

- : Der Einfluß der Alpen auf die Fallgebiete des Luftdruckes und die Entstehung von Depressionen über dem Mittelmeer. In: *Met. Zschr.* 1920.
- FLOHN, H.: Grundzüge der atmosphärischen Zirkulation und Klimagürtel. In: *Wiss. Abh. Dt. Geogr.-tag Frankfurt* 1951, 105–118.
- : Witterung und Klima in Mitteleuropa. *Forsch. dt. Ldk.* 78. 1954.
- : Luftmassen, Fronten und Strahlströme. In: *Met. Rdsch.* 11. Jg. H. 1. 1958, S. 7–13.
- GENSLER, G. A.: Die Klassifikation der Fronten. In: *Météorologie* 1957, 301–303.
- HENDL, M.: Systematische Klimatologie. Berlin 1963.
- HESS, P. u. H. BREZOWSKY: Katalog der Großwetterlagen Europas. 2. Aufl. Ber. d. Dt. Wetterdienstes Nr. 113. Bd. 15, 1969.
- HUTTARY, J.: Die Verteilung der Niederschläge auf die Jahreszeiten im Mittelmeergebiet. In: *Met. Rdsch.* 1950, 111–119.
- KLEIN, W. H.: Principal tracks and mean frequencies of cyclones and anticyclones in the Northern Hemisphere. US-Weather-Bureau. Res. Paper 40. Washington DC. 1957.
- KLETTER, L.: Der Transport kalter Luftmassen über die Alpen – beobachtet durch TIROS IV. In: *CARINTHIA* II. 24. Sonderheft. Wien 1965, 67–77.
- KLINKER, E.: Skandinavische Antizyklonen im Winter. Beil. z. Berliner Wetterkarte 49/70. v. 4. 3. 1970.
- KNOCH, K. u. A. SCHULZE: Methoden der Klimaklassifikation. *Pet. Mitt. Erg.-H.* 249, 1952.
- KÖPPEN, W.: Erläuterungen zur Karte der Häufigkeit und der mittleren Zugstraßen barometrischer Minima zwischen Felsengebirge und Ural. In: *Zschr. Osterr. Ges. Met.*, 17, 1882, 257–267.
- LANDSBERG, H. E.: Die Verteilung der Sonnen- und Himmelsstrahlung auf der Erde. In: *Weltkarten zur Klimakunde*. Berlin, Göttingen, Heidelberg 1963, 5–6.
- MAEDE, H.: Der Einfluß der Land-See-Verteilung in Mitteleuropa auf das Verhalten von Tiefdruckgebieten verschiedener Typen. *Z. f. Met.* 8, 1954, 161–174.
- MENSCHING, H., K. GIESSNER u. G. STUCKMANN: Die Hochwasserkatastrophe in Tunesien im Herbst 1969. In: *Geogr. Zschr.* 1970, 81–94.
- MÜLLER-ANNEN, H.: Zur Prognose der Zugbahnen von Tiefdruckgebieten. *Ann. d. Met.*, 3. Jg., 1950, 341–351.
- PETKOVSEK, Z.: Verspätung der Kaltfront an orographischen Hindernissen. In: *Met. Rdsch.*, 11. Jg., 1958, 123–127.
- REICHEL, E.: Über die Faktoren der Niederschlagsverteilung in Europa und im Mittelmeergebiet. In: *Met. Rdsch.* 1948, 414–416.
- REINEL, H.: Die Zugbahnen der Hochdruckgebiete über Europa als klimatologisches Problem. *Erlanger Geogr. Arb.* 10. 1960.
- REUTER, H.: Probleme der alpinen Synoptik. In: *CARINTHIA* II. 24. Sonderheft. 1965, 1–6.
- ROEDIGER, G.: Schlechtwetterhoch und Schönwettertief. In: *Wetterkarte d. Seewetteramtes* v. 28. Juli 1962.
- SCHERHAG, R.: Neue Methoden der Wetteranalyse und Wetterprognose. Berlin, Göttingen, Heidelberg 1948.
- : Luftbild: Wettersatellitenbild Atlantischer Ozean – Europa. In: *Die Erde*, 99. Jg., 1968, 109–114.
- SCHIRMER, H.: Die räumliche Struktur der Niederschlagsverteilung in Mittelfranken. *Forsch. z. dt. Ldk.* 81. 1955.
- SCHRÖDER, R.: Die Regeneration einer Zyklone über Nord- und Ostsee. *Veröff. d. Geophys. Inst. d. Univ. Leipz.*, 2. Ser. IV. 2. 1929.
- SCHWERDTFEGER, W.: Untersuchungen über den Aufbau von Fronten und Kaltlufttropfen. *Ber. d. Dt. Wett. in der US-Zone*, 3. 1948.
- SCULTETUS, H. R.: Klimatologie. Praktische Arbeitsweisen. *Das Geogr. Seminar*. Braunschweig 1969.
- THRAN-BROEKHUIZEN: *Agro-climatic Atlas of Europe*. Wageningen-Amsterdam 1965.
- TROLL, C. u. K.H. PAFFEN: Karte der Jahreszeiten-Klimate der Erde. In: *Erdkunde* Bd. XVIII. 1964, 5–28.
- VOIGTS, H.: Der europäische Sommermonsum und seine Auswirkung in Mitteleuropa. In: *Pet. Mitt.* 95, 1951, 231–238.
- WALDEN, H.: Statistisch-synoptische Untersuchung über das Verhalten von Tiefdruckgebieten im Bereich von Grönland. *Dt. Wett., Seewetteramt, Einzelveröff.* 20. Heidelberg 1959.
- WEISCHET, W.: Kann und soll noch klimatologische Forschung im Rahmen der Geographie betrieben werden? *Verh. Dt. Geogr.-tag*. Bd. 36. Wiesbaden 1969, 428–440.

## DER EINFLUSS DER OROGRAPHISCHEN SITUATION AUF DIE WINDVERHÄLTNISSE IM SPIEGEL DER VEGETATION

dargestellt an Beispielen aus dem Val Maroz (Bergell), aus dem Oberengadin  
und vom Pru del Vent (Puschlav)<sup>1)</sup>

Mit 5 Abbildungen, 12 Photos und 1 Tabelle

FRIEDRICH-KARL HOLTMEIER

*Summary:* The influence of orography on wind conditions derived from the physiognomy of the vegetation

Windshaped trees and – in high-mountain areas with a cold winter climate – the pattern of the bottom layer of the vegetation, which is mainly formed by the windinfluenced distribution of the snow-cover in winter, can be used as

fairly good indicators of the prevailing and most effective winds. The map published in this paper is based on observations, which were chiefly obtained during fieldwork on the

<sup>1)</sup> Die Beobachtungen fielen während der Geländearbeiten zu einer vergleichenden geökologischen Studie der

alpine timber-line in eastern Graubünden. It shows that because of the special orographical situation of the valleys under consideration, which favours the inflow of air masses of the atmospheric circulation, the influence of these gradient-winds on the vegetation is much more effective than that of the local breezes (valley-breezes etc.) being a quite characteristic phenomenon of these fairly continental valleys in general. Furthermore in comparison to the other localities mentioned in this paper it indicates the quite special situation of the Oberengadin. In contrast to those which are strongly influenced by winds from the Northwest, the upper part of the Oberengadin, which is fairly protected against these air-currents by high mountain-ridges, is dominated by winds from the Southwest which can easily follow the course of the valley. Only within the Champagna-area, where the valley is a very broad one, does it come under the rule of the northwest-winds as well, which can become effective there even on the bottom of the valley because of the orographic situation. The increasing influence of these winds within this region proof of which may be derived from the physiognomy of the vegetation proves that the winds coming from the Northwest are more effective than those from the Southwest, due to the greater frequency and intensity (see the compass-cards in the map) of the northwestern aircurrents.

## I

Es ist eine altbekannte Tatsache, daß häufig aus derselben Richtung wehende Winde das Wachstum der Bäume beeinflussen und im Laufe der Jahre zu Schrägstellungen der Bäume und zu einseitigen Kronendformationen führen können (vgl. BERNBECK 1920). Typisch sind diese Erscheinungen für windoffene Landschaften, Meeresküsten und Inseln (BURCHARD 1912, GIESSLER 1928, RUNGE 1955 SCHWEINFURTH 1962, 1966). Aber auch aus den Alpen sind sie verschiedentlich beschrieben worden (FRÜH 1901, 1902, GAMS 1927, BROCKMANN-JEROSCH 1929, RUNGE 1958, 1959, YOSHINO 1964 u. v. a.). Dort spiegeln sie vor allem die von der allgemeinen Luftströmung über dem Gebirge oft abweichenden lokalen Windverhältnisse wider, die von den meteorologischen Beobachtungsstationen meist nur unvollkommen oder auch gar nicht erfaßt werden. Für die Vegetation wie auch für Tier und Mensch in diesen Räumen können sie aber unter Umständen von entscheidender Bedeutung sein, sei es, daß es sich um kalte Fallwinde handelt, die die Reife der Feldfrüchte verzögern, um föhnlige Winde, die diese unter Umständen begünstigen oder auch die Waldbrandgefahr erhöhen, oder um solche, die – durch Kanalisierungs-

effekte verstärkt – zu gewaltigen Schneeuumlagerungen führen und den Menschen zu kostspieligen Verwehungsbauten und Lawinensicherungen zwingen (vgl. Kapitel III, 4).

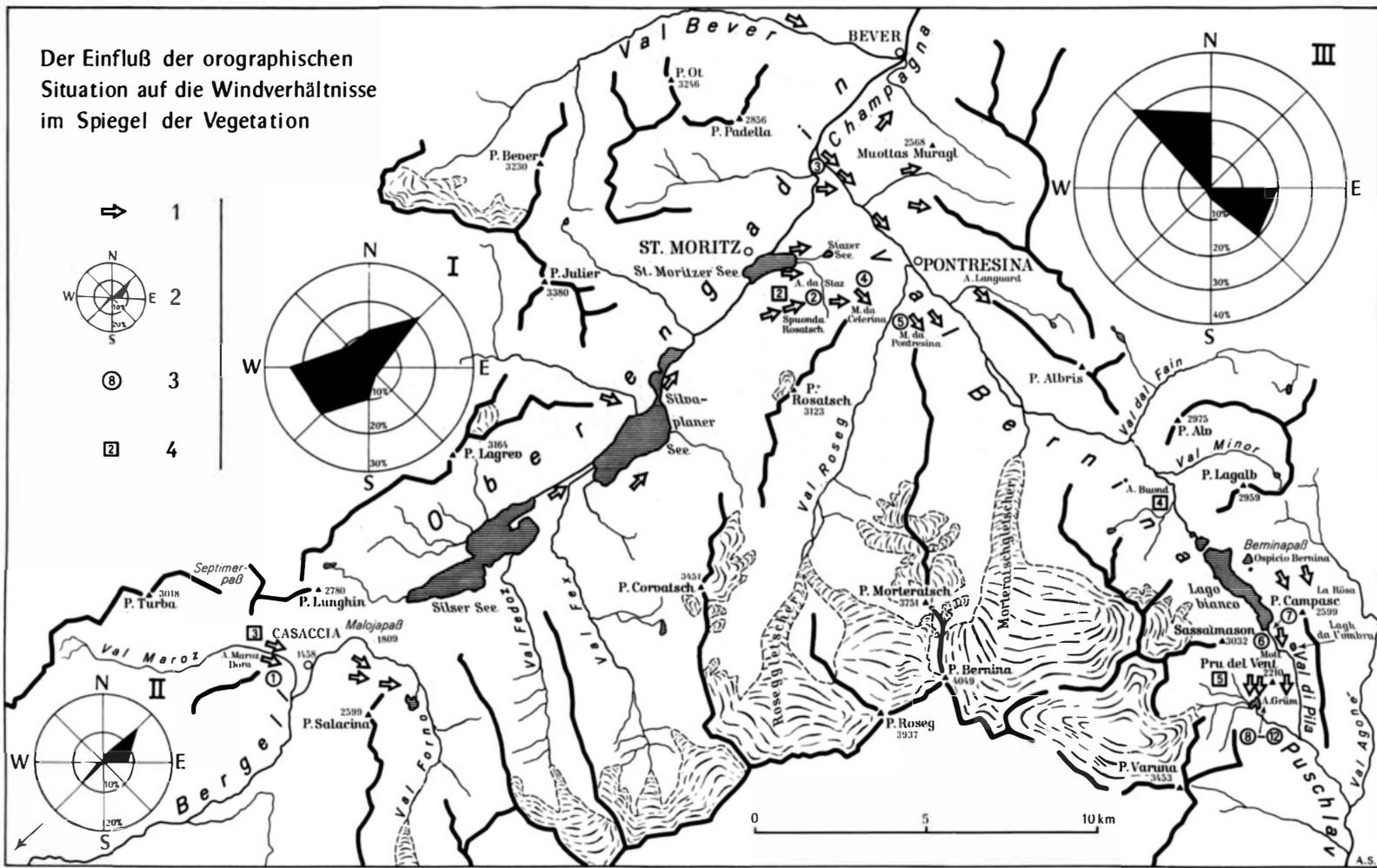
Zahlreich sind dann auch die Versuche, von der Verbreitung solcher Windformen her, die man kartierte, nach der Windempfindlichkeit der Baumarten unterschied und nach Deformationsgraden einteilte, die Windverhältnisse einzelner Landschaften zu analysieren (FRÜH 1901, 1902, BROCKMANN-JEROSCH 1929, LAWRENCE 1939, WEISCHET 1951, 1955, TROLL 1955, RUNGE 1958, 1959, BARSCH 1962, YOSHINO 1960, 1963, 1964, 1966). Mögen derartigen Auswertungen auch Grenzen gesetzt sein, so liegt ihr großer Vorteil doch darin, daß sich sehr rasch zunächst auch ohne meteorologisches Beobachtungsmaterial ein zuweilen sogar schon recht differenzierter Überblick gewinnen läßt, der wichtige Anhaltspunkte für weiterführende Untersuchungen bieten kann und die Aussagen des notgedrungen weitmaschigen meteorologischen Stationsnetzes zu vervollständigen vermag.

