

<b>Zeitschrift:</b>	Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Forstverein
<b>Band:</b>	139 (1988)
<b>Heft:</b>	9
<b>Artikel:</b>	Untersuchungen zur Ökologie und Technik der Hochlagenauflösung : Forschungsergebnisse aus dem Lawinenanrissgebiet Stillberg
<b>Autor:</b>	Schönenberger, Walter / Frey, Werner
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-766744">https://doi.org/10.5169/seals-766744</a>

### **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:** 06.02.2026

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

# **Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen**

## **Journal forestier suisse**

---

139. Jahrgang

September 1988

Nummer 9

---

### **Untersuchungen zur Ökologie und Technik der Hochlagenauforstung**

**Forschungsergebnisse aus dem  
Lawinenanrissgebiet Stillberg**

**Koordination:**

*Walter Schönenberger* und *Werner Frey* Oxf.: 233:(23):(494.26)

Eidgenössische Anstalt  
für das forstliche  
Versuchswesen (EAFV),  
CH-8903 Birmensdorf

Eidgenössisches Institut  
für Schnee- und  
Lawinenforschung (SLF),  
CH-7260 Weissfluhjoch/Davos

# Untersuchungen zur Ökologie und Technik der Hochlagenaufforstung

## Forschungsergebnisse aus dem Lawinenanrissgebiet Stillberg

Koordination:  
Walter Schönenberger und Werner Frey

1. Einleitung – <i>Introduction</i> . . . . .	737
2. Überblick über den Ablauf des Stillberg-Projektes. . . . .	739
3. Die Standortsuntersuchungen in der Versuchsfläche Stillberg . . . . .	740
3.1 Das Versuchsgelände . . . . .	740
3.2 Das Klima . . . . .	743
3.3 Mikroklima . . . . .	751
3.4 Schneedecke und Lawinen . . . . .	762
3.5 Die Vegetation . . . . .	768
3.6 Die Böden . . . . .	770
3.7 Les relevés de station sur le champ d'essais du Stillberg (résumé) . . . . .	772
4. Ergebnisse der Vor- und Begleitversuche . . . . .	773
4.1 Photosynthese- und Transpirationsmessungen (avec résumé) . . . . .	773
4.2 Frühere Testpflanzungen . . . . .	784
4.3 Wurzelwachstum und Sprossentwicklung . . . . .	785
5. Der temporäre Stützverbau im Versuchsgebiet Stillberg . . . . .	790
5.1 Zweck. . . . .	790
5.2 Bautyp . . . . .	790
5.3 Auswirkungen des temporären Stützverbaues . . . . .	792
5.4 Les constructions paravalanches temporaires de la surface d'essais du Stillberg (résumé) . . . . .	795
6. Die Versuchsaufforstung Stillberg 1975. . . . .	796
6.1 Versuchsanlage und -ausführung der Aufforstung . . . . .	796
6.2 Ein Modell des Ökosystems Gebirgsaufforstung. . . . .	798
6.3 Die Überlebensraten in der Versuchsaufforstung . . . . .	800
6.4 Die wichtigsten Schäden in der Versuchsaufforstung . . . . .	805
6.5 Das Wachstum in der Versuchsaufforstung . . . . .	811
6.6 Charakterisierung günstiger und ungünstiger Aufforstungsstandorte. . . . .	815
6.7 L'essai d'afforestation de 1975 au Stillberg (résumé) . . . . .	816
7. Ausblick . . . . .	817
Literatur . . . . .	818
Dank . . . . .	820

## 1. Einleitung – Introduction

(*Werner Frey, SLF, und Walter Schönenberger, EAFV*)

### *Einleitung*

Die katastrophalen Lawinenniedergänge im Winter 1951/52 gaben das Startsignal für ein interdisziplinäres Forschungsprogramm zur «Wiederherstellung der oberen Waldgrenze», das sogenannte Gebirgsprogramm. Das Programm wurde aufgestellt mit dem Ziel, biologisch und technisch geeignete und finanziell tragbare Verfahren für Aufforstungen in Lawinenanrissgebieten innerhalb der Wald- und Kampfzone zu entwickeln. Das Schwergewicht lag seit 1955 im Versuchsgebiet Stillberg bei Davos, wo eine Vielzahl von Untersuchungen und Versuchen zur Hochlagenaufforstung durchgeführt wurden. Das Versuchsgelände wurde von F. Fischer und H. in der Gant vorgeschlagen. Die Versuche werden seither teilweise als Gemeinschaftsprojekt des Eidgenössischen Instituts für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) und der Eidgenössischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen (EAFV) betreut.

Die Ergebnisse dieser langjährigen Forschungstätigkeit auf Stillberg sind in einer grossen Anzahl umfangreicher Publikationen veröffentlicht worden. Das vorliegende Heft, das von Mitarbeitern beider Institutionen zusammengestellt wurde, soll nun einmal eine kurzgefasste und leicht verständliche Übersicht über die bisherigen Aktivitäten geben.

Nach einem geschichtlichen Rückblick werden die standörtlichen Gegebenheiten in der Versuchsfläche dargestellt, welche für das Verständnis der Entwicklung der Aufforstung grundlegend sind. Von den vielen kleineren und grösseren Begleituntersuchungen sind sodann folgende hier zusammengefasst: Gaswechselmessungen, ältere Testpflanzungen und Wurzelwachstumsuntersuchungen. Ein weiteres Kapitel behandelt Zweck, Bautyp, Bewährung und Auswirkungen des temporären Stützverbaues im Lawinenanrissgebiet. Schliesslich werden hier die Ergebnisse des grossen Aufforstungsversuches 1975 erstmals veröffentlicht. Über zehn Jahre wird die Entwicklung von Überlebensraten, Schäden und Zuwachs von rund 90 000 Bäumchen in Abhängigkeit vom Kleinstandort analysiert.

