0,0286^{\circ}$ pro 1 m) angenommen.

¹⁾ Schmidt W.: Meteorologische Feldversuche über Frostabwehrmittel. Anhang zu dem Jahrb. d. Zentralanstalt f. Meteorologie und Geodynamik 1927 Nr. 135.

Auch der Witterungscharakter spielt eine Rolle; in warmen, besonders in niederschlagsreichen Sommern ergibt sich eine hohe Bodenwärme.

Woeikoff¹⁾ unterscheidet bezüglich der Bodentemperatur einen Sonnentypus und einen Ausstrahlungstypus. Beim Sonnentypus ist die Temperatur der Oberfläche des Bodens im Jahresmittel höher als diejenige der Tiefe (Istrien, Karstgegenden, Dalmatien, Herzegowina, Montenegro). Der Ausstrahlungstypus tritt dort auf, wo wenigstens drei Viertel des Jahres Schnee am Boden liegt (nach Woeikoff auch in Gletschergebieten). Die Temperatur nimmt hier von oben nach unten regelmäßig zu.

Für den Gang der Bodentemperatur spielt die Vegetation eine große Rolle. Woeikoff hat sich die Frage vorgelegt, wie rasch der Temperaturunterschied im Wald und Feldeboden nach unten verschwindet. (Der Waldboden ist bis in große Tiefen kälter als der unbeschattete Boden.) Woeikoff fand: Für die tieferen Lagen des Waldbodens gilt in der jährlichen Periode: die wärmeren Temperaturen dringen weniger rasch nach unten als die kälteren.

Ein Beispiel des Einflusses der Vegetation in dieser Hinsicht führt Woeikoff an.

G = mit Gras bewachsener Boden } Sandboden bei Petersburg
N = unbewachsener Boden

Juli	G.					N.				
	0	20	40	80	160 cm	0	20	40	80 cm	
1894	19,1	17,0	15,8	13,9	10° C	22	19,2	18,0	15,0° C	
1896	20,5	16,8	14,6	12,8	9,9° C	24,6	21,6	20,0	17,4° C	

Der Juli 1896 war sehr warm und trocken, die Verdunstung durch das Gras trocknete den G-Boden sehr stark aus und machte ihn zu einem schlechten Wärmeleiter, während der unbewachsene Boden N feuchter blieb und daher die Wärme besser leitete. Im G-Boden war im Juli 1896 nur die Oberfläche wärmer als im weniger warmen aber regenreichen Juli 1894, in welchem auch der bewachsene Boden feucht blieb. Die Tiefen 20—160 cm waren 1896 erheblich kälter als 1894, im unbewachsenen Boden waren alle Tiefen, in welchen beobachtet wurde, im Jahr 1896 erheblich wärmer als 1894; der Unterschied wurde mit der Tiefe kleiner.

¹⁾ Woeikoff: Probleme der Bodentemperatur. Typen ihrer vertikalen Verbreitung. Verhältnis zur Lufttemperatur. Met. Ztschr. 1904.

Weiters liegen auch Untersuchungen vor über die Erwärmung verschiedenartiger Bodenoberflächen. Vujevic¹⁾ hat gefunden, daß die Sandoberfläche durchwegs höhere Temperaturen als der humose Boden und die Rasenoberfläche besitzt. Die mittlere Jahrestemperatur betrug an der Sandoberfläche 13,75° C, am humosen Boden 13,11° C und an der Rasenfläche 12,4° C. Die Temperaturen der Rasenfläche in den Frühlings- und Sommermonaten sind (durch die gesteigerte Verdunstung, die große spezifische Wärme) um 3,5° C bzw. um 1,4—2,1° C niedriger als die Temperatur der Sandoberfläche bzw. des humosen Bodens.

Die Taubildung ist an der Sandoberfläche schwächer als an der Rasenoberfläche. Die Sandoberfläche hat eine geringere spezifische Wärme als die Rasenoberfläche. Der Tau wird an der Sandoberfläche viel rascher verdunsten und durch die rasche Verdunstung wird eine energischere Temperaturerniedrigung bzw. verlangsamte Temperaturzunahme gegenüber der Rasenoberfläche herbeigeführt. An der Sandoberfläche nimmt die Temperatur in den Sommermonaten von 4—6 Uhr morgens nur um 2,84° C zu, während sie zur gleichen Zeit an der Rasenoberfläche um 3,33° C steigt. In den späteren Morgenstunden, in denen der Sand an der Oberfläche schon trocken geworden ist, ist die Temperaturzunahme viel energischer als an der Rasenoberfläche, an der nach der Taubildung die Verdunstung durch Poren beginnt. Nach Bühler ist die Temperatur unter Rasen um 1—3° niedriger als auf kahlem Boden. Am S-Hang kann die Differenz zu Mittag bis 7° betragen. Doch sind die Schwankungen unter Rasen geringer als die des kahlen Bodens.

Von Bedeutung für den Pflanzenwuchs ist die Geschwindigkeit, mit der der Frost in den Boden eindringt, sie wird von der Bodenfeuchtigkeit bestimmt. Je größer die Bodenfeuchtigkeit ist, „das heißt, je größer die im Boden freier-

¹⁾ Vujevic: Die Temperatur verschiedenartiger Bodenoberflächen. Met. Ztschr. 1912.

dende latente Wärme, desto langsamer dringt der Frost ein." (Hann-Süring.)

Eine wesentliche Beeinflussung der tiefsten, dem Boden direkt auflagernden Luftschicht und des Bodenklimas erfolgt durch die lebende Bodendecke, die hauptsächlich von den Beerkräutern und *Rhododendren* gebildet wird. Es müssen sich also Unterschiede in Bodenklima unter lebender und toter Bodendecke (Nadelstreu) ergeben. Der Boden unter Vegetation ist weniger starken Extremen unterworfen als jener ohne lebende Bodendecke.

Messungen, die von Ing. Schönwiese in Kärnten in einem Kiefernbestand durchgeführt wurden, ergaben: Das Temperaturmaximum in 5 cm Tiefe in Boden mit lebender Bodendecke liegt 2—2,5° C höher als im Boden ohne lebende Bodendecke. Das Bodentemperaturminimum in 5 cm Tiefe in Boden mit lebender Bodendecke (Heidelbeere usw.) liegt um 2,2—2,8° C höher als im Boden ohne lebender Bodendecke. (Messungen vom 1. XI.—4. XI. 1931.)

Ähnliche Resultate haben die Studien Meyer's¹⁾ ergeben. Er untersuchte die Temperatur und Feuchtigkeitsverhältnisse in zwei Bodenstrentypen:

- I. Moos-Rohhumus-Beerkrautttyp mit überwiegend starker Schichtendicke (Typ I.).
- II. Nadel-Weide-*Cladonia*-Typ mit überwiegend schwacher Schichtendicke (Typ II.).

Meyer fand, daß die Temperaturen im Boden (Typ II) mit dünner Streudecke die Schwankungen der Außentemperaturen stärker widerspiegeln als in den Typen I mit starker Streudecke. Die Temperaturgegensätze sind bei II bedeutend schärfer als bei I. Für höhere Organismen liegt nach Meyer im Typ II eher eine Vertrocknungsgefahr vor als bei Typ I. (Bei manchen Kleinlebewesen z. B. Protozoen,

¹⁾ Meyer: Beobachtungen nach Untersuchungen zur Biologie und Bekämpfung der Forleule. Ztschr. f. angew. Entomologie. B. XVIII, S. 6 ff.

wird sich in solchen Zeiten eine Einkapselung ergeben.) Bei den Untersuchungen Meyers liegen bereits durch den Bestand abgebremste Windverhältnisse vor. In der Wald- und der Baumgrenze kommt der Wind zu viel stärkerer Auswirkung. Da der Wind hier an und für sich größere Geschwindigkeiten erreicht, kommt der Abbremsung durch die niedere Pflanzendecke erhöhte Bedeutung für das Bodenklima zu. Auf den mit toter Streu bedeckten Flächen wird sich eine größere Austrocknung der obersten Bodenschichten ergeben als auf den Flächen mit lebender Bodendecke.

Auch Wollny¹⁾ kommt zu dem Schlusse,

„1. daß der mit lebenden Pflanzen oder abgestorbenen Pflanzen bedeckte Boden während der wärmeren Jahreszeit bis in größere Tiefen durchschnittlich erheblich kälter, während der kälteren Jahreszeit dagegen wärmer ist als der nackte, sowie

2. daß die bezüglichlichen Unterschiede besonders in den Sommermonaten hervortreten und in den übrigen Jahreszeiten andererseits sich in einem geringeren Grade geltend machen.“

Nach Wollny ist ferner die Bodentemperatur während der wärmeren Jahreszeit umso niedriger, je dichter die Pflanzen stehen. Der Boden erwärmt sich während des Sommers umso schwächer, je kräftiger die oberirdischen Organe der Pflanzen entwickelt sind. Je mächtiger die oben auf liegende Streuschicht ist, umso kälter ist der Boden während der wärmeren Jahreszeit und umso wärmer während der kälteren Jahreszeit. In dem mit Pflanzen bestandenen Boden geht der Zerfall der organischen Substanz viel langsamer vor sich als in jenem, der mit einer aus abgestorbenen Pflanzenteilen bestehenden Decke überzogen ist. Im nackten Erdreich vollzieht sich der Zerfall am schnellsten.

¹⁾ Wollny: Die Wirkung der organischen Stoffe und die Humusbildung. Heidelberg 1897, S. 163.

Die Temperaturen der toten Bodendecke sind je nach der Herkunft der Streu verschieden. Die aus Tannen- und Föhrennadeln gebildete Bodendecke besitzt eine um 1—2° niedrigere Temperatur als die aus Laub und Fichtennadeln zusammengesetzte, „was je nach den allgemeinen klimatischen Verhältnissen auf die Keimung von Einfluß sein kann¹⁾.“

Für das Eindringen des Frostes in den Boden spielt die Schneedecke eine große Rolle. Wie Geiger betont, tritt an Stelle der Erdoberfläche die Schneeoberfläche als äußere tätige Oberfläche in Wirksamkeit. Der Schnee bildet eine nahezu vollkommene „thermische Isolationsschicht zwischen der Schneeoberfläche mit dem gewachsenen Boden.“

Dem Wind ausgesetzte schneefreie Stellen oder solche mit nur sehr dünner Schneedecke bieten für die Überwinterung der Pflanzen äußerst ungünstige Verhältnisse. Darauf, daß an solchen Stellen nicht nur der Pflanzenwuchs, sondern auch die Bodentierwelt vollständig fehlen, hat Steinböck²⁾ hingewiesen.

Eine Schneedecke schützt den Boden wie eine Sandschicht von 2—3mal größerer Mächtigkeit. Hann-Süring weist darauf hin, daß z. B. die Alleebäume der Straßen in Städten, wo der Boden stets vom Schnee gereinigt wird und kein oder wenig Rasen vorhanden ist, aus dem oben angegebenen Grunde in strengen Wintern erfrieren können, während dieselben Bäume unter natürlichen Verhältnissen erhalten bleiben. Dies war z. B. im strengen Winter 1879/1880 in Wien tatsächlich der Fall.

Kerner hat am Blaser bei Trins in Tirol (2239 m) das winterliche Minimum der Temperatur bei 1—2 m Schneetiefe 40 cm unter der Erdoberfläche mit +1° C festgestellt. Bei dicker Schneedecke wird in unseren Breiten der Boden selten gefrieren. Gegen die Auskältung der Schneedecke kann in den Alpen die tagsüber herrschende Insolation wirken.

¹⁾ Bühler: Waldbau. I. S. 364.

²⁾ Steinböck: Die Tierwelt des Ewigschneegebietes. Ztschr. d. Deutsch. u. Österr. Alpenvereines. 1931.

Für den Gang der Bodentemperatur ist die Exposition von großer Bedeutung. Nach Geiger¹⁾ liegt das Temperaturmaximum vom Jänner bis März im SW und wandert dann im Gebirge rasch nach SO, wo es schon im Juni festzustellen ist. Im Laufe des Sommers und des Herbstes vollzieht sich dann die Rückwanderung nach SW. Die Lage des Bodentemperaturmaximums in SW ist die normale; die Wanderung nach SO ist eine sommerliche Anomalie. Für das sommerliche Maximum im SO sind zwei Gründe maßgebend. Von Bedeutung ist die sommerliche lokale Austrocknung des SO-Hanges durch die O- und SO-Winde (Kerner), während die W- und SW-Seite als Wetterseite mehr Regen erhält. Nach Geiger wirken im Gebirge außerdem das nachmittägige Bewölkungsmaximum, nachmittägige Regen und Gewitter, wodurch die Bestrahlungsintensität regelmäßig vermindert wird, in diesem Sinne. Normal liegt wie betont, das Maximum im SW. Geiger führt aus, daß die Bodentemperatur nicht nur von der Intensität der Sonnenstrahlung abhängt, sondern auch vom Bodenzustand, besonders von dem großen Wechsel unterworfenen Feuchtigkeit. Feuchter Boden verbraucht durch seine höhere Wärmekapazität und durch die stärkere Verdunstung mehr Wärme als trockener. Die Nachmittags-sonne findet stets den während des Vormittags ausgetrockneten Boden vor und sie kann, trotzdem sie in Strahlungseinheiten gemessen schwächer ist als die Morgensonne eine größere Temperaturerhöhung als diese bewirken.

Die oft bedeutenden Gegensätze in der Pflanzenwelt auf N- und S-Hängen finden ihre Erklärung in dem Unterschied des Bodenklimas an den verschiedenen Expositionen. Die oberste Verbreitungsgrenze der Pflanzenwelt steigt daher im allgemeinen von der Nord- zur Südseite an. In der Schweiz betragen die Schwankungen nach Braun zwischen N- und S-Hang bei der lokalen Schneegrenze 3—500 m, bei der Waldgrenze bis 180 m.

¹⁾ Geiger: Das Klima der bodennahen Luftschicht. S. 104 ff.

Temperaturmessungen im Pitztal.

Um einen Überblick über den Einfluß der Gletschernähe auf den Gang der Bodentemperaturen und soweit als möglich auch der Lufttemperaturen zu bekommen, wurde im Rahmen dieser Arbeit eine Reihe von Bodenextremthermometern und Luftextremthermometern beim Mittelbergferner im Pitztal eingebaut. Gleichzeitig sollten damit in diesem besonderen Fall die Verhältnisse in den Kampfgürteln des Waldes und des Baumwuchses erfaßt werden.

Zur Messung der Lufttemperaturen wurden Six-Thermometer verwendet. Der Strahlungsfehler ist bei diesem Thermometer so geringfügig, daß die Anbringung der Luftextremthermometer frei ohne Schutzdach erfolgen kann. Die Luftextremthermometer wurden in 100 cm über dem Boden, die Bodenextremthermometer 5 bzw. 20 cm tief in den Boden eingebaut.

Nachstehend werden die einzelnen Meßstellen angegeben, die alle auf der rechten Talseite lagen.

Meßstelle I. 1967 m. Vom Gletscher 3 m entfernt. Sehr schwach gegen WNW geneigt. Moränenboden, Vegetationslos. Abb. 1.

Meßstelle II. 1968 m. Vom Gletscher 30 m entfernt. Ganz schwach gegen W geneigt. Moränenboden. Erste sporadisch auftretende Vegetation; bestehend aus: *Poa annua* L. subsp. *supina* (Schrad) Rchb. *Sagina saginoides* (L.) D. T., *Cardamine resedifolia* L., *Petasites paradoxus* (Retz) Baumg., *Saxifraga stellaris* L.¹⁾.

Meßstelle III. 1894 m. Vom Gletscher ca. 500 m entfernt. Schwach gegen W geneigt. Zusammengeschwemmter Sand zwischen großen Felsblöcken. Neben der letzten gegen den Gletscher vorgedrungenen Fichte (Abb. 2). Demnach: Baumgrenze. Niedere Pflanzendecke: *Agrostis alba* L., *Ne-*

¹⁾ Die Pflanzen wurden in dankenswerter Weise von Dr. H. Neumayer, Wien, bestimmt.

phrodium spinulosum (Müll.). Stempel, *Chrysanthemum alpinum* L., *Rhacomitrium canescens* (Weis, Tunin) Brid.

Meßstelle IV. 1878 m. Gegen WSW exponierter Hang, etwas überriegelt. Schwarzer gut zersetzter Alpenmoder. In der Stufe des einzelständigen Baumwuchses. Vegetation der Meßstelle: Heidelbeere und Heidekraut. Vegetation der Umgebung: einzelne Fichten, Latschen, Zwergwacholder, Heidelbeere, Heidekraut und Gräser.

Meßstelle V. 1838 m. Westhang. Braunerde mit Nadelstreudecke. 100jähriger Fichtenhorst im Kampfgürtel des bestandesmäßigen Auftretens. Meßstelle im Fichtenhorst. Vegetation der Umgebung: Fichte, künstlich eingebrachte, 15—20jähr. Lärche, Heidelbeere, Heidekraut, Alpenklee, Disteln. (Abb. 3.)

Meßstelle VI. 1832 m. Westhang. 30 m von Meßstelle V entfernt, in 15—20jähr. künstlicher Lärchenverjüngung. Braunerde, in den oberen Schichten sehr stark humos. Vegetation der Meßstelle: Lärche, Heidelbeere, Heidekraut. Vegetation der Umgebung: Fichte, Lärche, Grünerle, Heidel- und Preiselbeere, Heidekraut, *Juniperus nana*. Künstlich eingebrachte junge Zirben. (Abb. 3.)

Meßstelle VII. 1768 m. Westhang. Almwiese innerhalb des Kampfgürtels des bestandesmäßigen Vorkommens der Fichte, Zirbe und künstlich eingebrachte Lärche.

Es wurde an einem Tag, den 22. VIII. 1931 der Verlauf der Temperatur in ein bis zweistündigen Ablesungen von 7 Uhr 45 bis 17 Uhr 45 festgestellt: Fig. 1 der Abb. 4, 5, 6. Vom 17. bis 23. VIII. 1931 wurden die täglichen Temperatur-extreme festgestellt: Fig. 2 derselben Abbildungen. Schließlich wurden in der Zeit vom 24. VIII. bis 19. IX. 1931 in einwöchentlichen Ablesungen wieder die Extremwerte der Temperaturen verzeichnet: Fig. 3 der Abb. 4, 5, 6.

Obzwar sich diese Messungen auf einen kürzeren Zeitraum, einen Tag, eine Woche und einen Monat erstrecken, so gewähren sie doch einen Überblick über die Verhältnisse des Temperaturverlaufes und ermöglichen einen Vergleich der

einzelnen Meßstellen untereinander. Aufzeichnungen über die Temperaturverhältnisse während eines ganzen Jahres, die Aufschluß über die jahreszeitlichen Unterschiede geben würden, konnten leider nicht durchgeführt werden. In diesem hochgelegenen Gebiet mußten die Messungen auf eine kürzere Zeitspanne beschränkt werden. Die Auswahl der Meßstellen erfolgte unter Berücksichtigung der dieser Arbeit zugrundeliegenden Fragestellung.

Die Witterungsverhältnisse am Tage der stündlichen Ablesung (22. VIII.) waren folgende: Meßstellen I, II und III in der Frühe (7 Uhr 50') Nebel, den ganzen Tag über bewölkt, nur um 9 Uhr kurze Aufheiterung mit geringer Bewölkung; um 15 Uhr 30' setzte leichter Regen ein und um 17 Uhr wieder Nebel. Bei den Meßstellen I und II, also bei dem durch den Gletscher gebildeten Talschluß lag natürlich die stärkste Nebelbildung vor. Bei den am Hang gelegenen, weiter vom Talschluß und vom Gletscher entfernten Meßstellen herrschte mehr heitere Witterung: zwischen 7 und 8 Uhr leichte Bewölkung, ab 8 Uhr heiter, erst ab 15 Uhr zunehmende Bewölkung.

Ein Vergleich des Tagesverlaufes der Lufttemperatur ergibt folgendes:

Die niedrigsten Lufttemperaturen (Abb. 4, Fig. 1) treten bei der Station I (3 m vom Gletscher entfernt) auf. Das Fallen der Temperatur bei der Meßstelle I um 13 Uhr kann auf Kaltluftströmungen vom Gletscher herunter zurückgeführt werden. Die niedrige Lufttemperatur ist auf die ganztägige Bewölkung, welche die direkte Strahlung ausschaltet, zurückzuführen.

Ein Vergleich der Station I und III, bei denen die gleichen Witterungsverhältnisse herrschten, zeigt die Zunahme der Lufttemperatur mit der Entfernung vom Gletscher. (Bei beiden Meßstellen I und III entfiel an diesem Tage die direkte Sonnenstrahlung.) Bedeutend höher liegen die Lufttemperaturen bei den Meßstellen IV und V, also in der Stufe des einzelständigen Vorkommens und dem Kampfgürtel des

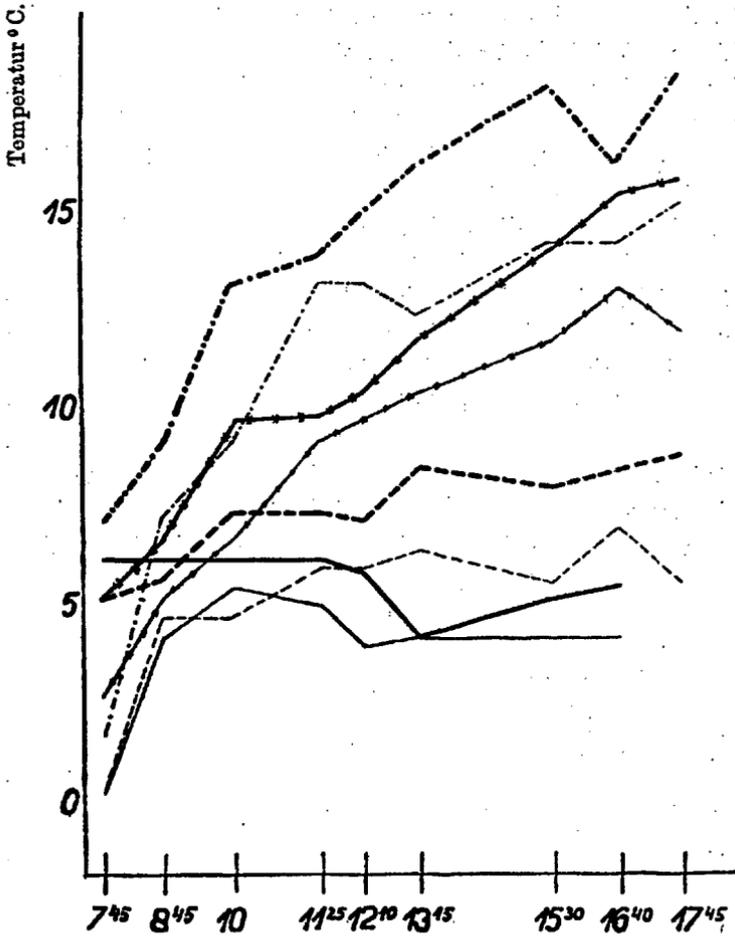


Abb. 4, Fig. 1. Extreme der Lufttemperatur in 1 m Höhe am 22. VIII. 1931

I —————
II - - - - -
III - · - · -
IV - - - - -
V · · · · ·

stark ausgezogen: Maxima
schwach ausgezogen: Minima

bestandesmäßigen Baumwuchses. Die Lufttemperaturen im Fichtenhorst (Stelle V) liegen naturgemäß etwas tiefer als in der lichtständigen Stufe des einzelständigen Baumwuchses. Das Temperaturmaximum fällt in die ersten Nachmittagsstunden (W-Hang). Die Abnahme der Temperatur erfolgte hier mit eintretender Bewölkung.

Vergleicht man die Schwankungen der Lufttemperatur (Maxima und Minima) bei den einzelnen Stationen, so ergeben sich bei den herrschenden Witterungsverhältnissen im Durchschnitt die geringsten Schwankungen beim Gletscher, größer sind sie schon bei Station III, am größten bei der Meßstelle die in der Stufe des einzelständigen Baumwuchses liegt (Stelle IV), gering im Horst (Stelle V).

Es ist natürlich, daß der Verlauf der Temperatur an einem durchwegs sonnigen Tag auch an den Stellen I und III hohe Maxima ergeben würde, und daß sich dann auch hier größere Schwankungen einstellen.

Die Untersuchungen Tollner's¹⁾ haben ergeben, daß an Schönwettertagen vom Gletscher herabwehende Winde eintreten, die dadurch hervorgerufen werden, daß die Luft über dem Gletscher nicht so stark erwärmt wird wie weiter unten im Tal ohne Vergletscherung. Es tritt also gerade an Schönwettertagen der abkühlende Einfluß des Gletschers hervor, der sich auf die Vegetation der Talsohle auswirken muß.

An Schlechtwettertagen hingegen, an denen sich die nicht vergletscherte Talsohle nicht stark erwärmt, und daher keine so großen Temperaturdifferenzen zwischen Gletscher und Talboden eintreten, ist nach Tollner die alpine Vergletscherung auf die Vegetation der hochgelegenen Talböden beinahe einflußlos.

Der Tagesverlauf der Bodentemperatur in 5 cm Tiefe am 22. VIII. 1931 ist in Fig. 1 der Abb. 5 dargestellt. Bei dem Gang der Bodentemperatur in dieser Tiefe zeigen sich auffallende Unterschiede zwischen den einzelnen Meßstellen. Die Lufttemperaturen bei den Meßstellen I und II können als gleich angenommen werden, da Stelle II nur 30 m von Stelle I entfernt ist. In den ersten Vormittagsstunden treten bei Stelle I (Minimum von der Nacht vom 21. auf den 22. VIII.) Minustemperaturen auf, während bei Stelle II

¹⁾ Tollner: Gletscherwinde in den Ostalpen. Meteorol. Ztschr. 1931.