Die folgende Darstellung soll die zahlreichen aus dem Alpenraum vorliegenden Beobachtungen ergänzen, zumal es sich bei den im Val Maroz und am Pru del Vent aufgefundenen Windformen um Extremfälle handelt, wie sie in dieser Art, zumindest bei der Arve (*Pinus cembra*), in den Alpen wohl nicht allzu häufig sein dürften. Obwohl diese beiden Standorte durchaus nicht schwer zugänglich sind – der erste liegt unmittelbar an der alten Route zum Septimer Paß, der zweite dicht bei der Station Alp Grüm (Berninapaß) der Rhätischen Bahn – und bei ortskundigen Leuten auch bekannt sind, hat Verfasser außer einer Erwähnung von „zerzausten Lärchen“ (ohne jede weitere Angabe über die Art der Deformationen und die Richtung der Windfahnen) am Pru del Vent bei FRÜH 1938 weder in der forstlichen noch in der botanischen und geographischen Regional-literatur (GEIGER 1901, BROCKMANN-JEROSCH 1907, 1929, RIKLI 1909, RÜBEL 1912, KUSTER 1945, SIMMEN 1949, TOGNINA & ZALA 1963) Hinweise darauf gefunden. Die vergleichsweise „harmlosen“ Windformen im Oberengadiner Haupttal dagegen werden verschiedentlich mit dem Hinweis auf die formende Kraft des Malojawindes genannt (DORNO 1927, FRÜH 1938 u. a.). Im Zusammenhang mit den erstgenannten Lokalitäten vermitteln sie ein Bild von den Windverhältnissen dieses Raumes am Übergang von den Zentralalpen zu den Südalpentälern (Abb. 1).

## II

Die Richtung der windbedingten Baumkronen- und Baumdeformationen wurde mit einem Kompaß ermittelt. Bei ausgeprägten Windfahnen, Wächten-, Tisch- und Wipfeltischformen ist das sehr einfach. Außert sich aber der Windeinfluß nur in einer mehr oder weniger starken Stammneigung, wie z. B. bei den

alpinen und subarktischen Waldgrenze an. Herrn Prof. Dr. Dr. h. c. Joachim Blüthgen (Münster), der mir diese Untersuchungen ermöglichte, sowie der Deutschen Forschungsgemeinschaft, die umfassende finanzielle Unterstützung gewährte, spreche ich auch an dieser Stelle meinen Dank aus. Ebenso danke ich den Herren Dr. G. A. Gensler und Dr. M. Schüepp (Meteorologische Zentralanstalt Zürich) für die Überlassung meteorologischen Materials und viele sachdienliche Hinweise.



Der Einfluß der orographischen Situation auf die Windverhältnisse im Spiegel der Vegetation

Abb. 1: 1 Richtung der windbedingten Baumkronendeformationen und Stammneigungen. Jeder Pfeil stellt mehrere Einzelbeobachtungen dar. 2 Winddiagramme von Bever (I), Castasegna (II) und vom Berninapaß (III). Die Diagramme I und II beruhen auf Stationsbeobachtungen, Diagramm III auf 15monatigen Beobachtungen von SCHRÖTER und Mitarbeitern. 3 Lage der Photos; 4 Lage der Abbildungen.

The influence of the orographic situation on windflow as shown by wind-shaped trees and alpine vegetation  
 1 direction of wind-influenced tree crown deformations and trunk bending. Every arrow represents several individual observations. 2 wind diagrams from Bever (I), Castasegna (II) and the Bernina Pass (III). Diagrams I and II are based on station observations and diagram III is derived from 15 months of observations by SCHRÖTER and his co-workers. 3 position of the photos; 4 position of the figures

uralten Lärchen (*Larix decidua*) in der Champagna bei Celerina (Photo 3), statt in einer deutlichen Kronendeformation, so ist die Richtungsbestimmung etwas schwieriger. Man muß um einen solchen Stamm herumgehen, bis dieser einen rechten Winkel mit dem horizontalen Erdboden zu bilden scheint. Aus der gedachten Linie vom Standpunkt des Beobachters (mindestens 30–60 m vom Baum entfernt) zum Baum ergibt sich die Neigungsrichtung. Ist das Gelände abschüssig, so muß man eine gedachte Horizontale als Bezugslinie annehmen.

Schrägstellungen von Bäumen müssen nicht windbedingt sein, sondern können auch auf manche andere Ursachen zurückzuführen sein, z. B. auf besondere Untergrundverhältnisse, Rutschungen u. ä. Bei der Beurteilung solcher Bäume im Hinblick auf mögliche Windeinwirkungen müssen eventuelle deartige Standortseinflüsse berücksichtigt werden.

Auch sind nicht alle fahnenförmigen Baumkronen durch den Wind verursacht worden. Bei dichterem Bestandesschluß entwickelt z. B. die Lärche häufig asymmetrische Kronen, wobei die stärker entwickelte Seite vom Nachbarbaum wegweist. Erst extreme Windverhältnisse (s. Pru del Vent) vermögen diese konkurrenzbedingte Asymmetrie zu eliminieren oder zu überlagern. Im Waldbereich ist es daher viel schwieriger, Baumkronendeformationen zu beurteilen und ihre Richtung zu bestimmen als in der Kampfzone oder bei einzelnstehenden Bäumen in den Talwiesen. Es sind auch schon hangseitig schwächer entwickelte Baumkronen als Resultat lokaler Hangabwinde interpretiert worden (z. B. YOSHINO 1964, Abb. 3, Seite 31), die aber offensichtlich durch Schneedruck, Schneegleiten oder -kriechen auf der Hangseite entstanden waren. Die Beobachtungen im Gelände zeigen überdies, daß z. B. bei der Arve in „jüngeren“ Jahren (60–150), wenn sich also noch nicht ihre typische Altersform<sup>2)</sup> herausgebildet hat, die hangseitige Kronenhälfte deutlich schwächer entwickelt ist als die talwärts schauende.

Hinsichtlich des lokalklimatischen Aussagewertes der Windformen sei noch bemerkt, daß diese „Summenwirkungen“ darstellen. Letztlich spiegeln sie die Richtung der in ihrer mechanischen und physiologischen Wirkung dominierenden Winde wider. Erfahrungsgemäß sind das die richtungsmäßig vorherrschenden Luftströmungen. Es können aber durchaus auch im Gang der Jahreszeiten besonders effektive Winde die Ursache sein, wie sie TROLL 1955 aus dem

Columbia-Durchbruchstal im Cascadengebirge beschrieben hat.

Die Windformen gehen sowohl auf mechanische als auch vor allem physiologische Windeinflüsse zurück. Schrägstellungen der Bäume (vgl. Photo 2, 3) sowie Umbiegen der luvseitigen Äste und Zweige (vgl. Photo 1) sind wesentlich durch den Winddruck bedingt. Die Zweige verholzen in der aufgezungenen Stellung. Die asymmetrische Entwicklung der Baumkronen an windexponierten Standorten, die eine deutliche Wachstumshemmung auf der Windseite erkennen läßt (z. B. Photo 4, 7, 10) – die Anzahl und Länge der Nadeln und Triebe ist meist nur etwa halb so groß wie auf der Leeseite – geht in erster



Photo 1: Fahnenarve im Val Maroz (NNE-Exposition) bei 1840 m. Die luvseitigen Zweige und Äste sind nach Lee umgebogen. Im Gegensatz zu entsprechenden Windformen bei der Lärche (vgl. Photo 10) ist der Wipfel völlig gerade gewachsen. Rechts der Arve sind ebenfalls fahnenförmige Fichtentriebe zu erkennen. Photo 17. 10. 1967.

Banner cembra-pine in Val Maroz (NNE exposure) at 1840 metres. The branches and boughs on the windward side are twisted round to the lee. In contrast to the corresponding wind forms on the larch (cf. photo 10) the three top has grown completely straight. To the right of the cembra-pine can be seen similarly banner-shaped pine saplings. Photo 17. 10 1967.

<sup>2)</sup> In hohem Alter neigt die Arve zu kandelaberförmigem Wuchs. Eine Vielzahl kräftiger bogenförmig aufwärtsgerichteter Äste bildet zusammen mit den Wipfeltrieben eine oft breit ausladende Krone. Im Laufe ihres langen Lebens haben diese Bäume oft zahlreiche umwelt- und altersbedingte Schädigungen erlitten. Diese mitunter bizarren Baumgestalten werden häufig, aber nicht unbedingt ganz richtig als „Wetterarven“ bezeichnet.

Linie auf physiologische Ursachen zurück, wobei die dehydrierende Wirkung des Windes eine entscheidende Rolle spielt.

Im windoffenen Kampfzonenbereich über der Waldgrenze und in der alpinen Zwergstrauch-Flechtenheide vermag die Verbreitungsdifferenzierung der Bodenvegetation (Zwergsträucher, Flechten, Gräser) gute Hinweise auf die Windverhältnisse zu geben (vgl. Abb. 2). Das Pflanzenleben in diesen Hochlagen wird in entscheidendem Maße davon bestimmt, inwieweit im Winter eine schützende Schneedecke vorhanden ist. Deren Verteilung wird wesentlich durch den aerodynamischen Einfluß des Geländes auf das bodennahe Windfeld bestimmt (vgl. dazu TURNER 1961, AULITZKY 1961, KRONFUSS 1967). In Luvlagen wird relativ wenig Schnee abgelagert. Auf exponierten Kuppen, Geländewellen und Graten sowie auch an in Windrichtung verlaufenden Geländekanten wird er oft völlig verblasen, so daß selbst im Hochwinter an diesen Standorten nur höchst selten eine geschlossene Schneedecke zustandekommt (vgl. auch Photo 9). Im Lee findet dagegen eine starke Akkumulation statt. Infolge ihrer großen Mächtigkeit bleibt die Schneedecke dort dann sehr lange liegen.

Die Ausaperungszeitpunkte in der Kampfzone sind wesentlich von den durch Wind und Relief gesteuerten Akkumulationsverhältnissen und weniger von der Strahlungsexposition der Standorte abhängig (vgl. TURNER 1961). In einem Gebiet mit dominierenden Nordwinden ist z. B. immer wieder zu beobachten, daß selbst südexponierte Leelagen noch Schnee tragen, während die nordexponierten Luvlagen längst schneefrei sind.

Da nun die Winde nicht nur die Schneedecke verblasen, sondern obendrein durch ihre transpirationssteigernde und austrocknende Wirkung (die Erwärmung der Nadeln und Blätter kann im Spätwinter [April] fast 30 Grad erreichen, TRANQUILLINI und TURNER 1961) die Existenz der Pflanzen bedrohen – an schneearmen Standorten vermögen sie den entstehenden Wasserverlust infolge des gefrorenen Bodens bei längerer derartiger Beanspruchung nicht auszugleichen – können nur sehr wind- und austrocknungsresistente Pflanzen an den exponierten Standorten durchkommen, während die empfindlichen auf leeseitige und andere akkumulationsgünstige Geländepartien beschränkt sind. So läßt die Verbreitungsdifferenzierung der Bodenvegetation nach dem Grade ihres Schneeschutzbedürfnisses, bzw. ihrer Wind- und Frosttrocknisresistenz, Rückschlüsse auf die Windverhältnisse während der kalten Jahreszeit zu.

