Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss foresty journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 139 (1988)

Heft: 9

Artikel: Untersuchungen zur Ökologie und Technik der Hochlagenaufforstung : Forschungsergebnisse aus dem Lawinenanrissgebiet Stillberg

Autor: Schönenberger, Walter / Frey, Werner

Kapitel: 3: Die Standortsuntersuchungen in der Versuchsfläche Stillberg

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-766744

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

3. Die Standortsuntersuchungen in der Versuchsfläche Stillberg

(Walter Schönenberger, EAFV)

Die Standortsbedingungen in der Versuchsfläche wurden seit den 1950er Jahren intensiv untersucht. Einerseits wurden eine Anzahl wichtiger Standortsfaktoren und ihre Variation in der Versuchsfläche gemessen und kartographisch festgehalten. Die Resultate sind in Form von Monographien zum Beispiel über die Strahlungsverhältnisse, die Windverhältnisse, die Bodentypen, die Pflanzengesellschaften usw. publiziert worden. Andererseits wurde seit 1961 der Witterungsverlauf an der meteorologischen Messstation in der Versuchsfläche durch Messung der wichtigsten Witterungsparameter laufend registriert.

Ziel dieser Standortsuntersuchungen war es, die Entwicklung der Versuchsaufforstung auf dem subalpinen Lawinenanrisshang in Abhängigkeit vom Kleinstandort und der Witterung zu verstehen.

Im folgenden sind die wichtigsten Standortsbedingungen der Versuchsfläche kurz erläutert.

3.1 Das Versuchsgelände Stillberg

(Walter Schönenberger, EAFV)

Die Versuchsfläche liegt auf der Stillbergalp, in der Kampfzone des linken, gegen NE exponierten Hanges des Dischmatals bei Davos, auf einer Höhenlage von 2000 bis 2230 m. Der Untergrund besteht aus Paragneisen des Silvrettakristallins, der weitgehend von Hangschutt bedeckt ist. Die Hangneigung beträgt im oberen Flächenteil um 100%, im unteren um 60%. Die Fläche ist topographisch stark gegliedert in eine Hangschulter, den Mittelhang und den Hangfuss. Im Mittelhang teilen tiefe Lawinenrunsen das Gelände in mehrere Lawinenkammern mit den mikroklimatisch stark unterschiedlichen vier Relieftypen Rippe, Nordhang, Runse und Osthang. Die Versuchsfläche liegt direkt oberhalb der heutigen Waldgrenze im Übergangsbereich des Lärchen-Arvenwaldes zu den inneralpinen Zwergstrauchgesellschaften. Arvengruppen und einzelne Lärchen ziehen sich auf den Geländerippen hinauf bis zum oberen Rand der Versuchsfläche.

Als eigentliches Versuchsgelände wurde eine Parzelle von 9,9 ha ausgeschieden und eingezäunt *(Abbildungen 3.1 a* und *3.1 b)*. Im Jahre 1975 wurde eine Fläche von 5 ha aufgeforstet. Dazu wurde die ganze Aufforstungsfläche in einen Raster von Einheitsflächen (EF) von 3,5 x 3,5 m eingeteilt. Für jede Einheitsfläche steht eine grosse Anzahl von Angaben sowohl über die Standortsbedingungen als auch über den Aufforstungserfolg zur Verfügung. Das Geländemodell *(Abbildung 3.1 c)* veranschaulicht die Geländegliederung innerhalb des Aufforstungsversuches.

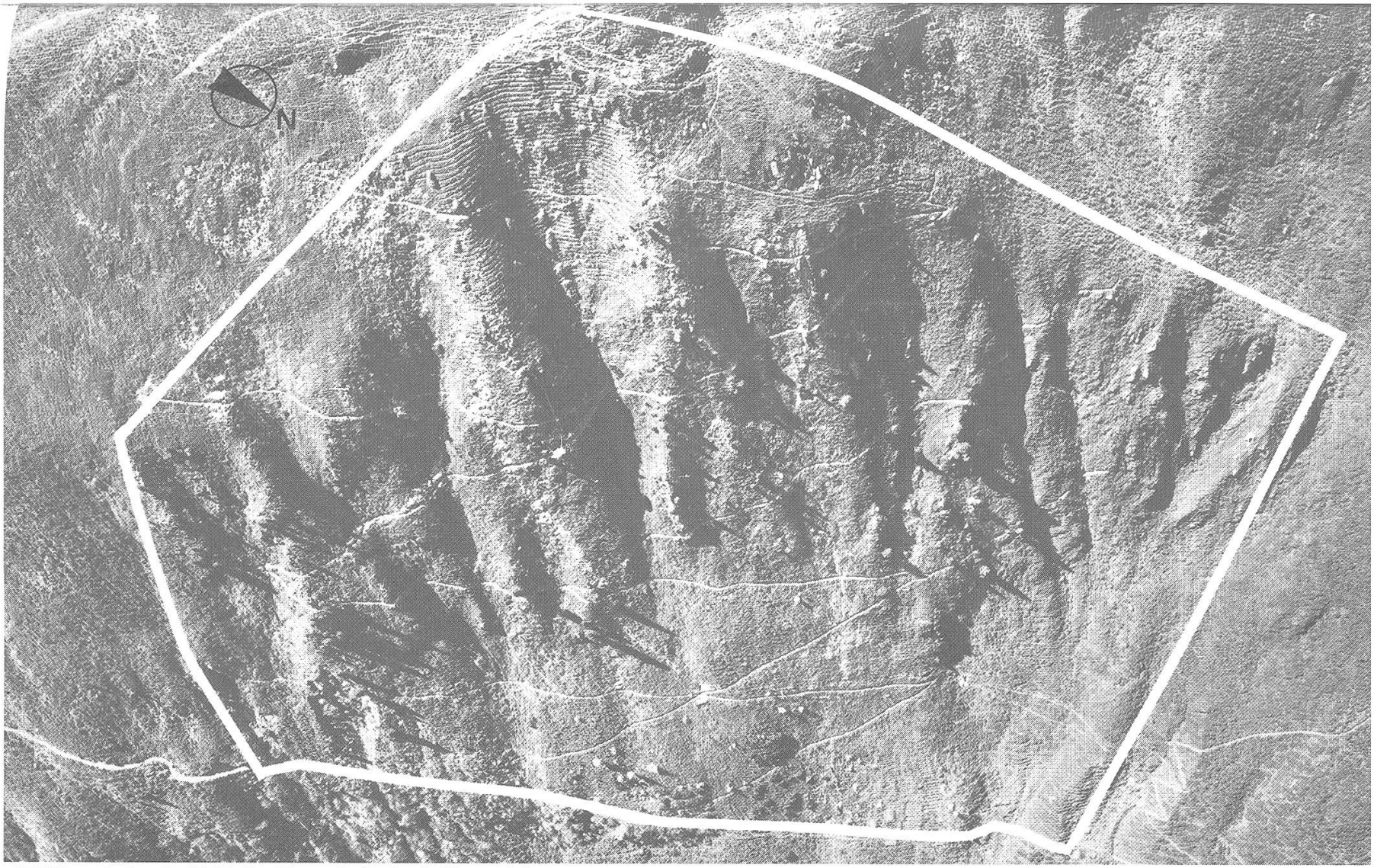

Abbildung 3.1 a. Luftbild der Versuchsfläche Stillberg, Dischmatal, Davos, an der alpinen Waldgrenze, 2000 bis 2230 m ü. M., NE-Exposition, 60 bis 100% Hangneigung. Die Belichtung macht die Gliederung in mehrere Lawinenanrisskammern deutlich, wodurch als Relieftypen die Geländerippen, die Nordflanken (beschattet), die Lawinenrunsen und die Ostflanken unterscheidbar sind. Die Hangschulter oben und der Hangfuss sind flacher und gleichmässiger. Im Bereich der grössten Runse sind die Bermen sichtbar.

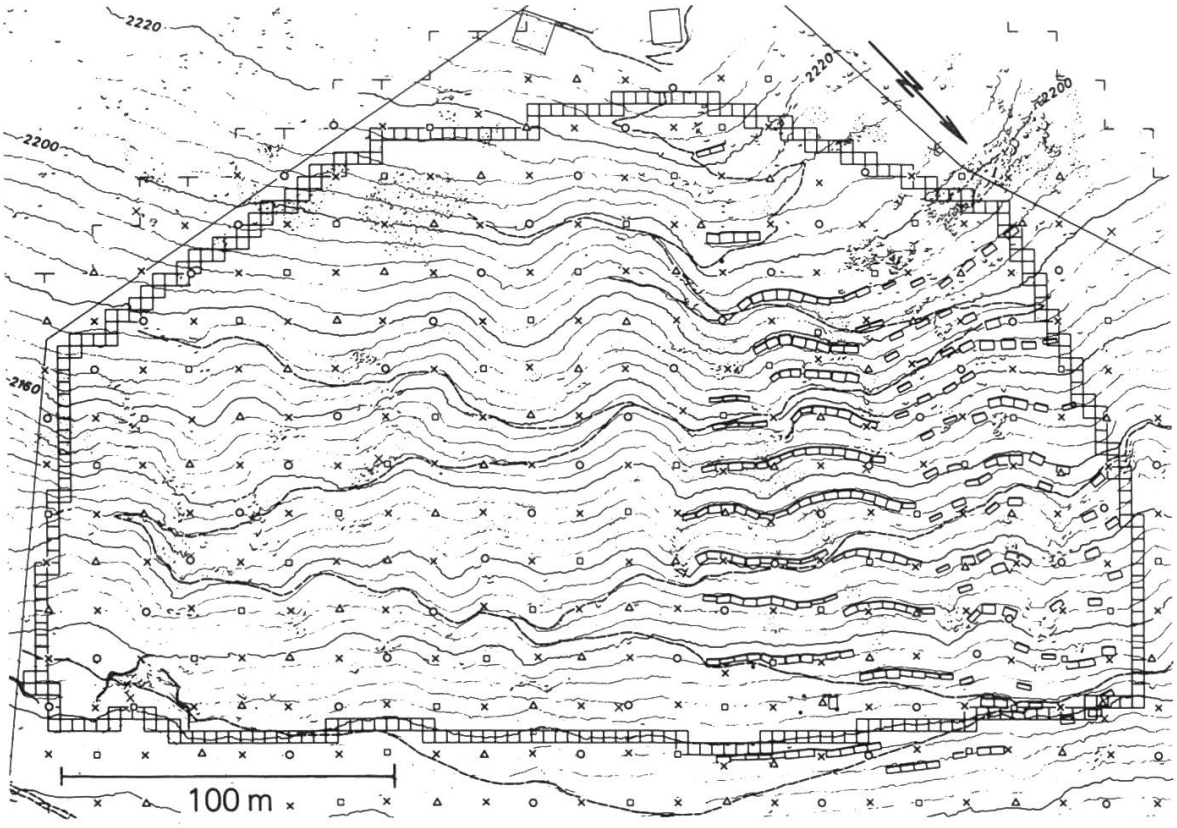

Abbildung 3.1 b. Übersichtsplan über die Versuchsfläche Stillberg. Äquidistanz 4 m. Der Aufforstungsraster ist durch die Einheitsflächen (EF) am Rande angegeben. Links der Flächenteil ohne technische Massnahmen, rechts die 1968 bis 1972 eingebauten Rundholz-Schneerechen in der durchgehenden und der aufgelösten Variante. Im Abstand von je vier Einheitsflächen sind die Standorte der Schneepegel markiert (o, x usw.). Bundesamt für Landestopographie, 1979.

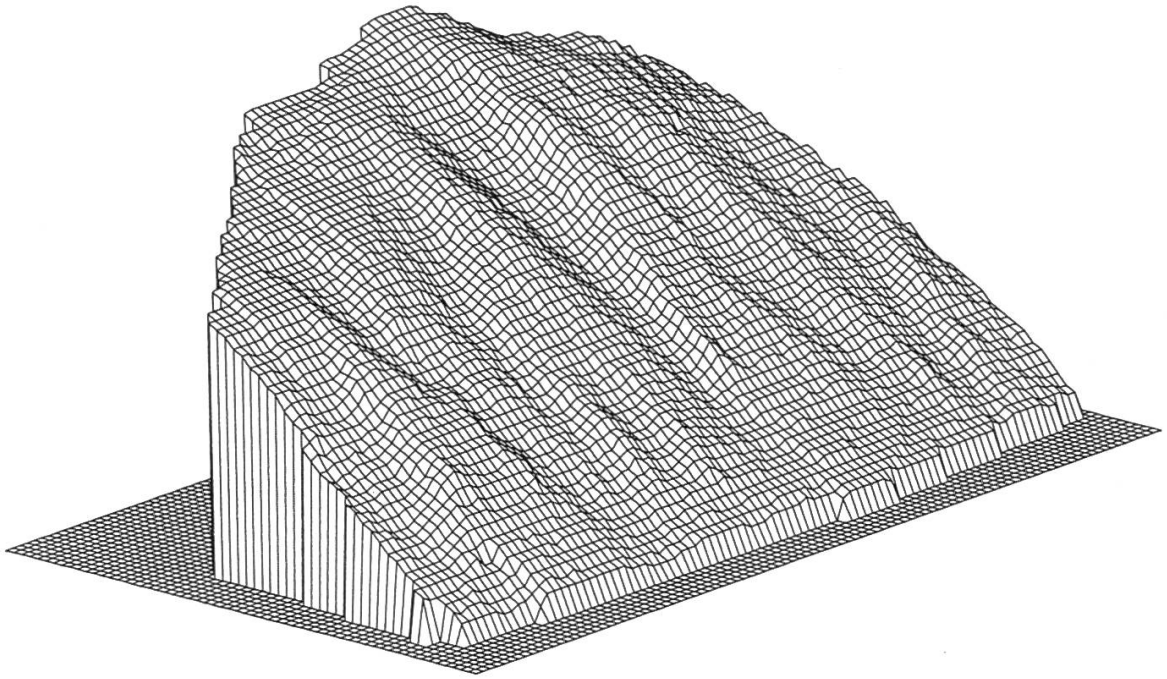

Abbildung 3.1 c. Geländemodell mit dem Raster der Aufforstungs-Einheitsflächen auf 2080 bis 2230 m ü. M. Jedes Quadrat von 3,5 x 3,5 m ist im Abstand von 70 cm mit 25 Bäumchen der gleichen Art, alternierend Arve, Bergföhre und Lärche, bepflanzt.

3.2 Das Klima in der Versuchsfläche Stillberg
(Hans Turner, EAFV)

3.2.1 Ökologische Klimacharakteristik

Der Stillberg liegt im gemässigt kontinentalen Klimagebiet der Inneralpen. Diese Kennzeichnung bezieht sich sowohl auf die Niederschläge als auch auf die Temperatur. Die Höhenlage der meteorologischen Station (2090 m) und der hier ermittelte Jahresniederschlag von rund 1050 mm *(Abbildung 3.2 a* und *Tabelle 3.2)* ergeben nach *Gams* (1923) einen Winkel der Hygrischen Kontinentalität von 63°. Dieser Kontinentalitätsgrad ist weniger extrem als beispielsweise jener von Obergurgl im Ötztal (66°) oder Buffalora im Schweizerischen Nationalpark (66°), ist aber doch bedeutend grösser als jener der «Zwischenalpen» zum Beispiel südlich von Martigny (rund 50°), wo die Arve, der Charakterbaum der inneralpinen Hochlagen, sich noch in relativ tiefen Lagen (1500 m ü. M.) als besonders vital und konkurrenzkräftig erweist und sogar in Mischung mit der Weisstanne vorkommt. Die Jahresschwankung der Lufttemperatur von 15,2 °C *(Tabelle 3.2)* kennzeichnet den Stillberg auch in thermischer Hinsicht als klimatisch mässig kontinental getönt; der Lärchen-Arvenwald umfasst in den Alpen auch Gebiete mit bedeutend grösserer thermischer Kontinentalität, mit Jahresschwankungen bis 20 °C *(Aulitzky* und Turner, 1982).

Tabelle 3.2. Klimadaten der meteorologischen Station Stillberg (46° 46' 27'' N, 9° 52' 07'' E; 2090 m ü. M.; Exposition NE, Hangneigung 37°. Mittelwerte der Periode 1975 bis 1984.