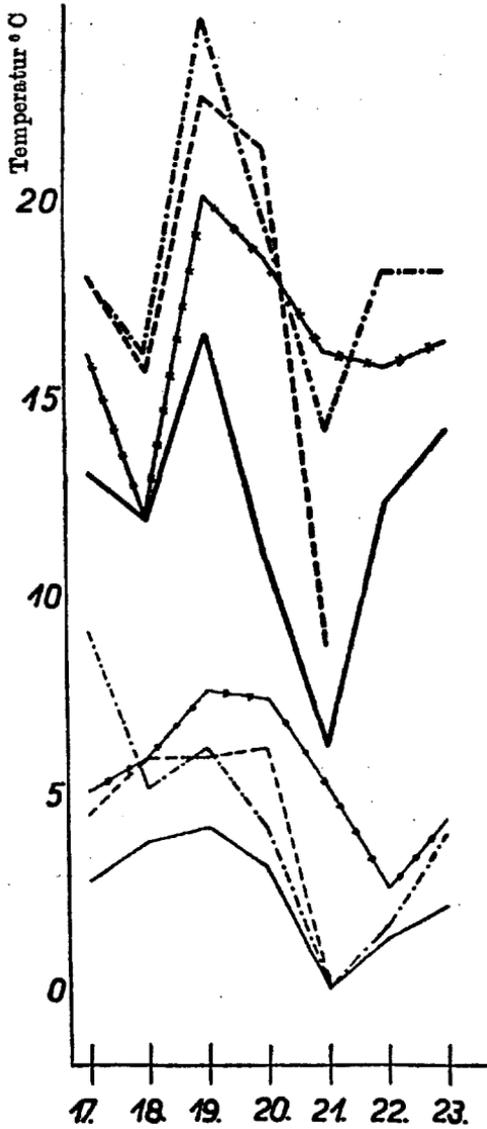


Abb. 4, Fig. 2. Extreme der Lufttemperatur in 1 m Höhe vom 17.—23. VIII. 1931

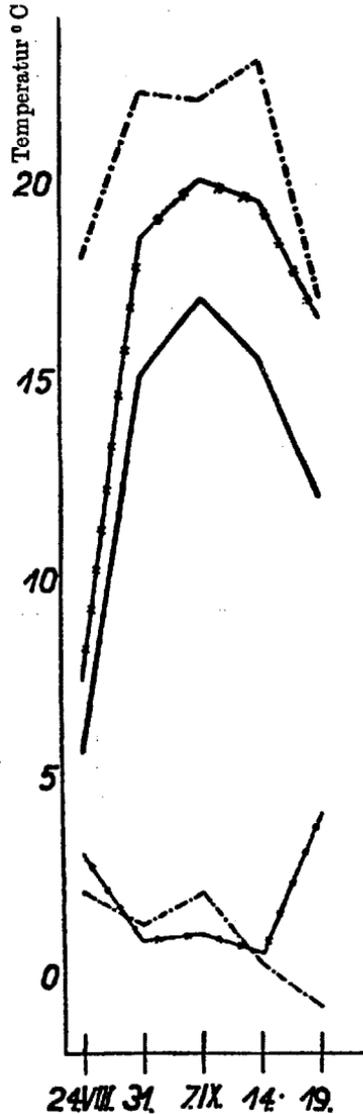


Abb. 4, Fig. 3. Extreme der Lufttemperatur in 1 m Höhe vom 24. VIII.—19. IX. 1931

(Beginn der ersten sporadischen Vegetation) 0°C nicht unterschritten wird. Hier bei I kommt der Einfluß der Gletschernähe auf die Bodentemperatur ganz deutlich zur Gel-

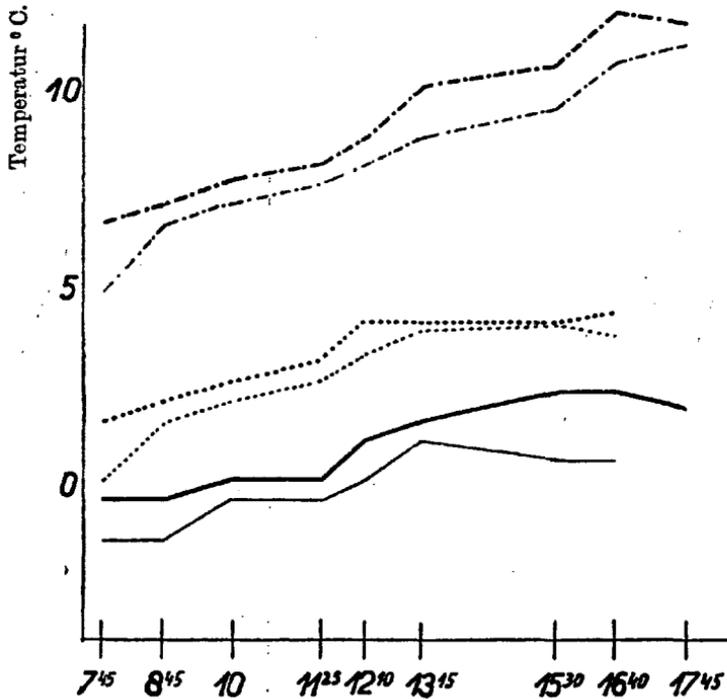


Abb. 5, Fig. 1. Temperaturextreme des Bodens in 5 cm Tiefe am 22. VIII. 1931

— I
 II
 - · - · - IV

stark ausgesogen: Maxima,
 schwach ausgesogen: Minima.

tung, was sich auch im täglichen Temperaturverlauf ausdrückt. Die Bodentemperaturen an Stelle I bleiben den ganzen Tag über gegen Stelle II um etwa 2°C zurück. Weit über beiden liegt die Bodentemperatur in 5 cm Tiefe in der

Stufe des einzelständigen Baumwuchses u. zw. um 8°C über der Bodentemperatur der Stelle I und um 6°C über jener der Stelle II; dies wirkt sich auch in den ersten bewölkten

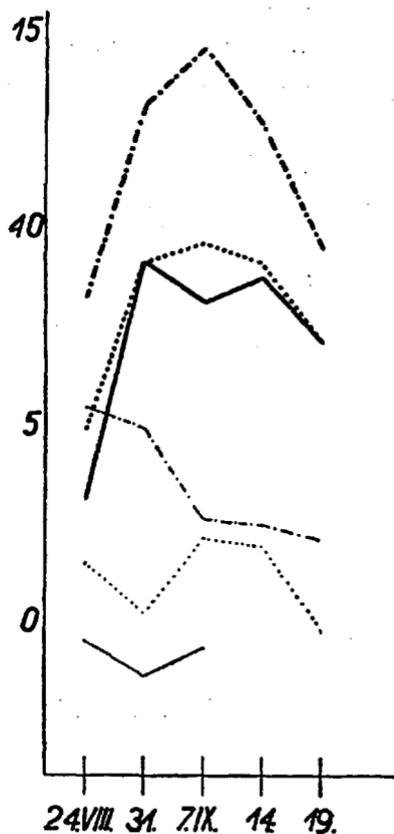
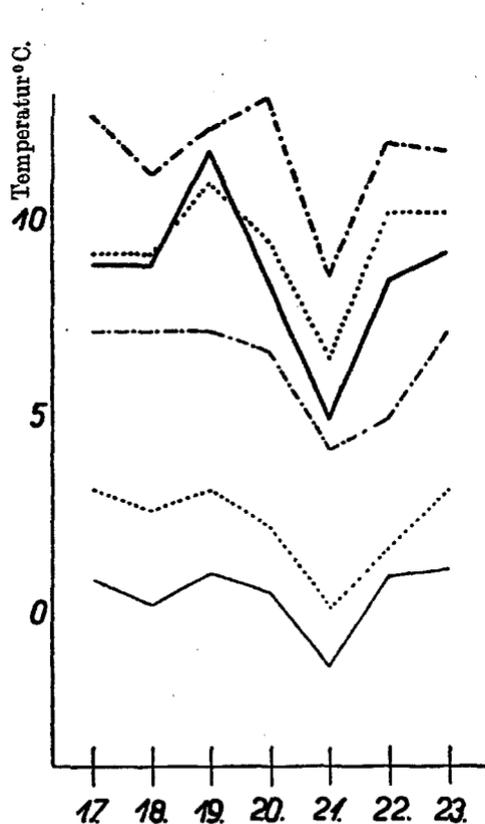


Abb. 5, Fig. 2. Temperaturextreme des Bodens in 5 cm Tiefe vom 17.—23. VIII. 1931

Abb. 5, Fig. 3. Temperaturextreme des Bodens in 5 cm Tiefe vom 24. VIII.—19. IX. 1931

stark ausgezogen: Maxima, schwach ausgezogen: Minima.

Vormittagsstunden aus. Die größere Temperaturzunahme bei Stelle IV ist auf die direkte Insolation (Schönwetter) zurückzuführen, die bei Stelle I und II fehlte. Die Bedeutung des Bodentemperaturganges für die Vegetationsverhältnisse wird noch besprochen werden.

Fassen wir nun den Gang der Bodentemperaturen in 20 cm Tiefe am 22. VIII. zusammen (Abb. 6, Fig. 1), so ist zu ersehen, daß sich der tägliche Temperaturgang der bodennahen Luftschicht und die Insolation viel weniger auswirken als in 5 cm Bodentiefe. Die Schwankungen im täglichen Gang betragen hier kaum einen Grad.

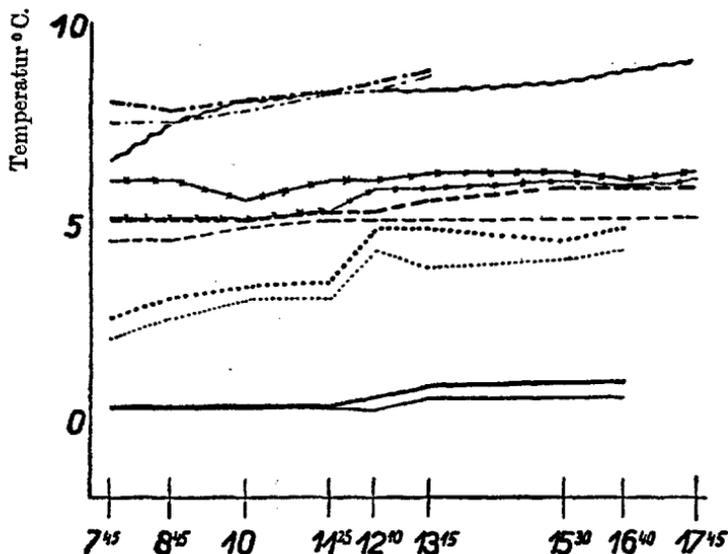
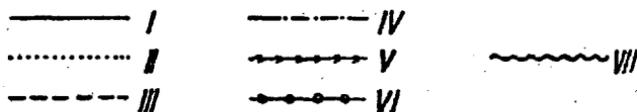


Abb. 6, Fig. 1. Temperaturextreme des Bodens
in 20 cm Tiefe am 22. VIII. 1931



stark ausgezogen: Maxima,
schwach ausgezogen: Minima.

Gegenüber den Bodentemperaturen in 5 cm Tiefe liegen jene in 20 cm Tiefe in den Morgenstunden etwas höher, ab 11 Uhr jedoch wesentlich tiefer. Am kältesten ist Stelle I (Gletschernähe), dann folgt Stelle II, dann Stelle III (also in

der Reihenfolge der Entfernung vom Gletscher); nun folgt Stelle V (Fichtenhorst im Kampfgürtel des bestandesmäßigen Vorkommens), dagegen zeigen die Stellen IV und VII höhere (nahezu gleich hohe) Bodentemperaturen in 20 cm Tiefe. Die Almwiese und die Stufe des einzelständigen Auftretens der Holzarten zeigen entsprechend dem höheren Insulationsgenusse auch höhere Bodentemperaturen als die Fichten-
gruppe im Kampfgürtel des bestandesmäßigen Vorkommens.

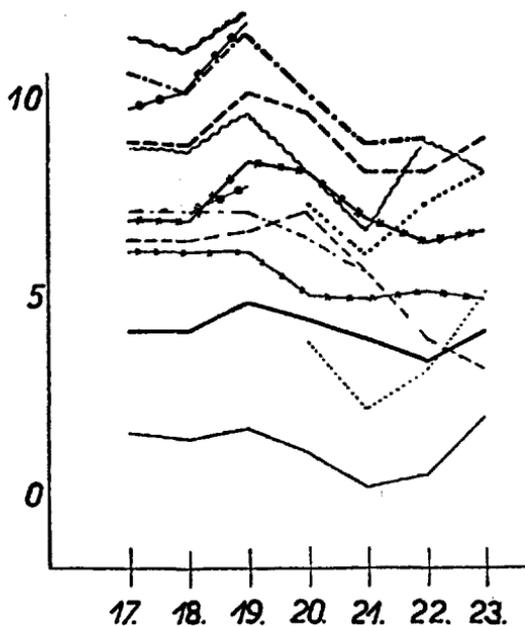


Abb. 6, Fig. 2. Temperaturextreme des Bodens
in 20 cm Tiefe vom 17.—23. VIII. 1931

stark ausgezogen: Maxima, schwach ausgezogen: Minima.

Die Bodentemperaturen dieser Meßstellen in 20 cm Tiefe liegen gegenüber den Stellen I und II um 5—8°, bzw. um 1—4° C höher, die der Stelle II um 3—4° C.

Die täglichen Temperaturextreme von Luft und Boden der Woche vom 17.—23. VIII. 1931 sind den Fig. 2 der Abb. 4, 5, 6 zu entnehmen.

Die Witterung während dieser Zeit hatte folgenden Charakter:

17. VIII. Nacht: Regen. Vorm. Aufheiterung. Nachm. Nebeltreiben mit leichtem Regen; Wind: SSW.

18. VIII. Nacht: klar. Vorm. und Nachm. leichte Bewölkung; gegen Abend leichter Regen; Wind: SSW.

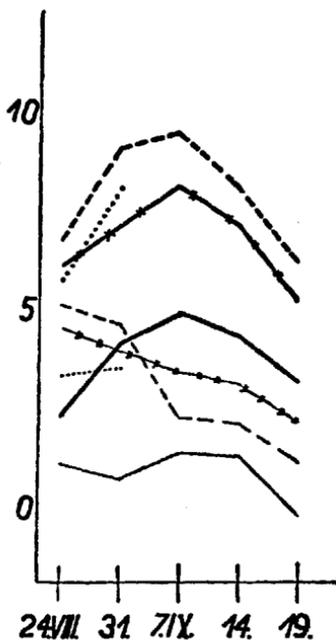


Abb. 6, Fig. 3. Temperaturextreme des Bodens
in 20 cm Tiefe vom 24. VIII.—19. IX. 1931
stark ausgezogen: Maxima, schwach ausgezogen: Minima.

19. VIII. Nacht: klar. Vorm. und Nachm. Schönwetter, leicht bewölkt. Wind: SSW.

20. VIII. Nacht: klar. Vorm. Gewitter, Regen. Nachm. vorübergehende Aufheiterung, dann heftiger Regen bis in die Nacht. Wind: SSW.

21. VIII. Nacht: (Vom Gletscher bis zur Waldgrenze Neuschnee). Vorm. Aufheiterung. Nachm. starke Bewölkung mit zeitweisem leichtem Regen. Wind: SW.

22. VIII. Nacht: klar. Vorm. leicht bewölkt. Nachm. Zunahme der Bewölkung. Wind: SW.

23. VIII. Nacht: Nebel. Vorm. Nebel. Nachm. Regen.

Mit Ausnahme des 19. VIII., an dem schönes Wetter herrschte, fiel an den übrigen Tagen die direkte Sonnenstrahlung nahezu fort. Die vorherrschenden SW-Winde strömten vom Mittelbergferner ins Tal.

Die tiefsten Lufttemperaturen (Abb. 4, Fig. 2) überhaupt ergaben sich bei den Max. und Min. der Meßstelle I, also in der Gletschernähe. Die höchsten Maxima liegen an Schönwettertagen (August) in der Stufe des einzelständigen Vorkommens und der Baumgrenze; dazwischen liegen jene im Kampfgürtel des bestandesmäßigen Vorkommens. Bei diesen Verhältnissen macht sich die Wirkung der direkten Sonnenstrahlung und der Gletscherwinde an Schönwettertagen bemerkbar. Sobald die direkte Strahlung wegfällt, also z. B. in der Periode schlechten Wetters vom 20.—23. VIII., tritt sofort eine Änderung ein. Die Maxima der Lufttemperatur der gletschnahen Station (I) und der Baumgrenze (III) fallen sehr stark ab, schwächer jene der Meßstelle des einzelständigen Baumwuchses (IV), am geringsten jene im Kampfgürtel des bestandesmäßigen Auftretens der Holzarten (V.) Die in dieser Arbeit getroffene sich naturgemäß ergebende Einteilung der Stufen von der Waldgrenze zur Baumgrenze kommt auch im Temperaturgang zum Ausdruck, was für die Berechtigung dieser Einteilung als einer naturgemäßen spricht (siehe S. 192).

Von den Minima der Lufttemperaturen sind jene des Kampfgürtels des bestandesmäßigen Auftretens am höchsten, am niedrigsten jene der gletschnahen Meßstelle. Bei Einbruch des schlechten Wetters sinken alle Minima der Lufttemperatur mit Ausnahme jener der Meßstelle V auf 0° C herab.

Der Häufigkeit nach liegen die meisten Werte der Lufttemperaturmaxima bei der

Meßstelle	I	zwischen	10 ⁰	und	15 ⁰	C
	III ¹⁾ .	„	15 ⁰	„	23 ⁰	
	IV	„	15 ⁰	„	20 ⁰	
	V	„	15 ⁰	„	20 ⁰	

die Temperaturminima bei der

Meßstelle	I	zwischen	0 ⁰	und	5 ⁰	C
	III	„	4 ⁰	„	7 ⁰	
	IV	„	3 ⁰	„	7 ⁰	
	V	„	5 ⁰	„	8 ⁰	

Ein Vergleich der Tagestemperaturextreme vom 17.—23. VIII. in 5 cm Bodentiefe (Abb. 5, Fig. 2) ergibt: Die höchsten Maxima liegen bei Stelle IV, geringere bei Stelle II und (der Häufigkeit nach) noch tiefere bei Stelle I. Noch deutlicher prägen sich die Unterschiede bei den Minima der Bodentemperaturen in 5 cm Tiefe aus. Minuswerte treten nur bei Stelle I auf.

Der Häufigkeit nach liegen die meisten Werte der Bodentemperaturmaxima in 5 cm Tiefe bei der

Meßstelle	I	zwischen	8 ⁰	und	10 ⁰	C
	II	„	9 ⁰	„	11 ⁰	
	IV	„	11 ⁰	„	14 ⁰	

und der Temperaturminima bei

Meßstelle	I	zwischen	0 ⁰	und	2 ⁰	C
	II	„	2 ⁰	„	4 ⁰	
	IV	„	5 ⁰	„	7 ⁰	

Die Schwankungen zwischen den Temperaturextremen in 5 cm Bodentiefe sind am größten bei Stelle I (6—10⁰ C), kleiner bei Stelle II (6—7⁰ C) und am geringsten bei Stelle IV (4—6⁰ C).

Der Gang der Tagesextreme der Bodentemperatur in 20 cm Tiefe (Abb. 6, Fig. 2) ist folgender:

¹⁾ Rückstrahlung von Steinblöcken, Windschutz.

In 20 cm Tiefe weist die Meßstelle I die tiefsten Maxima im Gesamtverlauf auf, hierauf folgen aufsteigend die Meßstellen II, V, III, IV (VI und VII). Die Stellen VI und VII, von denen leider nur von 3 Tagen Ergebnisse vorliegen, dürften im allgemeinen noch höhere Temperaturen aufweisen. Die tiefsten Minima zeigt wieder Stelle I, dann folgen Stelle II, V, III, IV, VII. Nur bei der Stelle I fällt die Temperatur bis 0° C. Bei I und II macht sich die Gletschernähe bemerkbar.

Die in den einzelnen Stufen auftretenden Unterschiede der Bodentemperatur in 20 cm Tiefe kommen deutlich in der Häufigkeit des Auftretens der Temperaturwerte zum Ausdruck. Die häufigsten Werte der Temperaturmaxima in 20 cm Tiefe lagen bei

Meßstelle	I zwischen	3° und	5° C
II	„	7°	„ 9°
III	„	8°	„ 11°
IV	„	10°	„ 12°
V	„	6°	„ 9°

Die Temperaturminima liegen bei

Meßstelle	I zwischen	0° und	2° C
II	„	2°	„ 6°
III	„	3°	„ 7°
IV	„	5°	„ 8°
V	„	4°	„ 7°
VI	„	7°	„ 8°
VII	„	8°	„ 10° (zu wenig Messungen).

Also auch im Temperaturgang in 20 cm Tiefe ergaben sich Unterschiede in den einzelnen Stufen.

Gegenüber den Extremen in 5 cm Tiefe liegen die Extremwerte in 20 cm Tiefe niedriger, und zwar bei I um 5° C, bei II um 2—3° C und bei IV um 1,2° C.

Bei der dem Gletscher am nächsten gelegenen Meßstelle I ist die Temperaturdifferenz zwischen 5 und 20 cm Tiefe am größten. Die unterirdische Abkühlung

durch den Gletscher wirkt der Wärmespeicherung entgegen.

Im allgemeinen sind die Schwankungen in 20 cm Tiefe bedeutend geringer als die in 5 cm Tiefe. Es ist ein im allgemeinen gleichartiger, jedoch in seinen Extremen abgeschwächter Verlauf der Temperaturkurven festzustellen. Die Differenz zwischen Maxima und Minima ist am größten bei I und II (4°C), kaum geringer bei IV ($3\text{--}4^{\circ}\text{C}$), jedoch bedeutend geringer bei V ($1\text{--}3^{\circ}\text{C}$). Bei der Almwiese beträgt, soweit hier aus den spärlichen Messungen (Thermometer gebrochen) geschlossen werden kann, die Differenz $2\text{--}3^{\circ}\text{C}$.

Als letztes sind noch die Wochenextreme der Temperaturen in der Zeit vom 24. VIII. — 19. IX. zu besprechen (Fig. 3 der Abb. 4, 5, 6).

Die Betrachtung der Wochenextreme der Temperatur bringt eine Bestätigung der aus den Tagesextremen abgeleiteten Feststellungen. Der allgemeine Verlauf der Lufttemperatur (Abb. 4, Fig. 3) ist ähnlich; am tiefsten bei I, höher bei V, am höchsten bei VI. Der am 14. IX. erfolgte Schneefall äußerte sich gleichmäßig durch einen starken allgemeinen Temperaturrückgang.

Der Verlauf der Bodentemperaturen in 5 cm Tiefe (Abb. 5, Fig. 3) entspricht ganz den bei den Tagesextremen festgestellten. Am tiefsten sind sie bei I und II, am höchsten bei IV.

Von den Bodentemperaturen in 20 cm Tiefe (Abb. 6, Fig. 3), liegen die tiefsten Maxima bei Meßstelle I, dann folgt V und schließlich III. Die tiefsten Minima ergeben sich wieder bei I, hierauf folgt III und schließlich V.

Leider ist die Messungsreihe bei Stelle II nicht vollständig, da das Thermometer brach. Aus den beiden Werten, die sich auf 8 Tage erstrecken, geht jedoch hervor, daß Stelle II gegenüber I in 20 cm Tiefe höhere Maxima- und Minimatemperaturen aufweist. Der Unterschied in den Temperaturextremen in 20 cm Tiefe zwischen I und II ist bedeutend größer als in 5 cm Tiefe; in 5 cm Bodentiefe kommt der Gang der Wärme-

verhältnisse der bodennahen Luftschicht stärker zum Ausdrück, er wirkt dem Gletschereinfluß entgegen. In 20 cm Tiefe äußert sich die unterirdische Abkühlung durch den Gletscher auf Meßstelle I besonders auffallend. Meßstelle II steht, wie der Vergleich der Messungen ergibt, schon unter geringerem Gletschereinfluß.

Aus den Messungen ergibt sich:

Der Gang der Lufttemperatur in 100 cm Höhe über dem Boden wird mit zunehmender Entfernung vom Gletscher für den Pflanzenwuchs vorteilhafter; es zeigt sich eine Erhöhung der Temperaturmaxima und -Minima.

Der direkte Einfluß des Gletschers auf die Lufttemperatur wirkt sich also nicht auf große Entfernung aus.

Die Lufttemperaturverhältnisse ergeben deutliche Unterschiede in den einzelnen zwischen der Waldgrenze und der Baumgrenze liegenden, die Art des Auftretens der Holzarten umfassenden Stufen; diese Unterschiede lassen eine Charakterisierung dieser Stufen hinsichtlich der Lufttemperaturen zu. Von Bedeutung für den Pflanzenwuchs im Hochgebirge sind entschieden jene Lufttemperaturverhältnisse, die sich in den Schlechtwetterperioden während der Vegetationszeit bzw. zu Beginn und am Ende derselben (vor Abschluß des jährlichen Wachstums) einstellen. Die Daten der Messungsreihe lassen deutlich erkennen, daß der Rückgang der Lufttemperatur in solchen Zeiten von der Grenze des Gletschers zur Waldgrenze immer geringer wird. An der Waldgrenze und im Kampfgürtel des bestandesmäßigen Vorkommens spielt dabei natürlich die Sperrwirkung der Baumkronen gegen die Insolation und die Ausstrahlung eine große Rolle.

Während im Kampfgürtel des bestandesmäßigen Vorkommens (Stufe des Horststandes) die Minima der Luft-

temperatur noch nicht auf 0° bzw. unter 0° C sanken, war dies in der Zone des Einzelstandes schon der Fall. Im Kampfgürtel des bestandesmäßigen Vorkommens fehlten Frostschäden an den jungen Fichten, in der Stufe des Einzelstandes waren sie häufig feststellbar, was mit den Ergebnissen der Messungen übereinstimmt.

Überblickt man die Ergebnisse der Bodentemperaturmessungen in 5 und 20 cm Tiefe, so läßt sich feststellen:

Die Bodentemperaturen in 5 cm Tiefe lassen deutlich erkennen, daß ihr Gang in enger Abhängigkeit von der direkten Strahlung und der Lufttemperatur steht. Der Gang der Lufttemperatur zeichnet sich im Gang der Bodentemperatur in 5 cm Tiefe noch sehr deutlich ab.

Im Gang der Bodentemperatur in 20 cm Tiefe ist der tägliche Gang der Lufttemperatur nur noch sehr schwach, oft gar nicht mehr wiederzuerkennen. Die Bodentemperaturen in 20 cm Tiefe sind dementsprechend viel ausgeglichener, zeigen viel geringere stündliche, tägliche und wöchentliche Schwankungen als in 5 cm Tiefe.

Bei fehlender direkter Strahlung ist der Einfluß der Lufttemperatur auf die Bodentemperatur in der gletschernahen Meßstelle am geringsten. Durch die Wirkung des Gletschers wird sie in dessen Nähe hiebei am stärksten beeinflusst.

Wenn wir die beiden Meßstellen I und II hinsichtlich der Bodentemperaturen miteinander vergleichen, so ergeben sich hier sowohl in den stündlichen, täglichen und den wöchentlichen Extremen Unterschiede, obzwar die beiden Meßstellen nur 30 m voneinander entfernt sind. Während die nächste Umgebung des Gletschers gar keine Vegetation aufweist, findet sich der Beginn der ersten spärlichen Vegetation etwa 30 m vom Gletscherende entfernt. Diese Stelle ist nun auch durch die Bodentemperaturverhältnisse ausgezeichnet. Die Bodentemperatur der vegetationslosen Umgebung des Gletschers wird durch ihn stark beeinflusst, was in den Extremwerten deut-

lich zum Ausdruck kommt. Hier sinkt die Bodentemperatur während der Vegetationszeit häufig unter 0°C herab, während sie bei der nur 30 m entfernten Stelle II noch über 0° bleibt. Deutlich zeigen auch die häufigsten Werte, die in der Zeit der Messungen auftraten (August, September), hier in 5 cm Tiefe um $2\text{--}3^{\circ}\text{C}$ und in 20 cm Tiefe sogar um $2\text{--}4^{\circ}\text{C}$ höhere Minima der Bodentemperaturen. Das Ausbleiben der Vegetation beim Gletscher ist auf die starke Herabminderung der Bodentemperatur durch den Gletschereinfluß zurückzuführen und reicht so weit, als dieser die Bodentemperatur stark herabsetzt. Der Gletscher wirkt der Wärmespeicherung durch Strahlung und Lufttemperatureinfluß der bodennahen Luftschichte bis zu einer bestimmten Entfernung stark entgegen. Beim Mittelbergferner beträgt sie 30 m.

Die von der Gletschergrenze zur Waldgrenze sich allmählich ändernden Bodentemperatur- und Lufttemperaturverhältnisse spiegeln sich in der Vegetation wieder.

Wie aus den Messungen ersichtlich ist, sinkt an Schlechtwettertagen des Herbstes die Bodentemperatur in der Stufe des einzelständigen Vorkommens der Holzarten nicht unter 5°C . In der Gletschernähe sind die Verhältnisse ungünstiger. Durch niedrigere Temperaturen wird aber die Wasseraufnahme, die Durchlässigkeit der Pflanzenzellen und hiedurch die Nährstoffaufnahme gehemmt¹⁾.

Innerhalb der Reihe Gletschergrenze — Waldgrenze werden sich natürlich bei weiteren eingehenden Messungen noch Unterschiede kleinklimatischer Natur auch auf geringe Entfernungen ergeben; dies zeigt schon der Vergleich der Meßstellen I und II.

Um einen Überblick über die Wärmeverhältnisse der Luft und des Bodens von der Wald- bis zur Baumgrenze am Ost-

¹⁾ Benecke-Jost: Pflanzenphysiologie I, 1924.

rand der Alpen zu erhalten, und hiedurch einen Vergleich mit den in den Zentralalpen durchgeführten Pitztaler Messungen durchführen zu können, wurden auch Messungen der Lunzer Stationsreihen summarisch herangezogen. Die ausführlichen Besprechungen dieser Messungen werden an anderer Stelle erfolgen, hier sei nur der Vergleich der Temperaturverhältnisse durchgeführt. Dieser ist natürlich nur bedingt möglich, da es sich in einem Fall um voralpine, im anderen um hochalpine Verhältnisse handelt. Außerdem liegen aus dem Dürnrsteingebiet die Ergebnisse eines Jahres, aus dem Pitztal solche von etwas über einem Monat vor.

Der Vergleich wird mit den Messungsergebnissen des gleichen Zeitraumes, des gleichen Jahres, bei gleicher Art der Aufstellung der Instrumente mit den etwa korrespondierenden Stationen durchgeführt. Unter korrespondierenden Stationen sind solche gemeint, die die gleiche Lage zur Wald- und Baumgrenze haben. Vergleichszeitraum ist die Zeit vom 24. VIII. — 22. (19.) IX. 1931. In den beiden Gebieten herrschte gleiche Wetterlage mit gleichzeitigem Schneeeinbruch am 14. IX. 1931.

Im Dürnrsteingebiet, an der windausgesetzten Seite, liegt die Baumgrenze bei ca. 1560 m, also wesentlich tiefer als der Dürnrsteingipfel (1877 m) und auch wesentlich tiefer als im Pitztal.

Die Lufttemperaturextreme in gleicher Höhe über dem Boden sind am Dürnrstein hinsichtlich der Maxima nicht wesentlich von jenen am Fuße des Mittelbergferners verschieden. Der Kampfgrütel des Baumwuchses im Pitztal weist bezüglich Maxima und Minima entsprechend höhere Werte auf als die Baumgrenze des Dürnrsteingebietes. Wenn es sich in diesen und in anderen zum Vergleich herangezogenen Fällen auch nicht um korrespondierende Stationen handelt, so kann doch geschlossen werden, daß in beiden Gebieten ähnliche Lufttemperaturen herrschten. Die Bodentemperaturen des untersuchten Dürnrsteingebietes liegen natürlich wesentlich höher als jene des Pitztaler Gebietes. Die Minima der Boden-

temperatur im Kampfgürtel des Baumwuchses im Pitztal sind ähnlich jenen des Gebietes knapp ober der Baumgrenze im Dürrnsteingebiet. Die Maxima der Bodentemperatur sind am Dürrnstein wesentlich höher als in den gletschernahen Stationen; ober der Baumgrenze liegen sie hier noch höher als im Kampfgürtel des Baumwuchses im Pitztal.