Weitere wichtige Hinweise erhalten wir durch Windanrisse und Deflationserscheinungen. Nicht zuletzt können auch Infektionen der immergrünen Nadelhölzer (Arve, Zwergwacholder, Bergföhre, Fichte) durch die Schneeschütte (*Phacidium infestans*) und den Schwarzen Schneeschimmel (*Herpotrichia nigra*), Pilze, die nur unter einer ausreichend mächtigen und lange andauernden Schneedecke zu existieren vermögen (GÄUMANN et. al. 1934, BJÖRKMANN 1948), als Indizien zur Beurteilung der winterlichen Akkumulations- und Windverhältnisse herangezogen werden (vgl. Abb. 2).

Es gehört jedoch eine ausreichende Pflanzenkenntnis und vor allem auch einige Geländeerfahrung dazu, diese Hinweise der Natur richtig zu deuten.

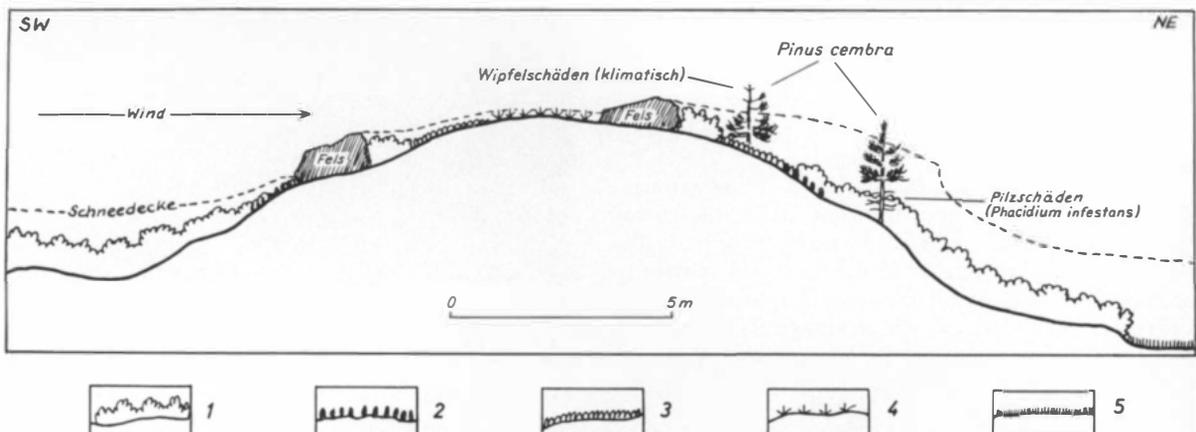


Abb. 2: Verbreitungsdifferenzierung der Bodenvegetation unter dem Einfluß der Wind- und Schneedeckenverhältnisse (schematisch, nach den Verhältnissen auf dem NW-exponierten Hang des Oberengadiner Haupttales, vgl. HOLTMEIER 1965).

Differentiation in the distribution of ground vegetation under the influence of wind and snow cover conditions (schematic, following the conditions on the NW facing slope of the Upper Engadine main valley cf. HOLTMEIER 1965)

1 *Rhododendron ferrugineum* (auf dem Leehang moosreich); 2 *Vaccinium myrtillus*; 3 *Vaccinium oliginosum*, *Empetrum nigrum*; 4 *Loiseleuria procumbens*, Flechten (*Alectoria ochroleuca*, *Thamnolia vermicularis*, Cladonien), *Juncus trifidus*, *Agrostis alpina*; 5 *Trichophorum caespitosum*, *Eriophorum Scheuchzeri*, *Carices* u. a. m.

## III

## 1) Val Maroz

Als leicht nach Norden geschwungenes, von West nach Ost verlaufendes Hängetal mündet das Val Maroz mit einer steilen, von einer Klamm zerschnittenen Mündungsstufe von Westen her bei Casaccia (1458m) ins oberste Bergell<sup>3)</sup>.

Bis auf die weitständigen Arven, Lärchen und Fichten (*Picea abies*) am engen und steilen Talausgang ist das Maroz-Tal waldlos. Diese Waldlosigkeit ist nicht klimatisch bedingt, sondern beruht in erster Linie auf der hier seit altersher betriebenen Alpwirtschaft. Das tiefeingeschnittene Bergell mit seinen steilen und oft wildzerissenen Talflanken ist arm an gut zugänglichen Alpweiden. Daher war man gezwungen, im Sommer mit dem Vieh über die Wasserscheiden hinweg ins Oberengadin und selbst in das nur auf sehr schwierigen und äußerst gefährlichen Gebirgspfaden erreichbare Madriser Tal und ins Avers hinüberzuziehen. Das Val Maroz mit seinem relativ ebenen und breiten Hochtalboden stellte unter diesen Verhältnissen ein geradezu ideales Alpgebiet dar, wo sich deshalb der Baumwuchs nur an den steilsten und schwer zugänglichen Standorten halten können.

In den sehr lockeren Beständen zu beiden Seiten des Talausgangs stieß Verfasser auf eine ganze Reihe von fahnenförmigen Arven, Lärchen und Fichten, die einen beherrschenden Einfluß talauswärts gerichteter Winde erkennen lassen. Diese Windfahnenbäume beschränken sich auf die beidseitigen Hangpartien oberhalb der Mündungsstufe (Abb. 3). Deren steil abfallendes Gelände selbst liegt schon im Windschatten und entbehrt daher solcher Baumformen (vgl. dazu auch die in Abb. 5 dargestellte Situation am Pru del Vent).

Als Musterbeispiel ist hier eine Arve abgebildet (Photo 1). Ihr Standort liegt 1840 m hoch – also weit unter der aktuellen Baumgrenze (2000m) – auf der nordexponierten Talflanke, ca. 50 m höher als die Talsohle, inmitten gewaltiger, von Alpenrosen (Schattengang), Vaccinien, Flechten und Grünerlen überwuchterter Felstrümmer. Der Baum ist ca. fünf Meter hoch. Sein Brusthöhendurchmesser beträgt 15 cm. Scheitelförmig sind die Äste und Zweige in die vorherrschende Windrichtung umgebogen. Die Zahl der Zweige ist auf der Leeseite größer als auf der windexponierten talaufweisenden. Eine auffällig polierte

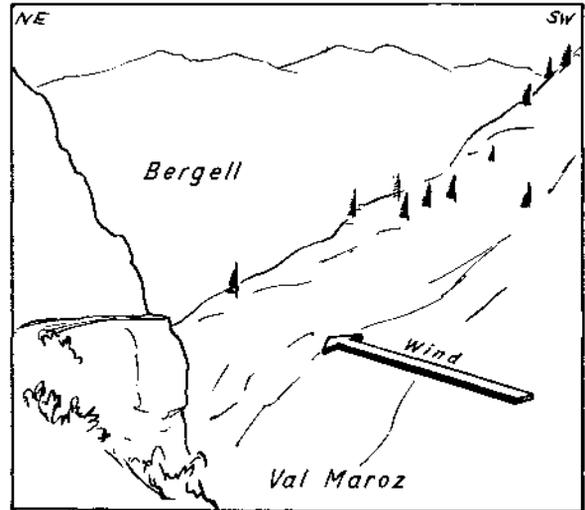


Abb. 3: Val Maroz. Die Baumkronendeformation (vgl. auch Photo 1) weisen talauswärts.

Val Maroz. The tree crown deformations (cf. also photo 1) point out towards the valley.

Glätte und silbriggraue Farbe der windexponierten Stammseite, die auf dem bei sehr ungünstigen Witterungsverhältnissen aufgenommenen Photo nicht mehr recht zum Ausdruck kommt, könnte mit der Eisgebläsewirkung in Zusammenhang gebracht werden (vgl. HOLTMEIER 1968, s. auch Photo 11). Dicht neben diesem Baum stehen andere ebenso geformte Arven. Auch die kleinen Fichten rechts neben der Arve zeigen bereits deutliche Ansätze zur Fahnenform. Weiter oben am Hang wie auch auf der gegenüberliegenden Talflanke lassen sich entsprechende Beobachtungen anstellen. Nicht nur der Baumwuchs, sondern auch die Zwergstrauchvegetation, insbesondere die Alpenrose, weisen dort, wo sie über das Niveau der winterlichen Schneedecke herausragen, Spuren der Windwirkung in Gestalt vertrockneter Zweige und Blätter auf.

Deuten die Verformungen auch auf Winde aus dem Westen hin, so sind jedoch auch nordwestliche Winde, die aus dem Avers und über den Septimerpaß herüberwehen und wegen ihres boraähnlichen Charakters vom Bergeller als „vento“ (kalter Wind, GEIGER 1901) bezeichnet werden, sowie orographisch abgelenkte Südwestwinde bei der Entstehung dieser Fahnenformen nicht auszuschließen. Als sicher darf angenommen werden, daß diese extreme Ausprägung der Fahnenform, insbesondere bei der Arve, die allgemein als sehr resistent in dieser Hinsicht gilt (vgl. RIKLI 1909, DÄNIKER 1952, HOLZER 1959, AULITZKY 1963), auf die durch den sehr engen Talausgang hervorgerufene Kanalisierung und Beschleunigung der das Tal abwärts wehenden Winde, seien es nun orographisch abgelenkte nordwestliche Fallwinde oder die sich dem Talverlauf anschmiegenden Südwest- und Westwinde großräumiger Wetterlagen, zurückzuführen ist. Durch

<sup>3)</sup> Wie sein der Richtung des Bergell (SW–NE) entgegengesetzter Verlauf leicht erkennen läßt, gehörte das Val Maroz einst zum obersten Einzugsbereich des Inn und bildete, wie auch das Val Forno und das Albignatal auf der Ostseite des Bergell, einen Teil des Talschlusses des heute frei nach Südwesten in die Luft austreichenden Oberengadiner Haupttales. Im Zuge der von STAUB 1952 im einzelnen untersuchten geologischen Entwicklung im Tertiär wurden diese Oberläufe des Inn von der südwärts gerichteten Mera angezapft und deren Einzugsbereich angegliedert.

die weiter unten geschilderten Beobachtungen vom Pru del Vent, wo es sich um eine ganz ähnliche „windgap“-Situation handelt, läßt sich diese Auffassung stützen. Am 16. IX. 1967 maß Verfasser bei der abgebildeten Arve mit einem Schalenanemometer die mittlere Windgeschwindigkeit des talabwehenden Windes mit 11 m/sec, während sie weiter talaufwärts im freien Alpgelände von Alp Maroz Dora (1799 m) auf dem Talboden nur etwa 6 m/sec betrug. Die allgemeine Höhenströmung war West bis Nordwest.

Merkwürdigerweise sind im Bergell selbst, das sich ja geradezu in idealer Weise als „Leitlinie“ für die südwestlichen Gradientwinde anbietet und in dessen auf das Oberengadin übergreifenden Talwind sogar die Ursache für den oft geradezu stürmischen Malojawind gesehen wird (vgl. dagegen KLAINGUTI-SCHAUMANN 1937, s. auch Anmerkung 5), keine derartigen Windformen anzutreffen<sup>4)</sup>. Jedenfalls wird weder in der Literatur (GEIGER 1901) darüber berichtet, noch konnten mir sichere Gewährleute Hinweise darauf geben. Möglicherweise spielt die auf der ganzen Strecke große Enge dieses Tales mit seinen dicht bewaldeten Hängen (Reibung, Bremsung der Luftströmungen) dabei eine entscheidende Rolle. Eine Reihe eigener Beobachtungen ergaben, daß bei starkem Malojawind im Oberengadin im Bergell selbst (Casaccia) der Wind nur schwach entwickelt war. Von einem mächtig entwickelten Talwind und einer theoretisch durchaus anzunehmenden Windkanalwirkung war jedenfalls nichts zu spüren<sup>5)</sup>.

Auf der der Mündung des Val Maroz gegenüberliegenden Talflanke des Bergells, am nordexponierten Hang des Piz Salacina (2599m), stieß Verfasser jedoch auf winddeformierte Arven und Lärchen, die in Fortsetzung der Val Maroz-Linie nach Osten weisen. Die hier durch den Einschnitt des Maroz-Tales begünstigten Querwinde scheinen im Hinblick auf den Baumwuchs effektiver zu sein als die der Bergeller Linie folgenden Südwestwinde.