	J	*F*	*M*	*A*	*M*	*J*	*J*	*A*	*S*	*O*	*N*	*D*	*Jahr*
T	−5,8	−5,6	−3,5	−1,7	3,0	6,9	9,4	8,7	6,8	3,5	−1,3	−4,3	1,39
F	10,4	12,5	18,9	18,0	16,0	4,9	2,9	2,9	7,3	12,5	17,4	13,4	137
E	19,7	15,3	9,4	6,9	2,3	0,4	–	–	0,3	2,5	7,0	15,7	80
N	82	41	70	50	104	110	131	125	127	82	65	60	1047
G	32	59	108	153	173	157	155	126	96	64	35	24	1180
W	1,6	1,3	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,6	1,6	1,5	1,4	1,4	1,61

T Lufttemperatur, Aspirationstemperaturfühler in 2 m Höhe über Boden (Juni bis Oktober) bzw. in 4 m über Boden (November bis Mai), °C
F Anzahl Frosttage, bezogen auf T, reduziert auf die langjährige Reihe 1931 bis 1960
E Anzahl Eistage, bezogen auf T, reduziert auf die langjährige Reihe 1931 bis 1960
N Niederschlagssummen, mm
G Globalstrahlungssummen, kWh/m²
W Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe über Boden, m/s

Das am Stillberg gemessene Jahresmittel der Lufttemperatur von rund 1,5 °C ist typisch für das Verbreitungsareal des Lärchen-Arvenwaldes, in welchem Jahresmittelwerte zwischen 0,0 und 3,6 °C gefunden werden. Die Mitteltemperatur des wärmsten Monats (9,4 °C) steht im Einklang mit der Feststellung von

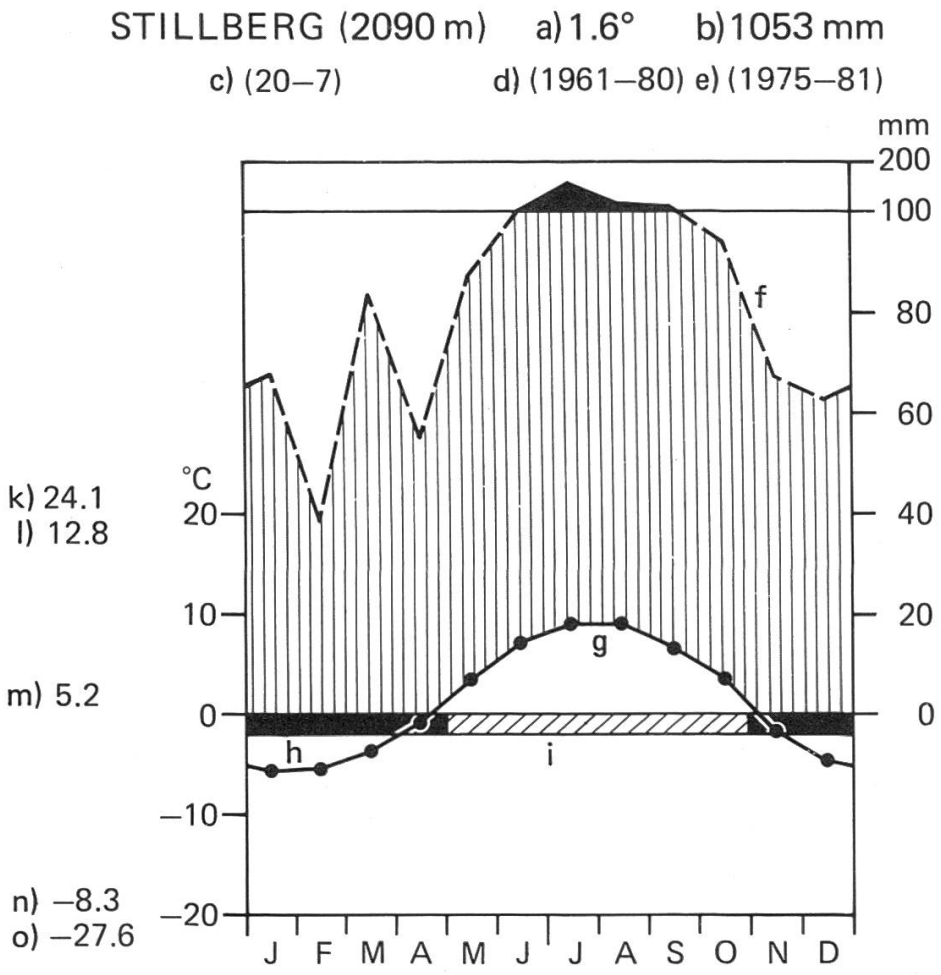

Abbildung 3.2 a. Klimadiagramm Stillberg (2090 m ü. M.).
a) mittlere Jahrestemperatur
b) mittlere jährliche Niederschlagsmenge
c) Zahl der Beobachtungsjahre für Temperatur und Niederschlag
d) Beobachtungsperiode für Temperatur
e) Beobachtungsperiode für Niederschlag
f) mittlere monatliche Niederschläge
g) mittlere Monatstemperatur
h) Monate mit mittlerem Tagesminimum unter 0 °C
i) Monate mit absolutem Minimum unter 0 °C
k–o) Lufttemperatur-Kennwerte (in °C), Periode 1961 bis 1980:
k) absolutes Maximum
l) mittleres tägliches Maximum des wärmsten Monats
m) mittlere Tagesschwankungen
n) mittleres tägliches Minimum des kältesten Monats
o) absolutes Minimum
Aus *Turner et al.*, 1982.

Brockmann-Jerosch (1919), dass die 10-°C-Juli-Isotherme in den kontinentalen Teilen der Inneralpen beträchtlich (bis zu 300 m) unterhalb der potentiellen Baumgrenze verlaufen kann. Die aktuelle Baumgrenze verläuft am Stillberg in 2200 m Höhe bei einer Juli-Mitteltemperatur von 8,7 °C.

3.2.2 Sonnenscheindauer

Der rund 30 bis 50 Grad geneigte, nach Nordosten exponierte Hang und die umliegenden Berge setzen die mögliche Sonnenscheindauer herab, vor allem wegen des Hang-Eigenschattens, aber auch wegen des Schlagschattens entfernterer Berge. An der Klima-Basisstation in Höhe der Strahlungsmessfühler beträgt die effektiv (orographisch) mögliche Sonnenscheindauer pro Jahr 2457 Stunden (das sind 55% der astronomisch möglichen Dauer); in der Vegetationsperiode (15. Mai bis 30. September) sind 1387 Sonnenscheinstunden (= 68%) wöglich. Besonders stark ist die mögliche Sonnenscheindauer durch den überhöhten Horizont im Winter reduziert; so geht die Sonne Mitte Dezember knapp vor 9 Uhr auf und schon um 10.35 Uhr wieder unter *(Abbildung 3.2 b),* so dass im Monat Dezember nur noch 55,8 Sonnenscheinstunden (= 21%) möglich sind.

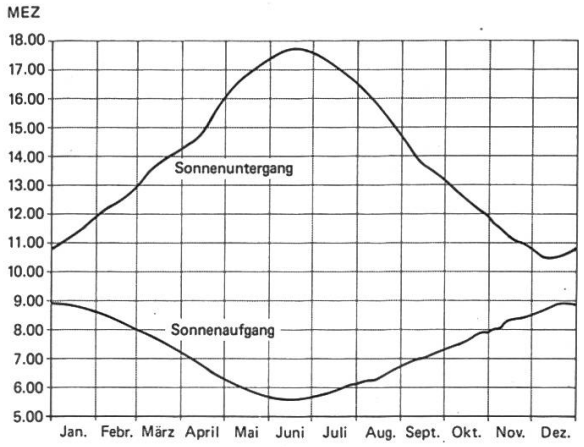

Abbildung 3.2 b. Sonnenaufgang und -untergang an der meteorologischen Station Stillberg (orographisch mögliche Sonnenscheindauer).

3.2.3 Globalstrahlung

Die Globalstrahlung (Summe von direkter Sonnenstrahlung und diffuser kurzwelliger Strahlung aus dem oberen Halbraum auf die horizontale Fläche) wird von der Bewölkung, aber auch von der Horizontabschirmung und Hangreflexstrahlung in vielfältiger Weise beeinflusst. Es wurde gezeigt, dass ein im Mittel um 15 Grad überhöhter Horizont die Globalstrahlung bei wolkenlosem Himmel im Jahresdurchschnitt um rund 9% vermindert (um 4% im Juli, um 33% im Dezember). Jedoch ist bei schneebedecktem Gelände der Strahlungszuschlag durch Hangreflexion so gross, dass dadurch ab Anfang Mai bis Mitte August der horizontbedingte Sonnenstrahlungsverlust überkompensiert werden kann (Turner, 1966: 119—121). Angewendet auf die Verhältnisse am Stillberg bedeutet das, dass die Globalstrahlungssummen durch den überhöhten Horizont im Monat Mai nicht, jene des April nur minimal vermindert sind. Da aber

in den Sommermonaten eine Schneedecke am Stillberg höchstens episodisch gebildet wird und von sehr geringer Dauer ist, ergibt sich ab Juni, bedingt durch die Horizontabschirmung, eine beträchtliche Bestrahlungseinbusse, so dass die Jahressummen grössenordnungsmässig um 10 bis 15% vermindert sind. Trotz intensiverer Hochgebirgsstrahlung ist deshalb die Jahressumme nur etwa gleich gross wie an einer freiliegenden Stelle im Tiefland. Die am Stillberg durchschnittlich bis zur ersten Junihälfte andauernde Schneedecke ist neben den Bewölkungsverhältnissen der Hauptgrund für den sonderbaren Jahresgang der Globalstrahlung; die Werte sind schon im April gleich gross wie im Juni und Juli und erreichen die maximale Monatssumme im Mai *(Tabelle 3.2* und *Abbildung 3.2 c)*.

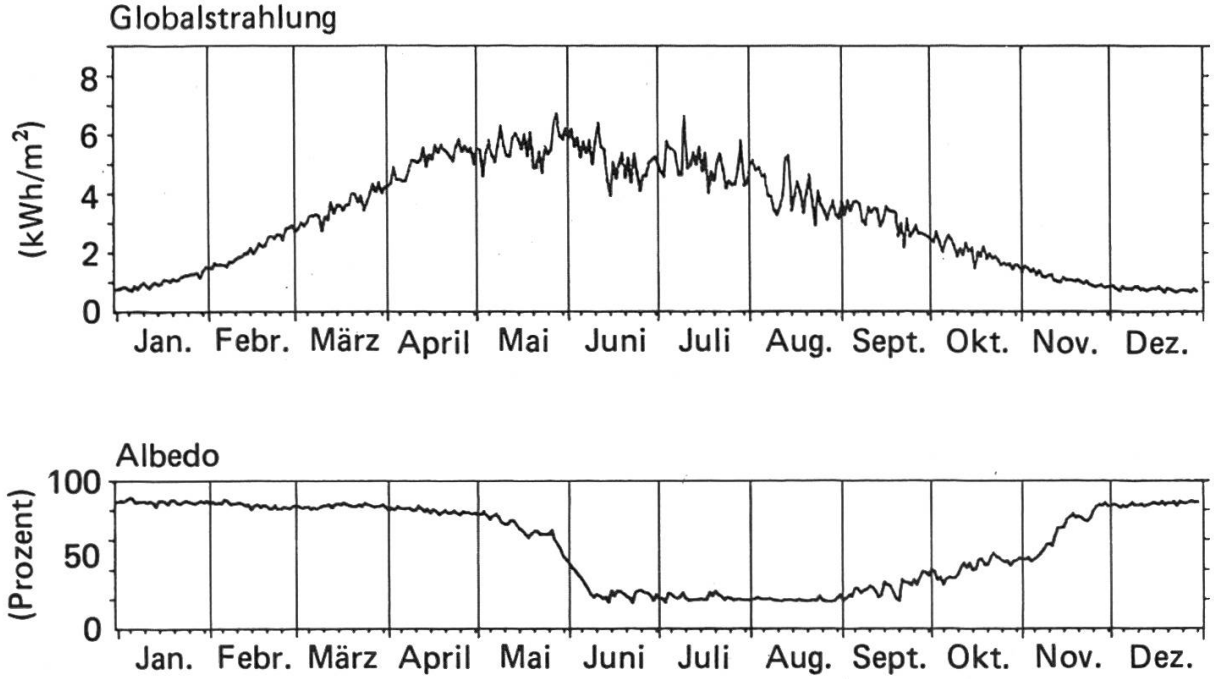

Abbildung 3.2 c. Jahresgang der Globalstrahlungs-Tagessummen (kWh/m²) und der Hangreflexzahl (Albedo) (%) an der meteorologischen Station Stillberg. Mittelwerte der Periode 1975 bis 1984.

Der über 10 Jahre gemittelte Jahresgang der Globalstrahlungs-Tagessummen *(Abbildung 3.2 c)* zeigt einen markanten Strahlungsrückgang um 39% vom 10. bis 15. Juni, der parallel geht mit einer Abnahme der Lufttemperatur von 10 auf 5 °C. Ein ähnlich markanter Strahlungsrückgang durch Schlechtwetter immer um die gleiche Zeit war im Jahrzehnt 1975 bis 1984 in den ersten zehn Augusttagen festzustellen, parallel mit einer Lufttemperaturabnahme von 12 auf 7 °C.

Die Kurve der Albedo *(Abbildung 3.2 c)* zeigt, welche Anteile der globalen Hangbestrahlung im Jahreslauf von der Boden- bzw. Schneeoberfläche reflektiert werden. Daraus ist klar ersichtlich, dass die extremen Werte der Strah-

lungslast auf Pflanzen, welche die Schneedecke überragen, im April erreicht werden, wenn pro Tag rund 5000 bis 6000 Wattstunden/m² von oben einstrahlen und 80 bis 90% dieser Strahlungsmenge (also etwa 4700 Wh/m²) vom Schnee reflektiert werden, so dass eine allseitige Strahlungslast von 10 Kilowattstunden pro m² und Tag für die exponiertesten Pflanzenteile resultiert. Dementsprechend wurden in dieser Jahreszeit die extremsten Arvennadelüberwärmungen (20 °C) registriert *(Tranquillini* und Turner, 1961). Dies ist auch die kritischste Zeit für Frosttrockniserscheinungen. Ab Anfang Mai fällt im zehnjährigen Mittel die Schneedeckenalbedo auf Werte unter 80%, und vom 20. Mai bis 10. Juni erfolgt während der Haupt-Schneeschmelzperiode der rasche Albedo-Abfall von 70 auf 20%. Nachher pendelt die Albedo der Boden- bzw. Vegetationsoberfläche wegen episodischer Schneefälle unruhig im Bereich 20 bis 30%, erreicht erst gegen Ende Juli den konstanten, kaum mehr durch Neuschnee erhöhten Wert von 17 bis 18%. Aber schon Anfang September beginnt die mittlere Albedo wegen erster herbstlicher Schneefälle anzusteigen, überschreitet in der zweiten Oktoberhälfte 50%, um bereits vor Ende November den Maximalwert 80 bis 90% zu erreichen.

3.2.4 Lufttemperatur

Parallel mit dem Rückgang der Albedo ab Anfang Mai steigen die mittleren Lufttemperaturen über den Gefrierpunkt und erreichen mit beendeter Schneeschmelze erstmals um den 10. Juni knapp die 10-Grad-Marke. Dann folgt der schon erwähnte Schlechtwetter-Rückfall von 10 auf 5 °C in der zehnjährigen Reihe 1975 bis 1984. In der zwanzigjährigen Reihe 1961 bis 1980 ist diese «Schafskälte» Mitte Juni weniger ausgeprägt als jene der letzten Juni-Tage *(Abbildung 3.2 d)*. Erst um den 10. Juli und vor allem um den 5. und 15. August wurde die 10-Grad-Marke durchschnittlich wieder erreicht und kurzfristig überschritten. Dann sinkt die Temperatur stufenweise ab, bis sie ab 10. November (wenn die nun rasch steigende Albedo 70% erreicht hat) im Mittel bis Anfang Mai unter dem Gefrierpunkt bleibt.