Im Kampfgürtel des bestandesmäßigen Vorkommens ergeben sich hinsichtlich der Bodentemperatur keine wesentlichen Unterschiede; es zeigt sich im Gegenteil eine ziemlich gute Übereinstimmung beider Gebiete.

Die dem Ansturm der W- und NW-Winde ziemlich frei ausgesetzten Gipfel des Ostrand des Alpen zeigen schon in geringeren Höhenlagen als dies im Hochgebirge der Fall ist, ähnliche Lufttemperaturen. In den Hochalpen sind die Stufen gleicher Höhenlage gegenüber jenen der Voralpen im allgemeinen begünstigt. Den hochalpinen Gebieten kommen die günstigeren klimatischen Verhältnisse größerer und zusammenhängender Massenerhebungen zugute.

Die tiefere Lage der Wald- und der Baumgrenze in den Erhebungen der Ostalpen dürfte, wie aus den Lunzer-Beobachtungen und dem Vergleich mit dem Pitztal hervorgeht, in erster Linie auf die Verhältnisse der Lufttemperatur, und auch auf die starke Windwirkung zurückzuführen sein. Die Bodentemperatur übt hingegen in diesem Falle auf die Höhengrenzen des Waldes und Baumwuchses keinen Einfluß aus.

Bodenmikroorganismen.

Im Zusammenhang mit den klimatischen Verhältnissen werden die Bodenmikroorganismen kurz besprochen.

Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse spielen für die Entwicklung und die Lebenstätigkeit von Mikroorganismen eine große Rolle. Durch die dem Hochgebirge eigentümlichen klimatischen Verhältnisse werden daher die Mikroorganismen stark beeinflußt.

Kürsteiner und Düggeli¹⁾ haben gezeigt, „daß die Ungunst des alpinen Klimas keineswegs die Mikroflora des Bodens zurückzudrängen vermag“. Es handelt sich wohl nur um eine Beschränkung ihrer Lebenstätigkeit.

Da die im Boden lebenden Protozoen nach Friedrichs²⁾ von weltweiter Verbreitung sind, dürfte im Auftreten der Arten nach kein wesentlicher Unterschied bestehen; wohl aber dürfte ein solcher insbesondere im verschiedenen gegenseitigen Zahlenverhältnis und wahrscheinlich besonders auch im verschiedenen Zahlenverhältnis zwischen Bodenbakterien und Protozoen liegen. Den Protozoen kommt, da sich viele im Boden lebende Arten derselben von Bakterien ernähren, eine regelnde Rolle in der Bevölkerung des Edaphons zu. Es ist möglich, daß auch die jahreszeitlichen Schwankungen in der Wohndichte der Bodenbakterien (auf die unter anderen auch von Fehèr und Varga hingewiesen wird) auf die verschieden intensive Tätigkeit der Protozoen, die in einigen Sommermonaten (bei geringer Feuchtigkeit) inaktiv sind, zurückgeführt werden können.

Aus den Untersuchungen von Janke und Szilvinyi³⁾ geht hervor, daß die einzelnen Arten und sogar die Gattungen der gewöhnlichen kosmopolitischen Bakterien sehr gleichartig auf die Umweltsbedingungen reagieren. Der Einfluß der Umwelt äußert sich weniger in einer Änderung der Zahl der Arten als in der Änderung der Individuenzahl.

Anders liegen die Verhältnisse bei den Bodenpilzen. Die Hauptmenge der Bodenpilze besteht in unseren Breiten aus Aspergillaceen, welche jedoch von der Temperatur abhängig, also klimatisch bedingt sind. Janke und Szilvinyi weisen nach, daß die untere Wachstumsgrenze der Aspergillaceen

¹⁾ Kürsteiner u. Düggeli: nach Blanck, Handbuch d. Bodenlehre. III. S. 101.

²⁾ Friedrichs: Die Grundlagen und Gesetzmäßigkeiten der land- und forstwirtschaftlichen Zoologie. 1930.

³⁾ Janke u. Szilvinyi: Bericht über die bisherigen Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchungen im Lunzer Gebiet (nicht im Buchhandel erschienen).

bei ungefähr 10° liegt. Das Optimum liegt bei den einzelnen Arten verschieden, bei ungefähr $15\text{--}25^{\circ}\text{C}$. Je länger die Bodentemperatur innerhalb des physiologisch günstigen Bereiches liegt, also über 10°C , umso reicher ist der Boden an diesen Arten. In dem für vorliegende Untersuchungen in Frage kommenden Entwicklungsstätten der genannten Bodenpilze kommen Temperaturen, welche die obere physiologische Temperaturgrenze der Aspergillaceen erreichen, bzw. überschreiten, im allgemeinen kaum in Frage. Jahreszeitliche Schwankungen wurden bei den Aspergillaceen und auch bei den Actinomyceten nachgewiesen. Der Einfluß der Umwelt drückt sich also bei den Schimmelpilzen hauptsächlich in einer Veränderung der Artenzusammensetzung aus, da die einzelnen Genera in verschiedenem Maße von den klimatischen Faktoren beeinflußt werden.

Von Bedeutung für die Entwicklung der Aspergillaceen sind daher die kleinklimatischen Verhältnisse. Wie schon betont wurde, sinken die Bodentemperaturen in Böden, denen die lebende Bodendecke fehlt, häufiger und tiefer ab als in Böden mit lebender Pflanzendecke. Es liegen daher in Böden ohne lebende Pflanzendecke für die Aspergillaceen ungünstigere Verhältnisse vor. Untersuchungen über den Zusammenhang des täglichen Ganges der Bodentemperatur mit der Wohndichte der genannten Bodenpilze würden nähere Aufschlüsse geben.

Die im Pitztal (siehe S. 477) im warmen Monat August durchgeführten Messungen, lassen erkennen, daß die Bodentemperaturminima in 5 cm Tiefe nur bis zur Baumgrenze den Schwellenwert von 10°C erreichen, während sie mit zunehmender Annäherung an den Gletscher ständig unter 10°C liegen. (Vergleiche Bodentemperaturgang am 22. VIII. in 5 cm Tiefe, Abb. 5.) Die Maxima der Bodentemperatur überschreiten nur bis zur Stufe des einzelständigen Vorkommens wesentlich den Wert von 10°C . Mit zunehmender

Annäherung an den Gletscher wird der Wert von 10°C nur gelegentlich überschritten bzw. erreicht.

Die Messungsreihe läßt die Baumgrenze als eine für die Aspergillaceen bodenklimatisch wichtige Grenze erscheinen und zeigt die mit zunehmender Gletschnähe für die Aspergillaceen immer ungünstiger werdenden bodenklimatischen Verhältnisse erkennen.

Bei den Fungi imperfecti liegt nach Janke und Szilvinyi eher eine Abhängigkeit von der relativen Feuchtigkeit des Bodens, somit auch von edaphischen Faktoren vor.

Auf die Bedeutung der Bodenwärme für die Mikroorganismen und die damit auch im Zusammenhang stehende Kohlensäureproduktion aus dem Boden hat Kaserer¹⁾ hingewiesen. Für den Ernteertrag ist ein Witterungsgang, der die Mikroorganismen des Bodens veranlaßt, das Maximum der Kohlensäureproduktion gerade in die Zeit des stärksten Bedarfes der grünen Pflanze zu verlegen von Bedeutung. Für die Deckung des Kohlensäurebedarfes, insbesondere der niedrigeren „Bodenpflanzen“ — somit auch der Verjüngungen — spielt die „bodenbürtige“ Kohlensäure eine Rolle.

Nach Sorauer ist das Wachstum der Mehrzahl der die Fruchtbarkeit des Bodens bedingenden Mikroorganismen an einen reichlichen Wechsel von Feuchtigkeit und abtrocknender Durchlüftung bei genügender Wärme gebunden. Bei schweren Böden fehlen in nassen Perioden diese Verhältnisse.

Düggeli²⁾, der die Spaltpilzflora alpiner Böden untersuchte, stellte fest, daß sowohl Bearbeitung und Düngung als auch Reaktion und Humusgehalt von maßgebender Bedeutung sind.

Neutrale Reaktion ist für die Entwicklung der Bakterien günstiger als schwach saure. Düggeli stellte eine große

¹⁾ Kaserer: Die Beziehungen zwischen Bodentemperatur und Lufttemperatur in ihrem Einfluß auf den Ernteertrag. Fortschr. d. Landw. 1927.

²⁾ Düggeli: Studien über die Bakterienflora alpiner Böden. Schröter Festschrift. Veröff. d. geobot. Inst. Rübel, Zürich 1925, Heft 3.

Armut an züchtbaren Bakterien in Waldböden mit saurer Reaktion und bedeutenden Rohhumusgehalt fest. Rohhumusböden alpiner Herkunft sind nach Düggeli überhaupt arm an nachweisbaren Bakterien.¹⁾

Für subalpine Verhältnisse hat Feher²⁾ festgestellt, daß das Maximum der nitrifizierenden Bakterien mit einem Minimum der denitrifizierenden Bakterien zusammenfällt. Nach diesem Autor wird der Nitratstickstoffgehalt des Waldbodens durch die korrelativen Änderungen folgender Faktoren beeinflusst: 1. durch den Verbrauch seitens des Bestandes, 2. durch die Änderungen in der Verteilung der nitrifizierenden und denitrifizierenden Bakterien, 3. durch die Luft- und Bodentemperatur. Das Sommermaximum wird durch die höheren Temperaturen dieser Jahreszeit beeinflusst. Nach Feher ist der Humusgehalt des Waldbodens einem ständigen Wechsel unterworfen; er betrachtet den Stickstoffkreislauf als eine dynamische Erscheinung.

Für die Verhältnisse im Hochgebirge wäre es interessant festzustellen, inwieweit sich die in den Stufen von der Wald- bis zur Baumgrenze häufig einstellenden großen Temperaturschwankungen in dieser Richtung auswirken. Die Kohlen säureproduktion z. B. muß hier auch großen Schwankungen unterworfen sein, wie aus den Bodentemperaturuntersuchungen im Pitztal geschlossen werden kann.

Wichtige Aufschlüsse über die Tätigkeit der Mikroorganismen in der Humusschichte geben die Untersuchungen Melin's³⁾, die er in Neubraunschweig (V. St. v. N. A.) durchführte. Er beurteilte die Aktivität der Mikroorganismen,

¹⁾ Düggeli: Studien über den Einfluß von Rohhumus auf die Bakterienflora der Böden. Schinz Festschr. Bei-Blatt 15, zur V. j. Schr. d. Nat. Forsch. Ges. Zürich 73, 1928.

²⁾ Feher: Der Stickstoffkreislauf des Waldbodens. Wr. Allg. Forst- u. Jagd-Zg. 1932.

³⁾ Melin: Aktivität der Mikroorganismen in der Humusschichte einiger Waldtypen gemessen an der CO₂-Entwicklung. Referat i. Centralbl. f. d. ges. Forstwes. 1920. von Schreiber.

die Lebhaftigkeit ihrer Abbautätigkeit nach der von ihnen erzeugten Kohlensäuremenge. Es wurden bei der Probenahme stets die Vermoderung- und Humusstoffschicht (F und H Horizont Hesselmanns) berücksichtigt; auch Streuproben aus einem 150-jährigen Stoben- und aus einem Buchen- und Birkenbestand wurden untersucht. Es ergab sich, daß unter sonst gleichen Bedingungen die gemessene Kohlensäuremenge der Streu- und Vermoderungsschicht von jedem untersuchten Waldtypus größer war als jene der Humusschicht.

Stobenbestand. Kohlensäureentwicklung in den ersten 28 Tagen bei	
Verwendung von 10 g Nadelstreu	337,4 mg
10 g F-Horizont	153,7 mg
10 g H-Horizont	133,7 mg
Buchenbestand: 355,4 mg	206,8 mg 84,2 mg.

Melin erklärt die geringere Kohlensäureentwicklung in der Humusstoffschicht im Vergleich zur Moder- und Streuschicht als Folge des schon weit vorgeschrittenen Abbauprozesses in dieser Schicht. Der Gehalt an leicht zersetzlichen Stoffen ist geringer geworden, es sind Substanzen übrig geblieben die durch Mikroorganismen weniger leicht angreifbar sind, z. B. Lignin. Diese Anschauung hat durch Analysen ihre Bestätigung erfahren. Hierbei wurde festgestellt, daß auch Hemizellulose zum großen Teil abgebaut wird, wenn auch in geringerem Maße als die Zellulose.

Die relativ größte Aktivität der Mikroorganismen im F-Horizont stimmt mit der von Hesselmann für ebendiesen Horizont festgestellten sehr raschen Nitrifikation überein. (Diese ist im H-Horizont stark herabgesetzt.) Es wurde auch festgestellt, daß die Wirksamkeit der Mykorrhiza-Pilze im H-Horizont geringer ist als im F-Horizont. Die Mikroflora wechselt während der verschiedenen Stadien des Streuabbaues. In der Streuschicht bewirken andere wirksame Organismen den Abbau der organischen Stoffe als in der Humusschicht.

Für den Verlauf der Wald- und Baumgrenze maßgebende Faktoren.

Über die Ursachen, die die Kampfgrütel bedingen, liegen zahlreiche Arbeiten vor, die diesen Gegenstand von verschiedenen Gesichtspunkten aus behandeln. Es muß von vornherein zwischen dem primären und sekundären Kampfgrütel unterschieden werden, also zwischen dem ursprünglichen und dem durch Menschenhand beeinflussten¹⁾. Der primäre Kampfgrütel wird von den meisten Autoren als klimatisch bedingt bezeichnet.

Zwischen der Baumgrenze und der Mitteltemperatur des wärmsten Monats bestehen nach vielen Autoren ursächliche Zusammenhänge. Die Mitteltemperatur von 10° C des wärmsten Monats stellt eine geeignete klimatische Schwelle für die Grenze des Baumwuchses dar. Dort, wo die Baumgrenze in den Wärmeverhältnissen begründet ist, liegt die Mitteltemperatur des wärmsten Monats nach Köppen²⁾ zwischen 7 und 11° C, meist zwischen 9 und 10,5° C. Auch Wegener³⁾ weist darauf hin, daß in allen Breiten im Gebirge Baumgrenze und 10° Isotherme des wärmsten Monats auffallend nahe zusammenfallen⁴⁾. Diese Angabe der Abhängigkeit der Baumgrenze von der 10° Isotherme des wärmsten Monats gilt natürlich nicht für alle Holzarten, für manche sind besonders Herbst und Frühjahr wegen der Fröste (Früh-, Spät- und Nachtfröste) von größerer Bedeutung. (Buche, Esche.) Inwieweit die obere Grenze der einzelnen, die Baumgrenze bildenden Holzarten mit der 10° Isotherme des wärmsten Monats übereinstimmt, ist noch nicht festgestellt. Die einzelnen Holzarten verhalten sich hinsichtlich ihrer Ansprüche an die Wärme verschieden. Für das zwischen 2100—2300 m liegende

¹⁾ Brockmann-Jerosch: Baumgrenze und Klimacharakter. Zürich 1919.

²⁾ Köppen: Baumgrenze und Lufttemperatur: Petermanns Mittgn. 65, 1919, S. 201 ff.

³⁾ Wegener: Das Wesen der Baumgrenze. Met. Ztschr. 1923. S. 271 ff.

⁴⁾ Rickli: Die Arve in der Schweiz. Zürich 1909. S. 406.

Zirbengebiet in den Schweizer Zentralalpen wurde eine mittlere Julitemperatur von 7,5—8,4° C festgestellt. (Rikli).

Die Tatsache, daß die biologische Grenze des Baumwuchses so weitgehend mit einer mittleren Monatsisotherme zusammenfällt, erklärt Wegener folgendermaßen: „Der hochstämmige Baum ist mit seinen lebenswichtigen Teilen vom Erdboden losgelöst, er befindet sich in der freien Luft und hat stets nahezu diejenige Temperatur, welche der Meteorologe in der „englischen Hütte“, 2 m über dem Boden als Lufttemperatur mißt¹⁾. Unter ganz anderen Bedingungen stehen aber die niederen Gewächse, welche sich nur unbedeutend über dem Boden erheben. Sie nützen den Umstand aus, daß der Boden durch die Sonnenstrahlung stärker erwärmt wird als die Luft, und finden hier noch günstige Vegetationsbedingungen, wenn die Lufttemperatur bereits zu tief ist und daher Bäume nicht mehr gedeihen können.“

Die 10° C Juliisotherme, die von vielen Autoren für den Baumwuchs als maßgebend angesehen wird, steht nach Brockmann-Jerosch mit der Baumgrenze wohl in einer bestimmten Beziehung, aber in keinem ursächlichen Zusammenhang. In den äußeren Alpenketten bleibt die Baumgrenze gegenüber der 10° C Juliisotherme zurück, während sie in den Zentralalpen bedeutend höher hinaufsteigt. Die Gebiete der relativ erhöhten Waldgrenze sind jene der großen Massenerhebungen; alle Massenerhebungen der Erde weisen aber ein kontinentales Klima auf. Der kontinentale Klimacharakter der Zentralalpen ist nach Brockmann-Jerosch die Ursache des höheren Ansteigens der Baumgrenze.

Aus seinen Überlegungen leitet Brockmann-Jerosch folgende Sätze ab:

1. Bei gleicher, verhältnismäßig niedriger Durchschnittstemperatur wird eine Funktion des Pflanzenkörpers im kontinentalen Klima viel eher möglich sein als im ozeanischen.

¹⁾ Diese Anschauung Wegeners gilt nur für Tage an denen die direkte Strahlung fehlt und da nur mit bestimmten Einschränkungen.

2. Die gleiche Funktion des Pflanzenkörpers wird im kontinentalen Klima bei einer niedrigeren Durchschnittstemperatur als in ozeanischen Verhältnissen möglich sein.

Gegen die Auffassung Brockmann-Jerosch wendet sich vor allem Köppen; nach diesem Autor „ist die Baumgrenze in ihren großen Zügen eine Funktion der Wärme und nicht des ozeanischen oder kontinentalen Klimacharakters, sonst müßte ja das ozeanische Samoa baumlos, das kontinentale Pamir ‚baumhaft sein‘“. Es wird also von Köppen der Satz Brockmann-Jerosch, „daß nicht die Lage der Isobiote als Produkt der Lage der Isotherme erscheint, sondern beide von einer dritten Größe abhängen, nämlich vom Klimacharakter“, abgelehnt. Das Ansteigen der Baumgrenze über die 10° C Isotherme in den Zentralalpen sieht Köppen nur als nicht zu verallgemeinerndes interessantes Detail an. Nach Köppen treibt nicht die Kontinentalität, sondern ihre Wirkung auf die Sommerwärme die Baumgrenze auf den Festländern empor.

Wie auch in dem Abschnitt über die Windverhältnisse erwähnt wird, ist die Lufttemperatur in 5 cm über dem Boden (insbesondere wenn er auch noch von einer niederen Pflanzendecke bedeckt ist) höher als in 1 m Höhe oder in der Höhe der Hüttenaufstellung. Für den Pflanzenwuchs spielt dies eine große Rolle. Wegener verweist anlässlich seiner Untersuchungen in Nordostgrönland auch darauf und betont, daß sich die Pflanzen durch ihr Anschmiegen an den Boden noch so viel Wärme verschaffen, „wie nach dem Zeugnis der Baumgrenze für den Pflanzenwuchs unentbehrlich ist.“ Wo auch das Mittel des Anschmiegens an den Erdboden nicht mehr zum Ziele führt, in der Antarktis, fehlen die höheren Pflanzen ganz. De Quervain¹⁾ weist darauf hin, daß im ganzen Gebiet der Waldgrenze die Mittagstemperaturen dieselbe sind.

¹⁾ De Quervain: nach Rickli a. a. O.

Die Höhengrenzen der hochalpinen Gefäßpflanzen sind im Norden bedeutend niedriger als in den Alpen. Rietz¹⁾ führte diesbezügliche Untersuchungen im nördlichen Lapp-land durch. Er stellte ein allgemeines Steigen der Stufengrenze von Osten nach Westen und von Norden nach Süden fest und führte ersteres auf den Übergang des maritimen zum kontinentalen Klima, letzteres auf die Massenerhebung zurück. Die Höhengrenzen im Norden liegen bedeutend niedriger als in den Alpen. So erreichen *Vaccinium uliginosum* und *Vaccinium vitis idaea* bei 1370 m ihre obere Grenze.

Rietz betont den Einfluß der edaphischen Faktoren auf die Höhengrenze vieler Arten. Auf Grund dieses Einflusses können manche oft nicht ihre klimatischen Höhengrenze erreichen, während andere edaphisch weniger spezialisierte Arten eine regelmäßige, vom Klima bedingte Grenze aufweisen.

Nach Fankhauser²⁾ liegt „der wichtigste Grund des lichten Standes in Hochlagen“ darin, „daß einzig dieser den Wärmebedürfnissen zu entsprechen vermag, weshalb wir ihn auch an der äußersten Grenze der horizontalen Verbreitung unserer Waldbäume im Norden Skandinaviens, Finnlands, Sibiriens usw. wieder finden.“ Durch den lichten Stand tritt nach Fankhauser ein Wärmeausgleich ein, da der freie Boden besser erwärmt wird. Dem einzelstehenden Stamm kommt auch ein höherer Lichtgenuß zu. Von Bühler³⁾ wird die ungünstige Windwirkung als Ursache der „Lückigkeit“ und erschwerend für die Verjüngung angesehen. Nach Fankhauser wird durch den Wind die am Boden lagernde warme Luft durch kalte ersetzt und die durch die Verdunstung bewirkte Abkühlung gesteigert.

Die Windwirkung dürfte jedoch bezüglich der Zentralalpen überschätzt werden, welcher Meinung auch Huber

¹⁾ Rietz: Studien über d. Höhengrenzen der hochalpinen Gefäßpflanzen im nördl. Lappland. Schröter Festschrift. Veröff. d. geobot. Inst. Rübél, Zürich 1925, S. 67 f.

²⁾ Fankhauser: nach Schröter, a. a. O.

³⁾ Bühler: nach Schröter: a. a. O.

und Szymkrievicz¹⁾ sind. Brockmann-Jerosch gibt die herabdrückende Wirkung des Windes lokal zu, glaubt aber, daß die Herabdrückung der Baumgrenze in den äußeren Alpenketten gegenüber den Zentralalpen nicht durch Wind bedingt ist. Jedenfalls kommt aber der Windwirkung eine bedeutend größere Rolle zu, als dieser Autor ihr zugesteht.

Bei den in den Zentralalpen liegenden Untersuchungsgebieten treten Windformen nur an Graten und ähnlichen windausgesetzten Stellen auf, im allgemeinen sind sie seltener zu beobachten als in den Voralpen. Es kann dies auch damit im Zusammenhang stehen, daß hier meist Zirben die Vorposten des Waldes bilden, diese aber gegen die Windwirkung, die bei der Fichte zum Fahnenwuchs führt, weniger empfindlich sind. Wenn Reishauer²⁾ im Gebiet von Volderau und Graba im Stubai die gebleichten und entnadelten Stämme auf starke Windwirkung zurückführt, so ist dies ein Irrtum. An diesen beiden Stellen wüteten vor 50—70 Jahren große Brände, die Brandleichen stehen heute noch.

Anders liegen die diesbezüglichen Verhältnisse in den Voralpen, wo dem Winde eine ganz bedeutende Rolle bei der Herabdrückung der Baumgrenze zukommt. Wenn er vielleicht auch nicht allein der bestimmende Faktor ist, so tritt seine austrocknende und scherende Wirkung doch ganz bedeutend in den Vordergrund. Auch nach Fekete und Blattny³⁾ steht es außer Zweifel, daß der Wind die oberen Grenzen des baumförmigen Vorkommens herabdrücken kann (Fichte, Buche).

Jedenfalls darf man bei der Beurteilung der die jeweilige Lage der Wald- und Baumgrenze bedingenden Ursachen keinesfalls verallgemeinern. Wenn auch der Wärme eine besondere Bedeutung zukommt, so ist sie gewiß nicht der

¹⁾ Huber und Szymkrievicz: nach Schröter, a. a. O.

²⁾ Reishauer: Höhengrenzen der Vegetation in den Stubaiern Alpen und in der Adamellogruppe. Leipzig 1904.

³⁾ Fekete-Blattny: Die Verbreitung der forstlich wichtigen Bäume und Sträucher im ungarischen Staate 1914.

allein maßgebende Faktor; bei einer Summenwirkung, wie sie immer vorliegt, müssen neben dem jeweils bestimmenden Faktor auch die anderen berücksichtigt werden.

Brockmann-Jerosch sagt mit Recht: „Wenn unter einem bestimmten Klima einem Faktor eine bestimmte Wirkung zukommt, so wird er in einem anderen eine ganz andere haben“.

Drude¹⁾ ist der Anschauung, daß für das Pflanzenleben in erster Linie die Kombination von Temperaturandauer mit der Niederschlagsart und Ergiebigkeit von Wichtigkeit ist. Dieser Autor hält es bezüglich der Temperatur für wahrscheinlich, daß „einzelne jahreszeitlich früher oder später fallende besondere Abweichungen vom Mittel von viel höherem Einfluß sind, als die Mittel selbst, besonders wenn man die thermischen Abweichungen mit Niederschlag, Wind und Feuchtigkeit ... in Verbindung bringen kann.“ Die Bedeutung der einzelnen Klimafaktoren für den Pflanzenwuchs ist je nach der Jahreszeit eine verschiedene; während zu Beginn der Vegetationsperiode der Wärme eine hervorragende Rolle zukommt, ist im Sommer der Faktor Wasser von besonderer Bedeutung.

Bis auf die spärlichen Temperatur- und Niederschlagsmessungen liegen aus dem untersuchten Gebiet der Baumgrenze fast keine Messungen vor, wodurch ein Schluß auf die Beziehungen zwischen diesen Faktoren und deren Auswirkung nur zum Teil für bestimmte untersuchte Fälle möglich wird.

Einige Autoren halten, wie schon erwähnt, den Kampfgürtel für edaphisch bedingt. So ist vor allem Scharfetter der Meinung, daß die Einzelstellung durch die Nährstoffarmut der Hänge und durch das „Fehlen der (abgespülten) Sedimente“ bedingt ist. Wo auf gutem Boden Einzelbäume vorkommen, ist nach Scharfetter auch Wald möglich. Dagegen hebt

¹⁾ Drude: Physionomie, Temperatur und Klimacharakter. Hb. d. biol. Arbeitsmeth. 1932.

schon Schröter hervor, daß die tiefwurzelnden Bäume von der durch Abspülung entstandenen Nährstoffarmut der oberen Schichten unabhängig sind und daß auf den Ebenen des polaren Waldgürtels, wo keine Abspülung längs des Hanges stattfindet, auch ein primärer Kampfgürtel auftritt.

Wie aus durchgeführten Analysen zu entnehmen ist, kann von einer Nährstoffarmut wohl nicht die Rede sein. Es wurde sowohl der mineralische Boden als auch der im Alpenmoder daraufhin untersucht. Die physikalischen Eigenschaften des Bodens können unter Umständen den Verlauf der Wald- und der Baumgrenze örtlich stark beeinflussen.

Im allgemeinen nimmt die Höhenlage der Baumgrenze in den Alpen von Westen nach Osten ab. Die Exposition ist für den Verlauf der Baumgrenze auch von Bedeutung. Die Unterschiede sind jedoch bedeutend geringer als jene, die zwischen Außenketten und Zentralmassiv oder zwischen den westlichen und östlichen Teilen der Alpen bestehen.

Für die Schweiz nimmt Brockmann-Jerosch eine Differenz der Baumgrenze zwischen N- und S-Hang von 50 m an. Im allgemeinen gilt die SW-Lage als die günstigste, die NO-Lage als die ungünstigste. In weiterer Abstufung folgen W- und S-Lage als günstig, während O- und N-Lage ungünstig sind. Lokal können jedoch starke Abweichungen von dieser Regel eintreten, abgesehen von der besonders an S-Hängen durch die Almwirtschaft herabgedrückten Baumgrenze.

Wo die Feuchtigkeit liebende Zirbe als oberste Baumart auftritt, kann sie z. B. infolge der an N-Hängen günstigeren Feuchtigkeitsverhältnisse höher emporsteigen als an S-Hängen. In diesem Falle wird sich am S-Hange ein stärker durchlässiger Boden ebenfalls ungünstig auswirken.

Der Abstand zwischen Wald- und Baumgrenze beträgt in den europäischen Gebirgen 50—150 m, in den polaren Gebieten 1—1,5 Breitengrade. In beiden Fällen tritt aber eine allmähliche Auflösung des Bestandes ein, wobei die hochstämmigen Baumformen der Holzarten immer mehr in Zwergwuchs übergehen.

Die allmähliche Auflösung des Waldes ist, wenigstens in den meisten Fällen, geradezu ein Kennzeichen dafür, daß keine starken Eingriffe von Menschenhand stattgefunden haben.

Bei den Pflanzen, die das Gebiet des Kampfgürtels besiedeln, hat eine Anpassung an die hier vorliegenden klimatischen Verhältnisse stattgefunden. Maßgebend hierfür sind vor allem die Kürze der Vegetationszeit, die starke Besonnung, die Kälte und Frostgefahr, die Vertrocknungsgefahr und die starke Windwirkung¹⁾.