<sup>4)</sup> Die je nach Wetterlage und Tageszeit talauf- oder talabwehenden Winde im Bergell sind von der Bevölkerung mit besonderen Namen bedacht worden. „Vento“: ein kalter boraähnlicher Wind, der aus dem Avers herüberweht und trockenes Wetter bringt. „Brüscha“: kommt als Fallwind aus dem Oberengadin (der eigentliche Talwind des Oberengadins) und bringt ebenfalls schönes Wetter. „Favogn“: ebenfalls aus NE wehend (antizyklonal), sehr warm. „Breva“: eigentlicher Talwind des Bergells (nach GEIGER 1901, BILWILLER 1904 und KLAINGUTI-SCHAUMANN 1937).

<sup>5)</sup> Beispiel einer Beobachtung: Fahrt von St. Moritz nach Casaccia (Bergell), 14.15 Uhr bei St. Moritz leichter Wind, See noch spiegelglatt, 14.30 Uhr Silser See mit deutlichem Wellenzug talwärts, 15.00 Uhr Casaccia ganz leichter Talwind, um 15.45 Uhr immer noch sehr schwach (bewegt gerade Blätter), 15.55 Uhr Paßhöhe Maloja stürmischer Malojawind, 16.00 Uhr St. Moritz stürmischer Malojawind (Lärchen und Fichten schwanken, Schaumkronen auf dem See).

## 2) Oberengadin

Nur wenige Kilometer oberhalb von Casaccia erstreckt sich in Fortführung der Bergeller Linie in südwest-nordöstlicher Richtung das im Gegensatz zum tiefeingeschnittenen Bergell von sanft ansteigenden, glazial überformten Hängen gesäumte breite Hochtal des Oberengadins. Hier sind nun Windformen sehr häufig, wenngleich sie auch nicht die extreme Ausbildung der aus dem Val Maroz beschriebenen und der am Pru del Vent (vgl. Kapitel III, 4) zu beobachtenden aufweisen.

Eigentlich sollte man Windformen in allererster Linie auf dem gegen Südwesten offenen und voll exponierten Malojapaß erwarten. Doch eigenartigerweise existieren dort keine. DÄNIKER 1952 hat seinerzeit die in der Rundhöckerlandschaft von Maloja (Tranzfluenzpaß) dominierenden Bergföhrenbestände (*Pinus montana*, aufrechte und liegende Form, vgl. auch Waldkarte des Oberengadins in HOLTMEIER 1967) eingehend untersucht und auch diese Tatsache besonders hervorgehoben. Er sieht darin eine Folge einer im Laufe des sehr langsamen Wachstums erworbenen mechanischen und physiologischen Unempfindlichkeit dieser Bäume gegen diese Windeinflüsse.

Nach den Beobachtungen der Windformen bei den in dieser Hinsicht als besonders resistent geltenden Arven im Val Maroz und zudem im Hinblick auf die Nährstoffarmut und Flachgründigkeit der Bergföhrenstandorte kann sich Verfasser dieser Ansicht nicht anschließen, ohne aber vorerst eine andere gesicherte Erklärung anbieten zu können. DÄNIKER beschreibt dann von der Leeseite der flachen Paßschwelle ausgedehnte Schneedruckschäden, „heruntergedrückte Stämme und vielfach starke, halb oder ganz heruntergerissene Äste“, die m. E. auf die durch die Paßschwelle entstehenden, die Akkumulation begünstigenden Turbulenzen (d. h. Verminderung der Windgeschwindigkeit) im Strömungsfeld hinweisen. Möglicherweise wird auch die von Südwesten anströmende Luft durch den mauerartigen Steilhang der Südrampe des Passes etwas vom Boden abgehoben.

Weiter talwärts sind dann jedoch die Spuren der vorherrschenden Südwestwinde an den Bäumen nicht zu übersehen, sowohl auf der breiten Talsohle als auch im Waldgürtel und vor allem im Wald- und Baumgrenzbereich. Während sich der ständige Windeinfluß an exponierten Bäumen und Bestandesrändern im Talsohlenbereich meist in einer talabweisenden Neigung der Stämme und leicht asymmetrischen Ausbildung der Baumkronen bemerkbar macht, wie es schon von der Autostraße aus immer wieder festzustellen ist, werden gegen die Waldgrenze hin neben einer zunehmenden Wachstumsstauung diese Merkmale immer ausgeprägter und häufiger. Vielfach ist der Wipfel in die Windrichtung umgebogen oder dachartig abgeflacht. Das gilt insbesondere für die Lärche

(Photo 2). Derartige Deformationen sind meist nur bei alten freistehenden Waldgrenzbäumen und an solchen zu beobachten, die das Kronendach des Waldes überragen oder weniger geschützt in einer Lichtung oder auf einer Kuppe stehen. Die Umbiegung der Wipfel ist auf eine unzureichende Festigkeit der Wipfeltriebe zurückzuführen, die schließlich in der vom Wind aufgezwungenen Stellung verholzen. In der windoffenen Kampfzone sind solche Verformungen auch an jungen Lärchen manchmal schon im Ansatz vorhanden (vgl. z. B. Photo 10). In weit stärkerem Maße ist deren Physiognomie an exponierten Standorten jedoch von der differenzierenden Wirkung der winterlichen Schneedecke abhängig (vgl. Photo 4).



Photo 2: Ostweisende Windformen der Lärche an der Waldgrenze im Gebiet der Alp da Staz bei ca. 2150 m. Typisch, besonders für die alten Lärchen, ist die Umbiegung des Wipfels. Im Hintergrund der Piz Julier (3380 m). Photo Aug. 1963.  
East-pointing wind forms of the larch at the tree-line in the Alp da Staz area at about 2150 metres. Contortion of the treetop is typical, especially in the old larches. Piz Julier (3380 metres) in the background. Photo August 1963.

Bei den Arven sind im Gegensatz zu den Lärchen Bruchschäden, die durch starke Stürme, oft in Verbindung mit hoher Schneebelastung, verursacht wurden, eine häufige Erscheinung<sup>6)</sup>. An jungen Arven fehlen sie jedoch vollständig. Fahnenformen, die denen im Val Maroz vergleichbar waren, hat Verfasser an der Waldgrenze im Oberengadiner Haupttal nicht angetroffen, wohl aber typische Tisch- und Wipfeltischformen, wie sie sich an exponierten Standorten im Schutz vorgelagerter Felsblöcke und unter der differenzierenden Wirkung der winterlichen Schneedecke entwickeln können. Diese recht zahlreichen Exemplare belegen eindeutig den starken Einfluß der südwestlichen Winde gerade auch während des Winters (vgl. dagegen die Richtung der Windformen im Berninatal und am Berninapaß, Kapitel III, 4).

<sup>6)</sup> In der Krone der im Winter kahlen Lärche sammeln sich keine größeren Schneemengen an.

Ebenso gut läßt sich die beherrschende Rolle der Südwestwinde aus der Verbreitungsdifferenzierung der alpinen Zwergstrauchheide sowie der Gräser und Flechten herauslesen (Abb. 2). Im Oberengadiner Haupttal wirkt überdies verschärfend auf diesen Luv-Lee-Expositionsgegensatz, daß die SW-Exposition gleichzeitig auch die Strahlungsexposition ist.

Gewöhnlich werden im Oberengadiner Haupttal die Deformationen der Baumkronen und die Schrägstellung der Stämme dem Malojawind zugeschrieben, ohne daß man sich darüber klar ist (vgl. z. B. GUTERSOHN 1961), daß, wie KLAINGUTI-SCHAUMANN 1937 in einer Reihe von Beobachtungen nachgewiesen hat, dieser in seinem Charakter als übergreifender Talwind des Bergell viel weniger häufig ist als der normale Südwest-Gradientwind großräumiger Wetterlagen. Eine besondere Trockenheit, die den Malojawind gegenüber anderen Südwestwinden charakterisieren soll (PALLMANN und HAFTER 1933), konnte in den meteorologischen Untersuchungen KLAINGUTI-SCHAUMANNs nicht nachgewiesen werden. Der Engadiner spricht übrigens ohne Rücksicht auf die Genese vom Malojawind, wenn es aus Südwesten über den Paß ins Tal hereinbläst, auch im Winter. Nach KLAINGUTI-SCHAUMANNs Untersuchungen ist selbst bei Schönwetter der eigentliche Engadiner Talwind, die „Brüscha“ (vgl. Bergell), sogar noch häufiger als der Malojawind. Die talabweisenden Windformen im Oberengadiner Haupttal sind also durchaus nicht so sehr durch den Malojawind bedingt, als vielmehr durch die im Wechselspiel der talauf- und talabgerichteten Luftströmungen dominierenden und vor allem stärkeren Südwestwinde überhaupt.

In diesen Windformen sowie in der von der windabhängigen Schneedeckenverteilung beeinflussten Verbreitung der Bodenvegetation spiegeln sich deutlich die im Vergleich zu anderen Alpenpässen besonderen Windverhältnisse des oberen Oberengadins wider, die zwar durch den Malojawind charakterisiert werden, aber mehr doch auf dem infolge der völligen Offenheit und Breite des Tales möglichen tiefen Eingreifen der südwestlichen Gradientwinde entlang dieser ausgeprägten orographischen Leitlinie beruhen.

Im Bereich der mächtigen Talweitung nördlich von St. Moritz, der Champagna, wo das Berninatal von Südosten auf das Haupttal trifft, weisen die Deformationen der Baumkronen sowie die Neigung der Stämme auf einmal eine deutliche Komponente in östlicher und mit Annäherung an das Berninatal sogar südöstlicher Richtung auf. Das gilt sowohl für die Windformen auf der Talsohle als auch für die auf dem nordwestexponierten Hang des Haupttales (Alp Staz, Spuonda Rosatsch) und den südwestexponierten Hängen von Muottas Muragl und des Schafberges. Mehrere Ursachen könnten bei dieser „Ablenkung“ aus der bisherigen Südwest-Nordost-Richtung infrage kommen. In dieser Talweitung divergieren die Winde.



*Photo 3:* Uralte Lärchen (über 20 m hoch, Durchmesser oft mehr als 1 m) in der Champagna zwischen Celerina und Samaden (rechts im Hintergrund). Abweichend von dem SW-NE-gerichteten Verlauf des Oberengadiner Haupttales sind die Stämme der Lärchen nach Osten geneigt, weiter gegen das Berninatal zu (rechts, nicht mehr im Bild) schließlich sogar nach Südosten. Der Einfluß von „Querwinden“ macht sich hier geltend. Im Hintergrund eine von einem Schlechtwettereinbruch herführende Wolkenbank („Malojaschlange“), die unter dem Einfluß der durchbrechenden Sonne und nordwestlicher Winde in Auflösung begriffen ist. Photo 1. 10. 1969, 11.00 Uhr.

Ancient larches (more than 20 metres high, diameter often more than 1 metre) in the Champagna between Celerina and Samadan (background, right). Deviating from the SW-NE direction of the Upper Engadine main valley, the trunks of the larches point east, more towards the Bernina valley (right, not in picture) and some even south-east. The influence of 'crosswinds' is evident here. In the background a cloud bank (Maloja Line) being disturbed by an intrusion of bad weather which is being broken up by the sun breaking through and by the northwesterly wind. Photo 1. 10. 1969 11.00 hours.

Da sie dabei aber automatisch an Geschwindigkeit und Stärke verlieren müssen, kann das kaum der Grund sein. Wahrscheinlicher ist daher, daß in der Champagna, die in Verbindung mit dem breiten Ausgang des Berninatales einen regelrechten „Einzugstrichter“ bildet, der Einfluß westlicher und nordwestlicher Winde zunimmt, zumal Einsattelungen der westlichen Bergketten (im Bereich des Piz Padella und des Val Bever sowie auch am Piz Julier) das Übergreifen dieser Winde begünstigen. Das Winddiagramm von Bever (s. Abb. 1) belegt die Zunahme westlicher bis nordwestlicher Winde in diesem Raum eindeutig. Zu berücksichtigen ist dabei allerdings, daß dieser Ort unmittelbar am Ausgang des von Westen in das Haupttal einmündenden nahezu West-Ost-verlaufenden Bevertales liegt. In den erwähnten Windformen sowie in der von den „windfigurierten“ (TURNER 1961) Schneedeckenverhältnissen differenzierten Verbreitung der alpinen Zwergstrauchheide zeichnet sich das durch



*Photo 4:* Das Bild zeigt typische Wipfeltischformen in convergenter Ausbildung bei Arve und Lärche (Muottas da Celerina bei 2260 m, Blick NE-E). Bei ihrer Entstehung war die differenzierende Wirkung der winterlichen Schneedecke ein entscheidender Faktor. Höhe der Bäume ca. 2,50 m. Photo 5. 10. 1969.