Eine in der Subalpin-Ökologie brauchbare und für regionale Vergleiche bewährte klimatologische Definition der Vegetationsperiode ist jene Zeit des Jahres, während der die Tagesmittel der Lufttemperatur oberhalb von 5 °C bleiben. Diese so definierte Vegetationsperiode dauert am Stillberg gemäss der geglätteten zwanzigjährigen Messreihe 1961 bis 1980 *(Abbildung 3.2 d)* vom 25. Mai bis 5. Oktober, das sind 134 Tage (4⅓ Monate). Eine fast identisch lange Vegetationsperiode resultiert, wenn jene Tage gezählt werden, an denen der für das Wurzelwachstum der Koniferen wichtige Schwellenwert der Bodentemperatur in 10 cm Tiefe von 2 °C überschritten wird; das ist an der meteorologischen Station Stillberg die Periode vom 1. Juni bis 15. Oktober (137 Tage). Schliesslich kommt man interessanterweise zur gleich langen Dauer der Vegetationsperiode,

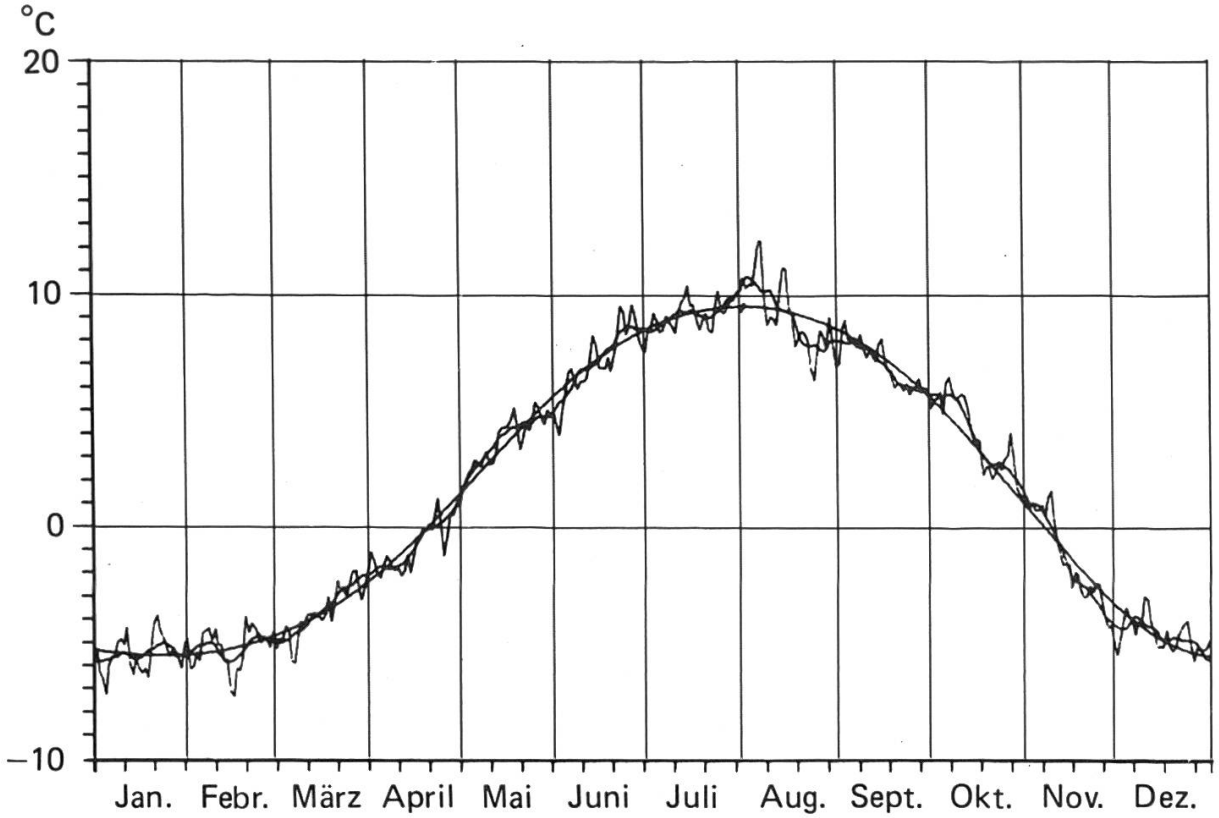

Abbildung 3.2 d. Jahresgang der Lufttemperatur-Tagesmittel an der meteorologischen Station Stillberg (Periode 1961 bis 1980) mit zwei Kurven unterschiedlich starker Glättung.

wenn die Tage ohne nennenswerte Schneedecke gezählt werden; das ist an der meteorologischen Station Stillberg die Periode vom 5. Juni bis 16. Oktober (134 Tage) mit einer mittleren Schneedecke nicht höher als 5 cm.

Auf dem Stillberg gibt es keine frostfreien Monate, selbst in den wärmsten Monaten Juli und August treten durchschnittlich je drei Frosttage auf. Pro Jahr werden durchschnittlich 137 Frosttage und 80 Eistage gezählt, so dass nur 148 Tage ($^2/_5$ des Jahres) übrigbleiben, an denen die Lufttemperatur über dem Gefrierpunkt bleibt *(Abbildung 3.2 e)*.

3.2.5 Bodentemperatur

Der Jahresgang der Bodentemperatur zeigt charakteristische Unterschiede, Dämpfungen und Verzögerungen gegenüber der Lufttemperatur. In 10 cm Tiefe werden 10 °C im langjährigen Mittel nie überschritten, sondern nur Anfang Juli knapp berührt. In 1 m Tiefe wird das um 2 °C tiefere Maximum von 8 °C erst Mitte August erreicht. Ein Bodenfrost tritt nur in den oberflächennahen Bodenschichten (bis etwa 15 cm Tiefe) auf, und zwar nur im November, bevor eine genügend mächtige Schneedecke den Boden vor weiterer Abkühlung

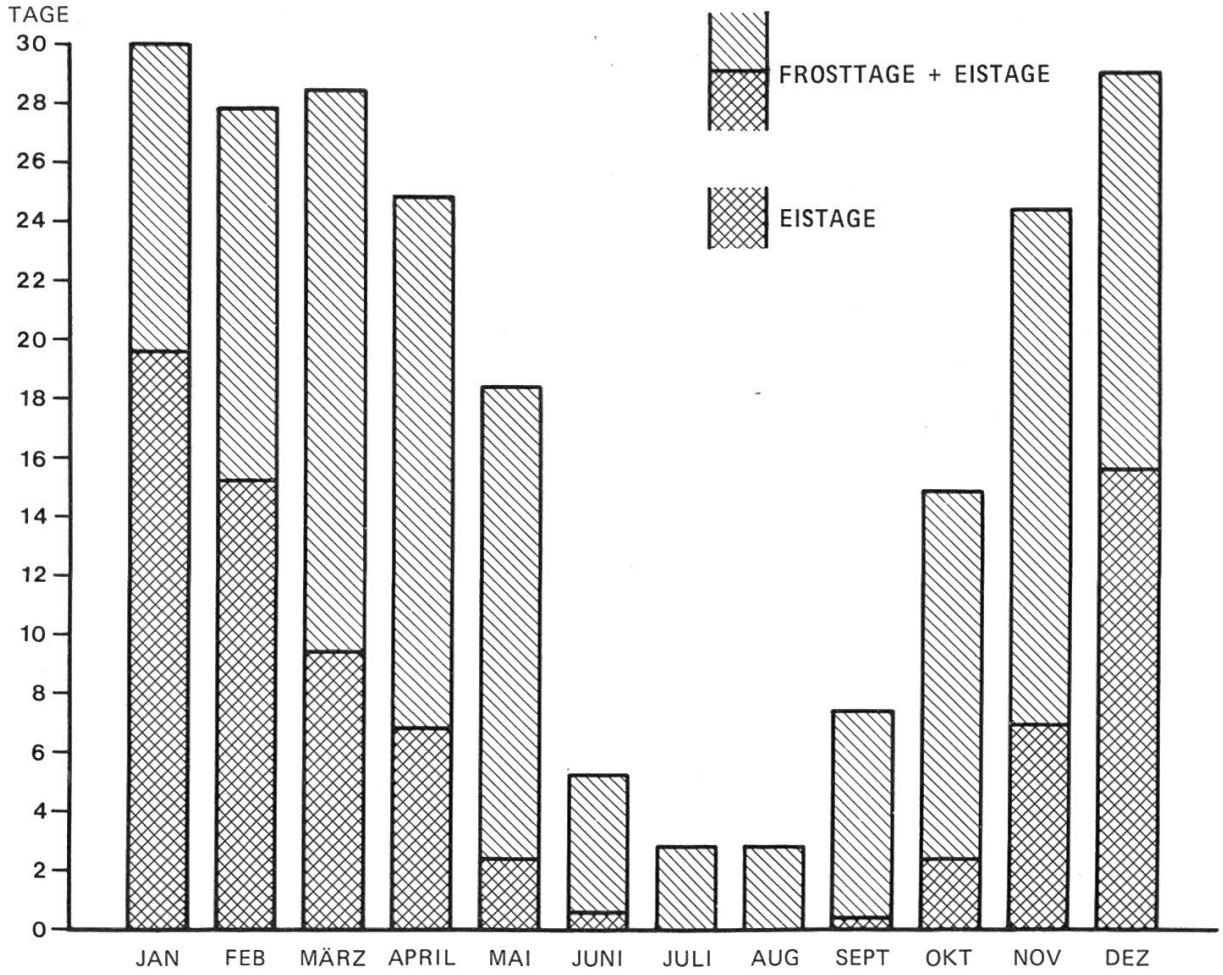

Abbildung 3.2 e. Mittlere Zahl der Frosttage (mit Temperaturmaximum über 0 °C) und der Eistage (mit Maximaltemperatur unter 0 °C) an der meteorologischen Station Stillberg. Mittelwerte 1961 bis 1980 anhand von Daten der Station Arosa reduziert auf die langjährige Reihe 1931 bis 1960 der Klimatologie der Schweiz.

schützt und bevor der Wärmefluss aus tieferen Bodenschichten das Bodeneis wieder schmilzt bzw. den Boden ab Ende November auf einer Temperatur von wenigen Zehntel Grad unter oder über dem Gefrierpunkt hält (nähere Angaben bei Turner *et al.*, 1975).

3.2.6 Windverhältnisse

Die Windgeschwindigkeit ist im mittleren Jahresgang ziemlich ausgeglichen, mit einem Minimum von 1,25 m/s im Februar und einem Maximum von 1,82 m/s im Juni *(Tabelle 3.2)*. Windspitzen mit stündlichen Mittelwerten zwischen 10 und 12 m/s können aber in allen Monaten auftreten. Das höchste Stundenmittel der zehnjährigen Messreihe 1975 bis 1984 wurde am 15. März 1979 mit 13,9 m/s gemessen, knapp gefolgt vom zweithöchsten Wert von 12,4 m/s am 15. März 1980.

Im Tagesgang zeigt die Windgeschwindigkeit an den meisten Tagen der Vegetationsperiode einen kräftigen Anstieg vom Minimum 1,2 m/s während des Sonnenaufganges bis zum Maximum 2,3 m/s um etwa 13 Uhr und dann ein allmähliches Abflauen bis zum morgendlichen Minimum *(Nägeli,* 1971). Hingegen ist im Winter der Tagesgang der Windgeschwindigkeit stark ausgeglichen.

Bezüglich Windrichtung wird am Stillberg zumindest in der schneefreien Zeit eine stark ausgeprägte tagesperiodische Winddrehung im Gegenuhrzeigersinn beobachtet, mit Hangaufwinden aus NE am Morgen (7 bis 9 Uhr), aus N am Mittag (11 bis 13 Uhr), Taleinwinden aus NW am Spätnachmittag bis Abend (16 bis 19 Uhr) und Hangabwinden aus SW während der Nacht (21 bis 7 Uhr) (Nägeli, 1971).

Die Häufigkeitswindrose für die Monate Juni bis September zeigt das Hauptmaximum bei SW und zwei sekundäre Maxima bei NW und N *(Abbildung 3.2f).* Ausgesprochene Talauswinde aus SE-ESE sind in der Höhenlage der meteorologischen Station Stillberg selten. Sie treten vor allem bei Föhnlagen auf und können dann aber höhere Windgeschwindigkeit als bei jeder anderen Wetterlage erreichen.

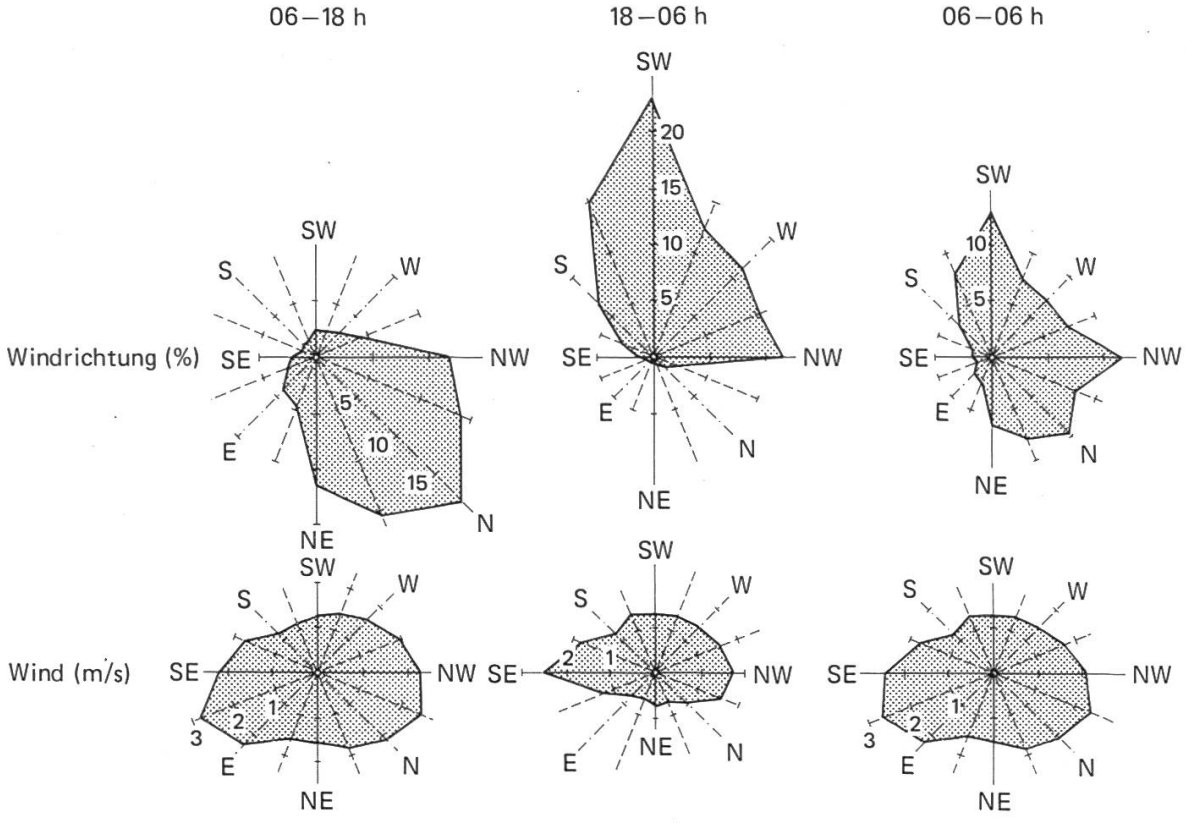

Abbildung 3.2f. Windrichtungshäufigkeit und mittlere Windgeschwindigkeit (m/s) pro Richtung der 16teiligen Windrose an der meteorologischen Station Stillberg für den ganzen Tag sowie für Tag und Nacht getrennt (Vegetationsperioden 1962 bis 1965). Aus *Nägeli* (1971).

3.3 Mikroklimate in der Versuchsfläche Stillberg (Hans Turner, EAFV)

3.3.1 Allgemeines

Von der Gesamtheit der am Wuchsort auf die Pflanze einwirkenden Umweltfaktoren spielen sich die entscheidenden Vorgänge in den oberflächennächsten Luft-, Schnee- und Bodenschichten ab, also auf kleinstem Raum — im Mikroklimabereich. Im Vergleich zu tieferen Lagen sind oberhalb der gegenwärtig bestehenden, auch am Stillberg um rund 200 m herabgedrückten Waldgrenze die Umweltverhältnisse sprunghaft verändert. Hier tritt die mikroklimatische Differenzierung entscheidend in den Vordergrund, weil der windbremsende Einfluss des Waldes fehlt und weil die atmosphärischen Bedingungen mit der Höhe extremer werden. Das Kleinrelief erzeugt durch Abwandlung der beiden gerichteten Primärfaktoren (Generatoren) des Mikroklimas, Sonne und Wind, überraschend grosse Variationen im Wärmegenuss, die an der oberen Waldgrenze (= Wärmemangelgrenze) lebensentscheidend sind, aber auch grosse Unterschiede in der Verteilung der Schneehöhen, die wiederum die Dauer der schneefreien Vegetationsperiode beeinflussen und so in einer Art Rückkopplungseffekt den langfristigen Wärmegenuss verstärkt modifizieren.

Aus diesen Gründen wurden die Mikroklimate auf dem Stillberg intensiv untersucht, insbesondere hinsichtlich Besonnung, Wind, Temperatur, Niederschlag, Verdunstung usw., sowohl zeitintensiv durch mehrjährige Messreihen an vier Mikroklima-Satellitenstationen (Rippe, Osthang, Runse, Nordhang), aber auch flächenintensiv durch Mikroklimakartierungen.

3.3.2 Strahlungsverhältnisse

Was die mikroklimatischen Besonnungsunterschiede betrifft, wurde gezeigt, dass eine generelle Hangrichtung nach NW oder NE (wie die des Stillberg-Versuchsgeländes) die Voraussetzung dafür ist, dass zwischen den Nebenhangrichtungen (Nord und West bzw. Nord und Ost) während der Vegetationsperiode sehr grosse, ja sogar die maximal möglichen Sonnenbestrahlungsunterschiede auftreten (Turner, 1966: 132—133, Abbildung 7). Auf generell nach Südost (oder Südwest) gerichteten Hängen sind die Unterschiede der Bestrahlungssummen zwischen den Nebenexpositionen (Süd und Ost bzw. Süd und West) viel kleiner, und auf reinen Süd- oder Nordhängen sind die Bestrahlungssummen auf den Nebenexpositionen gleich gross. Diese Gesetzmässigkeiten der Hangbestrahlung sind die wesentlichen Ursachen für die am Stillberg viel stärkere standörtlich-ökologische Differenzierung als an vielen anderen Subalpinhängen der Alpen (beispielsweise am SW-exponierten Gegenhang des Dischmatales).