Bei den Alpenpflanzen ist eine starke Entwicklung der unterirdischen Organe charakteristisch. Diese wurden nach Schröter durch Kulturen als direkte Folge des Alpenklimas nachgewiesen. Ferner besitzen die Pflanzen einen niederen gedrängten Wuchs der oberirdischen Teile. Der in Hochlagen vor allem auffallende Zwergwuchs ist eine physiologische Reaktion auf die Einwirkung äußerer Faktoren. Daß sich die Pflanzen im Hochgebirge ebenso wie in der Arktis dem Boden anschmiegen, da sie nur in der bodennächsten Luftschichte die zu ihrem Gedeihen nötige Wärme finden, wurde schon besprochen. Auch durch den Wind können sie zu einem derartigen Verhalten gezwungen werden (z. B. Wechselgebiet).

Unter anderen Verhältnissen kann Zwergwuchs auch auf Grund anderer Ursachen entstehen. Für den Zwergwuchs japanischer Kirsch-, Ahorn- und Pflaumenarten bei Topfkultur (also bei beschränktem Bodenraum) gibt Molisch²⁾ als physiologische Erklärung „eine höchst mangelhafte Ernährung an“, mit welcher Anschauung die von Richter³⁾ gemachten Studien an japanischen Zwergbäumen⁴⁾ gut übereinstimmen. Nach Sorauer ist die Verzweigung auch auf Wassermangel zurückzuführen⁵⁾.

¹⁾ Schröter: Pflanzenleben der Alpen. Zürich, 1926.

²⁾ Molisch: nach Richter: siehe Anm. 3.

³⁾ Richter: Zur Anatomie japanischer Zwergbäumchen. Ber. d. Akad. d. Wissensch. Wien 1918.

⁴⁾ Die Chinesen und Japaner ziehen dreißigjährige Zwergbäumchen als Tafelschmuck.

⁵⁾ Nach Möller (bei Sorauer) soll beim Nanismus aus Nährstoffmangel, der auf sandigem Boden nicht selten ist, der Mangel an Stickstoff die Hauptrolle spielen.

Von Bedeutung für diese Frage sind die Untersuchungen Mothe's¹⁾ der sich allerdings nicht direkt mit Zwergwuchs beschäftigte. Er kam zu dem Ergebnis, daß die Anschauungen Schimper's über Xerophyten die als veraltet galten, in vieler Hinsicht berechtigt sind.

Schimper fast unter „Xerophyten“ Pflanzen heterogener Standorte zusammen, die aber ein einheitliches Gepräge aufweisen. Die „xeromorphe“ Struktur dieser Pflanzen ist gekennzeichnet durch „geringe Oberfläche bei gleichem Volumen, schwach entwickeltes luftführendes Interzellularsystem, viel Gefäße und Sklerenchym, lange Pallisadenzellen, dicke Außenwand der Epidermis und reicher Kutingehalt usw.“

Diese Struktur ist nach Schimper ein Schutz der Pflanzen gegen zu starke Transpiration. Da auf feuchten Standorten erwachsene Pflanzen vielfach ähnliche Struktur aufweisen, wie solche auf ariden Standorten, kam Schimper zu der Ansicht, daß dieselben Ursachen für das Entstehen derartiger Formen maßgebend sind, in beiden Fällen hielt er Wassermangel für einen bestimmenden Faktor.

Die Xerophytenstandorte Schimper's sind im allgemeinen durch Nährstoffmangel gekennzeichnet. Dem Stickstoff kommt hierbei eine besondere Rolle zu. Mothes untersuchte nun den Einfluß der Stickstoffernährung auf Struktur und Transpiration der Pflanzen. Er gelangte zu dem Ergebnis „daß Stickstoffmangel die Ausbildung xeromorpher Struktur bewirkt, daß so veränderte Pflanzen auch in ihren physiologischen Eigenschaften große Ähnlichkeit mit typischen „Xerophyten“ haben.“

Da Hochmoore Mangel an zugänglichem Stickstoff aufweisen, der zur Ausbildung xeromorpher Pflanzenstruktur führt, tritt diese trotz des reichlichen Vorhandenseins von Feuchtigkeit ein.

¹⁾ Mothes: Ernährung, Struktur und Transpiration. Biol. Zentralbl. Leipzig. 1932.

Montfort¹⁾ hat allerdings festgestellt, daß Moorwasser die Wasseraufnahme der Nichtmoorpflanzen hemmt, die echten Moorpflanzen erleiden hingegen keine Einschränkung der Wasseraufnahme.

Die Vegetationsstufen des Hochgebirges.

Über die Gliederung der Vegetationsstufen im Hochgebirge gibt Schröter eine gute Übersicht.

Sie kann von verschiedenen Gesichtspunkten aus erfolgen. Am besten erscheinen jene Gliederungen, die auf klimatischen Unterschieden aufgebaut sind.

Infolge der Klimaabhängigkeit des Pflanzenwuchses sind auch jene Einteilungen, die nach Pflanzengesellschaften und auffallenden Änderungen des Pflanzenwuchses erfolgen, letzten Endes auf das Klima zurückzuführen. Es werden hier die Einteilungen von Haller und Reishauer wiedergegeben. Letzterer führte seine Untersuchungen im Stubaier Gebiet, also in einem Gebiet, das in vorliegender Arbeit zur Untersuchung kam, aus.

Haller²⁾ stellte folgende Einteilung auf:

1. Die Fels- und Gletscherregion mit arktischen Pflanzen und polarem Klima.
2. Die mageren steinigen Weiden am Rande der Gletscher mit niedrigen perennierenden Gewächsen.
3. Die Alpenweiden, unterbrochen von Zwergsträuchern und der *Pini eduli fructu* (Arve).
4. Die Fichtenwälder.
5. Die Region der Äcker, Wiesen und Mischwälder.
6. Die Region des Weinstockes.

Reishauer gibt für die Stubaier Alpen folgende Grenzen an, wobei er das Gebiet über 2580 m nicht näher berücksichtigt:

1. Grenze der Schafweide bis 2579 m.
2. Baumgrenze bis 2057 m.
3. Waldgrenze und Sennhüttengrenze bis 1900 m.
4. Getreidegrenze 1426 m.
5. Grenze der ständig bewohnten Siedlungen bis 1366 m.

¹⁾ Montfort nach Lundegardh: Klima und Boden. S. 379.

²⁾ Haller: nach Braun-Josias: Die Vegetationsverhältnisse der Schneestufe in den Rätisch-Lepontischen Alpen. Denkschr. d. Schweiz. Naturf. Ges. XLVIII. Zürich 1931.

Die von Handschin angeführte Gliederung faßt unter der Koniferenregion das Gebiet von der oberen Grenze der Buchenregion bis zur Baumgrenze zusammen. Die Waldgrenze kommt also nicht zum Ausdruck. Dagegen ist in der von Haller angegebenen Gliederung die Waldgrenze berücksichtigt. Die Waldgrenze liegt zwischen der von Haller angeführten Zonen 3 und 4; die Baumgrenze zwischen den Zonen 2 und 3.

In vorliegender Arbeit wurde als Waldgrenze die empirische Waldgrenze nach Thore Fries zugrundegelegt, das ist „die Verbindungslinie aller Endpunkte zusammenhängenden Waldes, auch der tiefsten, gleichgültig, wodurch sie bedingt ist.“

Als Baumgrenze wurde die Verbindungslinie der obersten Einzelbäume angenommen, gleichgültig, ob durch Jungwuchs oder Krüppelbaum gebildet. Sie umfaßt also sowohl die Krüppelgrenze Schröters als auch die Jungwuchsgrenze Eblins.

Die Baumgrenze wurde so gewählt, weil in den untersuchten Gebieten Tirols überhaupt wenig Krüppelwuchs vorkommt. Die Zirben, die vielfach die oberste Grenze bilden, sind bis zur obersten Höhe ihrer Verbreitung meist schön ausgebildet. Nur dort, wo Fichten die oberste Grenze innehaben und die Windwirkung eine große Rolle spielt, dürfte die Bezeichnung Krüppelgrenze berechtigt sein.

Brockmann-Jerosch wendet sich überhaupt gegen den Ausdruck „Krüppel“ für die an der Baumgrenze vorkommenden Zwerggestalten, denn es sind „meistens ganz gesunde, oft unverletzte Exemplare, die sich nur durch ihre Größe von den in tieferen Stufen wachsenden Bäumen unterscheiden; es sind „Zwerge“.

Als Baumgrenze „die Verbindungslinie der obersten hochwüchsigen Einzelbäume“ mit einer willkürlichen Annahme des „Normalwuchses“ von 4—5 m zu bezeichnen, ist aber ebenfalls abzulehnen, da es in einzelnen Gebieten, wo z. B. Zirben als Vorposten anzutreffen sind, durchaus möglich erscheint, daß der Baumwuchs wieder nach oben vordringt, also auch der Jungwuchs für die zukünftige Baumgrenze

eine Bedeutung haben kann. Die u. a. von Schröter vorgeschlagene Verbindungslinie der noch fruktifizierenden Bäume als Baumgrenze zu nehmen, ist praktisch noch nicht möglich, da keine Untersuchungen hierüber vorliegen.

Dengler¹⁾ unterscheidet an der Waldgrenze drei Unterstufen: Die Waldbestandesgrenze, die Baumgrenze und die Krüppelgrenze. Abb. 7 gibt ein Bild über die der vorliegenden Arbeit zugrunde gelegte Einteilung des Gebietes von der Wald- bis zur Baumgrenze. Sie zeigt die Verhältnisse, die sich bei einer weder durch Naturgewalten wie Lawinen, Murbrüche etc. noch durch den Menschen gestörten Abwicklung der Lebensprozesse ausbilden.

Die Einteilung des Gebietes wurde folgendermaßen getroffen:

I. Wald.

II. Kampfgürtel des bestandesmäßigen Vorkommens.

Diese Stufe reicht etwas unter die Waldgrenze, da hier zum Teil schon fleckenweise eine Lichterstellung des Bestandes und Änderung der niederen Pflanzendecke eintritt. Innerhalb dieser Stufe liegt die Linie der eigentlichen Waldgrenze. Sie verläuft dort, wo sich der geschlossene Bestand im Horste aufzulösen beginnt. Ober der Waldgrenze tritt die Auflösung in größere und kleinere Horste ein, die meist licht gestellt sind. Die obere Grenze des Kampfgürtels des bestandesmäßigen Vorkommens verläuft am Ende des zum Teil noch horstweisen Auftretens der Holzarten.

III. Die Stufe des einzelständigen Vorkommens.

Sie beginnt mit Aufhören des horstweisen Auftretens der Holzarten, wobei diese immer mehr an Höhenwuchs einbüßen. Am Beginn dieser Stufe finden sich noch häufig kleine Gruppen von wenigen beisammen stehenden Bäumen; nach oben zu tritt nur mehr einzelständiges Vorkommen auf, wobei die Besiedelungsdichte immer geringer wird.

¹⁾ Dengler: Waldbau, Berlin 1930.

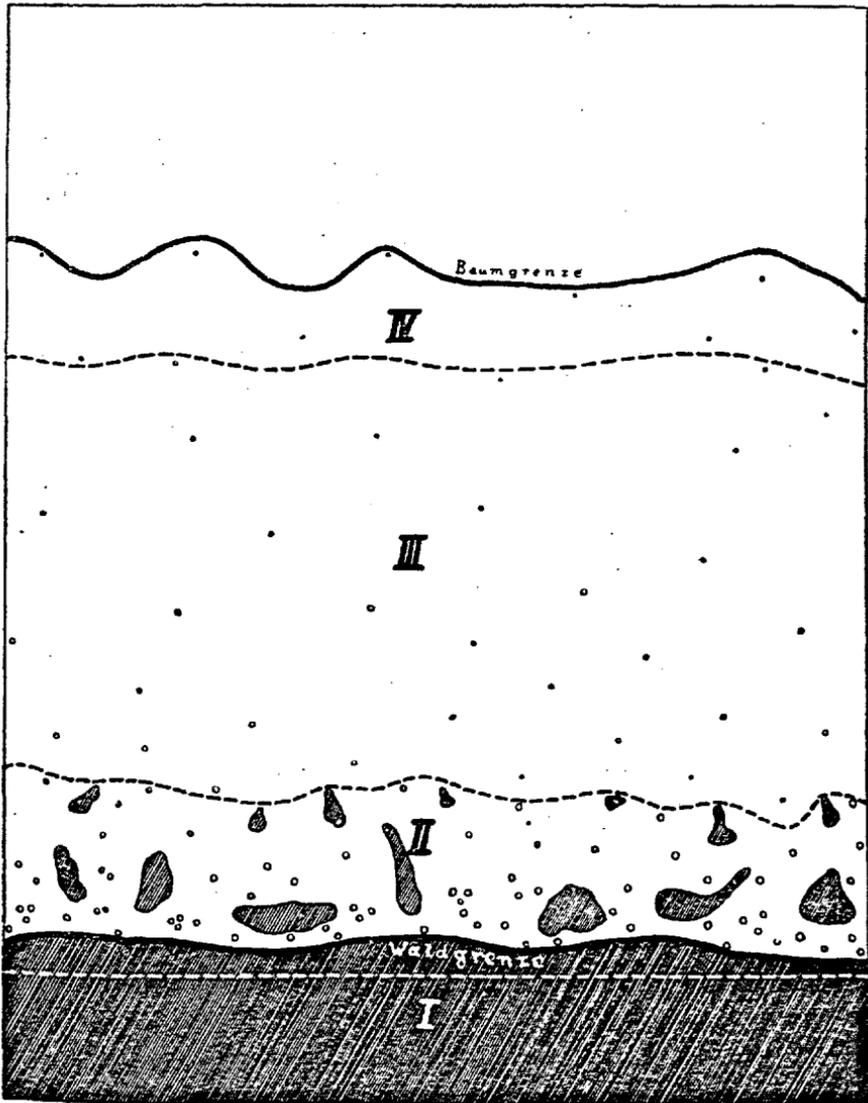


Abb. 7. Die natürlichen, ungestörten Stufen des Gebietes der Wald- und Baumgrenze

I. Wald.
II. Kampfgürtel des bestandesmäßigen Vorkommens (Horst- und Einzelstand).

III. Einzelständiges (baumhaftes) Vorkommen.
IV. Kampfgürtel des einzelständigen Vorkommens.

IV. Kampfgrütel des einzelständigen Vorkommens.

In dieser Stufe sind bei den meisten Holzarten, die hoch in das Gebirge emporsteigen, hochstämmige Wuchsformen im allgemeinen nicht mehr anzutreffen, sie gehen immer mehr in Zwergformen über, bis sie endlich an der äußersten Grenze des Baumwuchses nur mehr ein sehr kümmerliches Wachstum aufweisen. Nur die Zirbe bildet eine Ausnahme, sie tritt in hochstämmiger Wuchsform bis zur Baumgrenze auf.

Diese Stufe ist also im allgemeinen durch Zwergformen ausgezeichnet, hier ist die Stufe des Kampfes um das Fortkommen der Holzarten überhaupt. Es liegen hier also jene pessimalen Lebensbedingungen vor, unter denen die Holzart gerade noch ein kümmerliches Fortkommen fristen kann.

Die obere Begrenzung dieser Stufe wird durch die Baumgrenze gebildet.

Die Verhältnisse an der Vegetationsgrenze, die bedeutend höher liegt, wurden nicht untersucht.

Die Bodenarten der Untersuchungsgebiete.

Die in den angeführten Gebieten auftretenden Bodenarten werden nur kurz besprochen, soweit ihre Eigenschaften für das Gedeihen der Holzarten und besonders für deren Verjüngung von Bedeutung sind¹⁾.

Die physikalischen Bodenuntersuchungen wurden nach der von Burger²⁾ angegebenen Methode durchgeführt. Eine Änderung wurde nur insoferne vorgenommen, als die Proben zum Abtropfen nicht nur eine Stunde stehen blieben, sondern solange, bis innerhalb 5—10 Minuten kein oder fast kein Wasser mehr abfloß. Ferner wurde die Luftkapazität aus der

¹⁾ Die ausführliche Besprechung mit genauem Analysenmaterial wird in den Beiheften des Botanischen Zentralblattes erfolgen.

²⁾ Burger: Phys. Eigenschaften von Wald- und Freilandböden. Mitt. d. Schweiz. Zentralanstalt f. d. forstl. Versuchsw. Zürich. B 13.

Differenz des vollgesättigten und abgetropften Zylinders berechnet, so daß die Bestimmung des absoluten Volumens umgangen werden konnte (nach Wiegner).

Folgende physikalische Eigenschaften wurden bestimmt:

Volumengewicht,
Wasserkapazität,
Hohlraumvolumen,
Luftkapazität,
Einsickerungszeit,
Zusammensetzung des Bodens nach der Korngröße.

Das Volumengewicht oder scheinbare spezifische Gewicht wurde von Ramann folgendermaßen definiert: „Das Volumengewicht eines Bodens ist das Gewicht eines Volumens gewachsenen Bodens im trockenen Zustande, verglichen mit einem gleichgroßen Volumen Wasser.“

Unter Wasserkapazität versteht man nach dem gleichen Autor „die Fähigkeit des Bodens Wasser in tropfbar flüssigem Zustand in sich aufzunehmen und längere oder kürzere Zeit festzuhalten.“

„Das Poren- oder Hohlraumvolumen eines gewachsenen Bodens setzt sich zusammen aus allen jenen Bodenzwischenräumen, die nicht durch das absolute Volumen der festen Bodenbestandteile erfüllt sind“.

Die Luftkapazität definiert Kopecky¹⁾ wie folgt: „Unter Luftkapazität des Bodens verstehe ich jene Größen, welche das Volumen jener Poren des Bodens angibt, das nach der Sättigung des Bodens mit Wasser bis auf die Höhe der absoluten Wasserkapazität noch immer mit Luft aufgefüllt bleibt.“

Wenn auch die nach Kopecky von Burger ausgebaute Methode gewisse Mängel besitzt²⁾, so ist sie derzeit noch immer die am besten für Bestimmung der physikalischen Bodeneigenschaften geeignete und bewährt sich besonders für vergleichende Untersuchungen, auf die es in vorliegender Arbeit vor allem ankommt, denn sie gibt zweifellos relative richtige Werte.

Kalkrohböden.

Die Kalkrohböden sind für die Besiedlung mit Holzarten von geringer Bedeutung, da auf ihnen vor allem nur Latsche gedeiht. Der im Gebiet der Kalkkögel auftretende Wettersteindolomit mit einem Lösungsrückstand von nur 0.28% bietet im Anfangsstadium der Verwitterung sehr ungünstige

¹⁾ Kopecky: Die physikalischen Eigenschaften des Bodens, Prag 1904.

²⁾ Burger: a. a. O.

Bedingungen. Dort, wo Raibler-Schichten mit einem Lösungsrückstand bis zu 32% eingelagert sind, sind die Verhältnisse etwas günstiger. Ist der Kalkrohboden von Humusansammlungen, wie Alpenmoder, überlagert, so können auch anspruchsvollere Holzarten (z. B. Zirben) gedeihen.

Rendzina (Kalk-Humusböden).

Die Kalkrohböden gehen bei fortschreitender Verwitterung in Kalk-Humusböden über. Es sind dies, wie schon der Name sagt, Böden, die einen reichlichen Kalk- und Humusgehalt aufweisen und bei denen durch den Kalk eine Ausfällung des Humus bewirkt wird. Sie sind im Hochgebirge als Übergangsbildung anzusehen, da sie allmählich, mit Auswaschung des Kalkes, in podsolige Böden übergehen.

Unter Almweise einerseits und Baumwuchs oder Kleinsträuchern andererseits ergeben sich in den physikalischen Eigenschaften der Rendzinaböden keine bedeutenden Unterschiede. In dieser Beziehung verhalten sich Böden silikatischer Gesteine wesentlich anders.

Im oberen Horizont der Rendzinaböden beträgt die Wasserkapazität im Durchschnitt 52%, die Luftkapazität 25%, das Hohlraumvolumen 77%. Die Sickerzeiten liegen, mit Ausnahme der vom Vieh begangenen Rendzinaböden, zwischen $4\frac{3}{4}$ und $12\frac{1}{2}$ Minuten. Das geringe Volumengewicht (0.3 bis 0.9) ist durch einen hohen Humusgehalt bedingt. Dieser beträgt 30—57%¹⁾. Die Rendzina lagert meist direkt dem Kalkgrus auf.

Der in den Rendzinaböden der Kalkkögel auftretende im allgemeinen hohe Kalkgehalt (bis 17% der Feinerde) sowie ihr geringer Säuregrad sprechen dafür, daß hier noch junge Böden vorliegen.

Abweichende physikalische Eigenschaften weisen jene Rendzinaböden auf, die stark vom Vieh begangen werden und dadurch eine bedeutende Dichtlagerung erfahren. So

¹⁾ Der Humusgehalt wurde aus dem Glühverlust nach Abzug der CO₂ ermittelt.

weist z. B. der Boden eines Viehsteiges ober der Schneiderwand die lange Sickerzeit von 192 Minuten auf. Derartige Stellen, die bei dem starken Weidebetrieb in den Alpen sehr häufig auftreten — meist sind ja ganze Hänge von Viehsteigen durchquert — sind natürlich infolge ihrer Dichtlagerung für die Verjüngung der Holzarten sehr ungünstig.

Aus Kalkphyllit hervorgegangene Böden, wie sie am Nordhang der Saile auftreten, besitzen einen bedeutend höheren Rohton (< 0.002 mm) und Schluff- ($0.002—0.02$ mm) Gehalt als Rendzina. Im Zustand des Rohbodens weisen sie wesentlich andere Eigenschaften auf als Böden, die aus Kalken hervorgingen; durch den Einfluß der Pflanzendecke kann aber eine derartige Krümelung hervorgerufen werden, daß sie eine von Rendzina nicht mehr stark abweichende Wasser- und Luftkapazität aufweisen. Auch die Sickerzeiten werden bedeutend kürzer.

Silikatrohböden.

Das Verhalten der untersuchten Silikatrohböden in physikalischer und chemischer Beziehung ist verschieden, je nach dem Gestein, aus dem sie hervorgegangen sind.

Im Anfangstadium der Verwitterung hat Granitgneis einen etwas geringeren Gehalt an abschlämbbaren Teilchen (< 0.02 mm) als Schiefergneis. Quarzphyllit gibt hingegen einen tonreicheren Boden.

Auch in den Säuregraden ergeben sich Unterschiede. Rohboden aus Quarzphyllit des Weerberger-Gebietes hat fast neutrale Reaktion (PH 6,68), Schiefergneis ist etwas stärker sauer (PH 5,98), Granitgneis des Ring am sauersten.

Die Silikatrohböden sind im allgemeinen für die Holzarten verjüngungsfeindlich. Im Laufe der Zeit gehen die Silikatrohböden in Braunerden über, wobei sie Veränderungen in der Korngrößenzusammensetzung und im Nährstoffgehalt¹⁾ erfahren. Die Unterschiede wurden an Proben festgestellt, die aus dem Taschachtal stammen. Es wurde eine frische

¹⁾ Gehalt an löslichen Nährstoffen.

Mur (2 Jahre vor der Untersuchung herabgegangen) und der Boden eines Zirbenbestandes, der auf dem Material eines alten Bergsturzes stockt, untersucht. Beide Proben stammen aus ungefähr gleicher Höhe (2110 und 1980 m) und wurden am selben, gegen S exponierten Hang entnommen.

Die Korngrößenzusammensetzung in % ist folgende:

	< 0.002 mm	0.002–0.02 mm	0.02–0.2 mm	0.2–2 mm
Frische Mur	4.8	10.2	25.0	58.2
Zirbenbestand	5.7	11.6	23.2	59.5

Der Boden des alten Bergsturzes hat also eine Anreicherung an Rohdon und Schluff erfahren, eine Folge der vorgeschrittenen Verwitterung. Schon eine geringe Steigerung des Kolloidgehaltes im Boden kann aber seine Eigenschaften günstig beeinflussen¹⁾.

Eine chemische Analyse der beiden Proben gab folgende Werte in % des Gesamtbodens:

	PH	Glüh- H ₂ O		N	im HCl-Auszug					
		ver- lust	bei 105°		SiO ₂	Oxyde	CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅
Mur	5.59	0.23	1.14	0.087	0.43	1.19	0.12	0.097	0.37	0.032
Zirben- bestand	6.13	0.88	3.70	0.12	0.22	2.05	0.031	0.042	0.075	0.034

Der stärkere Säuregrad der frischen Mur läßt vermuten, daß das Material schon früher der atmosphärischen Verwitterung ausgesetzt war, aber in einer Höhe, in der mangels einer reicheren Vegetation keine Humus- und damit Stickstoffanreicherung eintrat.

Die vorgeschrittene Verwitterung hat im Zirbenbestand eine stärkere Löslichkeit der Oxyde in HCl bewirkt. Die Feinerde ist hier an Kalk, Magnesia und Kali verarmt, Phosphorsäure ist stärker aufgeschlossen und daher den Pflanzen leichter zugänglich geworden.

¹⁾ Vageler: Der Kationen- und Wasserhaushalt des Mineralbodens. Berlin 1932.

Braunerden.

Auch die Braunerden stellen in den Hochlagen noch keinen Klimax vor, da sie bei fortschreitender Auswaschung in Podsolböden übergehen. Sie gehören jedoch schon zu den podsoligen Böden. Als Klimax der Bodenbildung sind sie an ganz andere klimatische Verhältnisse gebunden, sie sind eine Bodenart des gemäßigten Klimas.

In den Untersuchungsgebieten treten Braunerden auf silikatischem Gestein häufig auf. Die Böden sind zum Teil noch zu jung, als daß sich das Endstadium der Bodenbildung schon ausgebildet hätte.

Die Braunerden sind als Standort für Holzarten sehr gut geeignet, stets günstige klimatische Verhältnisse vorausgesetzt.

Unterschiede in den physikalischen Eigenschaften der Braunerden hängen vor allem von der Vegetation ab, auch das Muttergestein übt einen Einfluß aus. Aus Glimmerschiefer hervorgegangene Braunerden haben infolge des höheren Kolloidgehaltes eine höhere Wasser- und geringere Luftkapazität als solche aus Granitgneis. Als Beispiel werden zwei unter ähnlichen sonstigen Bedingungen gewonnene Proben angeführt (Pr. 22 und 146).

(Siehe Tabelle Seite 200.)

In den untersuchten Gebieten kommen Braunerden auf Granitgneis meist nur oberhalb der Waldgrenze vor, in der Waldstufe tritt hauptsächlich Podsolbildung auf. Die aus Granitgneis hervorgegangenen Böden scheinen daher für die Podsolbildung infolge des Kalkmangels besonders zugänglich zu sein.

Braunerden mit Baumwuchs oder Reisern haben ähnliche physikalische Eigenschaften. Auf Schiefergneis im oberen Horizont beträgt die Wasserkapazität 39—65%, die Luftkapazität 10—25%, das Hohlraumvolumen 60—83%. Die häufigsten Werte der Wasserkapazität liegen zwischen 55—60%, der Luftkapazität zwischen 15—20%. Die Sicker-

Probe Nr.	Ort der Entnahme	Höhe in m	Gestein	Exposition	Vegetation	Tiefe der Entnahme in cm	H ₂ O bei Entnahme vol. %	H ₂ O Kapazität		Luft-Hohlkapazität		Spez. Gew.	Vol. Gew.	Sickerzeit f. 1 l. H ₂ O		Säure-Grad (pH)	Humus (Glühverlust) in %
								Vol. %	Gew. %	Vol. %	Vol. %			Min.	Sek.		
22	Pitztal, Mittelbergerwald	1920	Schiefergneis	NO	Moor- und Heidelbeere	2-12	58	65	138	12	77	2,075	0,470	40	25	5,42	22,6
146	Stubai, Oberbergtal, vor der Alpeiner Alm	2072	Granitgneis	ONO	Heidelbeere und Heidekraut	2-12	23	32	27	24	56	2,654	1,178	6	10	5,87	9,0

zeiten liegen zwischen $4\frac{1}{2}$ und 40 Minuten. Die kürzeste Sickerzeit hatte ein mit Nadelstreu bedeckter Boden eines Fichtenbestandes an einem NW-Hang, die längste der Boden unter sehr lückig stehender Moor- und Heidelbeere an der Waldgrenze eines NO-Hanges.

Braunerden unter Almwiese haben hingegen eine Luftkapazität von nur 7—15%, die Einsickerungszeit beträgt hingegen 75—170 Minuten; die Wasserkapazität liegt zwischen 50 und 65%. Diese Werte beziehen sich auf Böden, die aus Glimmerschiefer hervorgegangen sind.

Der Säuregrad der Braunerden schwankt innerhalb enger Grenzen. In der oberen Bodenschicht (— 10 cm) sinkt das PH bei verschiedenem Gestein und verschiedener Vegetationsdecke nicht unter 5. In den tieferen Schichten liegt das PH im allgemeinen zwischen 5.5 und 6.8, da die Basen noch nicht angegriffen sind.