The picture shows typical treetop forms convergent development in the cembra-pine and the larch (Muottas da Celerina at 2260 metres, looking NE to E). The differential effect of winter snow cover was a decisive factor in their origin. The trees are about 2.5 metres high. Photo 5. 10. 1969.

die besonderen orographischen Verhältnisse begünstigte Durchgreifen dieser Querwinde klar ab (vgl. auch Val Maroz/Bergell)<sup>7)</sup>. Bei den Segelfliegern von Samedan sind sie gefürchtet.

### 3) Berninatal

Das nordwest-südost-verlaufende Berninatal ist durch die Corvatsch-Rosatschgruppe und den Hauptkamm der Berninagruppe gegen die das Haupttal beherrschenden Südwestwinde ziemlich gut geschützt. In seinem Verlauf und mit seinem breiten sich nach Nordwesten öffnenden Talausgang stellt es jedoch für nordwestliche und westliche Winde eine kräftige orographische Leitlinie dar.

Sowohl auf der Talsohle als aber vor allem an der Waldgrenze und in der Kampfzone an exponierten Standorten auf den hochaufragenden Terrassenspornen der Muottas da Celerina und der Muottas da

<sup>7)</sup> Ergänzend sei hier bemerkt, daß sowohl bei Schlechtwetter mit südwestlichen Winden als auch bei nördlicher und nordwestlicher Strömung das Gebiet der Champagna um Celerina und Samedan infolge absteigender Luftmassen – besonders bei nordwestlichen Winden spielt dabei die große Weite des Tales an dieser Stelle eine entscheidende Rolle – fast immer eine konstante Wolkenlücke aufweist (vgl. dagegen die Beobachtungen von URFER-HENNEBERGER 1970 im engen V-förmigen Dischmatal bei Davos). Witterungsmäßig unterscheidet sich dieser Raum erheblich vom obersten Talstück zwischen Maloja und St. Moritz (s. auch HOLTMEIER 1971).



*Photo 5:* Wächtenförmig entwickelte Arve im Lee eines Felsvorsprungs auf den Muottas da Pontresina bei 2350 m. Die exponierten Zweige sind abgestorben. Photo 9. 8. 1964.

A cembra-pine developed in cornice form in the lee of a rock outcrop on the Muottas da Pontresina at 2350 metres. The exposed twigs have died. Photo 9. 8. 1964.

Pontresina (beide um 2300 m, vgl. dazu HOLTMEIER 1969) sowie auf dem gegenüberliegenden Hang des Berninatal (Schafbergzug) hat Verfasser zahlreiche Windformen angetroffen.

Bei der Entstehung der aus diesem Raum abgeleiteten Windformen (Photo 4) war die differenzierende Wirkung der winterlichen Schneedecke entscheidend beteiligt; und zwar konnte in einem Falle sehr schön beobachtet werden (Photo 4), wie unter denselben Standortsbedingungen Arve und Lärche im Prinzip auch dieselben Wuchsformen (Wipfeltischform) ausgebildet haben. Daß hier vor allem die winterlichen Windverhältnisse ausschlaggebend sind, beweist die Tatsache, daß die im Winter unter der Schneedecke geschützten bodennahen Teile der Bäume relativ gut entwickelt, die über die Schneedecke herausragenden aber z. T. kahl und zur Windfahne deformiert sind. Bemerkenswert im vorliegenden Falle ist, daß der Haupttrieb die besonders wachstumsfeindliche Schicht dicht über der Schneedecke zu durchwachsen imstande war. Gewöhnlich fallen die Haupttriebe unter solchen Verhältnissen zuerst den Umwelteinflüssen zum Opfer. Meist übernimmt dann ein einigermaßen geschützter Seitentrieb die Führung und bildet einen Sekundärwipfel. Neben diesen typischen Wipfeltischformen gibt es hier eine ganze Reihe von Arven und Lärchen, die nicht über das Niveau der winterlichen Schneedecke oder der ebenfalls Schutz bietenden nördlich vorgelagerten Felsen hinauswachsen konnten und oberseitig eine regelrechte „Windschur“ aufweisen (Photo 5).

Im oberen Berninatal hat Verfasser eigenartigerweise keine entsprechenden Windformen feststellen können. Die Berninapafhöhe ist heute waldlos, aber



*Photo 6:* Der Pru del Vent (2210 m) von Norden gesehen. Der untere, hier durch die Moräne im Vordergrund verdeckte Bereich des leicht ansteigenden Nordhanges ist durch das Gelände nördlich davon gegen die Nordwinde etwas geschützt, so daß dort Winddeformationen nur andeutungsweise vorhanden sind. Gegen das völlig exponierte Gipfelplateau nehmen diese jedoch sehr rasch zu und bestimmen die Physiognomie der Bäume. Photo 27. 9. 1968.

The Pru del Vent (2210 metres) seen from the north. The lower region of the slightly steepening north slope, here covered by the moraine in the foreground, is somewhat protected from the north wind by the lie of the ground to the north so that wind deformations are only present on a minor scale. They increase very rapidly however against the fully exposed peak plateau and determine the physiognomy of the trees. Photo 27. 9. 1968.

noch im Mittelalter war der Berninapaf ein Waldpaß. Erzbergbau und Erzverhüttung, bei der Unmengen von Holzkohle benötigt wurde, haben den Wald vernichtet (LEONARDI 1859, RIKLI 1909, BROCKMANN-JEROSCH 1907, RÜBEL 1912<sup>8)</sup>). Im Gebiet der Alp Buond (2136 m) und auf der anderen Talseite am Eingang zum Val Minor finden wir noch schütterere Lärchenbestände bei ca. 2200 m, von denen die obersten bei Alp Buond zwar Spuren der Winde tragen, doch nicht klar auf eine Hauptwindrichtung schließen lassen. Dagegen spiegelt die Zwergstrauch-, Gras- und Flechtvegetation im windausgesetzten Rundhöckergelände des wegen seiner Stürme, seiner heftigen Schneefälle und unberechenbaren Verwehungen berühmten Berninapasses in ihrer von der Mächtigkeit und Dauer der winterlichen Schneedecke abhängigen Verbreitung deutlich den Einfluß nordwestlicher (talaufgerichteter) Winde wider (vgl. RÜBEL 1912, 1925, BROCKMANN-JEROSCH 1907, 1929, s. auch Abb. 4).

<sup>8)</sup> Im September 1968 stieß Verfasser am Lago bianco auf einen mächtigen Arvenwurzstock, den man bei Bauarbeiten zutage gefördert hatte.



Photo 7: Fahnenförmige Arven am nordexponierten Hang des Val di Pila an einer windexponierten Geländekante bei 1990 m (links im Hintergrund der Lagh da l'Ombra). Die Arven sind 2 m hoch. Im Vordergrund Gemsheidespalier (Loiseleuria procumbens), zwischen denen der winderosierte, nackte Boden zutage tritt. Photo 27. 9. 1969.  
Banner-shaped cembra-pines on the northerly exposed slope of the Val di Pila on a facet exposed to the wind at 1990 metres (left, in the background, the Lagh da l'Ombra). The cembra-pines are 2 metres high. Chamois heather trellises (Loiseleuria procumbens) in the foreground between which the wind-eroded bare soil is showing. Photo 27. 9. 1969.

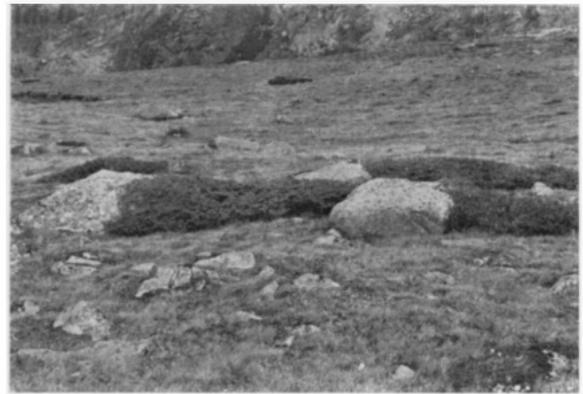


Photo 8: Stromlinienförmige Zwergwacholder (Juniperus nana) im Lee nordseitig vorgelagerter Felsblöcke auf dem Gipfelplateau des Pru del Vent (Blick nach E, im Hintergrund das Val di Pila). Photo 27. 9. 1968.  
Streamlined dwarf juniper (Juniperus nana) in the lee of north facing protruding boulders on the peak plateau of the Pru del Vent (view to E, Val di Pila in the background) Photo 27. 9. 1968.

4) Pru del Vent

In diesem Falle gilt „nomen est omen“. „Pru del Vent“ (italienisch: Prato del Vento) bedeutet soviel wie „Windwiese“ oder „Windweide“. Hier treffen wir nicht nur eine sehr scharfe durch den Nordwind (orographisch abgelenkter Nordwestwind) bedingte Vegetationsdifferenzierung an, sondern beobachten zudem noch eine geradezu extreme Winddeformation der Bäume (Lärchen und Arven), die der aus dem Val Maroz beschriebenen entspricht.

Der Pru del Vent (2210 m) erhebt sich als eine pultähnlich abgeflachte, nach Süden ansteigende Kuppe auf der Südrampe des Berninapasses zwischen

dem Val di Pila (im Osten) und dem Sassalmason (3031 m im Westen) (Photo 6, Abb. 5). Nach Westen, Süden und Osten bricht der Pru del Vent steil ab; im Westen zur Alp Palü (1924 m) auf dem z. T. versumpften (Palü = Sumpf) und von Schottern bedeckten ehemaligen Talboden des Palügletschers, im Süden in den Kessel von Cavaglia (1693 m) und nach Osten ins enge, schluchtartige Val di Pila, durch das einst die Paßstraße führte (s. u.). Die Geleise der Rhätischen Bahn schlängeln sich in engen, dicht übereinanderliegenden Kehren an diesen Steilhängen hinab nach Cavaglia. Von der Bahnstation Alp Grüm (2091 m) am Westhang des Pru del Vent ist der Gipfel in 15–20 Minuten leicht zu erreichen. Eindrucksvoller im Hinblick auf die Beobachtungen der von den orographischen Verhältnissen abhängigen Wirkung der Nordwinde auf die Vegetation und die Physiognomie der Bäume ist es jedoch, wenn man vom Berninapaß zu Fuß zum Pru del Vent wandert.

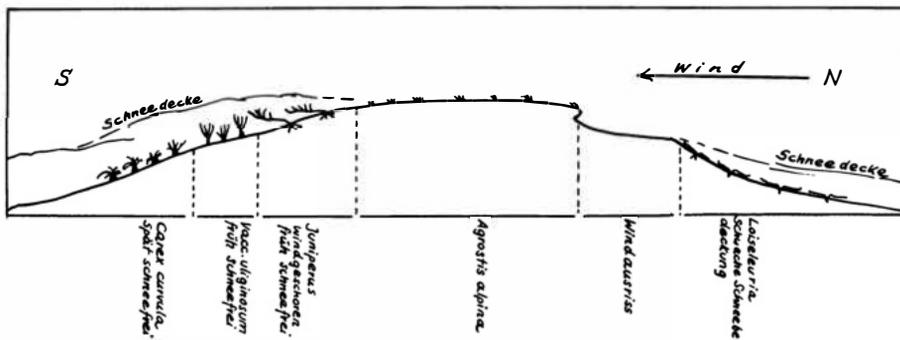


Abb. 4: Windgefegter Buckel auf dem Berninapaß, etwa 2328 m (nach BROCKMANN-JEROSCH 1928, S. 339)  
Windswept hillock on the Bernina Pass, at about 2328 (after BROCKMANN-JEROSCH 1928, S. 339).