Sonnenscheindauer:

Auch wenn die Intensität der Hangbestrahlung ausser acht gelassen wird, ist festzustellen, dass die mögliche Besonnungsdauer an den verschiedenen Stellen des Versuchsgeländes beträchtlich variiert. Am stärksten reduziert (bis etwa 30% der astronomisch möglichen Dauer) ist die orographisch mögliche Sonnenscheindauer auf flächenmässig begrenzten steilen N- und NNW-Abhängen hinter scharf ausgeprägten Geländerippen. Ebenfalls relativ stark beschattet ist das Steilgelände zwischen etwa 2080 und 2180 m, auf dem die Sonnenscheinmöglichkeit vor allem wegen Selbstbeschattung bei sinkender Nachmittagssonne nur rund 1000 bis 1200 Stunden pro Vegetationsperiode beträgt, das sind 50 bis 60% der astronomisch möglichen Dauer. Die weniger steilen Hangpartien (etwa die Hälfte der Fläche des Versuchsgeländes) sind etwas günstiger gestellt und geniessen eine vom Relief her mögliche Sonnenscheindauer von etwa 1200 bis 1400 Stunden pro Vegetationsperiode (60 bis 70%). Die grösstmögliche Dauer (bis maximal 79%) ist im oberen flacheren Teil der Versuchsfläche und auf einer stark vorspringenden Geländerippe im NW-Abschnitt gegeben (Karte der effektiv möglichen Sonnenscheindauer, Abbildung 12, in Turner, 1966).

Globale Hangbestrahlung und Gesamtstrahlungsbilanz:

An sonnigen Tagen werden 40 Grad geneigte Osthänge im Juni und Juli rund doppelt so intensiv bestrahlt wie gleich geneigte Nordhänge. Bis zum Ende der Vegetationsperiode werden diese Bestrahlungsunterschiede immmer grösser, weil die Bestrahlungsintensität der Nordhänge mit abnehmender Mittagssonnenhöhe stark zurückgeht, während jene der Osthänge annähernd gleich hoch bleibt. Mitte September bestrahlt die Sonne den Osthang daher bereits fünfmal intensiver als den Nordhang, der in dieser Jahreszeit fast nur noch diffuse Himmelsstrahlung und Hangreflexstrahlung erhält *(Abbildung 3.3 a,* linkes Teilbild).

Auch im Durchschnitt aller Witterungslagen (bei einer durch Bewölkung auf 45% reduzierten Sonnenscheindauer) wird der Osthang im September noch dreimal intensiver bestrahlt als der Nordhang *(Abbildung 3.3 a,* rechtes Teilbild). Deutlich kommt in dieser Darstellung der Bewölkungseinfluss zum Ausdruck: Im Durchschnitt der verschiedenen Witterungslagen empfängt der Nordhang mehr, der Osthang weniger Strahlung als an klaren Tagen, aber die Bestrahlungsdifferenz zwischen beiden Expositionen ist immer noch sehr beträchtlich.

Für den Wärmehaushalt der Hanglagen spielen nur jene Strahlungsbeträge eine Rolle, die von der Boden- bzw. Vegetations- oder Schneeoberfläche absorbiert werden und die nicht in Form von langwelliger Wärmeabstrahlung wieder verlorengehen. Der Jahresgang dieser Gesamtstrahlungsbilanz *(Abbildung 3.3 b)* zeigt, dass der Osthang mit acht Monaten eine um zwei Monate längere Periode mit positiver Bilanz (Wärmegewinn) hat als der Nordhang und dass er während dieser Zeit als Bilanz aller Strahlungsgewinne und -verluste einen rund doppelt so grossen Strahlungssaldo erzielt, der für Erwärmung des Bodens und der

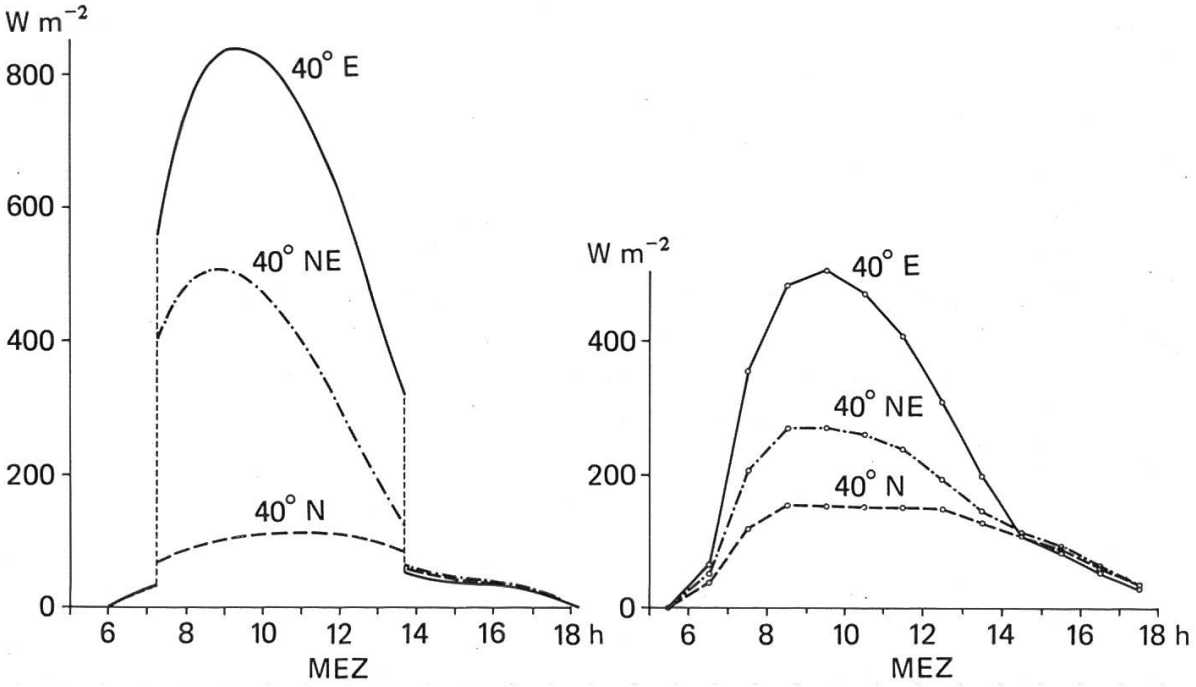

Abbildung 3.3 a. Tagesgänge der Bestrahlung 40 Grad geneigter Nord-, Nordost- und Osthänge durch Sonne und Himmel. Links: am wolkenlosen 15. September 1965. Rechts: mittlere monatliche Tagesgänge September 1965. Aus *Turner,* 1967.

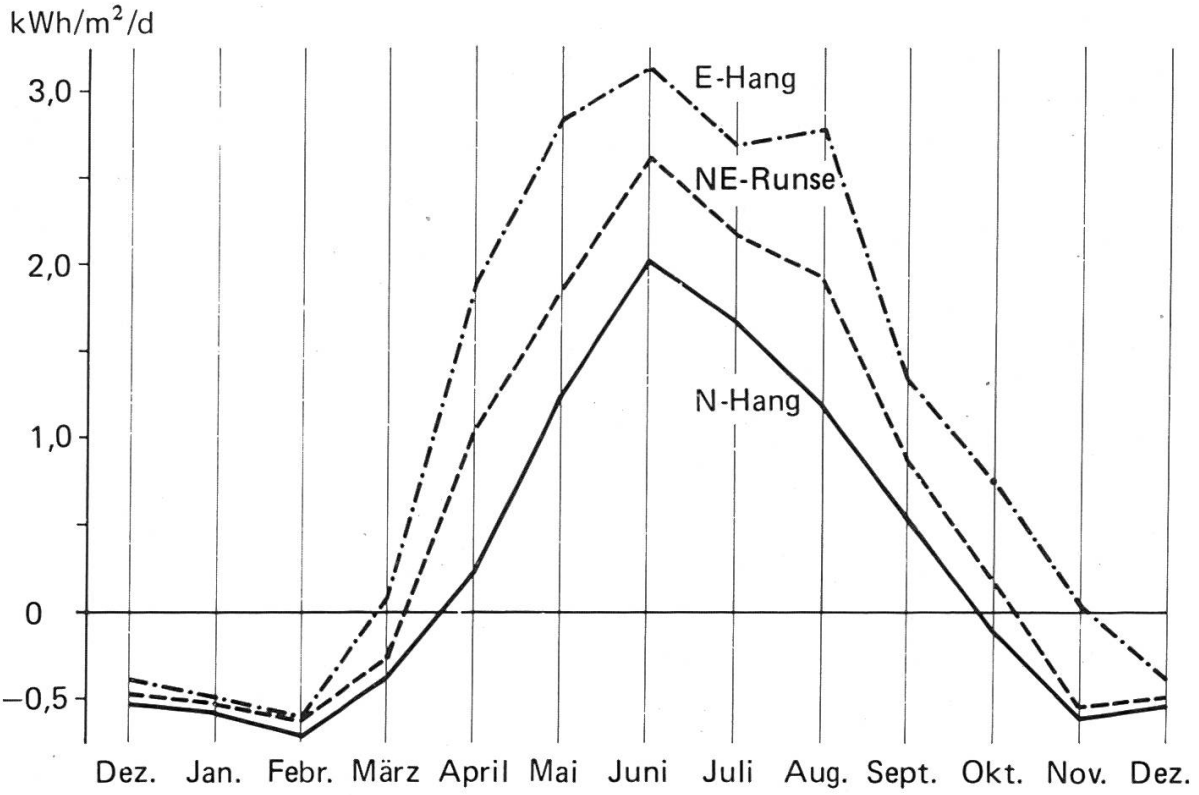

Abbildung 3.3 b. Jahresgang der hangparallel gemessenen Gesamtstrahlungsbilanz (Globalstrahlung plus langwellige atmosphärische Gegenstrahlung minus reflektierte Globalstrahlung minus langwellige Ausstrahlung) in drei Hanglagen des Stillberges. Mittlere Tagessummen pro Monat 1980/1981 in Kilowattstunden pro m².

bodennahen Luftschicht sowie für Evapotranspiration und Photosynthese zur Verfügung steht.

Karte der globalen Hangbestrahlung:

Die Hangbestrahlungskarte, von der *Abbildung 3.3 c* einen Ausschnitt zeigt, basiert auf Messungen der Globalstrahlung bei wolkenfreiem Wetter für 49 Expositionen (horizontale Ebene und Neigungsstufen von 15 zu 15 Grad bis 90 Grad in jeder der acht Himmelsrichtungen). Summenwerte für die ganze Vegetationsperiode wurden auf 2745 Einheiten eines quadratischen Gitternetzes, 5 x 5 m, der Versuchsfläche übertragen, nachdem für jede Teilfläche entsprechend ihrer Neigung, Himmelsrichtung und orographisch möglichen Sonnenscheindauer die Strahlungssumme durch Interpolation aus Polarkoordinaten-Darstellungen der Messwerte ermittelt wurde (Turner, 1966).

Die Karte zeigt bis in kleine Details den Effekt des unruhigen Reliefs auf die Hangbestrahlungsverteilung. Deutlich ist erkennbar, dass im Steilgelände

Strahlungskarte Stillberg

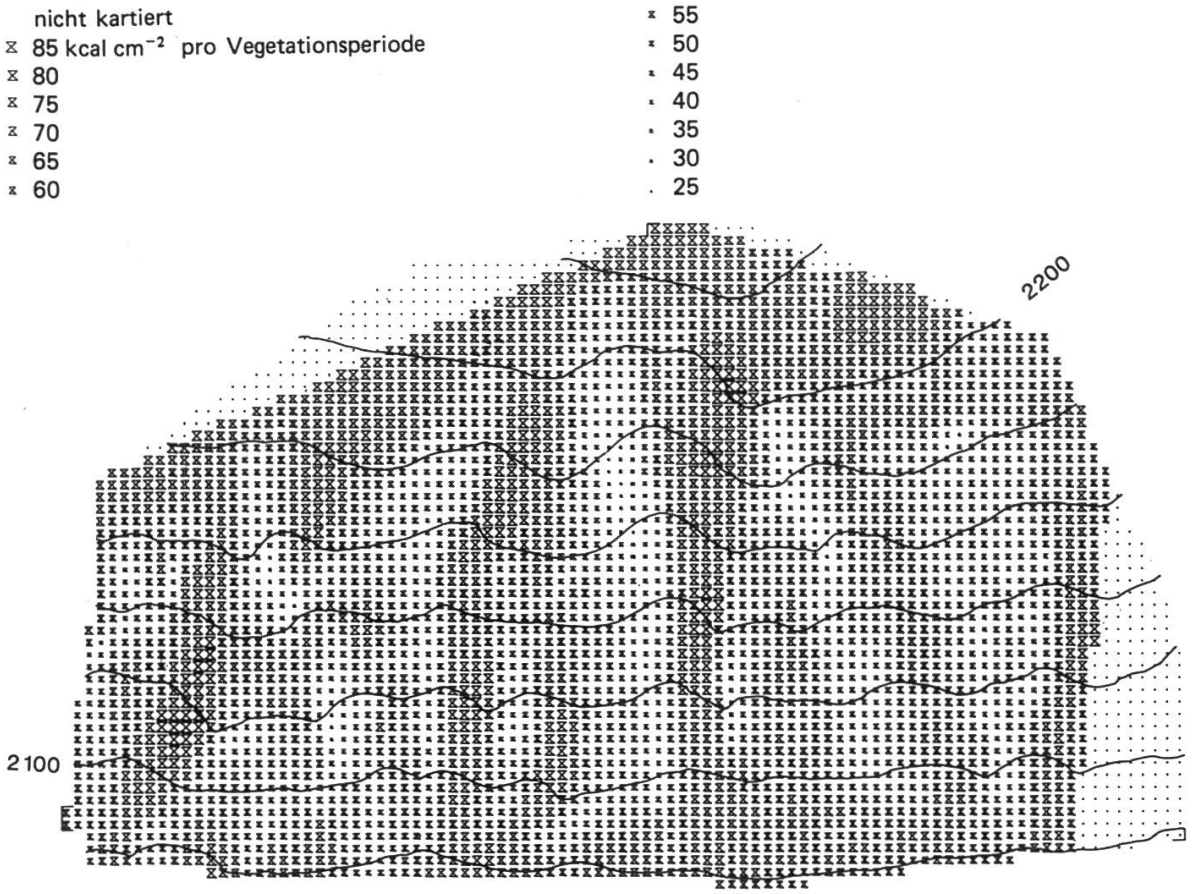

Abbildung 3.3 c. Karte der globalen Hangbestrahlung bei wolkenlosem Himmel, 20 bis 90 kcal/cm² und Vegetationsperiode. Grosse Unterschiede im Strahlungsgenuss zwischen Nord- und Osthängen. Die Karte widerspiegelt bis in Einzelheiten das Relief. Nach *Turner,* 1966, auf den Aufforstungsraster übertragen.

(2080 bis 2180 m) viele ostexponierte Hänge rund viermal grössere Strahlungssummen erhalten als Nordhänge, dass aber auch flache Nordostlagen des obersten Versuchsflächenabschnittes strahlungsmässig ebenso begünstigt sind wie die Osthänge.

Entsprechend der überragenden Bedeutung der Sonnenstrahlung für das Pflanzenleben, sowohl wegen der direkten Wirkungen auf die Photosynthese als auch wegen der indirekten Wirkung auf den Wärme- und Wasserhaushalt, zeigt die Strahlungskarte enge Beziehungen zur Verteilung der Pflanzengemeinschaften und Bodentypen, aber auch zur Verteilung des Zuwachses der Aufforstungen. Die am schwächsten bestrahlten Nordhänge sind ausschliesslich vom arktischen Vegetationstyp der Krähenbeeren-Vaccinienheide (mit Unterwuchs von Etagenmoos) besiedelt, während die Wacholder-Bärentraubenheide nur in den am stärksten bestrahlten Lagen der Osthänge vorkommt. Wenn der Zuwachs der Aufforstung in einer bestimmten Höhenzone in Beziehung zur Hangbestrahlung gebracht wird, stellt man fest, dass die relativen Unterschiede im Höhenzuwachs der Bäumchen in verschiedenen Hanglagen etwa den relativen Bestrahlungsunterschieden dieser Hanglagen entsprechen. Ausgenommen von dieser Regel sind jene Standorte, an denen ein anderer wichtiger Umweltfaktor (zum Beispiel Wind) stark ausgeprägt ist.