Geringe Unterschiede im PH ergeben sich mit der Exposition.

Almwiesenboden mit nördlicher Exposition hat PH 5.11, mit W-Exposition PH 5.55 und mit südlicher 5.68. Es ist also der Boden von einer N-Lage saurer als der von W- und S-Lagen.

Der Humusgehalt der untersuchten Braunerden ist stark wechselnd, er beträgt 9—40%; die meisten Proben haben einen Humusgehalt von 20—30%. Auch der Humusgehalt ist von der Exposition abhängig. So haben Almwiesenböden mit NW- und W-Exposition einen höheren Humusgehalt als solche mit O- und NO-Exposition.

Mit zunehmender Tiefe nimmt die Wasserkapazität, Luftkapazität und das Hohlraumvolumen in den meisten Fällen gleichzeitig mit Feinerdegehalt und Humus ab. Die Werte der Proben 45a, 45, 47 sind ein Beispiel für die Änderung der Bodeneigenschaften mit zunehmender Tiefe an einem Hang, dessen Boden nicht an Ort und Stelle entstanden ist. Gerade an den Hängen treten derartige Böden sehr häufig auf und bilden einen großen Teil der Hochgebirgsböden

überhaupt. Der bei Tieflehn im Pitztal gelegene Anbruch ist durch Massenbewegung entstanden, das Material dürfte von einer vor langer Zeit herabgegangenen Mur stammen, sodaß es inzwischen einer starken Verwitterung unterlag und sich Wald ansiedeln konnte.

Die seitlichen Bruchstellen bilden einen natürlichen Aufschluß, der die frühere Bodenlagerung, auch des abgerutschten Bodens, erkennen läßt. Auf eine etwa 15 cm tiefe, stark humose Schicht folgt ein eisenreicher, braun gefärbter, steiniger Horizont, der allmählich in sehr stark steinführendes, hellgefärbtes Material übergeht. Der Boden stellt also eine Braunerde dar.

Aus folgender Tabelle sind die physikalischen Eigenschaften der einzelnen Horizonte zu ersehen.

Zylinder Nr.	Tiefe in cm	Wasserkapaz.		Hohlraum Volumen	Luftkapazität	H ₂ O-Gehalt b. Entnahme
		Vol. %	Gew. %	Vol. %	Vol. %	Vol. %
45a humose Schicht	0—15	42,09	56,56			29,12
45 braune Schicht	15—25	34,12	34,75	56,78	22,66	19,38
47 helles Verwitterungsmat.	35—45	31,65	21,51	47,35	15,7	2,60

Zylinder Nr.	Sickerzeit v. 1 l H ₂ O		Volu- men- gew.	Stein- gehalt >2,0 mm in %	Fein- <2,0 mm in %	<0,02mm d. Fein- erde in %	<0,02mm d. Ges. Bodens in %
	Min.	Sek.					
45a humose Schicht	3	16	0,744	9,8	90,2	29,1	26,2
45 braune Schicht	9	20	0,982	24,1	75,9	25,7	19,5
47 helles Verwitterungsmat.	883	—	1,471	32,1	67,9	22,1	15,0

Es zeigt sich nach unten zu eine Zunahme der Teilchen mit einem Durchmesser $>0,02$ mm, also der groben Fraktionen, während der Prozentsatz der Teilchen $<0,02$ mm abnimmt.

Im angeführten Bodenprofil fällt vor allem die hohe Sickerzeit in 35 cm Tiefe auf. Infolge der außerordentlich starken Undurchlässigkeit dieser Schicht hat sich der darauf lagernde Boden bei starkem Regen mit Wasser gesättigt, wodurch er infolge eigener Schwere bei der Steilheit des

Hanges zum Abrutschen kam. Auch der Wassergehalt bei der Entnahme ist dementsprechend in 35 cm Tiefe sehr gering.

Die Bestockung dürfte in diesem Falle eher ungünstig gewirkt haben, da durch das Gewicht der aufruhenden wasserdurchlässigen Schichten erhöht und so die Abrutschung begünstigt wurde.

Außerdem reichen die Wurzeln der Fichte, wie sich dies beim Bodenaufschluß zeigte, nicht in die undurchlässige Schicht, sodaß darin eine Verankerung durch die Wurzeln nicht erfolgte.

Weitere Beispiele über die Änderung der bodenphysikalischen Eigenschaften mit zunehmender Tiefe sind aus der Tabelle auf S. 241 zu ersehen.

Podsolböden.

Podsolböden bilden sich im Hochgebirge, wie schon erwähnt, als Klimax aus Braunerde und Rendzina. Es tritt durch die Wirkung saurer Humussole eine Auswaschung der Verwitterungsbasen und Sesquioxide im A-Horizont ein, die im B-Horizont wieder ausgefällt werden.

Podsol tritt nach den Untersuchungen Burger's¹⁾ unter Zirbe und Fichte häufiger auf als unter Lärche, unter Wald überhaupt häufiger als unter Almwiese. Das seltenere Auftreten von Podsol unter Almwiese erklärt Burger damit, daß infolge der schweren Durchlässigkeit des Bodens eine geringere Auswaschung nach der Tiefe möglich ist und eine stärkere Verdunstung erfolgt.

Im untersuchten Gebiet der Kalkkögel wurde nur in einigen Fällen schwache Podsolierung gefunden. Die verhältnismäßig jungen Böden mit meist geringer Tiefe enthalten noch reichliche Mengen Kalk.

In den Gebieten silikatischer Gesteine (Glimmerschiefer, Schiefergneis, Granitgneis, Phyllit) sind Podsolböden häufig.

Es konnte eine Abhängigkeit der Podsolbildung von der Exposition gefunden werden. An O-Hängen tritt in den untersuchten Gebieten keine Podsolierung auf, an W-Hängen, die den regenbringenden Winden ausgesetzt sind und die einen höheren Humusgehalt aufweisen (siehe S. 201) ist Podsol

¹⁾ Burger: Podsolböden im Schweizerwald, Schweiz. Ztschr. f. Forstw. 1926.

unter verschiedenen Vegetationsformen zu finden (Almwiese, Beersträucher, Juniperus nana, Fichte, Zirbe). An S-Hängen trat Podsol nur unter dichten Beständen auf oder dort, wo ehemals Wald stockte. Nordseitig wurde Podsol im Bestand und bei schütterem Baumwuchs mit einer niederen Pflanzendecke, bestehend aus Beersträuchern, gefunden.

Unterhalb der Waldgrenze wurde Podsol nur im geschlossenen Bestand festgestellt, in den dazwischen liegenden Almwiesenböden, wie angedeutet, nicht. Oberhalb der Waldgrenze tritt Podsolierung auch unter Almwiesen auf.

Die Podsolböden weichen in ihren physikalischen und auch chemischen Eigenschaften stark voneinander ab, jenachdem, ob sie starke Humusansammlungen (Alpenmoder) aufgelagert haben oder nicht. Almwiesenböden haben auch hier gegenüber Böden mit anderer Vegetationsdecke geringere Luftkapazität.

Auf den Säuregrad der Podsolböden, der im allgemeinen stärker als bei Braunerde ist, haben ebenfalls die Humusansammlungen einen Einfluß.

In den Podsolprofilen ist die Anreicherungsschicht häufig als Ortstein ausgebildet, z. B. in den nordwestdeutschen Heidegebieten. In den Alpen wurden Ortsteinprofile in der Schweiz gefunden¹⁾, in den österreichischen Alpen nur an wenigen Örtlichkeiten (so von Leiningen in der Gegend von Kitzbühel), doch ist anzunehmen, daß sie auch hier häufig auftreten.

Dort, wo keine Ortsteinbildung vorliegt und wo der Bleicherdehorizont geringe Mächtigkeit aufweist, werden die physikalischen Bodeneigenschaften nicht so verändert, daß sie auf das Wachstum der Holzarten einen stark fühlbaren schädlichen Einfluß ausüben könnten. In der Bleicherde-schicht sind zwar die Nährstoffe ausgewaschen oder nur mehr in schwer aufnehmbarer Form vorhanden; dieser Horizont ist aber in den beobachteten Fällen zu wenig mächtig, als

¹⁾ Leiningen-Westerburg: Über Humusansammlungen im Gebiete der Zentralalpen, Zschr. f. Land- und Forstw. 1912.

daß hiedurch die Holzarten einen größeren Schaden erleiden würden. Hiedurch bedingte Wuchsstockungen dürften von nur geringer Bedeutung sein. In den Hochlagen der Alpen stocken die schönsten Bestände auf Podsol, sodaß die Gefahr der Podsolierung in diesen Gebieten wohl überschätzt werden dürfte. Ähnlich wird in Schweden bei den nährstoffreichen Böden die Podsolierung wenig gefürchtet, während die armen diluvialen Sande Deutschlands hiezu im Gegensatz stehen.

Ein Podsolprofil vom N-Hang des Mittelberges (Pitztal) sei hier besonders erwähnt, da die dortigen Verhältnisse auch forstlich von Interesse sind. Das Profil wurde durch einen vor 35 Jahren entstandenen Anbruch freigelegt. Es hat hier eine Überschüttung des Hanges stattgefunden. Über einem schön ausgebildeten Bodenprofil mit Bleicherde lagert nämlich eine 50 cm starke Aufschüttung mit einer 10 cm starken humosen Schicht. Am Rande des Anbruches stockt eine Fichte mit eigenartiger Wurzelbildung. Der eigentliche Wurzelstock beginnt beim überschütteten Humushorizont. Ungefähr 40 cm darüber, also im aufgeschütteten Material, haben sich Adventivwurzeln gebildet. Da die Fichte bei der Überschüttung nicht geworfen wurde, muß die Erdbe-
wegung mit einer geringen Kraft vor sich gegangen sein. Sonst wäre auch der darunter liegende Humushorizont sicher zerstört worden. Es handelt sich hier also um einen lokalen kleinen Erdbeben, wie er in den Alpen sicher häufig vorkommt. Aus dem Alter der Fichte kann geschlossen werden, daß die Übererdung vor 80—100 Jahren stattfand. Daß die Fichte die Eimerdung ertrug, ist erklärlich, da die Luftkapazität des aufgeschütteten Materials immerhin noch 14% betrug.

Der besprochene Anbruch mit dem Ortsteinprofil befindet sich an der Baumgrenze des Mittelberger Waldes gegen W, also an der taleinwärts gegen den Gletscher liegenden heutigen Baumgrenze. Früher reichte der Wald bis über den jetzigen Anbruch, sodaß sich das Podsolprofil im bestockten Boden ausbildete. Eine weiter westlich am selben Hange liegende

Almwiese zeigt keine Podsolierung. Hier hat der Hang etwas geringere Steilheit, es hat auch keine Überschüttung stattgefunden; umso eher hätte es zur Podsolbildung kommen müssen, wenn hier auch Wald gestockt hätte.

Tritt bei gleichen klimatischen und orographischen Verhältnissen unter Wald Podsol auf, unter Almwiesen hingegen nicht, so kann vielleicht daraus geschlossen werden, daß die Almwiese früher auch keinen Wald trug. Umgekehrt kann möglicherweise das Auftreten von Podsol unter Almwiese auf ehemaligen Waldbestand deuten.

Alpenmoder.

In den Gebieten von der Wald- bis zur Baumgrenze ist der Alpenmoder die häufigste Humusform. Er ist sowohl für die Bodenbildung selbst als auch für die natürliche Verjüngung der Holzarten von Bedeutung.

Leiningen¹⁾, der eingehende Studien über den Alpenmoder anstellte, definiert ihn folgendermaßen: „Alpenhumus umfaßt alle ausgeprägten, für die Alpen charakteristischen Ablagerungen von Humus (mit Ausnahme der Moore), die an Ort und Stelle entstanden sind (autochthon) und nur soviel Asche enthalten, als den Humus bildenden Materialien und der Verstäubung entspricht. Die Hauptmenge ist moderartig, braun bis schwarz. Mit zunehmendem Kalkgehalt wird der Alpenhumus dunkler gefärbt. Die bedeutendsten Ansammlungen von Alpenhumus liegen auf Kalk.“

Alpenmoder bildet sich in Gebieten, in denen die Erzeugung organischer Substanz deren Abbau überwiegt.

Leiningen neigt zu der Ansicht, daß die lange liegen bleibende Schneedecke vor allem zur Bildung von Alpenmoder führt, da hiedurch ein geringer Abbau der Pflanzensubstanz eintritt. Tschermak²⁾ sieht in den klimatischen

¹⁾ Leiningen - Westerbürg: Über Humusablagerungen der Kalkalpen. Natwiss. Ztschr. f. Forst. u. Landw. 1908 u. 1909.

²⁾ Tschermak: Alpenhumus. Cbl. f. d. ges. Forstw. 1921.

Faktoren (mit Höhe zunehmender Wärmeüberschuß des Bodens gegenüber Luftwärme, exzessive Temperaturschwankungen im täglichen und jährlichen Wärmegang, Zunahme der Intensität der Sonnenstrahlung mit Höhe) die Ursache für die Bildung von Alpenmoder.

Das den Hochlagen eigentümliche Klima ist jedenfalls von großem Einfluß auf die Tätigkeit der Mikroorganismen¹⁾ des Bodens, die für die Bildung dieser eigenartigen Humusform verantwortlich zu machen sind.

Für die Bildung von Alpenmoder kommen in den untersuchten Gebieten vor allem die Abfallprodukte folgender Pflanzen in Betracht: Vaccinien, Rhododendren, weiters Moose und *Calluna vulgaris*. Auch der Nadelabfall der Holzarten trägt zur Alpenmoderbildung bei.

Pflanzen, die in tieferen Lagen zur Bildung von Rohhumus führen können, geben also in den Hochlagen Anlaß zur Alpenmoderbildung. Die Bedingungen zur Bildung von Rohhumus werden mit zunehmender Höhe immer ungünstiger. Im Gebiet der montanen und dem unteren Bereich der subalpinen Stufe tritt er nur mehr dort auf, wo ungünstige Feuchtigkeitsverhältnisse herrschen; im oberen Gürtel der subalpinen und in der alpinen Stufe konnte Rohhumus überhaupt nirgends gefunden werden.

Das Fehlen dieser Humusart in den Hochlagen ist für die Verjüngung der Holzarten günstig: Im Gegensatz zu Rohhumus bildet nämlich Alpenmoder ein sehr geeignetes Keimbett für die Verjüngung forstlicher Pflanzen.

Der Alpenmoder wird in seinen physikalischen Eigenschaften von den Pflanzen, denen er seine Entstehung verdankt, stark beeinflusst.

Unter reiner Heidelbeere und Heidelbeere mit Moorbeere oder Moosen beträgt das Hohlraumvolumen bei verschiedener Exposition 83—94%, es ist also keinen großen

¹⁾ Siehe Janke und Szilvinyi: Bericht über die bisherigen Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchungen im Lunzer Gebiet (nicht im Buchhandel erschienen).

Schwankungen unterworfen. Die Wasserkapazität liegt hingegen zwischen 32 und 81%, die Luftkapazität zwischen 9 und 61%.

Die großen Unterschiede in der Wasser- und Luftkapazität sind auf die verschiedene Exposition der untersuchten Hänge zurückzuführen. An N-Hängen ist im allgemeinen die Wasserkapazität (32—37%) niedriger und die Luftkapazität (50—60%) höher als an den gegen S und SW exponierten Hängen. Die Ursache hierfür dürfte darin liegen, daß der Abbau der organischen Substanz infolge größerer Feuchtigkeit an den S-Hängen schneller vor sich geht und mehr kolloide, wasserspeichernde Substanz gebildet wird. An den N-Hängen unterliegt die ohnedies geringere Menge kolloider Substanz einer rascheren Umwandlung in (lösliche) Sole. Abweichungen hiervon, die an N-Hängen gefunden wurden, sind kleinklimatisch bedingt. Eine lichte Pflanzendecke schafft hier den S-Lagen ähnliche Verhältnisse¹⁾.

Unter *Rhododendron ferrugineum* und *hirsutum* beträgt das Hohlraumvolumen 77—90%, die Wasserkapazität 42—71%, die Luftkapazität 12—48%. Alpenmoder unter *Rhododendron* von N-Lagen hat im Vergleich mit Alpenmoder derselben Exposition unter Heidelbeere eine bedeutend höhere Wasser- und geringere Luftkapazität.

Unter Fichte konnte im Hochgebirge selten Alpenmoder festgestellt werden. An S-Hängen tritt er hier überhaupt nicht auf.

Unter dieser Holzart wurde Alpenmoder meist in tiefer gelegenen Örtlichkeiten gefunden, er erreicht unter Fichte seine tiefste vertikale Verbreitungsgrenze, was jedenfalls mit den klimatischen Verhältnissen der tiefer gelegenen Fichtenbestände im Zusammenhang steht.

Unter alten Fichten bildet sich schließlich meist eine Mullerde, die ähnliche physikalische Eigenschaften wie Alpenmoder besitzt.

¹⁾ Siehe Wollny: Die Zersetzung der organischen Stoffe und die Humusbildung. Heidelberg 1897.

An N-Hängen wurde unter Fichte ein Hohlraumvolumen von 76—83% gefunden. Die Wasserkapazität betrug hier 47—68%, die Luftkapazität 13—35%.

Unter Lärche sind die Bedingungen für Alpenmoderbildung ähnlich wie unter Fichte. Das Hohlraumvolumen unter Lärche an N-Hängen beträgt 82—86%, die Wasserkapazität 41—44%, die Luftkapazität 40—42%.

Die Zirbe siedelt sich vor allem auf Alpenmoder an. Unter ihr treten daher reichlichere Alpenmoderansammlungen auf als unter Fichte und Lärche. Der Alpenmoder ist meist mit einer dünnen Nadelstreudecke überzogen.

Das Hohlraumvolumen von Alpenmoder unter Zirbe von verschiedenen Expositionen liegt zwischen 75 und 85%, die Wasserkapazität beträgt 29—48%, die Luftkapazität 36 bis 55%.

Ein Vergleich der Werte zeigt, daß sich Alpenmoder unter Heidelbeere und Rhododendron etwas anders verhält als solcher, der unter den Holzarten gefunden wurde. Greift man, um einen genauen Vergleich durchführen zu können, Alpenmoder gleicher Exposition heraus (von N-Lagen), so ergibt sich: Das Hohlraumvolumen ist bei Alpenmoder, der nur durch die niedere Pflanzen- decke beeinflußt ist, höher (83—92%) als bei solchem unter den Holzarten (81—86%). Die Wasserkapazität beträgt bei ersterem 32—67%, bei letzterem 41—67%. Die Luftkapazität ist 48—61% gegenüber 13—42%. Die Sickerzeiten sind bei beiden sehr gering, sie liegen zwischen 15 Sekunden und 2 Minuten 16 Sekunden.

Zwischen den physikalischen Eigenschaften des Alpenmoders und seinem Zersetzungsgrad besteht ein ursächlicher Zusammenhang.

Der Zersetzungsgrad wurde nach der von Springer¹⁾ angegebenen Methode bestimmt. Im folgenden werden nur die Ergebnisse dieser Untersuchungen angeführt.

¹⁾ Springer: Neuere Methoden zur Untersuchung d. organischen Substanz im Boden. Ztschr. für Pflanzenernährung, Düngung u. Bodenkunde 1931. — Bestimmung u. Charakterisierung d. org. Subst. im Boden. Ebda. B. 12.

Die Luftkapazität des Alpenmoders wächst mit zunehmendem Humussäuregehalt, die Wasserkapazität nimmt hingegen ab. Auch für die Profile, die in tieferen Horizonten eine stärkere Zersetzung aufweisen, gilt diese Tatsache.

Bei Alpenmoder unter Holzarten ergeben sich Abweichungen, die dadurch bedingt sein dürften, daß sich hier verschiedene Einflüsse kleinklimatischer Natur geltend machen.

Die Wasserkapazität dürfte ein Maßstab für den Grad der Zersetzung des Alpenmoders sein, umgekehrt kann aus dem Zersetzungsgrad auf die Wasserkapazität geschlossen werden.

Der Säuregrad des Alpenmoders schwankt zwischen PH 3.5 und 6.88. In den einzelnen untersuchten Gebieten ergeben sich starke Unterschiede im Säuregrad. Der tiefste PH-Wert auf Kalk (Kalkkögel) unter Heidelbeere beträgt 4.24, der höchste 6.88. Im Weerberger-Gebiet schwankt das PH nur zwischen 4.9 und 5.7. Alpenmoder des Axamerkogels besitzt die tiefsten Säuregrade (PH 3.5—4.1). Die geringe Azidität des Alpenmoders auf Kalk ist auf die Einwehung von Kalkstaub zurückzuführen.

Der Alpenmoder unter Holzarten hat geringere Schwankungen der PH-Werte als jener unter niederer Pflanzendecke. Durch die Holzarten dürften die Extreme des Klimas der verschiedenen Lagen mehr ausgeglichen werden. Im allgemeinen ist Alpenmoder unter Holzarten saurer; dies dürfte auf die beim Abbau der Nadeln gebildeten sauren Humusstoffe zurückzuführen sein. Die Durchschnittswerte betragen unter Lärche PH 3.83, unter Fichte 4.11, unter Zirbe 4.49.

Im folgenden werden noch die Mineralstoffgehalte verschiedener Böden angeführt.

Pr. Nr.	Mineralstoffgehalt (HCl lösl.) von 1 m ² bei 0.5 m Tiefe in g.						
	SiO ₂	Oxyde	CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅	N
60 Pitztal, S-Hang, frische Mur, Schiefergneis	510	1410	140	113	433	37	91

Pr. Nr.	SiO ₂	Oxyde	CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅	N
62 Pitztal, S-Hang, Zirbenbestand, Schiefergneis	362	3360	51	69	123	56	178
199 Lizum, N-Hang, Alpenmoder, dolo- mitischer Kalk	89	21	85	89	16	60	710
201 Axamerkogel, N- Hang, Alpenmod., Glimmerschiefer	88	790	152	15	43	101	625

Die frische Mure hat gegenüber dem Boden des Zirbenbestandes einen hohen Kalk-, Magnesium- und Kaligehalt, da das Mineralstoffkapital von der Verwitterung und den Pflanzen noch nicht angegriffen wurde. Der Stickstoffgehalt ist natürlich geringer. Zwischen den Alpenmoderproben zeigt sich ein bedeutender Unterschied im Oxydgehalt und im Gehalt an Nährstoffen. Auffallend ist hierbei der, aus den in HCl löslichen Nährstoffen berechnete hohe Kalkgehalt des Alpenmoders, auf silikatischem Gestein entstanden. Der Gesamtkalkgehalt dieses Alpenmoders ist hingegen geringer als bei dem auf dolomitischen Gestein entstandenen. Dieses abweichende Verhältnis könnte mit starker Einwehung feinen Kalkstaubes aus den in S- und SW-licher Richtung höher gelegenen Kalkkögeln erklärt werden.

Im Alpenmoder ist gegenüber den mineralischen Böden wenig Kali vorhanden; dieses wird zuerst ausgewaschen. Stickstoff und Phosphor sind dagegen in größerer Menge vorhanden.

Wenn man bedenkt, daß das Volumengewicht des Alpenmoders nur ungefähr ein Zehntel desjenigen von mineralischer Erde beträgt, — 1 dm³ des Alpenmoders in natürlicher Lagerung wiegt 89 bzw. 92 g, der mineralischen Erde 700 bzw. 900 g — so erkennt man, daß man ohne Umrechnung auf ein bestimmtes Bodenvolumen bei verschiedenen Bodenarten keine richtige Vorstellung von den den Pflanzen zur

Verfügung stehenden Nährstoffen erhält. Es sei hiebei natürlich nicht behauptet, daß der HCl-Auszug die den Pflanzen zugänglichen Nährstoffe absolut richtig erfaßt, jedenfalls gibt er aber relativ richtige Werte, auf die es in vorliegendem Falle ankommt.

Wechselwirkungen zwischen Boden und Holzarten.

Im folgenden werden die in den Untersuchungsgebieten am häufigsten auftretenden Holzarten, ihre Verbreitung und ihre Beziehungen zum Boden besprochen.

Alnus viridis.

Über das Vorkommen der Grünerle in den untersuchten Gebieten gibt folgende Zusammenstellung Aufschluß, die aber, wie auch alle folgenden, keinen Anspruch auf Vollständigkeit macht.

Kalkkögel:

N-Exposition (Wettersteindolomit und Kalk) fehlend. W-Hang der Saile gegen Halsl, auf Schiefergneis, am Lawinengang. Unterm Pfirmesköpf, W-Hang, auf Kalkphyllit, bis 1970 m, Axamerkogel, besonders auf Lawinengängen, bis 1960 m.

Stubai:

Längs Wasserläufen und Rinnen. An N-Hängen auch auf Mähdern und Schutthalden. Brandfläche des Ring, S-Hang, vereinzelt.

Pitztal:

Arzler Alm, von 1730—2100 m.

Weerberger Gebiet:

Nördlich vom Grat des Köpfls zum Gilfersberg. An S-Hängen fehlend. — Tal längs des Nurpensbaches am O- und W-Hang, am O-Hang gegen Brand bis etwa 2050 m, W-Hang weniger hoch.

Die Bedeutung der Grünerle für die Alpen liegt in ihrer Fähigkeit, steile Hänge zu festigen und Rutschungen zu verhindern. In lawinösen Gebieten ist sie häufig zu finden, da sie infolge ihrer biegsamen, aufsteigenden Äste sich ohne Schaden zu leiden nach Überschüttungen mit Schnee bald wieder aufrichtet.

Die Holzart bevorzugt feuchte Hänge silikatischer Gesteine, aber auch im Kalkgebiet siedelt sie sich in feuchten Lagen an, während die trockeneren von Latsche eingenommen werden.

Die Grünerle besiedelt stets sehr steinigem Boden. Ein von ihr besiedelter Boden eines NNW-Hanges im Pitztal hatte ein PH von 5.7, einen Humusgehalt von 9 %.

Pinus montana.

Kalkkögel:

Kuhgrübl, zwischen und neben den Schutthalden, aber nicht auf Stellen mit ständigem Steinschlag. — Lizumerkamm, obere Verbreitungsgrenze bei ungefähr 2150 m, also um etwa 250 m höher als Zirbe. — Lawinengang unter der Saile, auf Schiefergneis zusammen mit Grünerle, allein noch höher im Kalkgebiet. — Axamerkogel, im allgemeinen durch Grünerle vertreten, nur stellenweise auftretend, auf den Lahnstrichen ganz fehlend.

Pitztal:

Fehlt am S-Hang des Taschachtales. — O-Hang des Muttenkopfes besonders in höheren Lagen, zusammen mit Rhododendron und *Juniperus nana*. — SO-Hang des Muttenkopfes, höchstes Vorkommen (abgestorbenes Exemplar) bei 2148 m. — Am Gipfel des Muttenkopfes und Umgebung des Riffelsees fehlend. Moränengebiet des Mittelbergferners vereinzelt, am O-Hang über Seitenmoräne bis zu Felsen des Gratkogels, also über dem Gletscherende. — Mandarfer Sonnenberg und Mittelberg häufig, aber vereinzelt. — Rappenkopf und Arzler Alm nahezu ganz fehlend.

Stubai:

Besonders in den Talschlüssen, gegen Dresdner Hütte zusammen mit Heidelbeere und Wacholder bei 2150 m. S-Hang des Eggessengrates, mit Birke und Grünerle. — Im Kessel der Wiesalm, auf Felsen, mit Zirbe. — Almwiesen an Hängen nach Seduk in Horsten mit Fichte, Lärche, auch Grünerle und Birke. — S-Hang der Kerrachalm nur in höheren Lagen. In schütterem Zirbenbestand unter und an der Waldgrenze als reichlicher Unterwuchs. Latschengrenze fällt hier mit Waldgrenze zusammen (2040 m). — Im Flöcken ober den bis 2170 m gehenden Zirben schwacher Latschengürtel.

Weerberger Gebiet:

Ganz vereinzelt, hauptsächlich an S-Hängen.

Die Latsche ist für die Hochlagen von Wichtigkeit, da sie imstande ist, Schutthalden und felsige Böden, sofern sie nur etwas zerklüftet sind, zu besiedeln und unter Umständen

in Waldboden überzuführen. Unter ihrem Schutz gegen ungünstige klimatische Einflüsse können andere Holzarten hochkommen, die hier auch gegen Angriffe durch das Weidevieh geschützt sind.

Auch als bodenbindende Holzart ist die Bergkiefer von Bedeutung. Insbesondere in den Kalkalpen ermöglicht sie oft das Fußfassen anderer Arten. Die oft ganz unregelmäßige und sehr häufig zu weit gehende Abholzung der Latschen für Zwecke des Brennholzbedarfes von Almhütten und hochgelegenen Hotels (Rax) ist daher auf Kalkgebieten außerordentlich gefährlich. Bei der Abholzung von großen, zusammenhängenden Latschenfeldern kann es zur Verkarstung kommen. In den mit Servituten belasteten Gebieten muß darauf geachtet werden, daß die Nutzung dort, wo sie nicht schon an und für sich an eine besondere Bewilligung der Forstverwaltung gebunden ist, pfleglich durchgeführt wird und nicht das unbedingt notwendige Maß überschreitet.