Der Baumwuchs überschreitet hier im Gebiet von Cavaglia, im Val di Pila und gegen den Palügletscher zu nur lokal 2200 m. Die aktuelle Baum- und Waldgrenze ist aber nur stellenweise klimatisch bedingt. Seit Jahrhunderten dient das Gelände oberhalb der heutigen Waldgrenze als Alpweide, und fast überall ist der Wald von den flacheren und weniger schwer begehbaren Trogschultern und ähnlichen Verebnungen auf die ungünstigeren Trogwände und anderen Steilhänge zurückgedrängt worden. Auch am Pru del Vent liegt die Baumgrenze heute in ca. 2200 m, nur wenig tiefer als der Gipfel. Sie wird, wie überall hier in der Umgebung, größtenteils von der Lärche gebildet und verläuft im unmittelbaren Bereich des Abbruchs des Gipfelplateaus zu den gegen Westen, Süden und Osten abfallenden Steilhängen. Auf der nördlichen Abdachung, wo solche Steilabbrüche fehlen, ist sie weniger scharf. Ohne die alpwirtschaftlichen Eingriffe wäre auch der Pru del Vent heute noch dichter bewaldet. Die Verbreitung der Bodenvegetation im Verein mit der Physiognomie der Bäume läßt darauf schliessen, daß der Baumwuchs hier unter extremen Klimaeinwirkungen, d. h. Windwirkungen, steht, die sein Wachstum erheblich erschweren.

Bei der Wanderung vom Berninapafs zur Alp Güm

erreicht man bei Mot (2155 m) am Fuß des gemächlich ansteigenden Nordhanges des Pru del Vent die ersten Lärchenbestände. Links des Weges (Osten) blickt man hinein ins enge Val di Pila, in dem der Baumwuchs, Lärchen, Arven und auch Legföhren, etwas weiter paßwärts vordringt. Auf einigen Rundhöckern (im Talschluß Lagh da l'Ombra, 1944 m) sowie an exponierten Standorten am Hang (Ostexposition) traf Verfasser eine ganze Reihe von fahnenförmigen Lärchen und Arven an (Photo 7). Die Lärchen am Nordhang des Pru del Vent lassen, von einer gewissen Stauchung einmal abgesehen, noch relativ wenig von der Wirkung des Nordwindes erkennen. Mit dem weiteren Anstieg und zunehmender Windexposition werden diese Spuren dann jedoch sehr rasch deutlicher. Die Bodenvegetation ändert sich. Statt Alpenrose (*Rhodendron ferrugineum*) und Heidelbeere (*Vaccinium myrtillus*), die unten am Hang noch reichlich vertreten sind, gewinnt nun die Gemsheide (*Loiseleuria procumbens*) an Raum. Ihre dichten Teppiche wechseln mit Borstgrasflecken (*Nardus stricta*), Dreispaltiger Binse (*Juncus trifidus*), Krummseggen (*Carex curvula*), Alpenstraußgras (*Agrostis alpina*) und windgefegten, völlig vegetationslosen Stellen ab. Der Zwergwacholder (*Juniperus nana*)



Photo 9: Gamsrudel auf dem Pru del Vent (Blick nach E, im Hintergrund das Val di Pila). Die Schneedecke ist durch den Nordwind völlig verblasen worden, so daß die Tiere hier leicht Nahrung finden. Links im Bild ist ein Schneerest im Lee eines Felsblocks zu erkennen. Diese lokal konzentrierte Äsung des Gamswildes beeinträchtigt die Vegetationsdecke ganz erheblich. Der Nordwind beeinflusst hier in sehr komplexer Weise die ökologischen Verhältnisse. Photo Anfang März 1970.

Herd of chamois on the Pru del Vent (view to E, Val di Pila in the background). The snow cover has been completely blown away by the north wind so that animals can easily find food. A snow remnant in the lee of a boulder can be seen in the left of the picture. This locally concentrated grazing by the chamois has a pronounced deleterious effect on the vegetation cover. The north wind here influences the ecological conditions in a very complex way. Photo beginning of March 1970.

bildet im Schutze luvseitig vorgelagerter Felsblöcke niedrige, stromlinienförmig gestreckte Büsche, aus deren wie geschoren wirkender Oberfläche kein Zweiglein herausragt (Photo 8). Auf der windexponierten Nordseite der Büsche sind die oberen Zweige abgestorben.

Kleine Unebenheiten des Geländes vermögen schon auf engstem Raum eine auffällige Differenzierung der Vegetation zu bewirken. Nicht selten findet z. B. die sehr empfindliche Alpenrose im Lee einer nur wenige Dezimeter hohen windexponierten Kuppe noch ausreichenden Schneeschutz, während auf der Luvseite nur sehr resistente oder gar keine Pflanzen aufkommen können.

Die Auflockerung der Vegetation an exponierten Standorten ist zwar im wesentlichen windbedingt, doch sollte man auch die intensive Äsung des Gamswildes, das an solchen Stellen über der Waldgrenze im schweren Hochwinter sein Futter sucht, als Faktor nicht unberücksichtigt lassen (Photo 9).

Extrem sind die Verformungen der Lärchen am Westhang, oberhalb der Bahnstation, Fahnen- und Wipfeltischformen beherrschen das Bild, kaum ein Baum, der nicht in irgendeiner Weise vom Wind in seiner Gestalt beeinflusst worden ist (Photo 10). Auch unterhalb der Bahnstation und am Gegenhang unterhalb des Bergrestaurants Sassalmason sowie auch am Abbruch des Gipfelplateaus gegen das Val di Pila hin (Ostseite des Pru del Vent) sind derartige Windformen weit verbreitet. Arven und Lärchen hinter den Lawinenmauern oberhalb der Bahnstation und östlich des Bergrestaurants Belvedere (2091 m) scheinen in Höhe der Mauerkronen wie mit der Schere abgeschnitten. An der Luvseite von Pfählen – Reste von Einzäunungen der Aufforstungen zwischen den Lawinenmauern – und Baumstämmen sind einwandfreie Schlißspuren des winterlichen Eisgebläses festzustellen (Photo 11). Auch die Exzentrizität der Stammquerschnitte mit ihren sehr engen Jahresringen auf der Luvseite und breiteren im Lee spiegelt deutlich den Einfluß nördlicher Winde wider<sup>9)</sup>.

Ganz anders sieht es dann wieder am Südwest-, Süd- und Südosthang des Pru del Vent aus. Dort, im Windschatten, führen Leewirbel zu gewaltigen Schneeablagerungen. Die Bäume sind entweder normal gewachsen, oder aber sie weisen hier statt windbedingter Deformationen solche durch Schneeschub und Schneekriechen auf (Säbelwuchs, Photo 12), so daß diese ausgeprägte Luv-Lee-Situation auch im Gegensatz zwischen Fahnen- und Wipfeltischformen in den exponierten und Säbelwüchsigkeit in den schneereichen Leelagen sehr klar zum Ausdruck kommt (Abb. 5). Die enorme Schneeakkumulation im südlichen Bereich des Pru del Vent bedeutet im Winter

<sup>9)</sup> Nur bei Nadelhölzern lassen sich anhand der Jahresringe die Windverhältnisse rekonstruieren, da nur bei ihnen Druck- und Schwerkereiz gleichsinnig wirken (BERNBECK 1920).



Photo 10: Fahnenlärchen am Westhang des Pru del Vent bei ca. 2140 m oberhalb der Bahnstation. Die Bäume sind etwa 4 m hoch. Im Gegensatz zu vergleichbaren Fahnenformen bei der Arve ist bei den Lärchen die Umbiegung des schlanken Wipfels nach Lee – in dieser aufgezwungenen Richtung verholzt er – eine charakteristische Erscheinung (vgl. Photo 2). Photo 24. 9. 1968.  
Banner larches on the western slopes of the Pru del Vent at about 2140 metres above the railway station. The trees are about 4 metres high. In contrast to the comparable banner forms of the cembra-pine the deformation of the slender treetop to the lee – where it continues to grow in this forced direction – is a characteristic phenomenon. (cf. Photo 2) Photo 24. 9. 1968.

eine ständige Lawinengefahr für die Bahnstation und die an den Steilhängen kunstvoll angelegten Bahntrassen. Mit zahlreichen Verbauungen, Mauern und neuerdings auch stählernen Schneerechen, sucht man dieser Gefahr vorzubeugen. Die Lawinengefahr war der wesentliche Grund für die Verlegung der alten Berninaroute vom Val di Pila ins Val Agoné (TOGNINA und ZALA 1963, TOGNINA 1967).

Wenn auch nicht so extreme, so doch im Prinzip entsprechende durch nordwestliche Winde geprägte Windformen und eine ganz ähnliche Verbreitungsdifferenzierung der Bodenvegetation treffen wir auch auf der nach La Rösä hinabführenden Rampe des Ber-

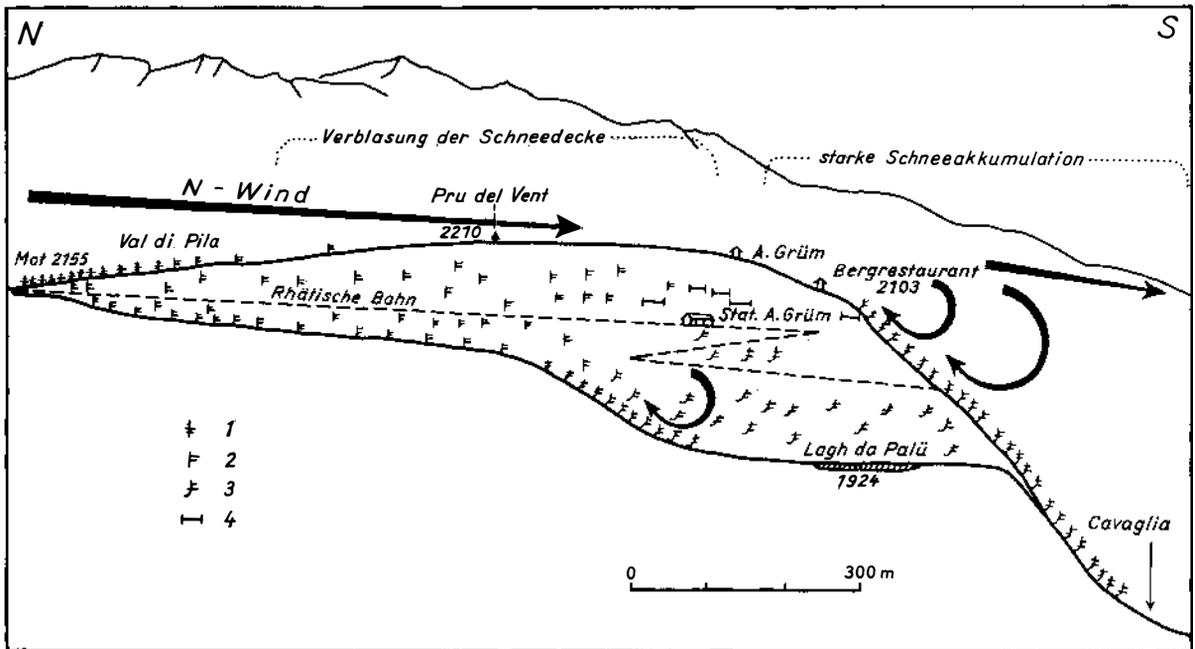


Abb. 5: Pru del Vent, Profil

ninapasses im Gebiet der Rundhöckerfluren zwischen dem Nordhang des Piz Campasc (2599 m) und der Paßstraße an (s. Abb. 1).

Sowohl die Vegetationsverhältnisse als auch die Schneedeckenverhältnisse sprechen für die überragende Wirksamkeit der nördlichen Winde (orogr. abgelenkte NW-Winde) im Wechselspiel der Luftströmungen. Wie im Bergell, so hat auch hier der Volksmund diese Winde mit besonderen Namen belegt. Die über den Berninapaß ins Puschlav herabblasenden Winde haben im oberen Puschlav fast immer und im unteren Teil dieses Tales noch Boracharakter und werden von der Bevölkerung als „Vent“ bezeichnet (vgl. Pru del Vent). BROCKMANN-JEROSCH 1929 streicht die große Bedeutung dieser Winde für die Vegetation und auch für den Menschen besonders heraus. Der Wein, der im Veltlin landschaftsbestimmend ist, gedeiht hier nur in geschützten Lagen, ebenso der Tabak. Von den Menschen werden die Winde als sehr unangenehm empfunden. Möglicherweise ist das der Grund dafür, daß die Häuser auf der Windseite nur selten Fenster haben.