3.3.3 Windverhältnisse

Für eine Typologie und Klassifikation der geländebedingten Mikroklimate im Hochgebirge ist neben der Hangbestrahlung die Windexposition grundlegend (Turner, 1980; *Larcher,* 1985). In bezug auf den Temperatureffekt wirkt der Wind der Bestrahlung entgegen, in bezug auf Evapotranspiration wirken beide Faktoren einander verstärkend. Durch grössten Kältestress sind die schwach bestrahlten, aber zugleich stark bewindeten Standorte ausgezeichnet. Grössten Wärmegenuss haben hingegen die stark bestrahlten und zugleich schwach bewindeten Standorte. Durch grösste Trockenheitsbeanspruchung sind jene Standorte gekennzeichnet, die stark bestrahlt und zugleich stark bewindet sind. Umgekehrt herrscht Nässestau auf den schwach bestrahlten und zugleich schwach bewindeten Standorten. Da der Stillberg zufolge seiner Lage im Grossrelief im allgemeinen schwach windexponiert ist und keine extrem stark besonnten Südwest- bis Südosthänge vorkommen, fehlt im Versuchsgelände der Mikroklima-Haupttyp I (Sunny windward, Kombination von starker Sonnen- und Windexposition; am ehesten zählen die rippennahen Ostlagen zu diesem Haupttyp). Besser vertreten, wenn auch abgeschwächt, sind die drei restlichen Haupttypen: II Sunny lee: gut besonnt und windgeschützt; Osthänge. III Shaded windward: schattige Luvhänge; rippennahe Nordlage. IV Shaded lee: schattig und schwach bewindet; runsennahe Nordlagen.

Die in der Fallinie verlaufenden Geländerippen des Stillberges wirken nicht nur windbremsend für die leeseitigen Osthänge und Runsen, sondern bewirken auch drastische Änderungen der Windrichtungsverhältnisse *(Abbildung 3.3 d)*. Hinter einer Geländerippe, die bei Taleinwind entlang der Höhenlinie senkrecht angeströmt wird, zeigt sich in der leeseitigen Runse tagsüber eine hangaufwärts, in der Nacht eine hangabwärts gerichtete Windablenkung. Am ostexponierten Leehang hingegen können bei gleicher Anströmung Leewirbel mit vorwiegend entgegengesetzter Windrichtung (Hauptwindrichtung ESE) entwickelt sein.

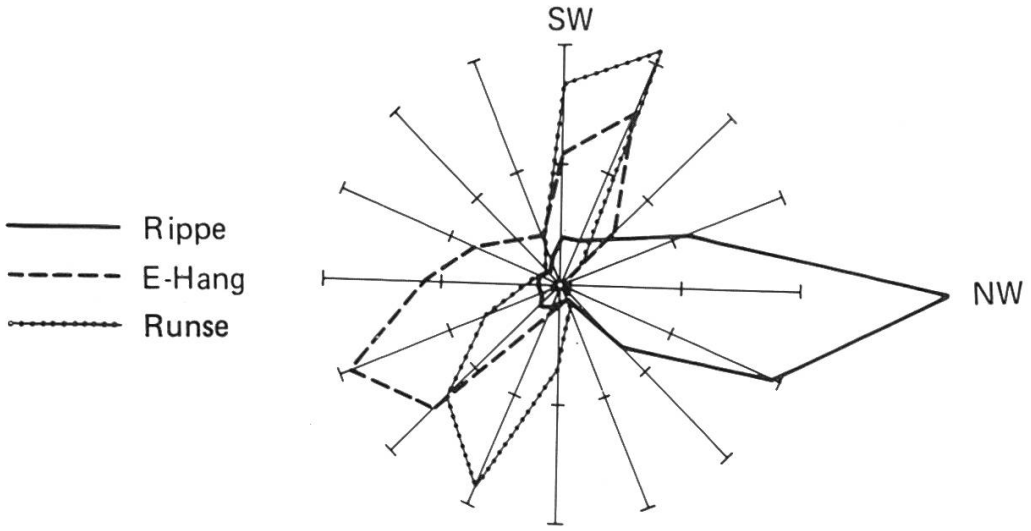

Abbildung 3.3 d. Windrosen des Windweges auf dem «Arvengrat» des Stillberges sowie auf dem Osthang und in der Runse im Lee dieser Geländerippe, die senkrecht (aus NW) angeströmt wird. Messungen von Turner (in *Nägeli,* 1971: Fig. 31C).

Karten der Windgeschwindigkeitsverteilung in 1 m Höhe wurden von Nägeli (1971) für reinen Nordwestwind (Taleinwind), Südostwind (Talauswind) und für die Tageswindrose (Hauptrichtung Nord) veröffentlicht. Letztere Windkarte, als die biologisch bedeutungsvollste, ist als *Abbildung 3.3 e* hier dargestellt.

Aus dieser Darstellung ist ersichtlich, dass der Wind auf den Geländerippen durchschnittlich doppelt bis dreimal so stark wie an den ostexponierten Leeseiten dieser Rippen und in den Runsen weht. Zusammen mit der Besonnungsverteilung bewirken diese Windverhältnisse im Mikroklimabereich die bedeutendsten Variationen der Luft- und Bodentemperatur und der Evapotranspiration, somit auch die wesentlichsten Ursachen für die Verteilung der Vegetations- und Bodentypen sowie der Zuwachsverhältnisse in den Aufforstungen.

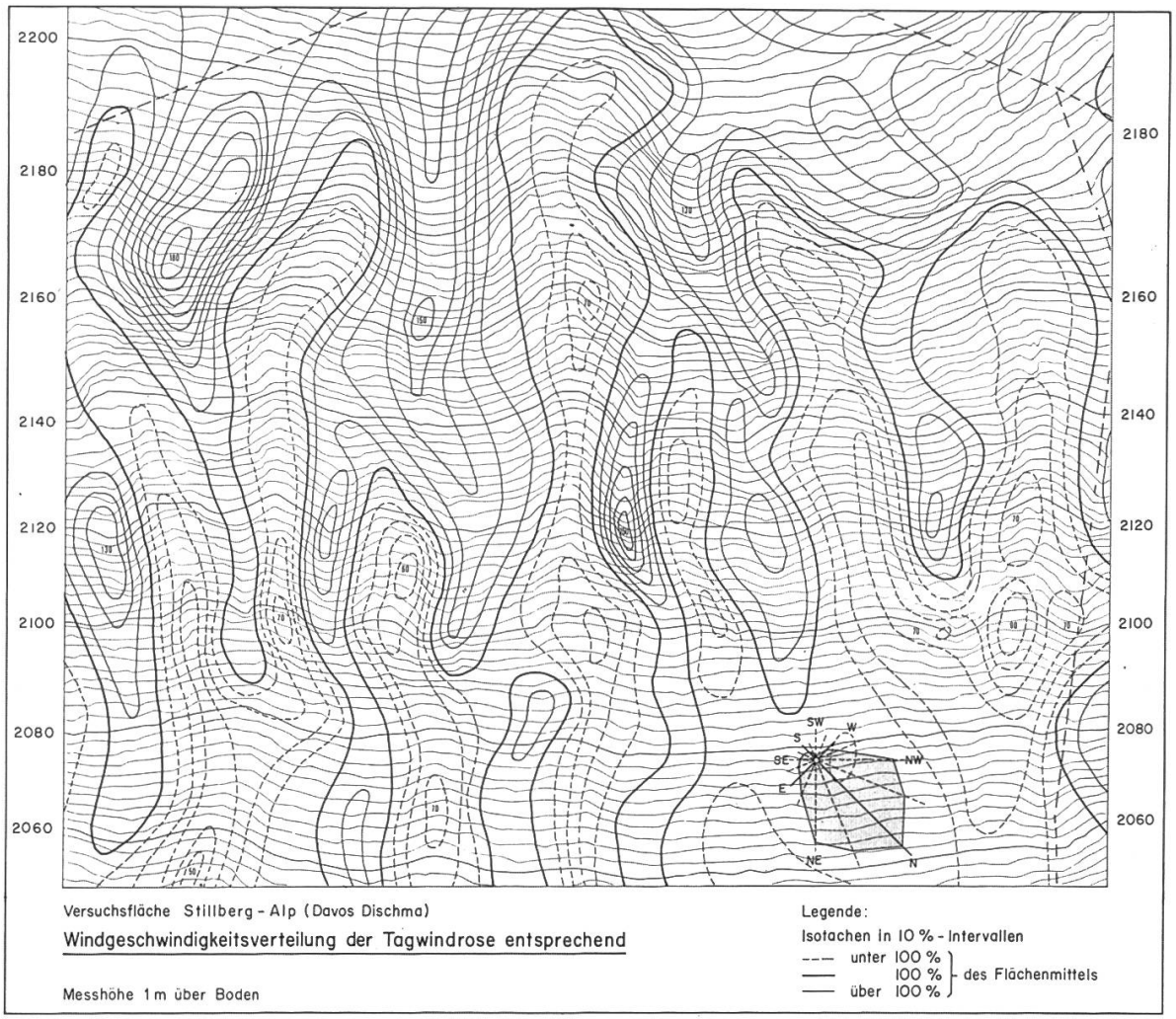

Abbildung 3.3 e. Karte der durchschnittlichen Windgeschwindigkeitsverteilung in 1 m Höhe über Boden während der Vegetationsperiode (06.00 bis 18.00 Uhr). Die Linien gleicher Windgeschwindigkeit sind in 10-%-Intervallen gezeichnet; 100% entsprechen dem räumlich-zeitlichen Mittelwert von 1,9 m/sec. Die dargestellte Windgeschwindigkeitsverteilung gilt für die (unten rechts) eingezeichnete Häufigkeit der Windrichtungen (nach *Nägeli,* 1971).

3.3.4 Temperaturverhältnisse

Mehrjährige Bodentemperaturmessungen an vier Mikroklimastationen im Bereich der «Grossen Runse» in rund 2070 m Höhe ü. M. haben ergeben, dass der Osthang («Sonnenhang») in den Monaten der Vegetationsperiode oberflächennah um rund 8 bis 10 Grad und noch in 30 cm Tiefe um etwa 3 °C wärmer als die übrigen Standorte ist; im Winter ist der Osthang ausser in den oberflächennahen Schichten nicht gefroren. Der Boden des Nordhanges («Schattenhang») friert vom Dezember bis April trotz mächtiger Schneebedeckung bis etwa 50 cm tief durch. Auf der schneearmen Geländerippe lassen die Temperaturmessungen (bis in 35 cm Tiefe) vermuten, dass hier der Boden bis rund 1 m Tiefe frieren kann. Der Boden der Lawinenrunse stellt auch in thermischer Hin-

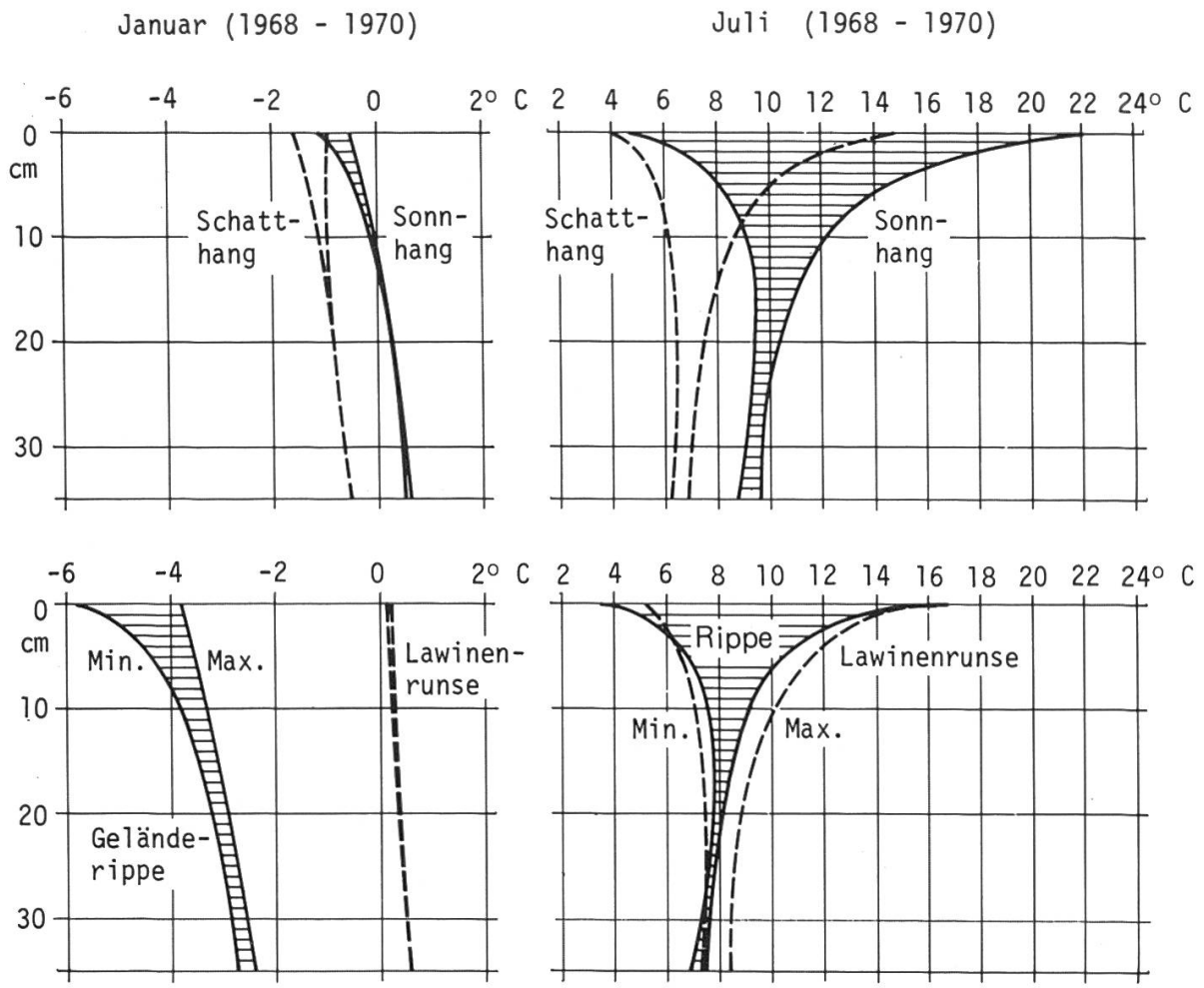

Abbildung 3.3 f. Monatsmittel der täglichen Maxima und Minima der Bodentemperatur in 0 bis 35 cm Tiefe, Januar und Juli 1968 bis 1970 an vier Hauptstandorten der grossen Lawinenrunse (aus *Turner et al.*, 1975).

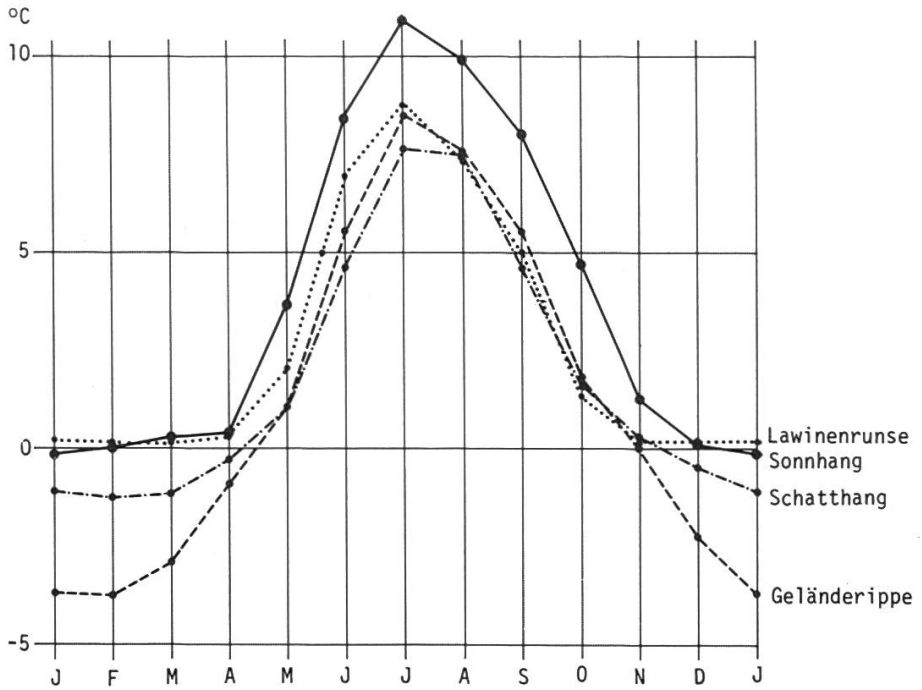

Abbildung 3.3 g. Jahresgang der Bodentemperatur in 8 cm Tiefe nach monatlichen Mittelwerten der Messperiode 1968 bis 1970. Messstellen wie in *Abbildung 3.3 f* (aus *Turner et al.*, 1975).

sicht einen Sonderfall dar, indem er ganzjährig auch in den obersten Schichten nicht friert *(Abbildungen 3.3 f* und *3.3 g)*.