Die Latsche besitzt auch die Fähigkeit, bis zu einem gewissen Grad Schutz gegen Lawinen zu bilden. Mit ihrem dichtverzweigten, sperrigen Geäst hält sie den Schnee fest und kann so das Abgehen von Grundlawinen besser verhindern als Grünerle.

Die Latsche tritt in den untersuchten Gebieten vielfach auf Böden auf, die im oberen Horizont steinig und durchlässig sind.

Ein Boden unter Latsche, der einen Übergang von Rendzina zu Alpenmoder bildet, hatte eine Wasserkapazität von 64%, eine Luftkapazität von 21 % und ein Hohlräumvolumen von 85%.

Die im Vergleich zu anderen Rendzinaböden hohe Wasserkapazität ist auf den hohen Humusgehalt von 69% zurückzuführen. Der Boden ist in seinen oberen Schichten dem Alpenmoder ähnlich.

Der Säuregrad der oberen Schicht beträgt PH 6.88, der Untergrund aus Kalkgrus hat PH 7.32. Der geringe Säuregrad der oberen Schicht ist jedenfalls auf die Zufuhr kalk-

haltiger Wasser zurückzuführen; der Kalkgehalt der Fein-erde (aus CO_2 berechnet) beträgt 0.63%.

Dicke Alpenmoderpolster wurden in diesem Gebiet unter Latsche nicht gefunden. Im Gebiet der nördlichen Kalkalpen hingegen treten sie häufig auf. So wurde unter Latsche an einem ONO-Hang in 1980 m Höhe (ober der Pfeishütte) folgendes Bodenprofil festgestellt:

- 0—15 cm wenig zersetzter mit Nadeln stark vermischter Alpenmoder, PH 5.54,
- 15—40 cm gut zersetzter, brauner Alpenmoder, PH 5. 18,
- 40—50 cm schwarze Humuserde, PH 5.64.

Larix europaea.

Kalkkögel:¹⁾

Häufig bestandbildend. — Kuhgrübl junge Lärchen höher als Zirbe und Fichte, bis 1970 m, ebenso gegen Halsl. — Gegen Kamm des Pfriemesköpfls häufigste Holzart. Reicht am N-Hang bis 5 m unter den Grat, das ist bis 1900 m. — NO-Hang des Pfriemesköpfls zusammen mit Fichte bis zu den Felswänden (1970 m). — Am Brand (unterm Pleißenjöchl) wesentlicher Anteil an Bildung der Waldgrenze bei 1870 m. Oberste Grenze bei 2040 m. Gegen Wildes Tal Anteil wesentlich abnehmend. — Lahnstriche zusammen mit Zirbe häufig.

Pitztal:

Taleinwärts nur bis Stillebach, Grenze fällt mit Amphibolitzone zusammen. — Im inneren Pitztal natürlich nicht vorkommend. — Arzler Alm, häufig, nimmt an Bildung der Waldgrenze teil, die stellenweise bei 2000 m liegt.

Stubai:

An sonnseitigen Hängen fehlend, ebenso an NO exponierten Tal-schlüssen. — Ring, 2150 m Höhe, ganz vereinzelt.

Weerberg:

In Untersuchungsgebieten fehlend.

Die Lärche ist in den Alpen auf allen Expositionen zu finden, doch soll sie nach Wessely²⁾ die Schattseiten bevorzugen.

Zöttl³⁾ gibt an, daß sie in manchen Gebieten der Alpen wohl an den O-Hängen zu finden ist, an den W-Hängen

¹⁾ Die angegebenen Standorte gelten nur für natürliche Vorkommen.

²⁾ Wessely: Die öst. Alpenländer u. ihre Forste. Wien 1853.

³⁾ Zöttl: Handbuch der Forstwirtschaft im Hochgebirge. Wien 1831.

hingegen ganz fehlt. Diese Tatsache wurde auch im Nurpental (Innerweerberg) gefunden.

Es dürfte dies hier damit zusammenhängen, daß am O-Hang mehrere Almen liegen und das Gebiet etwas leichter zugänglich ist. Es werden daher die wertvollen und gesuchten Holzarten, wie Lärche, Eibe, Zirbe schon in früherer Zeit immer wieder aus dem Grundbestand herausgeschlägert worden sein.

Das Fehlen der Lärche an den S-Hängen des Stubaitales läßt sich auch im Zusammenhang mit Almwirtschaft und Terrainausformung erklären. An den S-Hängen finden sich infolge der günstigeren klimatischen Bedingungen und geringerer Steilheit des Terrains bedeutend mehr Almen als an den N-Hängen. Daß die Lärche auch an S-Hängen gut gedeiht, zeigen die künstlichen Lärchenverjüngungen auf der Brandfläche des Ring.

Über die Standortsansprüche der Lärche herrschten lange Zeit sehr verschiedene Ansichten. Die Arbeiten Schreibers¹⁾ haben hierin Klärung gebracht.

Nach Schreiber ändert sich der Anspruch an die Gründigkeit des Bodens mit dem Klimacharakter des Gebietes und mit den physikalischen Bodenverhältnissen. Auf flachgründigen Böden kommt sie fort, wenn ihr „ein ausreichendes Maß ständiger Bodenfeuchtigkeit“ zur Verfügung steht²⁾ und hinreichende Windwirkung für ihre Transpiration sorgt.

Für das Gedeihen der Lärche ist Lockerheit des Bodens von großer Bedeutung. Auf schweren Böden kommt sie unter bestimmten Voraussetzungen gut fort³⁾.

Die Standorte der Lärche in den Untersuchungsgebieten haben durchwegs ein hohes Hohlraumvolumen. Es beträgt bei den verschiedenen untersuchten Bodenarten 75—86%.

¹⁾ Schreiber: Beiträge zur Biologie und z. Waldbau d. Lärche. Cbl. f. d. ges. Forstw. 1921 und 1923. — Zur Frage „Saat oder Pflanzung der Lärche“. Ebda. 1926.

²⁾ Fankhauser: Zur Kenntnis der Lärche. Ztschr. f. Forstw. u. Jagdw. 1919.

³⁾ Schreiber: Beiträge zur Kenntnis des Wurzelsystems der Lärche und Fichte. Cbl. f. d. ges. Forstw. 1926.

Redzinaboden und schwerer Boden kalkiger Gesteine unter Lärche mit niederer Pflanzendecke hat verhältnismäßig ähnliche Werte der Wasser- und Luftkapazität. (Wasserkapazität: 55 bzw. 45%, Luftkapazität: 21 bzw. 19%. — Die kurzen Sickerzeiten sind vor allem für die lockere Lagerung des Bodens bezeichnend (8 Minuten 10 Sekunden bzw. 7 Minuten). Der schwere Boden¹⁾ unter Lärche (in Mischung mit Fichte, niedere Pflanzendecke: Heidelbeere, Gräser), von 1813 m Höhe, unterm Pfriemesköpfl, N-Hang, hat einen Gehalt an Rohton und Schluff (< 0.02 mm) von 63% des Gesamtbodens; der Steingehalt beträgt 13%. Die Wasserkapazität dieses Bodens ist 45%, die Luftkapazität 19%. Der Vergleich mit einer darüber liegenden (1881 m), nur schwach mit Gräsern bewachsenen Fläche derselben Bodenart zeigt, daß hier die Luftkapazität bedeutend geringer ist, 7.5%, die Wasserkapazität liegt bei 57%. Der Anteil von Rohton und Schluff beträgt 53% des Gesamtbodens. Durch die Besiedlung mit einer niederen Pflanzendecke und Lärche ist die Luftkapazität über das Doppelte gestiegen, die Wasserkapazität hingegen stark gesunken, obwohl eine Anreicherung von Humus erfolgte und der Anteil der abschlämmbaren Teilchen ähnlich hoch ist. Stark verschieden sind auch die Sickerzeiten der beiden Böden, unter Lärche 7 Minuten, unterm schütterten Graswuchs 101 Minuten. Die Verbesserung der physikalischen Eigenschaften des Bodens ist auf die Lärchenbestockung und auf den Einfluß der niederen Pflanzendecke zurückzuführen.

Von Bedeutung sind die Unterschiede, die sich zwischen Lärchenstandorten mit niederer Pflanzendecke und solchen, die nur mit Nadelstreu bedeckt sind, ergaben. Unter einer niederen Pflanzendecke weisen die Lärchenstandorte im allgemeinen eine Wasserkapazität von 54—62%, eine Luftkapazität von 16—20% auf. Die Wasserkapazität ist hier bedeutend höher als bei Lärchenstandorten mit Nadelstreu,

¹⁾ Aus Kalkphyllit hervorgegangen.

was am besten aus den auf gleicher Bodenart gewonnenen Werten hervorgeht. Bei Rendzina ergibt sich ein Unterschied von fast 10% (55 gegenüber 46%). Für die Pflanzen ist dies wichtig, da auf Boden mit niederer Pflanzendecke die Verdunstung gegenüber einer Streudecke erhöht ist.

Es sei noch erwähnt, daß im Laufe der Untersuchungen Lärche auf Podsol nicht gefunden wurde.

Die von Lärche besiedelten Böden waren in den oberen Schichten wenig steinig, in tieferen Lagen jedoch weisen sie im allgemeinen einen bedeutenden Steingehalt auf.

Über die natürliche Verjüngung der Lärche konnten nur im Gebiet der Kalkkögel und unter dem Axamerköpfl Beobachtungen gemacht werden, da sie sonst, wenn überhaupt, so nur ganz vereinzelt im Gebiet von der Wald- bis zur Baumgrenze vorkommt.

Im Gebiet nördlich der Kalkkögel tritt natürlicher Lärchenanflug auf Rendzina und schweren Böden kalkiger Gesteine auf. Sie sind mit Ausnahme der obersten Lagen gutwuchsig. Im Kuhgrübl gehen sie auf Rendzina bis 1970 m, das ist etwas höher wie junge Fichten. Auf den schweren Böden dieses Gebietes tritt gutwuchsig, natürliche Lärchenverjüngung nur dort auf, wo der Boden durch Vegetation schon etwas gelockert und humusreich ist. Jene Lärchen hingegen, die auf schweren, ungelockerten Böden aufkommen, haben ein krüppelhaftes Aussehen. Jedoch dürfte hier auch starke Windwirkung mitspielen, da diese dichtgelagerten Böden nur knapp unterm Grat auftreten.

Auf silikatischem Gestein, am O- und N-Hang des Axamerkogels wurden natürliche Lärchenverjüngungen vor allem auf Alpenmoder gefunden.

Die künstlichen Lärchenverjüngungen gehören fast durchwegs der I. und II. Altersklasse an.

Im inneren Pitztal, wo die Lärche von Natur aus nicht vorgekommen sein dürfte, wurden vor etwa 20 Jahren künstliche Lärchenverjüngungen angelegt, besonders am Fuß der

bis zur Talsohle reichenden Schuttkegel (Abb. 8). Die Lärchen zeigen ein zwar sehr langsames, aber gutes Wachstum.

Auch am Mandarfer Sonnenberg (W-Hang, Braunerde) wurden Lärchen künstlich eingebracht. Eine der Aufforstungen ist fast gänzlich mißlungen, während eine am selben Hang weiter taleinwärts gelegene sehr befriedigend ist.

Das Mißlingen der Kultur dürfte darauf zurückzuführen sein, daß diese Fläche für das Weidevieh viel leichter zugänglich ist als die der gelungenen Aufforstung. Auch klimatisch hat sie eine ungünstigere Lage und schlechtere bodenphysikalische Verhältnisse.

Über Bodeneigenschaften der beiden letztgenannten Kulturf lächen gibt nachstehende Tabelle Aufschluß.

(Siehe Tabelle Seite 220.)

Gegenüber den Böden mit natürlicher Lärchenverjüngung haben jene mit künstlicher eine geringere Luftkapazität. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die natürlichen Verjüngungen auf locker gelagerten Rendzina- und Alpenmoderböden festzustellen waren, die künstlichen wurden hingegen auf weniger humosen, dichter gelagerten Böden vorgenommen.

Pinus cembra.

Kalkkögel:

N-Hang ober der Lizumalpe im Kuhgrübl (Abb. 9), untere Grenze bei 1750 m, obere Grenze, bedingt durch steile Felswände, bei 2000 m. — Nur auf Alpenmoder, nicht auf Rendzina stockend. Halbvermoderte Zirbenstämme reichen 50 m höher als lebende, alte Stämme. Westlich vom Halsl also häufiges Vorkommen, östlich, das ist am N-Hang der Saile und des Pfiemesköpfls ganz fehlend. — Axamerköpfl. Von Brand bis Lahnstriche, wo starker Weidegang und Beeinflussung durch Menschen fast keine Zirbe. Obere Grenze bei 1950 m, 50 m tiefer als Fichte. In Lahnstrichen wieder natürliche Verhältnisse, Ansteigen bis 10 m unter den Gipfel des Axamerkogels, bis 2089 m. Schütterer Zirben-Lärchen-Streifen, von Lawinengängen unterbrochen.

Pitztal:

Untere Grenze an der von Fichten gebildeten Waldgrenze. — O-Hang des Muttenkopfes, Zirben von 1880—2220 m. Oberste Standorte zwischen Felsen, 60 m unterm Sattel zum Riffelsee. — S-Hang des Muttenkopfes bis zum Seebach ganz fehlend, auf Almwirtschaft zurückzuführen. —

Weiter östlich, unterm vorderen Eiskasten in Horsten, wo Terrain steinig und felsig. Bis zur Gufflhütte drei derartige Horste, durch sanftere Almwiesen ohne Steinblöcke getrennt. Unteres Ende der Horste 50–80 m ober der Talsohle, oberste alte Zirben bei 2210 m, in allen drei Horsten fast gleich hoch. Reichliche Verjüngung bis 2234 m. — Von Gufflhütte taleinwärts zwischen Felsen einzelnstehende Zirben mit Verjüngung. Mit Annäherung an Gletscher Hinaufrücken der unteren Zirbengrenze. Seitliche Grenze in Geraden mit Gletscherende des Taschachferners, obere Grenze bei 2150–2200 m. — N-Hang des Taschachtales 100 m über der Talsohle und Gletscherende zwischen Felsen in 2150–2200 m Höhe vereinzelt. — Sonst am ganzen N-Hang, bis zur Mündung des Seebaches ganz fehlend. Dann vereinzelt. — Mittelberg, N-Hang, mit Fichte bei 1926 m Waldgrenze bildend. — O-Hang, bis ober Stirnmoräne der 1850er Jahre, W-Hang 1 km weiter taleinwärts, bis ober Wegabzweigung zur Braunschweiger Hütte. Zirben seinerzeit oberhalb des Gletschers angesiedelt, nach Gletscherrückgang Verjüngung nach unten vorgeschritten.

Gebiet der Arzler Alm:

Einzelne Zirben bis etwa 100 m unter die künstlich herabgedrückte Waldgrenze (bis 1730 m). Hat Anteil an Bildung der Waldgrenze bei 2000 m unterm Rappenkopf. Obere Verbreitungsgrenze in der Senke zum Piösmöser Ferner nach Exposition verschieden. SO-Hang bis 2250 m, N-Hang 2030 m, NNO-Hang 2130 m.

Stubai:

An sonnseitigen Hängen des Oberbergtales bis Stöckla fehlend, schattseitig in höheren Lagen vereinzelt.

Talschluß des Oberbergtales, NNO-Hang bis 2100 m, im Einschnitt des Alpeinerbaches bei den Wasserfällen bis 1934 m. — Gebiet der Kerrachalm (S-Hang), bis 1630 m herabreichend, nach oben an Häufigkeit stark zunehmend, bei 2000 m die Waldgrenze bildend. Im „Flöcken“ auf Graten in Horsten, soweit Terrain felsig, bis 2133, 2125 und 2155 m. Bis 2200 m vereinzelt junge Zirben zwischen Felsen. — S-Hang des Ring, wenig von Weidevieh begangen, Zirbenwald von 1950–2120 m. (Daneben und darunter liegende Brandfläche früher auch mit Zirben bestockt). Höchstes Vorkommen bei 2310 m, das ist 2 m unter dem Gipfel. — Unterbergtal, Talschluß gegen Dresdner Hütte, NNO-Hang bis 2263 m.

Weerberger Gebiet:

Ober Nonsalpe, SW-Hang, obere Grenze 2034 m, am Köpfl daneben hingegen bis zum Grat, 2100 m. — Nurpensalpe, obere Grenze 1960 m.

Auf die Höhenlage der oberen Zirbengrenze ist die Exposition von großem Einfluß. Es ist hiebei einmal die Feuchtigkeit, ein andermal die Wärme der das Wachstum begrenzende Faktor. Darauf sind die in der Literatur voneinander

abweichenden Angaben über die Höhengrenzen an den einzelnen Expositionen zurückzuführen¹⁾.

Ungünstige klimatische Verhältnisse können sich, wie der Baumwuchs des Taschachtales zeigt, auch in vertikaler Richtung auswirken, indem an einer ganzen Talflanke der Baumwuchs weiter talauswärts verschoben wird. Der N-Hang des Taschachtales ist zwar lawinenreicher als der S-Hang; doch wären in den dazwischen liegenden Felspartien, bei Berücksichtigung des Bodens allein, günstige Standorte für die Zirbe vorhanden.

Die für das Gebiet der Arzleralm angegebenen Höhengrenzen verschiedener Exposition stimmen mit der von Kerner zusammengestellten Tabelle überein.

Die höchste von Zirben gebildete Waldgrenze wurde in den untersuchten Gebieten an einem S-Hang auf Granitgneis gefunden (Ring, 2118 m). Hier liegt auch bei 2310 m das höchste festgestellte Zirbenvorkommen. Es handelt sich um ein Gebiet, das infolge der zahlreichen Felsblöcke kaum vom Weidevieh begangen wird. Auch in den felsigen Teilen des S-Hanges vom Taschachtal steigen die Zirben sehr hoch (bis 2234 m). Es konnte überhaupt festgestellt werden, daß die Zirben zwischen Felsen am höchsten emporsteigen. Es ist dies lediglich darauf zurückzuführen, daß derartige Gebiete vor den Schäden durch das Weidevieh geschützt sind und auch nicht so stark abgeholzt werden als leichter zugängliche Gebiete.

An den südseitigen Hängen des Oberbergtales z. B. findet ein starker Weidegang statt. Die Waldgrenze schneidet scharf ab, wo am Hang eine weniger stark geneigte Stufe auftritt. Dies und das Fehlen eines Kampfgürtels zeugen davon, daß die Waldgrenze nicht natürlich bedingt ist. Ober den Almwiesen haben sich zwischen den schroffen Felsen einzelne Bäume 200—250 m ober der Waldgrenze erhalten.

¹⁾ Simony: Die Zirbe, Jahrb. d. Öst. Alpenv. 1870. — Rikli: Die Arven der Schweiz, Zürich 1930. — Kerner: Studien über die oberen Grenzen der Holzpflanzen. Öst. Revue 1865. — Nevole: Die Verbreitung d. Zirbe in d. öst.-ung. Monarchie. Wien u. Leipzig 1914.

Der Unterschied, der sich in den Höhengrenzen der Tal-schlüsse des Ober- und Unterbergtales mit gleicher Exposition ergibt, dürfte durch die Terrainausformung bedingt sein. Im Oberbergtal wird das Terrain schon bei 2100 m sanfter geneigt, im Unterbergtal erst bei 2300 m.

Auch das Gebiet westlich vom Axamerkogel kann als Beispiel der künstlichen Herabdrückung der Wald- und Baumgrenze genannt werden. Die schon angeführten Gebiete mit starkem Weidegang und starken Abholzungen haben eine scharf abschneidende, tief liegende Waldgrenze und keinen ausgeprägten Kampfgürtel, während das anschließende Gebiet der Lahnstriche mit Ausnahme der Lawnenbahnen infolge schwieriger Zugänglichkeit viel höher hinauf bestockt ist.

In den meisten Fällen beginnt heute das Auftreten der Zirbe im Kampfgürtel des bestandesmäßigen Vorkommens der Holzarten. Die früher jedenfalls dichteren und ausgehnteren Zirbengürtel sind derart gelichtet worden, daß diese Holzart heute vielfach nur mehr einzelständig vorhanden ist¹⁾.

Die Zirbe wird in der Literatur als bodenvag bezeichnet. Auch in den Untersuchungsgebieten stockt sie sowohl auf humusbedecktem Kalk als auch auf silikatischem Gestein. Die Bevorzugung toniger Böden wird auf deren gleichmäßige Durchfeuchtung zurückgeführt. Besonders in der Jugendperiode bedarf sie großer Feuchtigkeit²⁾.

Ihr häufiges Vorkommen auf Felsstandorten ist nicht mit zusagenden Standortsbedingungen zu erklären, vielmehr wurde die Zirbe, wie schon erwähnt, durch die Schäden des Weideviehs und durch allzustarke Nutzung auf derartige Standorte zurückgedrängt³⁾. In tieferen Lagen kann auch

¹⁾ Schreckenthal: Beiträge zur Frage des Waldrückganges. Cbl. f. d. ges. Forstw. 1933.

²⁾ Vierhapper: Zirbe u. Bergkiefer in unseren Alpen. Ztschr. f. d. Öst. Alpenw. 1919. — Simony: Die Zirbe. Jb. d. Öst. Alpenv. 1870. — Rikli: Die Arven d. Schweiz. Zürich 1930.

³⁾ Nevole: Die Verbreitung der Zirbe. 1914.

die geringere Konkurrenz durch andere Holzarten eine Rolle spielen.

In den untersuchten Gebieten siedelte sich die Zirbe nur dort an, wo ihr genügend Feuchtigkeit zur Verfügung stand. Ist der Boden mit einer Feuchtigkeit speichernden Humusschicht, wie Alpenmoder, überlagert, so ist es durchaus nicht notwendig, daß der Untergrund einen gewissen Tongehalt besitzt.

Unter Alpenmoder, auf dem schöne Zirben stockten (Kuhgrübl) hatte der Kalkboden folgende Korngrößenzusammensetzung der Feinerde (nach Atterberg):

I. Fraktion	<0.002 mm	3%
II. Fraktion	0.002—0.02 mm	10%
III. Fraktion	0.02 —0.2 mm	56%
IV. Fraktion	0.2 —2.0 mm	31%.

Die untersuchten Standorte der Zirbe sind fast durchwegs mit Alpenmoder bedeckt. Im Kalkgebiet lagert dieser entweder auf Rendzina oder direkt auf Kalkgrus, im silikatischen Gebiet bildet Braunerde oder Podsol den Untergrund.

Wo in alten Zirbenhorsten der Alpenmoder fehlt, dürfte er während des Heranwachsens der Zirben aufgezehrt worden sein. Derartige Verhältnisse wurden nur im Brand (gegen Axamerkogel) gefunden. Den Boden bildet hier eine mit Nadelstreu bedeckte Braunerde.

Natürliche Zirbenverjüngungen wurden in den untersuchten Gebieten nur auf Alpenmoder gefunden. In den meisten Fällen wurde dieser von Heidelbeere gebildet. Die unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften dieses Alpenmoders auf S- und N-Lagen scheinen für die Zirbenverjüngung besonders zusagend zu sein.

Die nördlich exponierten Standorte haben ein Hohlraumvolumen von 92—94%, eine Wasserkapazität von 32—37% und eine Luftkapazität von 54—61%.

Die südlich exponierten Standorte weisen ein Hohlraumvolumen von 73—90%, eine Wasserkapazität von 44—81% und eine Luftkapazität von 8—35% auf.

An S-Hängen werden also Örtlichkeiten mit höherer Wasserkapazität als an N-Hängen bevorzugt. Die Luftkapazität ist hingegen an nördlich exponierten Standorten höher als an südlichen. In folgender Tabelle sind die Eigenschaften einiger Standorte junger Zirben angegeben.

(Siehe Tabellen Seite 226 und 227.)

An den an und für sich trockeneren S-Hängen kommen die jungen Zirben also an jenen Standorten am besten fort, die infolge höherer Wasserkapazität einen größeren Wasservorrat bieten können.

In Rhododendronbeständen konnte in den untersuchten Gebieten keine natürliche Zirbenverjüngung festgestellt werden, nur in einigen Fällen auf Alpenmoder, der von Alpenrose und Heidelbeere gebildet wurde. Nach Zöttl's Beobachtungen stellen sich Zirben auf Rhododendronhumus gerne ein, auch Eblin¹⁾ gibt diesen als Keimbett forstlicher Pflanzen an.

Warum in den untersuchten Gebieten die Zirbenverjüngung auf Rhododendron-Alpenmoder fast völlig fehlt, konnte leider nicht untersucht werden.

Rikli erwähnt, daß der Zirbe im Gegensatz zu den anderen Waldbäumen der saure Heidehumus zusagt „wie er bei einem Bodenüberzug von Heide, Heidelbeere, Alpenrosen usw. entsteht“ und erklärt daraus die enge Vergesellschaftung von Arvenwald und *Rhodoreto-Vaccinietum*. Fankhauser²⁾ stellt fest, daß die Zirbe ohne Spur von mineralischer Erde gedeihen kann, allerdings enthält der Alpenmoder stets größere oder kleinere Mengen eingewehter mineralischer Substanz, welche die Zirbe zu ihrer Ernährung ausnützt.

¹⁾ Eblin: Die Vegetationsgrenzen der Alpenrosen als unmittelbare Anhalte zur Feststellung früherer bzw. möglicher Waldgrenzen in den Alpen. Schweizer Zeitschr. f. Forstwesen 1901.

²⁾ Fankhauser nach Rikli: a. a. O.

Probe Nr.	Ort der Entnahme	Höhe in m	Gestein	Exposition	Vegetation der Probestelle	Tiefe der Entnahme in cm	H ₂ O-Gehalt bei Entnahme Vol. %	H ₂ O-Kapazität		Luft-Kapazität Vol. %	Hohlraumvol. Vol. %	Vol. Gew.	Spez. Gew.	PH	Humus (Glühverlust) in %
								Vol. %	Gew. %						
199	Kalkkögel, Kuhgrübl	1919	dolomitischer Kalk	N	zwei 15jähr. Z. dichte Heidelbeere	0—10	29	33	387	61	94	0,089	1,478	5,43	95,7
201	Axamer Kogel, Lahnstriche	1829	Schiefergneis	N	junge Z. dichte Heidelbeere mit Hylocomium Schreberi und Dieranum	0—10	27	37	407	55	92	0,092	1,196	3,82	87,1
205	Axamer Kogel, Lahnstriche	1830	Schiefergneis	N	junge Z. dichte Heidelbeere mit H. splendens	0—10	24	36	331	55	91	0,108	1,208	3,70	95,7

Probe Nr.	Ort der Entnahme	Höhe in m	Gestein	Exposition	Vegetation der Probestelle	Tiefe der Entnahme in cm	H ₂ O-Gehalt bei Entnahme Vol. %	H ₂ O-Kapazität		Luft-Kapazität Vol. %	Hohlraumvol. Vol. %	Vol. Gew.	Spez. Gew.	PH	Humus (Glühverlust) in %
								Vol. %	Gew. %						
Z100	Pitztal, Tassach vor der Guflhütte	2127	Schiefergneis	SO	8 jähr. Zi. dichte Moor- u. Heidelbeere	5-15	53	65	311	19	84	0,209	1,324		89,9
225	Stubai, ober der unteren Kerlachalm	1750	Granitgneis	S	10 jähr. Zi. dichte Moor- u. Heidelbeere	0-10	41	53	364	36	83	0,146	1,368	4,29	91,8
Z64	Weerberg, ober der Nonsalpe	1947	Quarzphyllit	SW	8 jähr. Zi. Heidelbeere	0-10	82	81	395	9	90	0,207	2,141	5,90	92,2

Fuschlberger¹⁾ bespricht das Fortkommen der Zirbe auf Rohhumus im Hochgebirge. In der Literatur wird aber noch immer vielfach Alpenmoder mit Rohhumus verwechselt. Wahrscheinlich meint auch Fuschlberger Alpenmoder, da er den Rohhumus als im Hochgebirge häufig vorkommend bezeichnet, was jedoch durchaus nicht der Fall ist (siehe S. 207). Er ist der Meinung, daß die Zirbe nicht die Fähigkeit habe, aus diesem „Rohhumus“ Nahrung zu ziehen, sondern daß sie den darunter liegenden Nährboden aufsucht. Dementsprechend rät er bei Pflanzung die „Rohhumusschichte“ zu durchbrechen und die Pflanzen in das darunter liegende Erdreich zu setzen, und zwar mit tiefen und weiten Pflanzlöchern, „damit zunächst der schädliche Einfluß des Rohhumus beseitigt werde.“ Schon Figala²⁾ hat dagegen Stellung genommen und darauf hingewiesen, daß „dadurch den Pflanzen genommen wird, was ihnen am meisten zusetzt“. Als Beispiel führt Figala unter anderem eine gut gelungene Zirbenaufforstung bei Hall in Tirol an, bei der die Pflanzen direkt zwischen Heidelbeerstauden gesetzt wurden.