Wenn dieser Fallwind Erwärmung bringt, nennt man ihn „Vent fuin“ (vgl. Favogn im Bergell). KUSTER 1945 führt auf diesen austrocknenden Fallwind, der 70 bis 80 Tage im Jahr weht und fast zur Hälfte auf die Monate März bis Mai entfällt (vgl. auch Nordföhn im Bergell, BILLWILLER 1904), das Fehlen der Buche im Puschlav zurück. Als viel schwächer bezeichnet KUSTER die Talwinde, die man dort „Aria“ oder „Arion“ nennt. EGLI 1957 dagegen spricht von besonders kräftigen Talwinden, die die

Bäume „nach einer Richtung kämmen“ (also talauf). Für den Pru del Vent und Umgebung sowie für die nördlich des Piz Campasc gelegene Rampe des Berninapasses trifft das aber in keiner Weise zu (s. o.). Bei südlichen Winden wird die Strömung durch den Steilhang gegen Poschiavo offenbar schon ziemlich früh von der Bodenoberfläche abgehoben und kann daher nicht so wirksam werden.

Weder vom Pru del Vent noch aus dem Puschlav liegen Windregistrierungen vor, die zur Klärung herangezogen werden könnten. Die nächstgelegene Beobachtungsstation befindet sich am Ospizio Bernina auf der Nordrampe des Berninapasses. Dort werden neben dem Niederschlag und der Temperatur auch die Windrichtungen verzeichnet, allerdings nicht durch Windschreiber, sondern man orientiert sich am Wellenzug des Lago bianco (mdl. Mitt. ZANETTI, für die Messungen verantwortlicher Stationsvorsteher der Rhätischen Bahn). Infolge starker orographischer Ablenkungen muß damit gerechnet werden, daß die so erhaltene Windrichtungsverteilung nicht unbedingt der in der Höhe entspricht. Bei nördlichen, nordwestlichen und südlichen Strömungen fallen solche Ablenkungen wegen des nord-west-südostgerichteten Verlaufs der Leitlinie Berninatal-Puschlav nicht so sehr ins Gewicht wie bei Winden quer dazu. So beobachtete Verfasser am 11. 10. 1969 wie bei einer Ost- bis Nordosthöhenströmung (Wolkenzug) der Wellenzug auf dem Stausee genau von Süd nach Nord verlief. Am Pru del Vent wehten leichte Winde (sie reichten gerade aus, um die Grashalme zu bewegen) aus Ost, Südost und Süd, wobei die südliche Komponente offensicht-



*Photo 11:* Stamm einer ca. 30 cm mächtigen Lärche mit deutlicher Eisbläsewirkung auf der Luvseite (rechts). Dort ist die Borke völlig beigeschliffen, während sie im Lee gut erhalten ist. Dem Einfluß des Windes ist auch das völlige Fehlen von Ästen und Zweigen auf der windexponierten Stammseite zuzuschreiben. Das abgebildete Stammstück reicht bis ca. 120 cm über den Erdboden. Photo 27. 9. 1968 am Pru del Vent (Westhang) bei ca. 2160 m.

Trunk of an approximately 30 cm thick larch with clear ice blisters on the windward side (right). The bark is there completely peeled off, while on the lee it is well preserved. The complete absence of branches and twigs on the wind-exposed side of the trunk can also be ascribed to the influence of the wind. The peeled off section of trunk reaches up to 120 cm above the soil surface. Photo 27. 9. 1968 on the Pru del Vent (western slope) at about 2160 metres.

lich durch Hang- und Talaufwind bedingt war (Beobachtungstermin 12.30 Uhr).

Es scheint demnach gut möglich, daß die Häufigkeit der in den Witterungstabellen verzeichneten Südwinde sogar etwas zu hoch ist. Doch auch so läßt sich anhand der Witterungstabellen eine starke Dominanz von Nord(west)winden belegen. Sie sind etwa doppelt so häufig wie die Südwinde. Die verschwindend



*Photo 12:* Säbelwüchsige Lärchen am Südhang des Pru del Vent bei ca. 2090 m (Im Hintergrund das Val di Pila). Im Bereich der Leewirbel kommt es zu einer starken Schneeakkumulation, die Lawinen und Gleitschneebewegungen begünstigen (vgl. Abb. 5). Photo Anfang März 1970.

Sabre-like larches on the southern slope of the Pru del Vent at about 2090 metres (Val di Pila in the background). A heavy snow accumulation gathers in the lee eddy area which favours avalanches and snow slides (cf. Fig. 5) Photo, beginning of March 1970.

geringe Häufigkeit anderer registrierter Windrichtungen als Nord und Süd legt die Vermutung nahe, daß es sich um sehr wenig differenzierte Beobachtungen handelt, und daß unter Nordwinden mehr oder weniger alle talaufgerichteten und unter Südwinden alle talabgerichteten Luftströmungen zu verstehen sind. Detaillierter sind zwar die Ergebnisse 15monatiger Beobachtungen von SCHRÖTER, BRAUN und Mitarbeitern (Juni 1905 bis August 1906, Übermittlung dieser Beobachtungen durch Dr. G. A. GENSLENER), da dabei klar zwischen Nord- und Nordwest- sowie zwischen Süd- und Südostwinden unterschieden wird. Doch faßt man auch hier jeweils die nördlichen und südlichen Komponente zusammen, so ergibt sich nahezu dasselbe Bild, eine klare Dominanz talaufgerichteter Winde. Diese größere Häufigkeit von Nord(west)winden ergibt sich ohne weiteres aus der normalen Bodenluftdruckverteilung nördlich und südlich der Alpen. Infolge des Drucküberschusses auf der Alpennordseite sind Nordföhntage häufiger als Tage mit Südföhn (s. dazu FLIRI 1962). Durch den „Leitfurcheneffekt“ der Berninal-Puschlav-Linie wird diese Situation noch akzentuiert, wobei sicher der für alle Winde von West bis Nord aufnahmefähige breite „Einsaugtrichter“ des untersten Bernanatales eine wichtige Rolle spielt.

Bedauerlicherweise wird in den Witterungstabellen nur die Windrichtung und nicht auch die Stärke angegeben. Bis zu einem gewissen Grade vermögen aber die schon erwähnten von den Botanikern SCHRÖTER, BRAUN und Mitarbeitern durchgeführten Beobachtungen Aufschluß zu geben.

Danach waren Nord- und Nordwestwinde nicht nur häufiger, sondern auch stärker als die südlichen Strömungen. Noch deutlicher als richtungsmäßig kommt aber die Überlegenheit der Nord(west)winde windwegmäßig (d. h. Häufigkeit mal mittlere Stärke) zum Ausdruck (s. Tabelle).

Tabelle

(nur Windtermine, Winddaten lt. Mitteilung  
Dr. G. A. GENSLER  
Meteorologische Zentralanstalt Zürich)

*Berninahospiz* (vermutl. an der Paßstraße,  
nach SCHRÖTER und Mitarbeitern für 1905/06)

	Nord	Nordost	Ost	Südost	Süd	Südwest	West	Nordwest
%	22	—	19	21	3	1	2	32
km/h	12	—	7	9	8	6	6	14

*St. Gotthard* (1903–1960)

	Nord	Nordost	Ost	Südost	Süd	Südwest	West	Nordwest
%	42	4	1	21	14	—	—	18
km/h	21	15	10	11	11	—	—	16

*Oberengadin* (Bever)

	Nord	Nordost	Ost	Südost	Süd	Südwest	West	Nordwest
%	11	21	3	3	10	20	23	9
km/h	Talaufwinde	11–12	3 (Juni–Aug. 11–12)		10	20	23	9
	Talabwinde	13–15	3 (Juni–Aug. 15–17)		10	20	23	9

Es dürfte der allgemein den Nordwestströmungen eigenen raschen Temperaturabnahme mit der Höhe zuzuschreiben sein, daß diese tiefer und kräftiger bis in die bodennahen Luftschichten durchgreifen als die südlichen Winde.

Es liegt nun nahe anzunehmen, daß am Berninapaß und am Pru del Vent die Windverhältnisse, zumindest was die Verteilung der Windrichtungen betrifft, in ihren großen Zügen übereinstimmen. Die Tatsache aber, daß die Bäume auf der Oberengadiner Seite des Passes und auch unmittelbar südlich des Pru del Vent im Vergleich zu dessen extremen Windformen nur verhältnismäßig geringe, vor allem aber keine ausgesprochen richtungsbezogene Windwirkung erkennen lassen, legt die Vermutung nahe, daß es sich am Pru del Vent um einen durch die besondere orographische Situation hervorgerufenen Düseneffekt handelt (vgl. Val Maroz). Die Nordwestwinde, die der „Leitfurche“ des Berninatal folgen, werden in der engen Lücke zwischen dem Sassalmason und dem Piz Campasc be-

schleunigt und treffen mit erhöhter Kraft als Nordwinde (Ablenkung) den nur 100 m tiefer liegenden und mitten in der Strömungsrichtung aufragenden Pru del Vent, wobei es zu dessen West- und Ostseite durch die Einschnitte des Val di Pila und des von Mot zur Alp Palü herabziehenden Tälchens zu einer Querschnittsverengung und weiteren Beschleunigung der Luftmassen kommt. Stützen kann Verfasser diese Annahme durch zahlreiche eigene Beobachtungen und Messungen (Schalenanemometer), die bei Nordwest-(Nord)strömungen eine am Pru del Vent erheblich größere Windstärke ergaben als auf dem Paß.

Eine Diskussion über die mechanische Wirkung des Eisgebläses auf den Baumwuchs an der alpinen Waldgrenze (s. TURNER 1968, HOLTMEIER 1968) war Anlaß eines gemeinsamen Besuches des Pru del Vent, wo Verfasser die extremen Winddeformationen des Baumwuchses beobachtet hatte, mit Herrn Dr. Turner. Um zu prüfen, ob auf stark windexponierten und schneearmen Standorten in der Kampfzone Frosttrocknisschädigungen junger Forstpflanzen durch die Verwendung von „Antitranspirantien“ (Silvaplast) vorgebeugt werden kann und ob mechanische Eisgebläsewirkungen festzustellen sind, hat Dr. Turner dort daraufhin Versuchspflanzungen (120 zweijährige Lärchen und 300 sechsjährige Arven auf drei Versuchsfeldern unterschiedlicher Windexposition) anlegen und eine automatisch arbeitende Klimastation einrichten lassen. An dieser werden nicht nur Lufttemperatur und -feuchte sowie die Häufigkeit der Temperaturen von 5 zu 5° C registriert, sondern auch mittels eines Windweg-Windrichtungsintegrators die Windverhältnisse untersucht. Der Vergleich der nun anfallenden Meßergebnisse mit den hier im wesentlichen anhand der Vegetationsverbreitung und -physiognomie gewonnenen Vorstellungen dürfte von besonderem Reiz sein. Zweimal ist das Windmeßgerät schon infolge überaus starker Winde zerstört worden und mußte durch ein robusteres ersetzt werden (Turner mdl. Mitt.).

Ein im Prinzip entsprechender, wenn auch im Hinblick auf die dortigen Windformen weniger ausgeprägter Kanalisierungseffekt scheint auf der Nordseite des Piz Campasc vorzuliegen.

#### IV

Die windbeeinflusste Physiognomie der Bäume sowie die durch die Wind-Schneedeckenverhältnisse geprägte Verbreitungsdifferenzierung der Bodenvegetation an der Waldgrenze und in der Kampfzone darüber spiegeln einen bedeutenden, die unteren Schichten der das Gebirge überströmenden Luftmassen beeinflussenden „Leitfurcheneffekt“ der Talzüge wider. Im Vergleich der durch die nordwestlichen (nördlichen) Winde geprägten Verhältnisse im Berninatal, am Pru del Vent und im Val Maroz sowie auch mit der Situation anderer Alpenpässe (vgl. Tabelle) wird die besondere Stellung des Oberengadiner Haupttales deut-

lich. Sie beruht darauf, daß die meist über 3000 m hohen Bergkämme auf der Westseite des Tales einen wirksamen Sperrriegel für die allgemein häufigeren und stärkeren Nordwest- und Nordwinde über dem Gebirge bilden und daß die Lücke des Malojapasses sowie der nordostgerichtete Verlauf des Tales das Eindringen südwestlicher Strömungen begünstigt (vgl. dazu auch HOLTMEIER 1966, 1967) Dort, wo der Sperrriegel der westlichen Bergketten durchbrochen wird und Querwinde (Nordwest- und Westwinde) Zutritt haben – Val Maroz, Champagna, Berninatal – macht sich auch im Oberengadin deren größere Häufigkeit und Stärke sofort in der Vegetation bemerkbar. In ihrer größeren Effektivität überlagern sie die möglichen Einflüsse anderer Luftströmungen (Talaufwind, südliche und südwestliche Winde) völlig (vgl. dazu MÄDER's Beobachtungen im Reusstal 1968).