Während der Vegetationsperiode ist der Boden wesentlich tiefer temperiert als die bodennahe Luftschicht; dies gilt für alle am Stillberg vorkommenden Standortstypen bzw. Pflanzengemeinschaften. Schon in wenigen Zentimetern Tiefe ist der Boden im Mittel um 3 bis 4 Grad kälter als die Luft in 10 cm Höhe. Im Vertikalprofil tritt das Temperaturmaximum dort auf, wo am meisten Strahlungsenergie absorbiert und in fühlbare Wärme umgesetzt wird. Deshalb ist in allen locker strukturierten Vegetationsdecken die Bodenoberfläche das am stärksten überwärmte Niveau, besonders in der Wacholder-Bärentraubenheide, wo die Bodenoberfläche im Mittel um 8 Grad wärmer als der Oberboden ist. Hingegen haben alle Standorte mit dichter Vegetationsdecke (Wollreitgrasrasen, Etagenmoos-Vaccinienheide) das Temperaturmaximum im Vertikalprofil nicht an der Boden-, sondern an der Vegetationsoberfläche *(Abbildung 3.3 h)*.

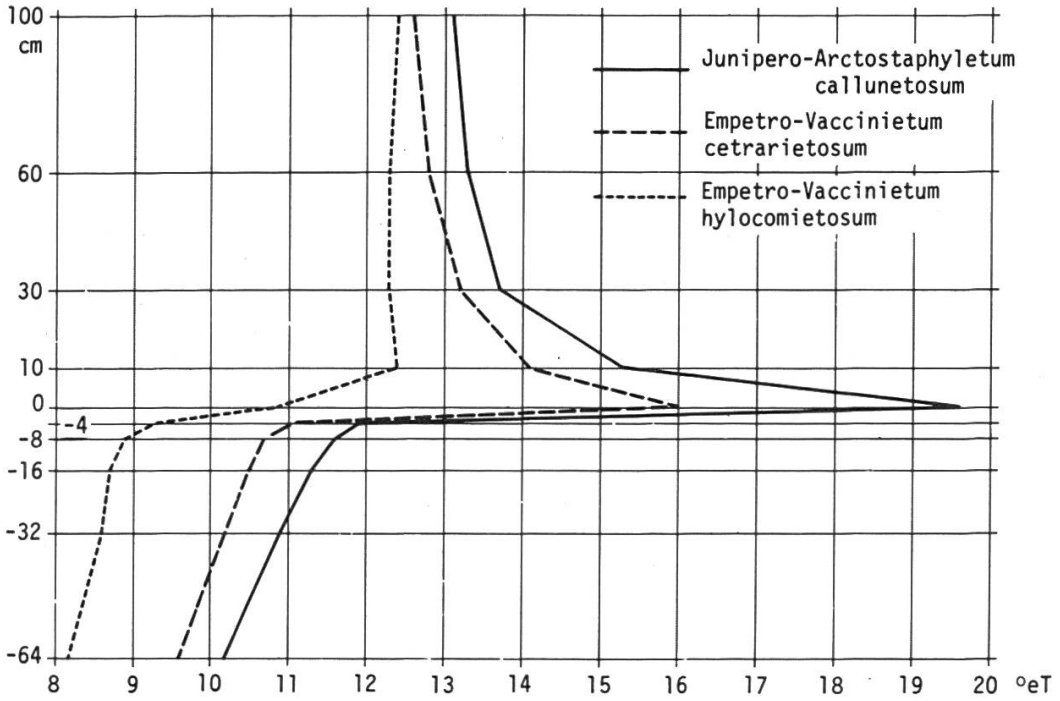

Abbildung 3.3 h. Exponentielle Temperaturmittel in der bodennahen Luftschicht, an der Bodenoberfläche und im Boden der Wacholder-Bärentraubenheide, der flechtenreichen Vaccinienheide und der Etagenmoos-Vaccinienheide. Vegetationsperiode 1961 (aus *Turner et al.*, 1975).

Während des Winters entwickeln sich im Boden und in der Schneedecke der verschiedenen Standorte ebenfalls beträchtliche Temperaturunterschiede, die stark von den unterschiedlichen Schneeverhältnissen und Gesamtstrahlungsbilanzen geprägt werden. Am Nordhang sind entsprechend der stark negativen

Strahlungsbilanz die oberen Schneeschichten am kältesten und können, wie im Februar 1981 (siehe *Abbildung 3.3 i)* in 60 cm Höhe über Boden um 6 bis 7 °C kälter als am Osthang oder in der Lawinenrunse sein. Auf der kaum schneebedeckten Rippe hingegen stellt sich das Temperaturminimum im Vertikalprofil natürlich an der Bodenoberfläche ein, weil diese am meisten Wärme in Form von langwelliger Ausstrahlung verliert. Die Lawinenrunse ist typischerweise auch in dieser Darstellung wieder der einzige Standort mit positiver Temperatur schon an der Bodenoberfläche *(Abbildung 3.3 i:* NE-Runse).

Als vielleicht eindrucksvollstes Ergebnis des Zusammenspiels von Besonnung und Wind mit dem Relief und der Vegetation sei die räumliche Verteilung der Bodenoberflächentemperatur in einem Teil des Versuchsgeländes dargestellt *(Abbildung 3.3 j)*. Was in dieser Temperaturkarte vor allem auffällt, sind die grossen Unterschiede des Wärmegenusses auf kleinem Raum, die sich keineswegs auf die Bodenoberfläche beschränken, sondern (wie *Abbildung 3.3 h* gezeigt hat) sich in ähnlichem Ausmass auch in bodennahen Luftschichten und oberflächennahen Bodenschichten wiederfinden. Ostexponierte Hangteile mit ausgeprägten Überwärmungen von 20 bis 22 °C im Mittel der ganzen Vegetationsperiode stehen in denkbar grösstem Kontrast zu einzelnen nur 20 m entfernten Stellen des Nordhanges, wo Mittelwerte von nur rund 10 °C gemessen wurden. In Anbetracht der Tatsache, dass die oberen klimatischen Wald- und Baumgrenzen vor allem Wärmemangelgrenzen sind, muss diesen grossen hori-

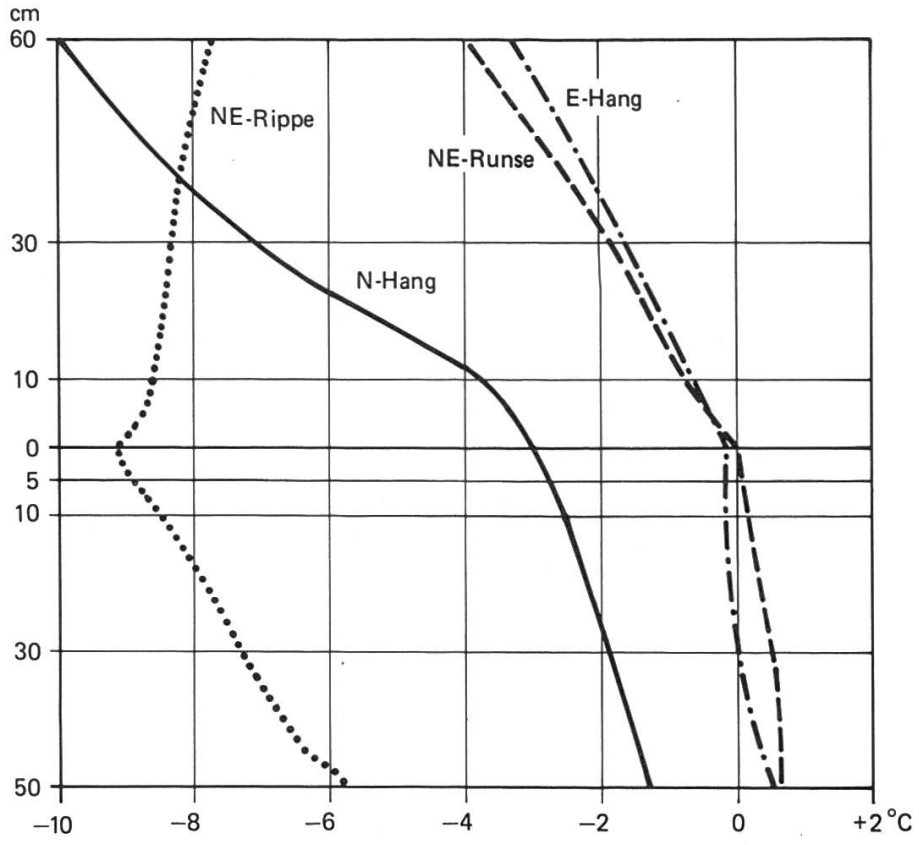

Abbildung 3.3 i. Vertikalprofile der Temperatur des Bodens und der Luft- bzw. Schneeschichten an den vier Hauptstandorten. Mittelwerte Februar 1981.

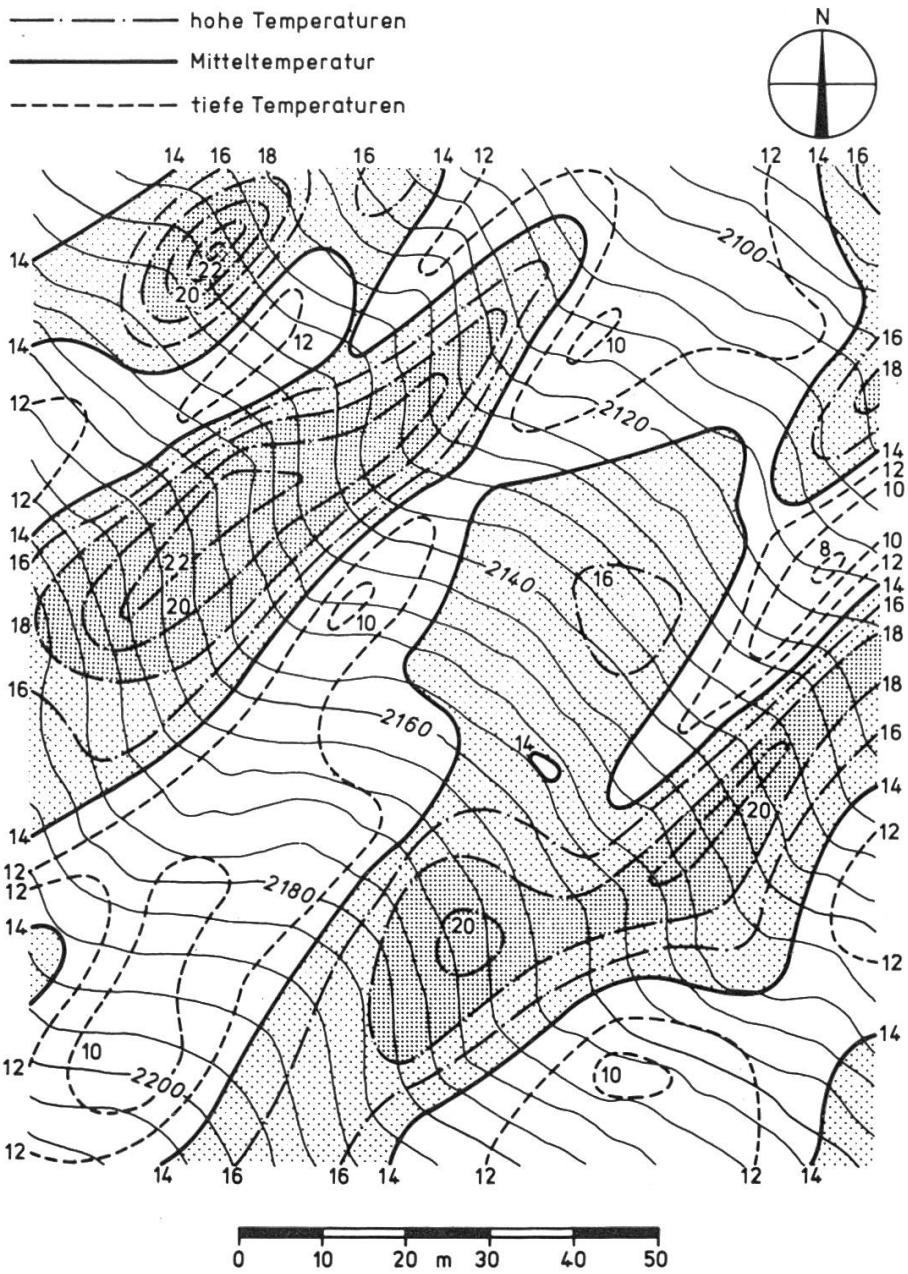

Abbildung 3.3j. Verteilung der Bodenoberflächentemperatur im Bereich der «Grossen Runse» in östlich bis nördlich exponierten, etwa 40 Grad geneigten Hanglagen zwischen 2100 und 2200 m ü. M. Isothermen der exponentiellen Mitteltemperatur (eT) nach Messungen mit der Zuckerinversionsmethode nach Pallmann. Messperiode 26. 6. bis 2. 10. 1962. Areale mit überdurchschnittlicher Temperatur (höher als das Flächenmittel 14°) sind gerastert (aus *Turner et al.*, 1975).

zontalen Temperaturunterschieden auf kleinem Raum eine sehr grosse Bedeutung für die lokalen Erfolgsaussichten von Aufforstungen beigemessen werden.

3.3.5 Zusammenfassung

Zusammenfassend lassen sich vom mikro- und bioklimatischen Standpunkt die Hauptstandortstypen des Stillberges etwa wie folgt kennzeichnen:

Geländerippen haben durchschnittlichen sommerlichen Wärmegenuss, bieten aber wegen tiefreichendem winterlichem Bodenfrost, Schneemangel und starkem Windstress die Voraussetzungen für eine chronische Entwicklung von Frosttrocknis, besonders nach Sommern mit beträchtlichem Wärmedefizit.

Geländerunsen sind während des Sommers ebenfalls durchschnittlich temperiert, im Winter durchwegs ohne Bodenfrost, schwach bewindet und schneereich. Vom Mikroklima her für Baumwuchs mässig gut geeignet, jedoch bestehen grosse Gefahrenmomente anderer Natur (Pilzkrankheiten, Lawinen, Vegetationskonkurrenz).

Nordhänge bieten geringsten Licht- und Wärmegenuss (bis unter das Existenzminimum), tiefreichenden Bodenfrost auch unter mächtiger Schneedecke, um Wochen verspäteten Beginn der Vegetationsperiode, daher grösste Massierung von Folgeschäden des Licht- und Wärmehungers, besonders von Pilzkrankheiten.

Osthänge sind zwar gut besonnt und windgeschützt und haben daher grössten sommerlichen Wärmegenuss, jedoch stellen Strahlungsstress durch hohe Lichtintensitäten (plötzliche Strahlungsflut bei orographisch verzögertem Sonnenaufgang!) und Überhitzung beachtenswerte Gefahrenmomente dar, welche zu übermässiger Transpiration, vorzeitiger Frostenthärtung und Entwicklung akuter Frost- und Frosttrockniswirkungen führen können.

3.4 Schneedecke und Lawinen im Versuchsgelände Stillberg (Jiri Rychetnik, SLF)

3.4.1 Aufnahmemethodik

Die Angaben über Schneeverteilung, Einschneien und Ausaperung der Versuchsfläche Stillberg stützen sich auf periodische Ablesungen der Schneehöhen an Schneepegeln. Ein erstes Pegelnetz wurde zwischen 1959 und 1962 aufgebaut. Für die Auswahl der 370 Pegelstandorte war das Geländerelief (Rippen, Einhänge, Runsen) massgebend. Dieses Netz wurde 1973 durch 433 Pegel ersetzt, welche in einem Raster mit der Seitenlänge von 14 m angeordnet sind; diese Distanz entspricht der Seitenlänge von vier Einheitsflächen der Aufforstung 1975.

Für die Auswertung der Ausaperung der Einheitsflächen standen bis 1985 rund 100 terrestrisch-photogrammetrische Aufnahmen der Ausaperungsvorgänge auf der Fläche zur Verfügung. Über die ganze Beobachtungsperiode 1959 bis 1985 wurden mehr als 400 Schneeprofile auf der Stillbergalp (1975 m) und seit 1974/75 zusätzlich Profile am Hang (2087 m) aufgenommen.

Bis 1986 konnten annähernd 1000 Lawinen und Lawinensituationen beschrieben, klassifiziert und kartiert werden. Dies ermöglichte, die Lawinenaktivität für jede Einheitsfläche zu erfassen.

3.4.2 Schneeverteilung und Schneedeckenaufbau

Die maximale Schneehöhe an den Pegeln betrug im Mittel der Jahre 1959 bis 1985 146 cm und variierte von 80 cm bis 208 cm. Bezogen auf extreme Pegelstandorte wurde auf Rippen eine maximale Schneehöhe von nur 60 cm, in Leelagen dagegen bis über 420 cm gemessen. Die Schneeverteilung auf der Versuchsfläche folgte grundsätzlich zwei Mustern:

- Bei niederschlagsbringenden Winden, vorherrschend aus NW, werden die leeseitigen Osteinhänge der Rinnen mit Schnee gefüllt, während die Nordeinhänge der Rinnen relativ schneearm bleiben. Die Ausaperung beider Standorte erfolgt dann annähernd gleichzeitig.
- Föhnlagen bringen in der Regel wenig Schnee. Starke Südwinde, welche oft mit hoher Geschwindigkeit über den Stillberghang von oben nach unten streichen, lagern grosse Schneemengen um. Damit werden die Nordeinhänge der Rinnen bedeutend schneereicher als die gegenüberliegenden Osteinhänge. Die Ausaperung der Nordeinhänge dauert entsprechend länger als jene der Osteinhänge.