Guzmann³⁾ machte die Beobachtung, daß auf „förmlich wuchernden Rohhumusmassen“ die jungen Zirbenpflanzen freudig wachsen. Die natürliche Verjüngung geht in ausgedehnten Gebieten nur auf derartigen Flächen vor sich, wobei sie nackte Stellen und solche mit Graswuchs meidet. Dennoch ist er der Meinung, daß das Einsetzen der Pflänzlinge in den „Rohhumus“ (wahrscheinlich Alpenmoder) ungünstig ist, und daß mineralische Erde beigemischt werden muß.

Vor den humosen Böden warnt er deshalb, weil er öfters auch bei natürlichen Zirbenverjüngungen einen „Wurzelpilz“ feststellte. Die Saat scheint nach Guzmann weniger empfindlich zu sein.

¹⁾ Fuschlberger: Die Zirbe im Waldbau. Österr. Vierteljahresschrift f. Forstw. 1928, S. 153.

²⁾ Figala: Die Nordtiroler Zirbe. Österr. Vierteljahresschrift f. Forstwesen 1928, S. 165.

³⁾ Guzmann: Beiträge zur Kultur der Zirbe. Mitt. d. Forstvereines f. Tirol u. Vorarlberg 1894, Heft 11.

Nach den Beobachtungen Schönwieses¹⁾ sagt der Zirbe lockerer, humoser Boden zu, während sie auf bindigem, ver-rasten Boden nicht gedeiht. Ebenso fand er, daß sich schwere Böden für Zirben-Saatkästen nicht eignen, wohl aber wurden auf lockerem Holzmoder die besten Erfolge erzielt.

Die Literaturangaben über die für die Saat günstigen Bodenverhältnisse und jene für die Pflanzung stimmen nicht überein. Dies mag z. T. vielleicht darauf zurückzuführen sein, daß die Pflanzung im reinen Alpenmoder infolge seiner eigenartigen Beschaffenheit größere Anforderungen an die Arbeitsleistung stellt. Im Alpenmoder ist die Pflanzung vielleicht auch schwerer durchführbar als in mineralischer Erde. Die größere Arbeitsleistung ist aber sicher durch den besseren Kulturerfolg gerechtfertigt.

Es wäre auch an Ballenpflanzung zu denken. Allerdings ergeben sich dabei infolge des in den Hochlagen oft schwierigen Transportes bedeutend höhere Transportkosten. Die Ballenpflanzung im Alpenmoder kann natürlich nur dann mit Erfolg durchgeführt werden, wenn der Pflanzgarten von der Kultivierungsfläche nicht zu weit entfernt ist und wenn er ebenfalls sehr humosen Boden, womöglich Alpenmoder besitzt.

Prof. Seitner²⁾ fand in Osttirol Zirben, die sich direkt auf frischen und wahrscheinlich auch auf alten Murböden angesiedelt hatten und ein freudiges Gedeihen aufwiesen. Es sind dies Örtlichkeiten, wo das Weidevieh nicht hinkommt, und die nach Angabe Seitners einen lockeren Boden besitzen. Leider war es nicht mehr möglich, die dortigen Bodenverhältnisse genau zu verfolgen, jedenfalls zeigt sich aber, daß verallgemeinerte Schlußfolgerungen aus Untersuchungen, die in bestimmten Gebieten durchgeführt wurden, nicht zulässig sind.

¹⁾ Schönwiese: Anpflanzungsversuche mit Zirbe. Österr. Vierteljahrsschr. 1929.

²⁾ Diese Angabe verdankt die Verfasserin freundlichen, mündlichen Mitteilungen Prof. Seitners.

In den untersuchten Gebieten konnten, wie erwähnt, nirgends natürliche Zirbenverjüngungen auf mineralischem Verwitterungsboden festgestellt werden, sondern durchwegs nur solche auf Alpenmoder. Dort, wo die jungen Zirben auf Steinblöcken ihr Fortkommen finden, sind es stets mehr oder weniger starke Moos- und Alpenmoderpolster, die ihnen in den ersten Jahren das Fortkommen sichern.

In solchen Gebieten, wo die natürliche Zirbenverjüngung nur auf Alpenmoder auftritt, wäre es also angezeigt, Zirbenforstgärten in höheren Lagen und auf möglichst humosem Grund (Alpenmoder) anzulegen und bei der künstlichen Verjüngung die Pflanzlöcher nicht nach Abräumung des Alpenmoders in rein mineralischem Boden auszuheben, sondern möglichst die Alpenmoderauflagen auszunützen. Nach Angabe Figalas befindet sich in Pfunds ein Zirbenforstgarten mit torfartigem, mulligem Erdreich, der gute und schöne junge Pflanzen liefert.

Bei der Anlage von Forstgärten, die der Heranzucht von Zirbenpflanzen zum Zwecke künstlicher Verjüngung dienen sollen, wären die Ergebnisse vorliegender Untersuchungen in zweckentsprechender Weise zu verwerten.

Guzmann ist der Meinung, daß die Forstgärten an SW-, Süd- oder Westhängen angelegt werden sollen, und daß sich Osthänge am schlechtesten hiezu eignen.

Bei der Heranzucht des Pflanzenmaterials soll den verschiedenen Ansprüchen, welche die Zirbe auf Nord- und Südlagen an die physikalischen Bodeneigenschaften stellt, von vornherein Rechnung getragen werden. Die Anlage der Pflanzgärten hätte derart zu erfolgen, daß das Pflanzenmaterial in Forstgärten herangezogen wird, die die gleiche Exposition wie die zu kultivierende Fläche besitzen. Die Pflanzen werden in den betreffenden physikalischen Bodeneigenschaften und Expositionsbedingungen entsprechendes Wurzelsystem ausbilden. An Südlagen werden sich wahrscheinlich gegenüber den Nordlagen Lichtrassen entwickeln. Diese besitzen aber immer eine dichtere Verzweigung des

Wurzelwerkes und eine größere relative Wurzelmasse als Individuen der Schattenrasse.

Das Wurzelsystem, das eine natürlich aufgekommene siebenjährige Zirbe ausgebildet hat, zeigt Abb. 10. Die Zirbe ist an einem N-Hang in 1930 m Höhe zwischen sehr lückig stehenden Zirben erwachsen (Kalkkögl, Kuhgrübel) und zwar auf Alpenmoder, gebildet aus Heidelbeere und Moorbeere. Die Alpenmoderschicht hatte eine Tiefe von 15 cm, hierauf folgte bis zu 30 cm Tiefe Rendzina, darunter Kalkgrus. Das Wurzelwerk der jungen Zirbe lag noch vollständig im Alpenmoder, die darunterliegende Rendzina hatte es noch nicht erreicht.

Die Pflanzung selbst wird einen weniger scharfen Eingriff in das Leben der Pflanzen bedeuten, wenn den physikalischen Bodeneigenschaften von vorneherein Rechnung getragen wird. Dadurch wird auch nach dem Verpflanzen in die Kulturfläche ein aus geänderten Umweltbedingungen sich etwa ergebendes Mißverhältnis zwischen Assimilationsfläche und Wurzeloberfläche nicht zustandekommen. Die Pflanze fände dadurch am Pflanzort ähnliche Umweltbedingungen vor wie im Pflanzgarten. Selbstverständlich ist vorausgesetzt, daß das Substrat, in dem die Pflanzen im Forstgarten herangezogen werden, ein gleiches ist wie jenes, in das sie ausgesetzt werden sollen. Dies wäre durch Anlage von Wanderpflanzgärten unschwer zu erreichen. Im Pfundser Forstgarten ist der Forderung nach richtigem Substrat Genüge getan.

Die Pflanzen wären also unter gleichen bodenklimatischen und bodenphysikalischen Bedingungen zu erziehen, wie sie dem Orte ihrer Auspflanzung entsprechen¹⁾.

Gegen die Anlage von Pflanzgärten an Südhängen könnte mit Rücksicht auf Barfröste und Trockenheit Bedenken er-

¹⁾ Die Verwendung von Zirbenpflanzen, die in anderen Gebieten erzogen wurden, ist natürlich von großem Nachteil. So wurden in den Jahren 1886—96 aus dem Zirbengarten in Hinterberg bei Aussee nach Tirol Zirbenpflanzen abgegeben.

hoben werden. Barfröste spielen aber in Hochlagen an und für sich eine geringere Rolle als in Tieflagen, außerdem kann durch Höherlegen der Beete oder durch Bedeckung der Saatrillenzwischenräume vorgebeugt werden. Bezüglich der Trockenheit wäre anzuführen, daß, wo nötig, Seitenschutz in Anwendung treten könnte, daß aber auch in Hochlagen (sofern es sich nicht um Kalkböden handelt) an Südhängen im allgemeinen Trockenheit nicht in dem Maße vorliegt, wie in Tieflagen.

Die in Tirol durchgeführten Zirbenaufforstungen wurden früher fast durchwegs auf mehr oder weniger unaufgeschlossenen, von Gras verfilzten Boden oder auf steinigem, trockenem, sandiglehmigen Böden durchgeführt. Alpenmoder oder tiefgründige Walderde wurden meist bei Anlegung von Kulturen nicht aufgesucht. Dies dürfte wohl die Hauptursache sein, daß die Aufforstungen in den meisten Fällen mißlingen. Dadurch konnte die Meinung aufkommen, daß die Zirbe heutzutage nicht mehr künstlich verjüngt werden könne. Es ist dies durchaus unrichtig, denn die Anpflanzung trug den Keim des Mißlingens schon in sich: Die physikalischen Eigenschaften der Böden, in denen die Zirbenaufforstungen in den meisten Fällen durchgeführt wurden, sagen also den jungen Zirbenpflanzen nicht zu. Die mineralische Erde besitzt für diese eine zu geringe Durchlüftung, was sich in der geringen Luftkapazität der Böden äußert. Dementsprechend ist auch das Hohlraumvolumen kleiner. Dem Boden fehlt hier jenes Maß von Lockerheit, wie es durch hohen Humusgehalt bedingt wird. Außerdem fließt, wie aus den Sickerversuchen hervorgeht, das Wasser in der mineralischen Erde viel langsamer ab als im Alpenmoder. Da in den untersuchten Gebieten hinreichende Feuchtigkeit vorhanden ist, kann sich unter Umständen dadurch eine länger andauernde starke Vernässung des mineralischen Bodens ergeben, wodurch die Wurzelatmung der jungen Pflanzen behindert wird.

Am ungünstigsten liegen die Verhältnisse auf verrasteten Flächen, da hier durch den starken Wurzelfilz und den mehr

oder weniger dichten Abschluß gegen die freie Atmosphäre durch die Grasnarbe die Luftzirkulation noch mehr unterbunden wird. Die Böden zeigen außerdem eine noch stärkere Verdichtung als mineralische Erde ohne Graswuchs. Die Sickerversuche haben bei verrasteten Böden ein noch langsames Abfließen des Wassers ergeben als bei mineralischen Böden mit anderen Vegetationsformen.

Nach Figala hat der Versuch einer Aufforstung von Weideflächen im Kauner- und Pfundsertal mit einem vollkommenen Mißerfolg geendet.

Als Beweis für die angeführten Verhältnisse dienen Beispiele von künstlichen Zirbenkulturen, die auf Böden mit hierfür ungünstigen physikalischen Eigenschaften zur Durchführung kamen, sowie von solchen Böden, bei denen die ursprünglich günstigen natürlichen Verhältnisse durch die Art der künstlichen Verjüngung ungünstig gestaltet wurden.

(Siehe Tabelle Seite 234.)

Im Pitztal am Mittelberg wurden Zirbenaufforstungen mit Pflanzen vorgenommen, die aus dem Stillebacher Forstgarten (Pr. 15) stammten. Die zu besprechenden Aufforstungsflächen liegen einerseits gegen die Waldgrenze zu an einem ONO-Hang in ca. 1860 m Höhe, anderseits am Fuß des Mittelberges in ungefähr 1760 bis 1780 m Höhe an einem schwach geneigten Nord- bis Westhang und zwar in einem räumigen Fichtenbestand. Erstere Fläche war früher mit Wald bestockt der hauptsächlich der Gewalt der Lawinen zum Opfer fiel.

Die Aufforstung an der Waldgrenze wurde vor 20 Jahren mit Lärchen und Zirben durchgeführt. Es wurde dabei so vorgegangen, daß die hauptsächlich von *Rhododendren* gebildeten Alpenmoderpolster entfernt wurden, um die Pflanzen direkt in den mineralischen Boden setzen zu können. Es wurde also jenes Substrat, das den jungen Zirben am meisten zusagt, entfernt. So wurden die jungen Zirben in ein Erdreich verpflanzt, das für sie ungünstige physikalische Verhältnisse bot (Pr. 24 u. 25). Auffallend ist die geringe Luft- und die hohe Wasserkapazität, es herrschen also bodenphysikalische

Probe Nr.	Ort der Ent-nahme	Höhe in m	Gestein (Boden-art)	Exposition	Vegetation der Probe-stelle	Tiefe der Ent-nahme in cm	H ₂ O-Gehalt bei Ent-nahme Vol. %	H ₂ O-Kapazität		Luft-Kapazität Vol. %	Hohl-raum-vol. Vol. %	Vol. Gew.	Spez. Gew.	Sickerzeit von H ₂ O		PH	Humus (Glüh-verlust) in %	
								Vol. %	Gew. %					Min.	Sek.			
15	Pitztal, Forstgart. b. Stilleb.	1475	Schiefer-gneis (sand.B.)	eben		0-10	42	37	38	21	58		2,403	1	—	5,90		
24	Pitztal, Mittel-berg	1863	Schiefer-gneis (Braun-erde)	ONO	15-20jähr. Auffor-stung von Lä. u. Zi. Heidel- u. Preisel-beere	0-10	57	62	164	16	78	0,379	1,788	49	30	5,24	26,2	
25	Pitztal, Mittel-berg	1765	Schiefer-gneis (Braun-erde)	N	kleine Blöße, Fi.-bestand, neben einge-gangener, kultivier-ter Zi.	10-20	56	51	69	15	68	0,772	2,427	2,609	20	21	5,65	20,6
26						0-10	33	44	20	64	0,905	2,609	6,0					
28	Pitztal, Mittel-berg	1775	Schiefer-gneis (Podsol)	W	schlecht ge-delhende Zi.-Anpflanzung lückige Heidelbeere, auf Lichtung in Fi.-Bestand	5-15	23	39	46	19	58	0,863	1,952	21	20	5,62		

Verhältnisse, wie sie für die junge Zirbe an Nordhängen nicht günstig sind. Infolge der geringen Luftkapazität dürfte keine genügende Durchlüftung des Bodens stattfinden. Auch kann das Wasser nur langsam absickern, wie aus den Sickerversuchen hervorgeht.

An Süd- und Südwesthängen spielt eine geringe Luftkapazität keine schädliche Rolle, da diese Hänge an und für sich trockener sind und außerdem das überschüssige Wasser im Alpenmoder schnell abfließt.

Die an der Waldgrenze durchgeführte, erwähnte Art der Pflanzung besitzt noch einen weiteren Nachteil. Durch die Abräumung der Alpenmoderschichte im Bereich der Pflanzlöcher kommen die Pflanzen beim Aussetzen in den mineralischen Boden tiefer zu stehen als die umgebende Bodenoberfläche. In den Pflanzstellen sammelt sich daher Wasser an, was besonders im Frühjahr sehr schädlich wirkt, da die jungen Pflanzen dadurch an den Nordlagen oft bis Mitte Juni und länger im Eis stehen.

Bei der zweiten Aufforstung, jener am Fuße des Mittelberges in einem räumigen Fichtenbestand der mit Zirben unterbaut worden war, wurden knapp neben einer der eingegangenen Zirben die physikalischen Bodeneigenschaften untersucht (Pr. 26), ebenso bei einer schlechtgedeihenden Zirbenaufforstung auf einer Lichtung desselben Bestandes (Pr. 28). Bei der Zirbenaufforstung im räumigen Fichtenbestand wurde, in gleicher Weise wie in dem vorher besprochenen Fall, der Alpenmoder bei der Pflanzung entfernt oder solche Stellen aufgesucht, die keinen Alpenmoder aufwiesen. Auf der Lichtung ist überhaupt nur eine schwache Humusschicht vorhanden. Die Pflanzendecke besteht aus schütter wachsender Heidelbeere. Die physikalischen Eigenschaften des mineralischen Bodens dieser beiden Örtlichkeiten sind für die Ansprüche der jungen Zirben noch ungünstiger als im vorhin erwähnten Falle. Bemerkenswert ist, daß die Eingänge hier größer sind als bei der Aufforstung an der Waldgrenze,

obwohl bei der Kultur auf der Lichtung das Tieferlegen der Pflanzenstellen wegfiel.

Zum Vergleich sind auch Bodeneigenschaften des Stillebacher Forstgartens in der Tabelle angeführt. Der sandige Boden hat dem Alpenmoder ähnliche kurze Sickerzeiten, eine Wasserkapazität, die der von Alpenmoder an N-Lagen entsprechen würde, während die Luftkapazität der von S-Lagen gleichkommt. Dementsprechend ist auch das Hohlraumvolumen viel geringer als bei Alpenmoder. Die physikalischen Bodeneigenschaften sind also von denen natürlicher Zirbenstandorte verschieden.

Aus den Untersuchungen geht hervor, daß die Zirbe, wenn nur irgend möglich, direkt in den Alpenmoder gepflanzt werden soll. Bei sehr dünnen Humusschichten, bei denen man bei der Pflanzung auf alle Fälle in das Erdreich gelangt, ist es zweckmäßig, das Erdreich mit Alpenmoder zu vermischen, um für die jungen Zirbenpflanzen bessere physikalische Bodeneigenschaften zu erzielen.

Bei verrasteten Flächen ist es jedenfalls zweckentsprechend, den Rasenfz zu entfernen, da hiedurch eine bessere Durchlüftung erreicht wird. Wenn auch künstliche Zirbenkulturen am freudigsten und leichtesten auf Alpenmoder gedeihen und solche Örtlichkeiten in erster Linie aufgesucht werden müssen, so wird es doch oft wünschenswert erscheinen, zum Zweck einer weiteren Verbreitung der Zirbe Aufforstungen auch auf weniger geeigneten Flächen durchzuführen. Man wird hier am besten eine horstweise Mischung mit Fichte oder Einzelmischung mit Lärche anstreben. Auf solchen Flächen wird natürlich mit viel größeren Eingängen der Zirbe zu rechnen sein. Das Pflanzenmaterial, das zur Aufforstung solcher Flächen bestimmt ist, soll bereits im Forstgarten auf mineralischem Boden erzogen werden.

Daß trotz ähnlicher physikalischer Eigenschaften des Bodens die Aufforstung mißlingen kann, zeigt die Aufforstungsfläche, der Pr. 28 entnommen ist; hier herrschen sehr ähnliche bodenphysikalische Bedingungen wie im Forstgarten.

Zirbenkulturen haben oft sehr stark unter Wildverbiß zu leiden. Schönwiese¹⁾ gibt in seiner Zusammenstellung über Anpflanzungsversuche der Zirbe als häufigste Ursache des Eingehens der Kulturen Beschädigungen durch Wild an, während die durch Weidevieh viel geringer sind.

Picea excelsa.

Kalkkögel:

Kuhgrübl, höchste junge Fichten bei 1987 m, höchste Holzart des Gebietes. Unter Herzigwänden bis 2000 m. Gegen Hals fehlend, Pfriemesköpfl (östlich) Zunahme der Fichten zusammen mit Lärche.

Brand, junge Fichten bis 1960 m, bei 1900 m Fichtengruppe mit Bodendecke von Hypnum- und Polytrichumarten sowie Nadelstreu. Waldgrenze bis zu Lahnstrichen von Fichten gebildet. In Lahnstrichen nur Jungwuchs, keine alten Stämme.

Pitztal:

Inner Weixmannstall fast kein geschlossener Fichtenbestand, Auflösung in Gruppen und Streifen. Moränenboden des Mittelbergferners vereinzelt bis 500 m vor dem Gletscherende. — Mittelberg, N-Hang zusammen mit Zirbe bis 2030 m. — Taschachtal, Waldgrenze taleinwärts am N-Hang 1 km gegen S-Hang zurückbleibend. Letzte Fichte gegen Gletscher, S-Hang, zwischen Felsen bei 2196 m. — O-Hang des Muttenkopfes, am südlich exponierten Vorsprung bei 2055 m abgestorbene Fichte. ONO-Hang bis 2175 m, S-Hang des Muttenkopfes bis 2125 m. — Arzleralm, ober Waldgrenze nur vereinzelt Fichten.

Stubai:

Talschluß gegen Dresdner Hütte nur ganz vereinzelt. — Talschluß des Oberbergtales, SSO-Hang höchstes Vorkommen bei 2100 m, N-Hang (gegen Kuhgschwätz) bis 2120 m. Auf Felsen mit ONO-Exposition bis 2300 m. — Ring-, S-Hang, Zirbenbestand mit etwas Fichten gemischt, höchste schlechtwüchsige Fichte bei 2186 m, also 124 m tiefer als höchste Zirbe. — N-Hang fehlend. — Ober unterer Arzler Alm nach oben immer seltener werdend, an Waldgrenze und darüber ganz vereinzelt.

Weerberg:

Auf Moränenboden gegen Nonsalpe sehr schlechtwüchsige Bestände. Über Nonsalpe bis 2034 m. — SW-Hang des Köpfls bis 2100 m. — N-Hang des Köpfls keine Fichten. — Nonsberg, ONO-Hang, bei 1713 m schlechtwüchsiger Wald mit Sphagnum girgensohni Russow. — S- bis W-Hang ober Innerst an Bildung der Baumgrenze keinen wesentlichen Anteil.

¹⁾ Schönwiese: Anpflanzungsversuche mit Zirbe. Österr. Vierteljahrsschrift f. Forstw. 1929.

Durch zu starke Abholzungen in den klimatisch an und für sich schon ungünstigeren Gebieten sowie durch Viehverbiß sind die gegen die Waldgrenze liegenden Fichtenbestände vielerorts stark gelichtet. Im inneren Pitztal z. B. findet man kaum eine junge Fichte, die nicht Kollerwuchs aufweist. Außerdem werden hier in dem Gebiet, das als Almweide festgelegt ist, die etwas größer gewordenen Fichten von den Bauern geköpft, damit der Weidegrund nicht zu stark beschattet wird.

Bezüglich der Einflüsse klimatischer Natur sei erwähnt, daß durch den Wind die obere Verbreitungsgrenze der Fichte herabgedrückt werden kann. In den Zentralalpen dürfte dieser Einfluß des Windes mehr lokal sein, z. B. an Pässen und Graten (Grat vom Gilfersberg zum Köpfl, Abb. 11), in den Voralpen kann er hingegen eine allgemeine Depression der Fichtengrenze bewirken. Daß trotz der oft starken Stürme Windbruch verhältnismäßig selten anzutreffen ist, ist wohl damit zu erklären, daß bei den seichtgründigen felsigen Böden die Fichtenwurzeln oft tief in die Spalten der Felsen eindringen und Felsblöcke umklammern, wodurch sie einen ausgezeichneten Halt erlangen. Außerdem haben sich von frühester Jugend an Zug- und Druckwurzeln ausgebildet, wodurch die Fichte sturmfest wird. Wetterfahnen wurden nur in einigen Fällen beobachtet, so am Mittelberg und im Gebiet der Arzleralm.

Die Exposition ist für das Gedeihen der Fichte in den Hochlagen von großer Bedeutung. Ihre Bevorzugung von S.-SW- und W-Hängen führt Rubner auf die günstigeren Wärmeverhältnisse und die an den Westhängen größere Feuchtigkeit (Richtung der regenbringenden Winde) zurück.

Über den Einfluß der Exposition auf die obere Fichtengrenze kann aus den Beobachtungen in den untersuchten Gebieten kein Schluß gezogen werden, da in den einzelnen Gebieten stets wenigstens eine Exposition von der Almwirtschaft zu stark beeinflusst war.

In den untersuchten Gebieten konnte an der Fichte häufig Fichtennadelrost — *Chrysomyxa abietes ung.* — festgestellt werden. Dieser befällt die Fichte in allen Altersklassen vielerorts in einem Gürtel, der aber nicht immer bis zur Waldgrenze reicht. Die Grenzen dieses Gürtels verschieben sich je nach den Witterungsverhältnissen des Frühjahres und Frühsommers. So war z. B. an den gleichen Hängen der Gürtel und auch die Befallstärke im Jahre 1932 größer als 1930 und 1931¹⁾. Am Nordhang der Saile wurde dieser Gürtel im Sommer 1931 zwischen 1550 — 1740 m festgestellt. Am Nordhang des Axamerkogels hatte er 1931 ebenfalls seine untere Grenze bei 1550 m, 1932 dagegen bei 1400 m. Im Pitztal trat der Fichtennadelrost an den gegen Nord und West exponierten Hängen auf, während er an den Südhängen des Muttenkopfes im allgemeinen fehlte und erst bei der Waldgrenze gegen den Gletscher zu auftrat.

Im Stubai kam er unter anderem im Talschluß gegen die Franz-Sennhütte vor. Es konnte festgestellt werden, daß der Fichtennadelrost an steilen Hängen die dem Berg zugekehrte Seite der Bäume weniger stark befällt als die freistehende Seite. Dieselbe Erscheinung wurde auch im Pitztal an der Waldgrenze gegen den Gletscher gefunden. Am SSO-Hang beim Talschluß gegen die Franz-Sennhütte trat an den höchsten hier vorkommenden Fichten bei 2100 m noch Befall durch den Fichtennadelrost²⁾ auf. Es ist wahrscheinlich, daß sein Auftreten an ganz bestimmte klimatische Verhältnisse gebunden ist, wobei der Luftfeuchtigkeit eine besondere Rolle zukommt. Sein häufiges Auftreten an Nord- und Westhängen ließe sich durch die besondere Bedeutung der Feuchtigkeit für sein Fortkommen erklären. Auf dem Umweg über die für das

¹⁾ Das Auftreten des Fichtennadelrostes war 1932 in bestimmten Gebieten Tirols ein derart starkes, daß sogar in den Tageszeitungen darauf hingewiesen wurde.

²⁾ Das höchste bisher bekannte Vorkommen ist in Heß-Beck, Forstschutz, S. 284 mit 1750 m Höhe angegeben.

häufige Auftreten des Fichtennadelrostes günstigen klimatischen Verhältnisse wäre es vielleicht möglich, über die Klimaverhältnisse bestimmter Stufen der Hochlagen näheren Aufschluß zu erhalten.

Die Fichte tritt in den untersuchten Gebieten auf allen Bodenarten auf. Braunerde und Podsol, Rendzina und schwere Böden kalkiger Gesteine, auch Alpenmoder sind Fichtenstandorte. Ferner wurde Fichte auch auf Moränenböden, der fast noch als Rohboden bezeichnet werden kann, gefunden.

Die Standorte der Fichte haben im oberen Horizont im allgemeinen eine Wasserkapazität von 33—68%, eine Luftkapazität von 10—37%. Die häufigsten Werte der untersuchten Proben liegen zwischen 45—50% für die Wasserkapazität und zwischen 15—25% für die Luftkapazität. Die Werte für das Hohlraumvolumen liegen zwischen 47 und 82%. Es zeigen sich hier bei der Häufigkeit zwei Maxima, nämlich bei 60—65% und 80—85%. Das zweite Maximum wird durch die von Rendzinaböden und Alpenmoder gewonnenen Werte gebildet.

Vergleicht man die Häufigkeitswerte der Luft- und Wasserkapazität im ersten und zweiten Horizont, so zeigt sich, daß der zweite Horizont eine etwas geringere Luft- und Wasserkapazität besitzt als der erste Horizont. Die Unterschiede sind jedoch gering. Auch das Hohlraumvolumen ist entsprechend den angeführten Unterschieden in tieferen Schichten etwas geringer.

Um zu erkennen, ob sich im Fichtenbestand ein Unterschied in den physikalischen Bodeneigenschaften zwischen Nord- und Südhang ergibt, wurden im Oberbergthal im Stubai vier Fichtenbestände daraufhin untersucht.

Diese vier Bestände wurden auf den einander gegenüberliegenden Hängen so ausgewählt, daß je zwei derselben in der gleichen Höhe lagen.

(Siehe Tabelle Seite 241.)

Bei Seduk kam am SSO-Hang ein 60jähriger Fichtenbestand zur Untersuchung. Die niedere Pflanzendecke dieses

Probe Nr.	Ort der Entnahme	Höhe in m	Gestein	Exposition	Tiefe der Entnahme in cm	H ₂ O-Gehalt bei Entnahme Vol. %	H ₂ O-Kapazität		Luftkapazität		Hohlraumvol. Vol. %	Vol. Gew.	Spez. Gew.	Sickerzeit v. 1 l H ₂ O		PH	Glühverlust in %	Steingehalt > 2,0 mm
							Vol. %	Gew. %	Vol. %	Vol. %				Mn.	Sek.			
138	Stubai, Oberbergtal bei Seduk	1631	Glimmerschiefer	SSO	5—15	22	46	47	19	65	0,973	2,770	6	5,71	13,95	24		
139	"				25—35	24	45	44	17	62	1,006	2,63		5,95	7,81	32		
140	"	1509	Glimmerschiefer	NNW	5—15	71	60	117	14	74	0,511	2,36		5,05		20		
142	Stubai, Oberbergtal vor Stöcklen	1619	Schiefergneis (gegen Glimmerschiefer)	SO	2—12	23	47	50	13	60	0,939	2,349	20	5,63		26		
143	"				15—25	25	47	56	20	67	0,843	2,559			9,58	20		
144	"	1641	Schiefergneis (geg. Glimmerschiefer)	NW	2—12	31	52	74	20	72	0,697	2,434	2	5,65	39,9	29		
145	"				20—30	25	45	52	21	66	0,876	2,643		5,94	9,3	41		

Bestandes setzte sich aus Heidelbeere und Gräsern zusammen. (Probe 138 u. 139.)