Extreme Windformen im Val Maroz und am Prudel Vent deuten auf dort durch die besonderen topographischen Verhältnisse hervorgerufene Kanalisierungseffekte hin. Das Fehlen von Windformen am Malojapaß steht indessen im Widerspruch zu der bekannten Erscheinung des Malojawindes. Trotz bereits vorhandener zahlreicher Untersuchungen (BILLWILLER 1880, 1886, HEUER 1910, MÖRIKOFER 1923, 1924, 1938, DORNO 1927, BRAAK 1933, KLAINGUTI-SCHAUMANN 1937) sollte hier ein erneuter Versuch unternommen werden, mit Hilfe von modernen Windregistriergeräten einen tieferen Einblick in die komplizierte Überlagerung von Talwinden und Gradientwinden in diesem Raum zu gewinnen.

#### Literatur

- AULITZKY, H.: Über die Windverhältnisse einer zentral-alpinen Hangstation in der subalpinen Stufe. Mitt. forstl. Bundesversuchsanst. Mariabrunn 59, 1961, 209–230.
- BARSCHE, D.: Wind, Baumformen und Landschaft. Eine Untersuchung des Windeinflusses auf Baumform und Kulturlandschaft unter besonderer Berücksichtigung des Mistralgebietes im französischen Rhönental. Diss. Bonn 1962 (Manuskript); s. auch WEISCHET, W. und D. BARSCHE: Studien zum Problem der Deformation von Baumkronen durch den Wind. Freiburger Geogr. Hefte H. 1, 1963.
- BERNBECK: Das Wachstum im Winde. Forstw. Cbl. 42, 1920, 27–40, 59–69, 93–100.
- BILLWILLER, R.: Der Talwind des Oberengadins. Met. Ztschr. 1880, 297–302 und Met. Ztschr. 1886, 129–138. – Der Bergeller Nordföhn. Ann. Schweiz. Met. Zentralanst. 1904.
- BJÖRKMAN, E.: Studier över snöskyttetsvampens (*Phacidium infestans* Karst.) biologi samt metoder för snöskyttets bekämpande. Medd. fran statens skogsforskningsinst. 37, 2, 1948, 43–128.
- BRAAK, C.: Malojawind. Met. Ztschr. 50, 1933, 231–232.
- BROCKMANN-JEROSCH, H.: Die Flora des Puschlav und ihre Pflanzengesellschaften. Leipzig 1907.
- Vegetation der Schweiz. 4. Lfg., Pflanzengeogr. Komm. d. Schweiz. Naturf. Ges., Beitr. z. geobot. Landesaufnahme 12, 1929.
- BURCHARD, O.: Die durchschnittliche Passatrichtung auf den westlichen Kanaren. Met. Ztschr. 39, H. 1, 1912, S. 1.
- DÄNIKER, A. U.: Die Rundhöckerlandschaft von Maloja und ihre Pflanzenwelt. In: Die Paßlandschaft von Maloja und die Gletschermühlen, Hrsg. Komm. f. d. Gletschermühlen und eine Schutzzone Maloja, Chur 1952, 85–109.
- DORNO, C.: Grundzüge des Klimas von Muottas Muraigl (Oberengadin). Braunschweig 1927.
- EGLI, E.: Das Puschlav. Der Bogen, H. 6, St. Gallen 1957.
- FLIRI, F.: Wetterlagenkunde von Tirol. Tiroler Wirtschaftsstudien 13, 1962.
- FLOHN, H.: Local Wind Systems. World Survey of Climatology, Vol. II, General Climatology 2, 1969, 139–171.
- FRÜH, J.: Die Abbildung der vorherrschenden Winde durch die Pflanzenwelt. Jahresber. Geogr. – Ethnogr. Ges. Zürich 1901/1902.
- FRÜH, J.: Geographie der Schweiz. Bd. III, St. Gallen 1938.
- GAMS, H.: Von den Follatères zur Dent de Morcles. Pflanzengeogr. Komm. d. Schweiz. Naturf. Ges., Beitr. z. geobot. Landesaufnahme 15, 1927.
- GÄUMANN, E., C. ROTH und J. ANLIKER: Über die Biologie von *Herpotridia nigra* Hartig. Ztschr. f. Pflanzenkrankheiten (Pfl.-Pathologie) und Pflanzenschutz 44, 3, 1934, 97–116.
- GEIGER, E.: Das Bergell. Forstbotanische Monographie. Diss. Zürich. Jahresber. Naturf. Ges. Graubünden, Bd. 45, Chur 1901.
- GISSLER, A.: Baumformen auf „Hallans Väderö“. Mitt. Dtsch. Dendrol. Ges. (Jahrbuch), 1928, 185–186.
- GUTERSOHN, H.: Geographie der Schweiz. Bd. II, 1, Bern 1961.
- HEUER, W.: Über die Ursachen des Malojawindes. Met. Ztschr. Bd. 27, H. 11, 1927, 480–488.
- HOLTMEIER, F. K.: Die Waldgrenze im Oberengadin in ihrer physiognomischen und ökologischen Differenzierung. Diss. Bonn 1965 (1967).
- Die „Malojaschlange“ und die Verbreitung der Fichte. Beobachtungen zur Klimaökologie des Oberengadins. Wetter und Leben 18, H. 5/6, 1966, 105–108.
- Die Verbreitung der Holzarten im Oberengadin unter dem Einfluß des Menschen und des Lokalklimas. Erdk. XXI/4, 1967, 249–258.
- Entgegnung zu „Schneeschliff in den Alpen“ von H. Turner. Wetter und Leben 20, H. 9/10, 1968, 201–205.
- Die Landschaft von Pontresina im Luftbild. Erdk. XXIII, 2, 1969, 133–142.
- Natur- und Kulturlandschaft des Oberengadins. Terra Grischuna 30, 1, 1971, 11–14.
- HOLZER, K.: Winterliche Schäden an Zirben nahe der alpinen Baumgrenze. Cbl. ges. Forstw. 76, 1959, 232–244.
- KLAINGUTI-SCHAUMANN, H.: Über die Windverhältnisse des Engadins, speziell des Malojawindes. I. Ergebnisse von Anemographenregistrierungen des Sommers 1936. Met. Ztschr. 54, 1937, 289–295.
- KRONFUSS, H.: Schneelage und Ausaperung an der Waldgrenze. Mitt. forstl. Bundesversuchsanst. Mariabrunn 75, 1967, 207–241.

- KUSTER, A.: Die Waldvegetation im Puschlav. Schweiz. Ztschr. f. Forstw. 96, 1945, 1–12.
- LAWRENCE, D. B.: Some features of the vegetation of the Columbia River Gorge with special Reference to Asymmetry in Forest Trees. Ecol. Monographs, Vol. 9, No. 2, 1939, 218–257.
- MÄDER, F.: Untersuchungen über die Windverhältnisse in Bodennähe bei verschiedenen Wetterlagen. Veröff. Schweiz. Met. Zentralanst. 9, 1968.
- MÖRIKOFER, W.: Beobachtungen zur Theorie des Malojawindes. Verh. schweiz. Naturf. Ges. Zermatt, 1923, 118–119.
- : Beobachtungen zur Theorie des Malojawindes. Verh. Naturf. Ges. Graubündens, Chur 1924, S. 69.
- : Zur Klimatologie des Malojawindes. Met. Ztschr., 1938, 215–217.
- PALLMANN, H. und P. HAFFTER: Pflanzensoziologische und bodenkundliche Untersuchungen im Oberengadin. Ber. Schweiz. Bot. Ges. 42, 1933, 357–466.
- RIKLI, M.: Die Arve in der Schweiz. Neue Denkschr. Schweiz. Naturf. Ges., Bd. 44, 1909.
- RÜBEL, E.: Pflanzengeographische Monographie des Berninagebietes. Bot. Jahrb. 47, 1912.
- RUNGE, F.: Windgeformte Bäume und Sträucher und die von ihnen angezeigte Windrichtung auf Terschelling. Met. Rdsch. 8, 1953, 177–179.
- : Windgeformte Bäume in den Tälern der Zillertaler Alpen. Met. Rdsch. 11, 1958, 28–30.
- : Windgeformte Bäume in den Tälern der Allgäuer Alpen. Met. Rdsch. 12, 1959, 98–99.
- SIMMEN, G.: Die Puschlaver Alpwirtschaft. Diss. Zürich, Chur 1949.
- SCHWEINFURTH, U.: Mount Egmont-Taranaki, Neuseeland. Erdk. XVI, 1, 1962, 34–48.
- : Neuseeland. Beobachtungen und Studien zur Pflanzengeographie und Ökologie der antipodischen Inselgruppe. Bonner Geogr. Abh. 36, 1966.
- STAUB, R.: Der Paß von Maloja. Seine Geschichte und Entstehung. In: Die Paßlandschaft von Maloja und die Gletschermühlen. Hrsg. Komm. f. d. Gletschermühlen und eine Schutzzone Maloja, Chur 1952, 3–84.
- TOGNINA, R.: Der Berninapaß im Wandel der Zeiten. Festschr. 600 Jahre Gotteshausbund, Chur 1967, 408–438.
- TOGNINA, R. und R. ZALA: Das Puschlav. Schweiz. Heimatbücher, Bündner Reihe, Bd. 3 (2. Aufl.), 1963.
- TRANQUILLINI, W. und H. TURNER: Untersuchungen über die Pflanzentemperaturen in der subalpinen Stufe mit besonderer Berücksichtigung der Nadeltemperaturen der Zirbe. Mitt. forstl. Bundesversuchsanst. Mariabrunn 59, 1961, 127–151.
- TROLL, C.: Der Mount Rainier und das mittlere Cascadengebirge. Erdk. IX, 4, 1955, 264–286.
- TURNER, H.: Die Niederschlags- und Schneeverhältnisse. Mitt. forstl. Bundesversuchsanst. Mariabrunn 59, 1961, 265–315.
- : Über Schneeschliff in den Alpen. Wetter und Leben 20, H. 10, 1968, 192–200.
- URFER-HENNEBERGER, CH.: Neuere Beobachtungen über die Entwicklung des Schönwetter-Windsystems in einem V-förmigen Alpental (Dischmatal bei Davos). Arch. Met., Geophys., Biokl., Ser. B, 18, 21–42.
- WEISCHET, W.: Die Baumneigung als Hilfsmittel zur geographischen Bestimmung der klimatischen Windverhältnisse (dargestellt am Beispiel der Köln-Bonner Bucht). Erdk. V, 1951, 221–227.
- : Die Geländeklimate der Niederrheinischen Bucht und ihrer Rahmenlandschaften. Eine geographische Analyse subregionaler Klimadifferenzierung. Münchener Geogr. Hefte, H. 8, 1955.
- : Geographische Beobachtungen auf einer Forschungsreise in Chile. Erdk. XIII, 1959, 6–22.
- YOSHINO, M.: The local distribution of windshaped trees and usnea as indicators of microclimates in the sub-alpine zone (japanisch, engl. Zus.) Tokyo Kyôiku Daigaku Chirigaukenkyôhoku IV, 1960.
- : Lokalklima und Vegetation im Kirishima-Gebirge im südlichen Kyûshû, Japan. Erdk. XVII, H. 3/4, 1963, 148–163.
- : Some local characteristics of the winds as revealed by wind-shaped trees in the Rhône valley in Switzerland. Erdk. XVIII, 1, 1964, 28–29.
- : Wind-shaped trees as indicators of microand local climatic wind situation. Proc. 3rd intern. Biomet. Congr. in Sept. 1963, 1966 (Pergamon Press Oxford).

## DIE WINDVERBREITUNG IM GEBIET DES MT. FUJI

Mit 2 Abbildungen, 1 Photo und 1 Tabelle

MINORU YOSHIMURA

*Summary:* Wind distribution in the Mt. Fuji region

The surface wind conditions in the Mt. Fuji region were analysed using the results from field investigations of the wind shaped larches and wind data obtained at the climatological stations in this area. The following points are made clear.

1) In summer, two different directions of prevailing wind are seen. One is W or NW observed at the top of Mt. Fuji and the other is a southerly wind at the slope below 2000 m which changes its direction according to the direction of slope.

2) In winter, three different wind directions are seen. They are NW or WNW at the top of the mountain, SW between 2000 m and 2500 m which changes its direction to NW at the southern slope and to S at the western slope, and the northerly wind at the climatological stations at the foot of the mountain.

3) Monthly mean wind velocity at 2500 m in July and January which is estimated by the equation (I) is strong enough to deform the tree.