In der Periode 1974 bis 1980 waren je zweimal die Osteinhänge und die Nordeinhänge der Rinnen schneereicher, zweimal blieben die Schneehöhen beider Standorte annähernd gleich (Rychetnik, 1982).

Das Gelände, die Witterung, die Schneeverteilung und Lawineneinflüsse entscheiden über den Aufbau der Schneedecke. Schneeprofile, welche in der Grossen Runse, in etwa der gleichen Höhenlage und innerhalb einer Distanz von 30 m aufgenommen wurden, zeigten grosse Unterschiede in der Stratigrafie, Verfestigung, Kornform, Korngrösse und anderem (Rychetnik, 1987 a).

3.4.3 Schneebedeckungsdauer, Einschneien, Ausapern

Unter der saisonalen Schneedecke wird die längste ununterbrochen andauernde Schneedecke verstanden, die mindestens teilweise in die Wintermonate Januar bzw. Februar fällt. Die übrigen Schneebedeckungen werden als sporadische Schneedecken bezeichnet. Bezogen auf einen Punkt (Schneepegel), ist die Dauer der saisonalen Schneedecke durch das Einschneien (erster Tag mit der saisonalen Schneedecke) und das Ausapern (letzter Tag mit der saisonalen Schneedecke), jeweils zur Zeit des Morgentermins, gegeben.

Um die Einschnei- und Ausaperungsvorgänge auf einer Fläche erfassen zu können, muss man sich einer Kartierung oder einer genügenden Dichte von repräsentativen Punkten — Pegelstandorten — mit entsprechenden Angaben bedienen. Unter dem Pegelstandort wird ein Kleinstandort, eine Kreisfläche mit dem Radius von 0,5 m um den Pegel herum angenommen. Somit lassen sich Standorte mit frühem, mittlerem und mit spätem Einschneien bzw. Ausapern

sowie Standorte mit kurzer, mittlerer und langer Schneebedeckungsdauer unterscheiden. Man muss dann von einer Einschnei- bzw. Ausaperungsperiode sprechen: die Zeitspanne, welche zwischen dem Einschneien bzw. Ausapern des ersten und des letzten Pegelstandortes vergeht.

Im Mittel aller Pegelstandorte (Flächenmittel) auf Stillberg ergab sich eine Dauer der saisonalen Schneedecke von 6,5 Monaten, bei Extremen zwischen 4,3 und 7,5 Monaten. Auf Rippen konnte dieser Wert nur 2,5 Monate und in Schattenhängen bis 9 Monate betragen. Alle diese Daten variierten stark von Standort zu Standort und von Winter zu Winter, wobei die zuerst eingeschneiten und die zuletzt ausgeaperten Standorte oft örtlich nicht identisch waren.

Das Einschneien, definiert als Beginn der saisonalen Schneedecke, verlief auf Stillberg nur in etwa 20% aller Fälle wie in der Literatur beschrieben, «über ganze Höhenzonen, ungeachtet des Geländereliefs» *(Friedel,* 1952; *Zingg,* 1954). Durch teilweise Ausaperungen und erneute Schneefälle schloss sich die saisonale Schneedecke nur schrittweise zusammen. Der Vorgang war relieforientiert, die Schneeverteilung beim Einschneien war aber nicht so stark differenziert wie beim Ausapern am Winterende. Auf der Versuchsfläche Stillberg betrug die Einschneiperiode (Entstehen der saisonalen, geschlossenen Schneedecke) im Durchschnitt 30 Tage, mit Extremen von 1 bis 91 Tagen. Im Mittel der Jahre 1959 bis 1985 konnte der Beginn der Einschneiperiode am 29. Oktober beobachtet werden (Extreme: 26 Tage früher bzw. 19 Tage später), und das Ende am 27. November (Extreme: 63 Tage früher bzw. 68 Tage später).

Für das Wachstum einer Pflanze hat ein schneefreier Tag vor dem Einschneien im Herbst eine geringere Bedeutung als ein schneefreier Tag im Frühling nach der Ausaperung. Dies wird auch durch die enge Beziehung zwischen dem mittleren Ausaperungsdatum und der Entwicklung der Pflanze bestätigt (siehe Kapitel 6).

Der Ausaperungsvorgang auf der Versuchsfläche Stillberg wurde durch das Geländerelief, die Schneeverteilung, die Witterung und die während der Ausaperung abgehenden Lawinen bestimmt.

Je stärker das Gelände die anderen Faktoren dominierte, um so mehr näherten sich die Ausaperungsvorgänge dem von Friedel (1952) beschriebenen Fall der Wiederkehr gleicher Ausaperungsfiguren von Winter zu Winter.

Die Schneeverteilung zu Beginn der Ausaperungsperiode war von grosser Bedeutung. Auf Grund einer mehrfachen linearen Regression mit entsprechender Varianzanalyse konnte das mittlere Ausaperungsdatum der 370 Pegelstandorte für die Beobachtungsperiode 1962 bis 1966 zu 25% durch Geländeparameter wie Höhenlage, Hangrichtung und Hangneigung und zu nahezu 50% durch die Schneehöhe vor Beginn der Ausaperung geschätzt werden, bei einem mittleren Fehler der Schätzung von fünf Tagen (Rychetnik, 1987 b).

An Strahlungstagen während der Ausaperungsperiode wurde der Verlauf der Ausaperung stark durch das Kleinrelief bestimmt. Niederschläge, vor allem in Form von Regen, führten dagegen zu einem ausgeglicheneren und eher von der Höhenlage abhängigen Abbau der Schneedecke. Neuschneefälle und Verzögerungen des Ausaperungsvorgangs durch Kälteeinbrüche kamen häufig vor.

Lawinenniedergänge während der Ausaperungsperiode förderten die Ausaperung der Fläche. Das Abrutschen der Gesamtschneedecke auf grösseren Geländeabschnitten bewirkte die gleichzeitige Ausaperung verschiedener Kleinstandorte. Ein Beispiel gibt die Lawinensituation vom 11. und 19. Mai 1979 *(Ab-*

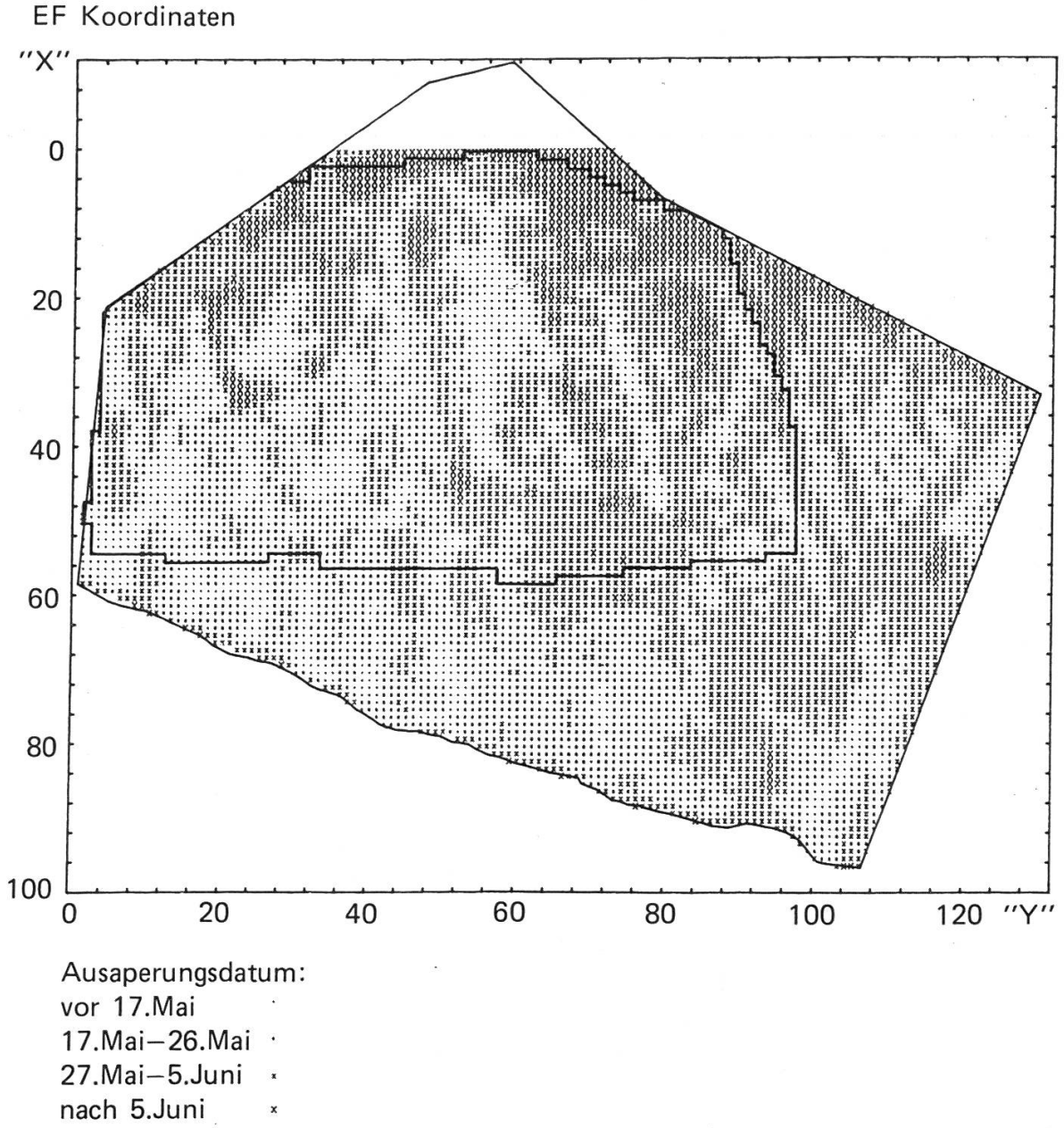

Abbildung 3.4 a. Karte der mittleren Ausaperungsdaten, Mittel 1975 bis 1982. Die Aufforstungsfläche ist umrandet.

bildung 5.3 a in Kapitel 5). Durch Frühlingslawinen trat der mittlere Zeitpunkt der Ausaperung in der Periode 1962 bis 1966 um 6,5 Tage früher ein als ohne Lawineneinflüsse.

Im Mittel der Jahre 1959 bis 1985 aperte der durchschnittliche Pegelstandort (Flächenmittel) am 21. Mai aus, mit Extremen am 23. April bzw. am 8. Juni. Der Zeitraum möglicher Ausaperungsdaten ist in der Versuchsfläche Stillberg sehr gross. So konnte der zuerst schneefreie Pegelstandort schon am 29. Februar 1976 und der zuletzt ausapernde Pegelstandort noch am 30. Juli 1980

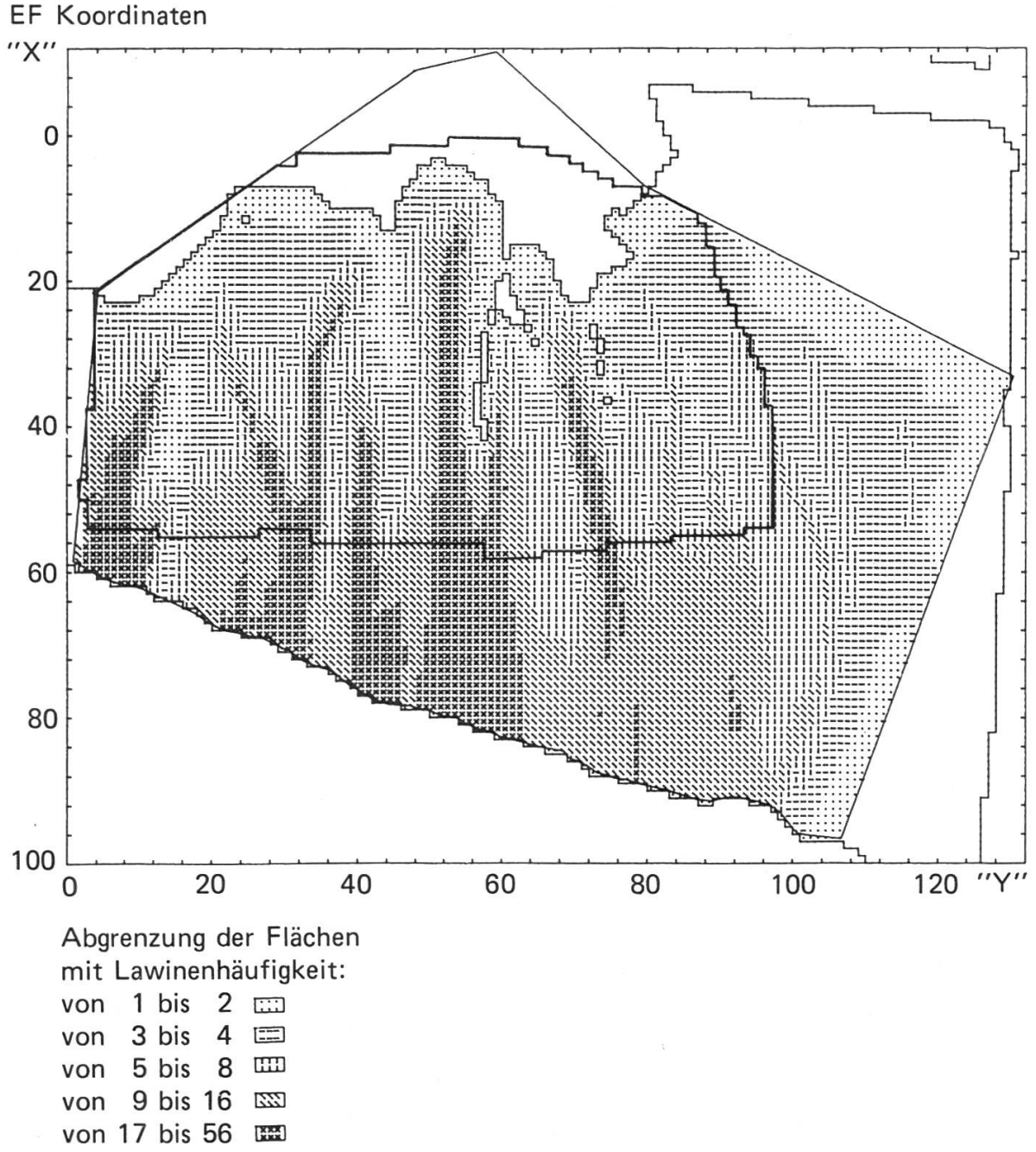

Abbildung 3.4 b. Karte der Lawinenhäufigkeit, Mittel 1975 bis 1982. Die Aufforstungsfläche 1975 ist umrandet.

beobachtet werden. Der mittlere Ausaperungsverlauf auf der Versuchsfläche Stillberg in der Periode 1975 bis 1982 wird in *Abbildung 3.4 a* dargestellt (Rychetnik, 1987 b).

Die Bestimmung des mittleren Ausaperungszeitpunktes nach Pflanzengesellschaften *(Kuoch,* 1970) ergab folgendes Bild:

Am frühesten aperte die Windflechten-Azaleenheide mit Windflechten aus, gefolgt von der Windflechten-Azaleenheide mit Rentierflechten und den Wacholder-Bärentraubenheiden (mit Wacholder und mit Heidekraut). Die Alpenrosen-Vaccinienheide mit Alpenrose lag sehr nahe am Flächenmittel, dann folgten die Krähenbeeren-Vaccinienheide mit Moosflechten, die Krähenbeeren-Vaccinienheide mit Etagenmoos, und zuletzt aperte der Wollreitgrasrasen aus.

Die Alpenrosen-Vaccinienheide zeigte einen stark signifikanten Unterschied im mittleren Ausaperungsdatum zu den Windflechten-Azaleenheiden einerseits und zu den Krähenbeeren-Vaccinienheiden und zum Wollreitgrasrasen andererseits. Der Unterschied zu den Wacholder-Bärentraubenheiden erwies sich dagegen als nicht signifikant.

3.4.4 Lawinen im Versuchsgelände

Auf der Versuchsfläche Stillberg wurden in der Periode von 1959 bis 1982 im Durchschnitt 42 Lawinen pro Winter beobachtet, mit Extremen von 24 bzw. 77 Lawinenniedergängen. Alle Arten von Lawinen ausser grossen Staublawinen sind schon vorgekommen.