Am gegenüberliegenden Hang, am NNW-Hang, wurden die Proben aus einem ungefähr gleichaltrigen Fichtenbestand in 1509 m Höhe entnommen. Pr. 140 der Tabelle gibt die dort herrschenden Verhältnisse wieder. Der hohe Steingehalt des Untergrundes machte leider die Probenahme aus einer tieferen Schicht unmöglich.

Weiter taleinwärts, bei Stöcklen wurden ebenfalls zwei Fichtenbestände untersucht und zwar am Südosthang ein 100 jähriger in 1699 m Höhe mit einer Pflanzendecke von Heidelbeere, Farnen und Gräsern (Pr. 142 und 143 der Tabelle). Am NW-Hang ein 150jähriger Fichtenbestand in 1641 m Höhe mit einer Pflanzendecke von Heidelbeere, Preiselbeere, *Oxalis* und Moosen (Pr. 144 und 148 der Tabelle).

Alle Proben wurden einheitlich unter Nadelstreu entnommen.

Bei der Gegenüberstellung der vom Nord- und Südhang gewonnenen Werte ergibt sich folgendes: Im Fichtenbestand am Südhang ist das Hohlraumvolumen geringer als am Nordhang. Die Wasser- und Luftkapazität weisen am Südhang geringere Werte auf. Die höhere Luft- und Wasserkapazität und das damit verbundene höhere Hohlraumvolumen des Nordhanges sind darauf zurückzuführen, daß der Boden an diesem Hang infolge der üppigen niederen Pflanzendecke einen bedeutend höheren Humusgehalt aufweist, der wasserspeichernd wirkt. Die mehr lockere Lagerung des Bodens am Nordhang geht auch aus dem geringeren Volumengewicht hervor.

Die Fichtenbestände bei Seduk, die sich weit unter der Waldgrenze befinden, zeigen am Nordhang ein viel besseres Wachstum als am Südhang, jene bei Stöcklen hingegen, die schon knapp vor der Waldgrenze taleinwärts liegen, weisen am Nord- gegenüber dem Südhang kaum mehr einen Unterschied im Wuchs auf. Es müssen sich hier Einflüsse geltend machen, die jene der Exposition überwiegen. Auch die Azidität



Abb. 2. Pitztal.

Letzte, gegen den Mittelbergferner vorgedrungene Fichte
auf Moränenboden. Meßstelle III.



Abb. 1. Pitztal.

Neben dem Gletschertor des Mittelbergferners.
Bei Stange Meßstelle I.



Phot. Christian.

Abb. 3. Pitztal, Mandarfer Sonnenberg.
Kampfgürtel des bestandesmäßigen Vorkommens der Holzarten.
(In dieser Stufe befinden sich die Meßstellen V und VI.)



Phot. Christian.

Abb. 8. Pitztal, O-Hang bei Neurur.
Waldteile mit dazwischenliegenden Schuttkegeln,
auf denen die Verjüngung von unten nach oben fortschreitet.



Abb. 9. Kalkkögel, Kuhgrübl.

Zirbenhorst in 1900 m Höhe. Niedere Pflanzendecke: hauptsächlich Heidelbeere und Alpenrose; Boden: Alpenmoder und Rendzina.

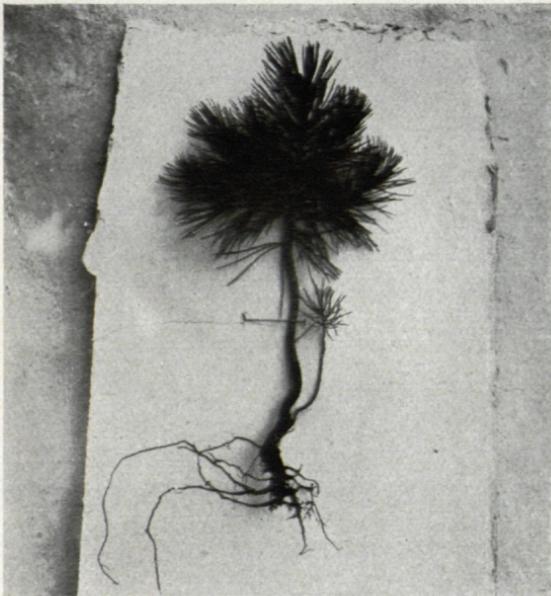


Abb. 10.

7-jährige, auf Alpenmoder erwachsene Zirbe aus dem Kuhgrübl, 1900 m (Kalkkögel).



Abb. 11. Weerberg, Grat
gegen Gilfersberg.

Das Fehlen der Bestockung
auf dem gegen N exponierten
Hang ist auf Windwirkung
zurückzuführen.

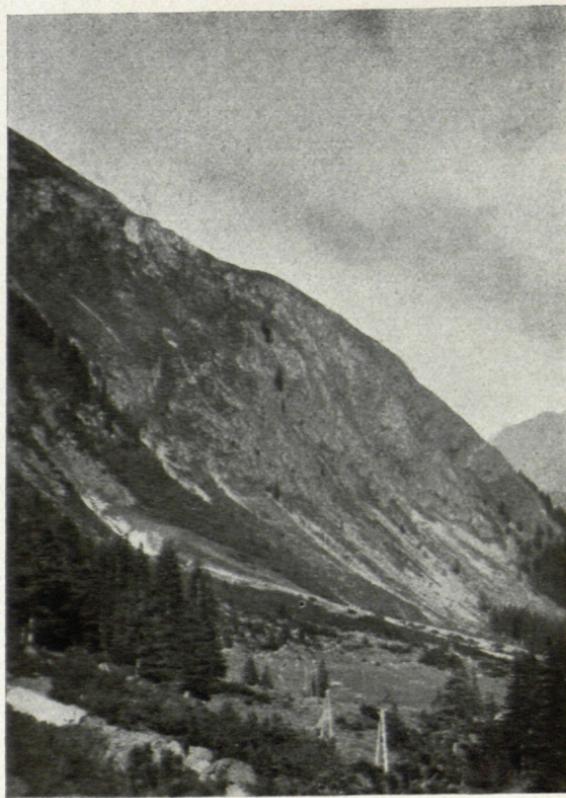


Abb. 15. Stubai, Graba-
wand.

Oberhalb des letzten Wald-
streifens am Hang: Brand-
fläche.

des Bodens ist am nord- und südseitigen Hang bei Stöcklen viel ausgeglichener. Dies deutet darauf hin, daß die Unterschiede, die sich in der Azidität zwischen Nord- und Südhang ergeben (hervorgerufen durch die verschiedene Pflanzendecke) durch kräftiger wirkende Faktoren unterdrückt werden.

In den Höhenzuwachsleistungen ergibt sich einerseits zwischen N- und S-Hang, andererseits mit der Höhenlage ein Unterschied. Im großen Durchschnitt sind die Höhenzuwachsleistungen im Oberbergtal ungünstiger als im Unterbergtal. Diese Unterschiede dürften auf die niedrigeren Temperaturen des Oberbergtales — wo auch die Vegetationszeit eine kürzere ist — zurückzuführen sein. Inwieweit in den Niederschlagsmengen Unterschiede bestehen, konnte nicht ermittelt werden. Da aber in den Bodeneigenschaften keine weitgehenden Differenzen vorhanden sind, soweit es sich um gleiches Grundgestein handelt, müssen die Klimaverhältnisse für die verschiedenen Höhenzuwachsleistungen verantwortlich gemacht werden. Grundlegend hat schon Cieslar¹⁾ auf die Abhängigkeit des Höhenzuwachses von den Witterungsverhältnissen hingewiesen.

Die durchschnittlichen Höhenzuwachsleistungen von Fichtenjugenden verhalten sich in den einzelnen Teilen des Stubaitales verschieden. Im inneren Oberbergtal bleibt der jährliche Höhenzuwachs von Fichtenjugenden unter 15 cm, während im Unterbergtal 20 und auch 30 cm erreicht werden.

An den sonnseitigen und schattenseitigen Hängen nehmen in beiden Fällen die Höhenzuwachsleistungen im allgemeinen mit steigender Höhe ab.

Zieht man Bodenunterschiede in Betracht, so ergeben sich ganz gewaltige Verschiedenheiten im Höhenzuwachs. Bei Edenhof z. B. überschreitet er bei einer auf einem Schuttkegel am S-Hang stockenden Fichtenjugend nicht 5 cm, dagegen zeigen die daneben auf gutem Schiefergneisboden wachsenden Fichtenjugenden Höhenzuwachsleistungen bis zu 30 cm.

¹⁾ Cieslar: Die Bedeutung klimatischer Varietäten unserer Holzarten für den Waldbau. Cbl. f. d. ges. Fw. 1907.

Die physikalischen Bodeneigenschaften jener Standorte, an denen die Fichte ihre obere Grenze erreicht, also im Kampfgrütel des einzelständigen Vorkommens, weichen z. T. von den früher angegebenen Werten stark ab.

Es seien hier die physikalischen Eigenschaften von zwei derartigen Böden angegeben.

Nr. der Probe	Wasserkapazität Vol. %	Hohlraumvolumen Vol. %	Luftkapazität Vol. %	Korngrößenzusammensetzung						Glühverlust in %
				0-002 mm	0-002-0-02 mm	0-02-0-2 mm	0-2-2-0 mm	2-0-5-0 mm	>5mm	
				I	II	III	IV	V	VI	
221	34	52	18	2-8	10-5	27-2	35-1	8-3	16-1	6-59
228	33	62	29	1-8	6-1	25-0	22-0	16-3	28-8	12-46

Pr. 221: Pitztal, unter einzelstehender, langsam wüchsiger Fichte, 1895 m Höhe, Moränenboden, 500 m vom Gletscherende entfernt (Mittelbergferner) (Abb.5).

Pr. 228: Ring, Stubai. Verkrüppelte Fichte, 2186 m Höhe, S-Hang, Granitgneis.

Auffallend ist hier die geringe Wasserkapazität des Bodens, wie sie sonst in den untersuchten Gebieten unter Fichte nicht vorkommt. Die Luftkapazität ist hingegen von der anderer Fichtenstandorte nicht stark verschieden.

Infolge des verhältnismäßig niedrigen Humusgehaltes und des geringen Gehaltes an feinen Bodenbestandteilen ist wenig Substanz vorhanden, die imstande wäre, Wasser festzuhalten. Die spärliche niedere Pflanzendecke gewährt keinen Schutz gegen die am S-Hang ohnehin zeitweise starke Verdunstung. Der Wassermangel dürfte wohl die Hauptursache des verkrüppelten und zurückgebliebenen Wuchses der am Ring stockenden Fichte sein. Die durch besseren Wuchs ausgezeichnete Fichte auf Moränenboden ist bezüglich Wasserführung des Bodens besser daran, da Steinblöcke, zwischen denen sie sich angesiedelt hat, Schutz gegen Verdunstung gewähren.

Die Fichtenbestände unterhalb der Waldgrenze weisen eine niedere Pflanzendecke, bestehend aus Heidelbeeren, Moosen, Waldgräsern auf, sofern nicht in geschlossenen Beständen nur eine Streudecke vorhanden ist. Bei der mit zunehmender Höhe lichter werdenden Stellung verschwinden im allgemeinen die Moose immer mehr, während Alpenrose, Moorbeere und Preiselbeere häufiger auftreten. Harte Riedgräser, wie Carexarten, Calamagrostis treten ebenfalls auf. An S-Hängen kann es zur Verheidung und Vergrasung kommen.

Es sei noch kurz einiges über die Wirtschaftsformen des Hochgebirges angeführt.

Nach Beobachtungen von Miklitz¹⁾ fehlen im allgemeinen in den Hochlagen der Gebirge die geregelten Wirtschaftsplenterwaldungen ganz. Reiner echter Plenterwald mit allen Altersklassen auf gleicher Fläche ist überhaupt nicht vorhanden. Die Behandlung des Waldes im Plenterbetrieb ist besonders dort unerlässlich, wo der Schutz- oder Bannwaldcharakter die Behandlung des Waldes in dieser Form notwendig macht oder bedingt. (Dies wegen der hohen Gefahrsicherheit dieser Betriebsart.)

Allerdings handelt es sich bei den Tiroler im Plenterbetrieb bewirtschafteten Waldungen nicht um den geregelten Wirtschaftsplenterwald, bei dem das Ziel des Bestockungsaufbaues eine möglichste „Vereinigung aller Alters- bzw. Stärkeklassen auf kleinster Fläche, ein stufen- und treppenartiger Schluß über den ganzen Wald weg“²⁾ ist. Auch wird beim Erntehieb bei der Entnahme des ältesten und hiebreifen Holzes nicht immer auf die Verjüngung und den vorhandenen Jungwuchs Rücksicht genommen, oder der Hieb gar auf diesen eingestellt. Es wurde in Gemeinde- und Teilwäldern meist das beste und stärkste Holz genutzt, während das minderwertige, schadhafte und zuwachslose zurückblieb. Die Verjüngung ist in so behandelten, oft lückigen Beständen

¹⁾ Miklitz: nach Rubner, a. a. O.

²⁾ Dengler: Waldbau, S. 539.

natürlich nicht befriedigend. Christian¹⁾ bezeichnet diese Art als „sogenannten“ Plenterbetrieb, in dem der weitaus größte Teil der Tiroler Wälder bewirtschaftet wird. In Tirol werden heute 300.600 ha im Plenterbetrieb und 119.300 ha im schlagweisen Betrieb bewirtschaftet.

Bestände, die dem Plenterbetrieb unterstellt sind, finden sich nach Happak meistens in den Lagen über 1400 m und bestehen aus „mehr oder weniger gleichalterigen, ungleichmäßig bestockten Beständen“; Fichte ist vorherrschend.

Es finden sich im Hochgebirge auch befriedigende geregelte Plenterbetriebe. So wird z. B. als solcher der Fraktionswald Ochsengarten im Ötztalgebiet in 1600 m Höhe angeführt²⁾.

Die natürliche Verjüngung der Fichte tritt im Kalkgebiet (Kalkkögel) hauptsächlich auf Rendzina ein, die mit einer dünnen Moderschicht bedeckt ist.

Nachstehende Bodeneigenschaften wurden unter einer in 1990 m Höhe am N-Hang des Kuhgrübl wachsenden jungen Fichte, der höchsten dieses Gebietes, gefunden. Die niedere Pflanzendecke besteht aus Heidel- und Moorbeere. Der Rendzinaboden ist mit einer 2—3 cm starken Moderschicht bedeckt. Der Anflug der Fichte erfolgte also im Moder, die Wurzeln konnten aber bald in die mineralische, stark humose Erde eindringen.

Pr. Nr.	H ₂ O-Gehalt bei Entnahme in Vol. %	H ₂ O-Kapazität Vol. %	Gew. %	Luftkapazität Vol. %	Hohlrvol. Vol. %	Vol. Gew.	Spez. Gew.	PH
244a	51	58	241	31	89	0.236	2.128	6.2

Auf silikatischem Gestein scheinen für die Fichtenverjüngung vor allem Braunerden mit stark humosem oberem Horizont, womöglich Alpenmoder, besonders günstig zu sein.

Der Anflug der Fichte stellt sich auf verschiedenen Unterlagen ein. Fabricius³⁾ unterscheidet Anflug auf modernden Holzmassen und auf gewöhnlichem Waldhumus.

¹⁾ Christian: Tirol und sein Wald. Österr. Vierteljahrsschr. f. Forstw. 1929, S. 154.

²⁾ Tschermak: Fragen des Waldbaues im Hochgebirge. Ref. i. Österr. Vierteljahrsschr. f. Forstws. 1925, S. 51.

³⁾ Fabricius: nach Müller: Aufbau etc.

Müller¹⁾ stellte fest, daß die Fichte (und auch Tanne) zu ihrer Keimung und überhaupt zu ihrer erfolgreichen Verjüngung im Urwald Holzlagerhumus und Holzmoder gefallener Altstämme bevorzugt. Auch die von Christ²⁾ festgestellte Tatsache, daß der Anflug oft reihenweise auf einer Linie steht, konnte Müller im Kubanywald und in den rumänischen Karpathen bestätigen. In den Waldungen des fernen Ostens³⁾ und in den nordamerikanischen Wäldern tritt dieselbe Erscheinung auf.

Die Fichte wird überhaupt als Moderkeimer bezeichnet, was jedoch Rubner⁴⁾ eingeschränkt wissen will, der meint, daß sie nicht ein ausgesprochener Gegner der Brandfläche sei.

Nach Müller tritt im Urwald unter Altbestand selten Fichtenverjüngung ein. Die Bodenverfassung wird als verjüngungsfeindlich bezeichnet, da wenig „Holzagerhumus“ vorhanden ist. Die Erscheinung, daß es auch unter einem lichtgestellten Fichtenaltbestand unter Umständen nicht zu natürlicher Verjüngung kommt, konnte auch in den Alpen festgestellt werden. Der 140—220jährige Fichtenbestand am Nordhang des Mittelberges im Pitztal ist Bannwald. Der Bestand blieb unangetastet. Es wurde also nicht durch rechtzeitige plenterweise Behandlung, wie sie das Ö. R. F. G. für Bannwälder vorsieht, für natürliche Verjüngung gesorgt.

Dem gegenüber zeigt der östlich anstoßende, nicht in den Bann gelegte Bestand, aus dem für den Almbetrieb ständig stammweise Holz entnommen wurde, gute und schöne natürliche Verjüngung.

Im folgenden werden noch die Beobachtungen, die bezüglich der Verjüngung von Fichte, auch Lärche und Zirbe auf einer Brandfläche gemacht wurden, mitgeteilt.

¹⁾ Müller: Aufbau, Wuchs und Verjüngung der südosteuropäischen Urwälder, Hannover 1929.

²⁾ Christ: Die Urwaldreste in den Brunigwaldungen, Schweiz, Zeitschr. f. Fw. 1902, S. 252 (nach Müller).

³⁾ Hoffmann: Aus den Waldungen des fernen Ostens, Wien 1913 (nach Müller).

⁴⁾ Rubner: Referat über: Müller: Urwaldfragen, Forstarchiv. 1930.

Waldbrände treten in den Hochlagen häufig auf. Im Untersuchungsgebiet wurden in 15% aller untersuchten Probestellen (über 300 mit Ausnahme der Brandfläche) verkohlte Holzreste gefunden. Hierbei mag es sich wohl meist um Brände geringer Ausdehnung handeln.

Im Untersuchungsgebiet im Stubaital befinden sich zwei große Brandflächen; eine am „Ring“, die andere an der Grabawand (Abb. 15) im inneren Teil des Unterbergtales. Beide liegen an S-Hängen in ungefähr gleicher Höhenlage. Ein besonders günstiges Studienobjekt bot die im Gebiet der Wald- und Baumgrenze liegende Großbrandfläche am Ring in Stubai, und zwar deshalb, weil anstoßend ein vom Brand verschonter alter Zirbenbestand stockt.

Im Jahre 1880 brannte durch die Unvorsichtigkeit von Holzarbeitern in einer Höhenlage von 1740—2150 m ein hiebsreifer Bestand ab, der ein Ausmaß von 40 ha besaß. Beim Brand wurde die Bodendecke mit vernichtet. Lange Jahre war die Aufforstung dieser Fläche, die früher mit Fichten und Zirben bestockt war, unmöglich.

Die kahl liegende Brandfläche hat stellenweise eine sehr starke Verheidung erfahren. Stellenweise wieder haben sich Heidelbeere, Moor- und Preiselbeere sowie Gräser (*Poa alpina*) und Himbeere angesiedelt.

Die natürliche Besiedlung der Brandfläche mit Holzarten hat am unteren Rand (von dem N-Rand des Bestandes aus) ihren Ausgang genommen und schreitet ganz allmählich bergaufwärts. Vorläufig weist erst der untere Teil der Brandfläche einen reichlichen Jungwuchs auf. Die Verjüngung dringt entsprechend den Feuchtigkeitsverhältnissen am Bestandesnordrand des Südhanges von unten nach oben vor. Vom Südrand des Zirbenbestandes, der auch einige Fichten enthält, nach abwärts (also vom Bestandssüdrand aus) ist keine Verjüngung festzustellen.

Im unteren Teil der Brandfläche ist ein schöner Zirbenaufschlag vorhanden, während der spärliche Fichtenanflug noch nicht recht gedeiht. Lärchen waren zur Zeit des Brandes

an diesem Hang nicht vorhanden, wurden aber nach dem Brand künstlich eingebracht und zwar am unteren Rand der Brandfläche; sie kommen sehr gut fort und haben ein sehr befriedigendes Aussehen¹⁾. Birke und Grünerle haben sich hier eingefunden.

Zwischen dem üppig wachsenden Heidekraut wurden Zirbennüsse eingestuft, die teilweise sehr gut aufkamen; außerhalb der Heide wurde Lärche und Fichte gesät, jedoch mit negativem Erfolg. Dieser Versuch wurde mitten in der Brandfläche durchgeführt. Für das Mißlingen dieser Saaten dürften die klimatischen Verhältnisse, wie sie der Großkahlfläche eines Südhanges eigen sind, mit verantwortlich zu machen sein; denn die Lärche als „Brandkeimer“ hätte doch zum Teil fortkommen müssen. Die im Heidekraut eingebrachten Zirbensaaten standen im Genuß des Schutzes der niederen Pflanzendecke.

Zwischen dem vom Feuer verschonten Zirbenbestand und dem unteren, bereits wieder bestockten Teil der Brandfläche besteht in Säuregrad kein Unterschied²⁾. Auch der Humusgehalt ist hier fast gleich hoch wie im Zirbenbestand³⁾. Zum Teil ist dies darauf zurückzuführen, daß an den Rändern von Brandflächen dicke Humus- bzw. Alpenmoderschichten nicht vollkommen verkohlen. Außerdem kommt, da die Wiederbesiedlung der Ränder am frühesten erfolgt, noch der Einfluß der von der niederen Pflanzendecke stammenden organischen Substanzen hinzu. Einen etwas geringeren Säuregrad hat eine die Brandfläche durchziehende Lawinenbahn⁴⁾, die fast keinen Jungwuchs aufweist und deren Bodendecke von *Poa alpina*, Heidekraut, Heidel- und Moorbeere gebildet wird. Der hier auftretende Podsol läßt schließen, daß vor dem Brand auch die jetzige Lawinenbahn mit Wald bestockt war, was auch den Tatsachen entspricht. Der Humusgehalt dieses Bo-

¹⁾ Lärche wird als Brand- und Mineralbodenkeimer bezeichnet.

²⁾ PH 3.73 bzw. 3.76 im Oberboden, 3.76 bzw. 3.88 im Untergrund.

³⁾ Und zwar 88 gegenüber 91 %.

⁴⁾ PH 4-22.

dens ist etwas geringer als der des Zirbenbestandes, die Verhältnisse haben sich jedoch schon stark ausgeglichen.

Jener Teil der Brandfläche, der früher einen Fichtenbestand trug und jetzt mit dichtem Heidekraut bestanden ist, besitzt ebenfalls einen etwas geringeren Säuregrad (PH 4.17) und einen bedeutend verminderten Humusgehalt (47%) als der verschont gebliebene Zirbenbestand.

Die schädliche Wirkung einer durch den Brand hervorgerufenen Alkalität des Bodens kommt im besprochenen Fall höchstens in den ersten Jahren nach dem Brand in Frage. In den an und für sich stark sauren Böden mußte bald ein Ausgleich erfolgen, der sich in einer geringen Verminderung des Säuregrades äußerte.

Zur Bildung von dicken Aplenmoderpolstern ist es auf der Brandfläche noch nicht gekommen. Nur einige Stellen, so die Lawinenbahn, weisen etwa 10 cm starke Alpenmoderschichten auf. Da diese Örtlichkeit mitten in der Brandfläche liegt und knapp daneben noch Baumleichen stehen, muß auch hier die Bodendecke vom Brand vernichtet worden sein. Demnach hat sich diese gut zersetzte Humusschicht innerhalb der 50 Jahre, die seit dem Brand verflossen sind, gebildet. Es ist dies ein Maßstab dafür, wie schnell sich Alpenmoder bilden kann.

Die physikalischen Eigenschaften der Böden haben sich durch den Brand insoferne geändert, als die lockeren Alpenmoderschichten verschwunden sind und der mineralische Boden zutage trat. Schon dadurch allein werden für die Zirbenverjüngung ungünstige Verhältnisse geschaffen; sie kann sich erst dann wieder einfinden, wenn es zur Ansammlung von Humus gekommen ist. Das Ausbleiben der Fichtenverjüngung wird verständlich, wenn man die Fichte als Moderkeimer bezeichnet. Jedenfalls benötigt auch sie einen gewissen Gehalt des Bodens an Humus.

Der mit dichtem Heidekraut bestandene, noch unbestockte Boden der Brandfläche (Pr. 117) ist in seinen physikalischen Eigenschaften dem Boden jenes Teiles der Brand-

fläche ähnlich, der 15—20jährige Fichten- und Lärchenjugenden und nur wenig Heidekraut (Pr. 104 und 105) trägt.

Pr. Nr.		Tiefe der Entnahme in cm	Wasser- kapazität		Luft- kapazität		Hohl- raumvol. Vol. %	Vol. Gew.	Spez. Gew.
			Vol. %	Gew. %	Vol. %	Vol. %			
117	Humuserde . . .	2—12	59	109	16	75	0·543	2·246	
104	Humuserde . . .	2—12	57	114	17	74	0·500	1·928	
105	Mineralischer Boden	12—22	46	48	13	59	0·969	2·415	
113	Alpenmoder . . .	0—10	33	218	42	75	0·152	0·632	
115	Mineralischer Boden	40—50	41	46	23	64	0·883	2·506	

Es hat also das Heidekraut keine anderen physikalischen Eigenschaften des Bodens erzeugt als eine in diesem Gebiete normale Pflanzendecke, die aus Beersträuchern und Gräsern mit Jungwuchs von Lärchen und Fichten besteht. Wesentlich verschieden sind, wie erwähnt, die physikalischen Bodeneigenschaften des Zirbenhorstes mit Alpenmoder (Pr. 113 und 115).

Auf der Brandfläche sind es wohl nicht die Bodenverhältnisse allein, die ein Aufkommen des Waldes verhindern, vielmehr spielt hier die Lage der Brandfläche in der Nähe der natürlichen Verbreitungsgrenze der Holzarten eine wichtige Rolle, wobei die Südexposition außerdem noch ungünstig einwirkt. Auf dem freigelegten Berghang fehlt bis zum Gipfel jeder Schutz gegen ungünstige klimatische Einflüsse.

Die durch den Brand entstandene Großkahlfäche, die des Schutzes des obersten Bestandes (ebenfalls abgebrannt) entbehrt, ist von einem Lawinengang durchzogen, auf dem mit einer Verjüngung schwerlich mehr gerechnet werden kann.

Die Wiederverjüngung der Brandfläche, die alle Nachteile der Großkahlfäche in gesteigertem Maße zeigt, wird auch noch durch die ungünstige physiologische Wirkung des freien Zutritt findenden Windes erschwert.

Nur langsam kann die Verjüngung von unten nach oben schreitend vordringen und es wird eines langen Zeitraumes bedürfen, bis der ganze Hang mit Wald bestockt sein wird. Hierbei ist es fraglich, ob der Wald bis zu seiner früheren Höhe wieder vordringen kann. Dies wird vor allem durch das Weidevieh verhindert, das dort, wo an und für sich spärliche Verjüngung vorhanden ist, besonders großen Schaden verursacht.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung	115
Klimatische Faktoren in ihrem Einfluß auf Boden und Vegetation an der Wald- und Baumgrenze	118
Lufttemperatur	118
Luftfeuchtigkeit und Niederschlag	124
Schnee- und Gletschergrenze	129
Die Windverhältnisse im Hochgebirge	135
Strahlungsverhältnisse im Hochgebirge	141
Bodentemperatur	147
Temperaturmessungen im Pitztal	156
Bodenmikroorganismen	175
Für den Verlauf der Wald- und Baumgrenze maßgebende Faktoren	181
Die Vegetationsstufen des Hochgebirges	190
Die Bodenarten der Untersuchungsgebiete	194
Kalkrohböden	195
Rendzina (Kalkhumusböden)	196
Silikatrohböden	197
Braunerden	199
Podsolböden	203
Alpenmoder	206
Wechselwirkungen zwischen Boden und Holzarten	212
Alnus viridis	212
Pinus montana	213
Larix europaea	215
Pinus cembra	219
Picea excelsa	237