Die Lawinenfrequenz nahm erwartungsgemäss von oben nach unten und von den Rippen zu den Runsen hin zu. Stellen ohne Lawinen oder mit nur kleinen Frequenzen befanden sich auf der oberen Verebnung und auf den Rippenstandorten. Die Verteilung der Lawinenfrequenzen und ihre Flächenanteile waren stark differenziert. So wurden in der Periode von 1975 bis 1982 nur 13% der Aufforstungsfläche von keiner Lawine, 12% der Fläche von einer bis zwei Lawinen und 25% der Fläche von drei bis vier Lawinen berührt. Der Rest von 50% der Aufforstungsfläche befand sich also in einem aktiven Lawinengebiet *(Abbildung 3.4 b).*

Die Versuchsfläche ist infolge ihrer nordöstlichen Exposition kein Gleitschneegebiet. Allerdings konnten in der zweiten Hälfte Oktober 1974, in einem Winter mit extrem frühem Einschneien, 13 Gleitschneerisse beobachtet werden. Auf besonders stark betroffenen Standorten waren kleinflächige Bodenabschürfungen die Folge. Auch im Frühling 1979 konnten Risse in der Schneedecke festgestellt werden, die auf das Schneegleiten zurückzuführen waren.

3.5 Die Vegetation in der Versuchsfläche Stillberg (Walter Schönenberger, EAFV)

Die Pflanzengesellschaften in der Versuchsfläche wurden schon in den 1960er Jahren von Kuoch (1970) und Kuoch und *Amiet* (1970) eingehend beschrieben und mit soziologischen Tabellen und einer Vegetationskarte belegt. Die wichtigsten Pflanzengesellschaften und ihre Flächenanteile innnerhalb des Aufforstungsareals sind folgende:

Windflechten-Azaleenheide mit Rentierflechten	*Cetrario-Loiseleurietum cladonietosum*	10%
Krähenbeeren-Vaccinienheide	*Empetro-Vaccinietum*	
mit Moosflechten	*cetrarietosum*	29%
mit Etagenmoos	*hylocomietosum*	30%
Wollreitgrasrasen mit Drüsengriffel	*Calamagrostietum villosae adenostyletosum*	15%
Wacholder-Bärentraubenheide	*Junipero-Arctostaphyletum*	
mit Wacholder	*juniperetosum*	4%
mit Heidekraut	*callunetosum*	5%
Alpenrosen-Vaccinienheide mit Alpenrose	*Rhododendro-Vaccinietum rhododendretosum*	6%
Übrige		1%

Diese Zwergstrauchgesellschaften sind typisch für den Waldgrenzengürtel der kontinentalen Zentralalpen auf Urgestein. Für die voralpinen Rasengesellschaften auf Kalk sowie für die in Aufforstungsflächen recht häufigen Weiderasen sind sie nicht repräsentativ.

Das Vegetationsmosaik ist eng mit dem Oberflächenrelief verbunden, zusätzlich ist ein ausgeprägter Höhengradient sichtbar *(Abbildung 3.5).*

Die Windflechten-Azaleenheide findet sich ausschliesslich auf den stärker herausmodellierten Geländerippen im Mittelhang. Der beherrschende Standortsfaktor ist hier der Wind, der im Winter oft die Pflanzen von Schnee freibläst. Deshalb können nur ausgesprochen windharte Pflanzen gedeihen.

Die Krähenbeeren-Vaccinienheide schliesst an die Azaleenheide an, wo die Rippen in die schattigen, kühlen Nordhänge übergehen. Zur Azaleenheide hin vermittelt die Untergesellschaft mit Flechten und Moosen, weshalb sie die rippennäheren Teile der Nordhänge und vor allem grossflächig die Bereiche auf der Hangschulter besiedelt. Infolge des Wärmemangels und der kurzen Vegetationsperiode bildet sich vor allem in der Einheit mit Etagenmoos eine dicke Rohhumusauflage.

Vegetationskarte Stillberg

. nicht kartiert
I Pionier-Pflanzengesellschaften
\+ *Cetrario-Loiseleurietum alectorietosum*
× *Cetrario-Loiseleurietum cladonietosum*
Y *Empetro-Vaccinietum cetrarietosum*
Z *Empetro-Vaccinietum hylocomietosum*
⧖ *Rhododendro-Vaccinietum rhododendretosum*
✳ *Calamagrostietum villosae*
↑ *Alnetum viridis*
⏲ *Junipero-Arctostaphyletum juniperetosum*
△ *Junipero-Arctostaphyletum callunetosum*

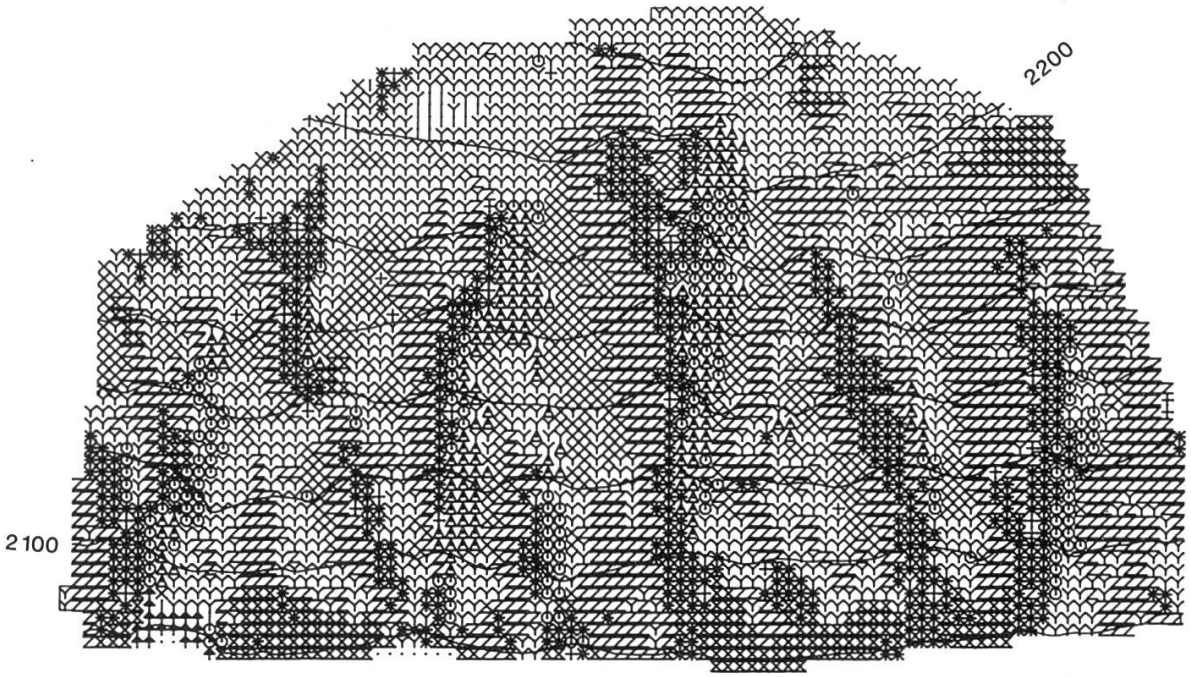

Abbildung 3.5. Vegetationskarte. Die Gesellschaften des Zwergstrauchgürtels sind vorwiegend in vertikalen Streifen angeordnet, der Geländegliederung entsprechend. Nach *Kuoch,* 1970, übertragen auf den Aufforstungsraster.

Der Reitgrasrasen ist charakteristisch für die frischen, skelettreichen Böden in den Lawinenrunsen. Die Gesellschaft ist sehr scharf von den Nachbareinheiten abgegrenzt. Dank des reichen Nährstoffangebotes und genügender Wärme kann sich der Reitgrasrasen zu einer dichten und hohen Vegetationsdecke entwickeln.

Die Wacholder-Bärentraubenheide besiedelt die ostexponierten Hänge mit dem relativ höchsten Wärmegenuss, die Untergesellschaft mit Wacholder eher die wärmeren, windstilleren Bereiche gegen die Runsen hin, diejenige mit Heidekraut grenzt an die Azaleenheide auf den Geländerippen.

Die Alpenrosen-Vaccinienheide hat ihren grössten Flächenanteil im Bereich der Lawinenablagerung am Hangfuss, wo die Geländegliederung sanfter wird. Im Schutz einer hohen und langdauernden Schneebedeckung findet die Alpenrose den nötigen Schutz vor dem Winterfrost.

Die Bedeutung der Pflanzengesellschaften als Standortsfaktor und Standortsanzeiger wird ausführlicher in den Kapiteln 6.3 bis 6.6 behandelt.

3.6 Die Böden in der Versuchsfläche Stillberg
(Peter Lüscher und *Peter Blaser,* EAFV)

Aufgrund von Feldaufnahmen und bodenkundlichen Untersuchungen von *Blaser* (1980) sind auf der Aufforstungsfläche die folgenden Bodentypen und Humusformen ausgeschieden worden:

Ranker	20%	extreme Rohhumusauflage	14%
Ockerpodsol	11%	normale Rohhumusauflage	48%
schwach entwickelter		Moder	25%
Eisenhumuspodsol	7%	Erosionsstellen	4%
stark entwickelter		Geröll	5%
Eisenhumuspodsol	38%	Fels	4%
flachgründiger			
Eisenhumuspodsol	7%		
Runsenböden	8%		
degradierte			
Runsenböden	2%		
Mosaik			
verschiedener Böden	6%		

Der Ranker stellt einen flachgründigen bis sehr flachgründigen Rohboden dar, mit geringer bis fehlender Profildifferenzierung, entstanden vorwiegend über fester Felsunterlage, zum Teil mit Gehängeschutt überdeckt.

Bei der Podsolierung entstehen durch Verlagerungsvorgänge in unterschiedlicher Ausprägung eine Auswaschungszone (meist gebleicht) und eine Anreicherungszone (meist intensiv rötlichbraun gefärbt). Entsprechend können schwach bzw. stark entwickelte sowie flachgründige Eisenhumuspodsole unterschieden werden. Zu dieser Gruppe gehören auch die Ockerpodsole, welche praktisch keine sichtbare Auswaschungszone, sondern nur eine farblich leicht zu differenzierende Anreicherungszone aufweisen. Die Runsenböden sind meist stark skeletthaltig, hoch durchlässig mit einer mächtigen Auswaschungszone; sie sind als extreme Eisenhumuspodsole zu betrachten.

Die Streuumsetzungsraten sind für die verschiedenen Pflanzengesellschaften und bedingt durch das Relief recht unterschiedlich und äussern sich in den Humusformen Rohhumus und Moder *(Abbildung 3.6).*

Die flachgründigen und stark podsolierten Böden auf Kuppen und Kreten unter der Windflechten-Azaleenheide kennzeichnen wind- und frostextreme Standorte. Flachgründigkeit, langandauernder Bodenfrost und edaphische Trockenheit schränken das Pflanzenwachstum stark ein.

An den E-ESE-exponierten Sonnenhängen, welche von der Wacholder-Bärentraubenheide besiedelt werden, sind die etwas aktiveren Moder-Humusformen meist in Verbindung mit Ockerpodsolen zu finden. Besseres Umsetzungsvermögen von Streurückständen, verbunden mit geringer Auswaschungs-

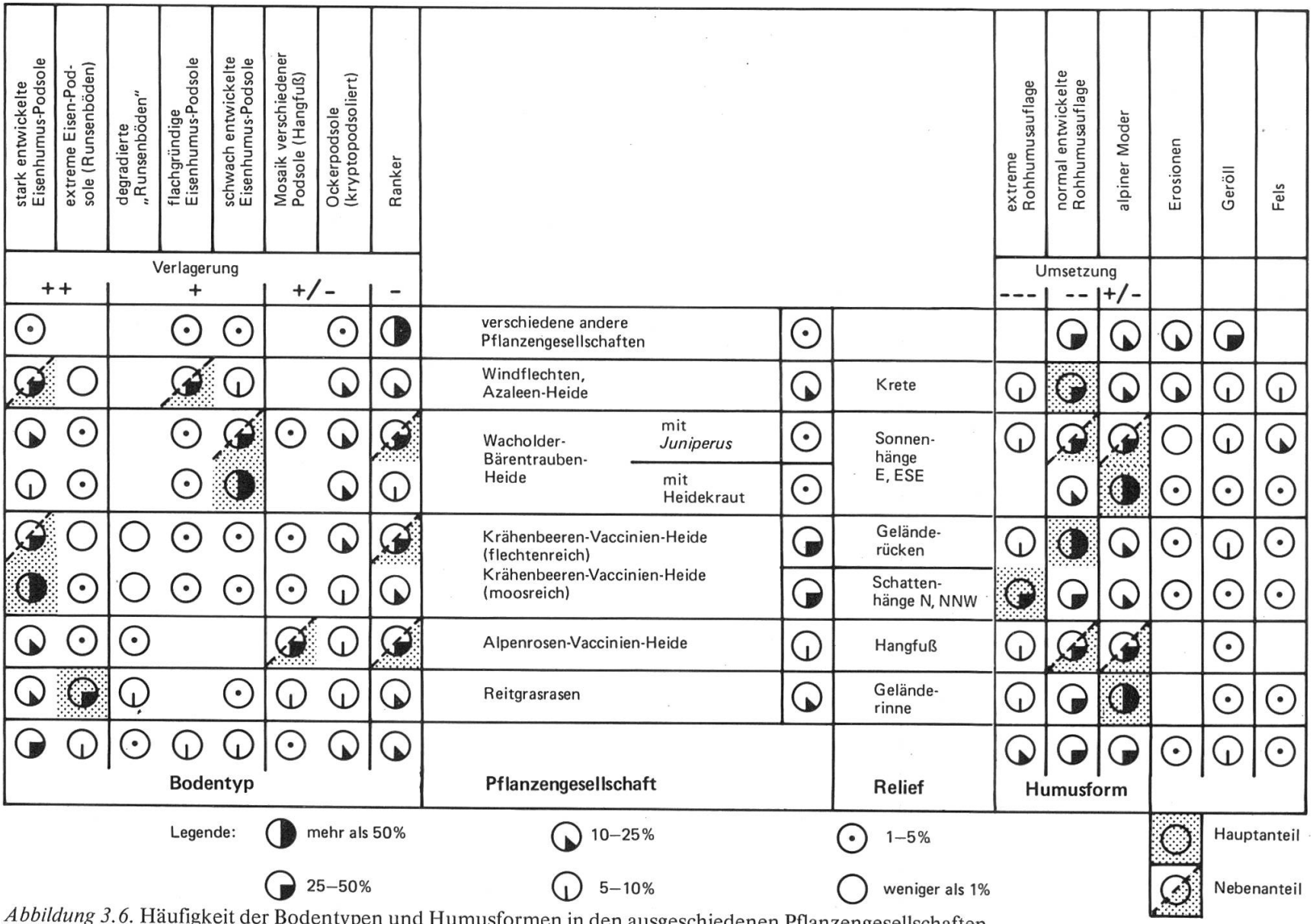

Abbildung 3.6. Häufigkeit der Bodentypen und Humusformen in den ausgeschiedenen Pflanzengesellschaften.

tendenz, begünstigt das Pflanzenwachstum. Zudem verbessern die milderen Temperaturen und der Schutz vor starken Winden die Wuchsbedingungen.

An den N- bis NNW-exponierten Schattenhängen bleiben die stark entwickelten Eisenhumuspodsole unter den extremen Rohhumusauflagen der Krähenbeeren-Vaccinienheide lange gefroren und erwärmen sich auch im Sommer nur langsam und ungenügend.

Die Geländerunsen sind mit Reitgrasrasen besiedelt und besitzen relativ aktive und geringmächtige Humushorizonte mit skelettreichen, tiefpodsolierten, hoch durchlässigen Böden.

Die Böden am Hangfuss unter der Alpenrosen-Vaccinienheide stellen ein feines Mosaik verschiedener Bodenbildungsstufen und Humusentwicklungsstadien dar, deren Eignung für das Pflanzenwachstum entsprechend vielfältig ausfällt.

3.7 Les relevés de station sur le champ d'essais du Stillberg (résumé)

(Werner Frey, ENA; traduction: *Vincent Barbezat,* IFRF)

La surface d'essais du Stillberg est située sur le flanc exposé nord-est du Val Dischma près de Davos, à une altitude comprise entre 2000 et 2230 m; sa pente varie entre 60 et 100%. Le sous-sol de paragneiss est recouvert d'éboulis; le sol est essentiellement composé de podsols humiques acides dont la couche d'humus est plus ou moins prononcée. Quelques vieux arbres sur les crêtes rappellent le passage d'une arolière aux associations d'abrisseaux nains; celles-ci suivent le relief accidenté de la surface d'essais, particulièrement dans sa partie supérieure. Le climat, modérément continental, est légèrement teinté d'une touche océanique. Le rayonnement global mesuré ainsi que le régime des vents reflètent l'image du relief. L'altitude a pour conséquence une couverture neigeuse de longue durée, et les parties les plus escarpées de la surface sont soumises à de nombreuses avalanches. Les problèmes de microstations et de climat ont été étudiés de façon approfondie et les relevés s'y rattachant se poursuivent.