Folgerungen aus diesen Untersuchungen erscheinen unter dem Titel «Ökologie und Technik der Aufforstung im Gebirge – Anregungen für die Praxis» als separater Bericht der EAFV (*Schönenberger, Frey und Leuenberger, 1989*).

Die Forschungsergebnisse werden dort ergänzt durch Erfahrungen aus anderen Gebieten und Erkenntnisse von Kollegen aus Praxis und Forschung im In- und Ausland.

### *Introduction*

(Traduction: *Vincent Barbezat, IFRF*)

Les avalanches catastrophiques de l'hiver 1951/52 eurent comme effet positif la mise en place d'un programme de recherche interdisciplinaire, visant à la reconstitution de la limite supérieure de la forêt; le but était de développer des méthodes d'afforestation appropriées, aussi bien d'un point de vue biologique et technique que financier, en forêt et au-dessus, dans la zone de combat.

L'accent principal est mis depuis 1955 sur les essais du Stillberg près de Davos; un grand nombre d'études furent et sont encore menées sur cette surface, proposée par F. Fischer et H. in der Gand. Une partie des essais est conduite en commun par l'Institut fédéral pour l'étude de la neige et des avalanches (ENA) et l'Institut fédéral de recherches forestières (IFRF).

Les résultats issus de ces années de recherche au Stillberg ont été l'objet de nombreuses publications plus complètes que celle-ci. La présente publication, fruit du travail des collaborateurs des deux instituts, a pour but de donner en résumé une vue d'ensemble des activités à ce jour.

Après un aperçu historique sont présentées les particularités des différentes stations de la surface d'essais, préalable nécessaire à la compréhension du développement de l'afforestation. Parmi les nombreuses recherches annexes de plus ou moins grande ampleur sont résumées ici: les mesures d'échanges gazeux, les essais de plantation plus anciens et les études sur la croissance racinaire. Un autre chapitre est consacré aux constructions paravalanches temporaires dans la zone de décrochement et finalement sont publiés ici pour la première fois les résultats du grand essai d'afforestation de 1975: une analyse sur dix ans de l'évolution des taux de survie, des dégâts et de l'accroissement d'environ 90 000 arbres en fonction de la station.

Les conséquences induites par ces recherches sont exposées dans le Rapport de l'IFRF, «Ecologie et technique de l'afforestation en montagne — Recommandations pratiques» (*Schönenberger, Frey et Leuenberger, 1989*). Ces résultats sont panachés par des expériences faites dans d'autres régions et par les connaissances de collègues de la pratique et de la recherche, de Suisse et de l'étranger.

## 2. Überblick über den Ablauf des Stillberg-Projektes (*Jiri Rychetnik, SLF, und Walter Schönenberger, EAFV*)

Die Untersuchungen in der Versuchsfläche lassen sich in folgende thematische und historische Phasen einteilen, welche in den entsprechenden Kapiteln jeweils ausführlicher dargestellt werden:

Die ökologischen Voraussetzungen in der Versuchsfläche wurden vor allem in den 1960er und frühen 1970er Jahren gründlich untersucht. Die wichtigsten Standortsfaktoren wurden von verschiedenen Autoren in Monographien behandelt. Von manchen Faktoren ist die räumliche Variation auf der Versuchsfläche kartographisch festgehalten. Sodann wird durch eine meteorologische Messstation und durch vier kleinere Nebenstationen auf den Hauptstandorten auch die räumliche und zeitliche Variation des Witterungsverlaufes erfasst. Die Schneeparameter wie Verteilung, Aufbau, Lawinen und Ausaperung wurden jeden Winter flächendeckend registriert.

In den 1960er Jahren angelegte Vorversuche mit Pflanzungen und Saaten gaben Anhaltspunkte für die Aufforstungsbereitschaft des ganzen Standortspektrums in der Versuchsfläche. Gleichzeitig wurde mit verschiedenen Pflanzanordnungen, Pflanztechniken, Baumarten und Starthilfen wie Bermen, Düngung und mit Pflanzen verschiedener Grösse experimentiert.

Vor Beginn des Hauptversuches wurde ein Teil der Versuchsfläche mit temporären Stützverbauungen versehen. Zur Fragestellung gehörten die Überprüfung von Konstruktion und Standdauer der Rundholz-Schneerechen.

Im Rahmen des grossen Aufforstungshauptversuches wurde das Versuchsgebiet im Jahre 1975 flächendeckend mit den drei Baumarten Arve, aufrechte Bergföhre und Lärche bepflanzt. Die Entwicklung der Aufforstung wird seit Beginn in jährlichen Intervallen genau protokolliert.

Wachstums- und ökophysiologische Untersuchungen ergründen parallel zum Aufforstungshauptversuch die kurzfristigen Beziehungen zwischen Witterung und Wachstum der Bäumchen auf verschiedenen Standorten. So wird das ober- und unterirdische Wachstum in wöchentlichen Intervallen gemessen. Gaswechselmessungen zeigen die Abhängigkeit von Photosynthese und Transpiration von Witterung und Kleinstandort gar in Dreiminuten-Intervallen.

Ausführlichere geschichtliche Darstellungen der Stillberg-Projekte finden sich bei *Rychetnik, 1987 a, und Turner, 1985*.

### 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 Dischmatal 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 Lawinenrinnen 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 Zergstrauchgesellschaften. 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 Lawinenantrisskammern deutlich, wodurch als Relieftypen die Geländerippen, die Nordflanken (beschattet), die Lawinenrinnen und die Ostflanken unterscheidbar sind. Die Hangschulter oben und der Hangfuss sind flacher und gleichmässiger. Im Bereich der grössten Runse sind die Bermen sichtbar.

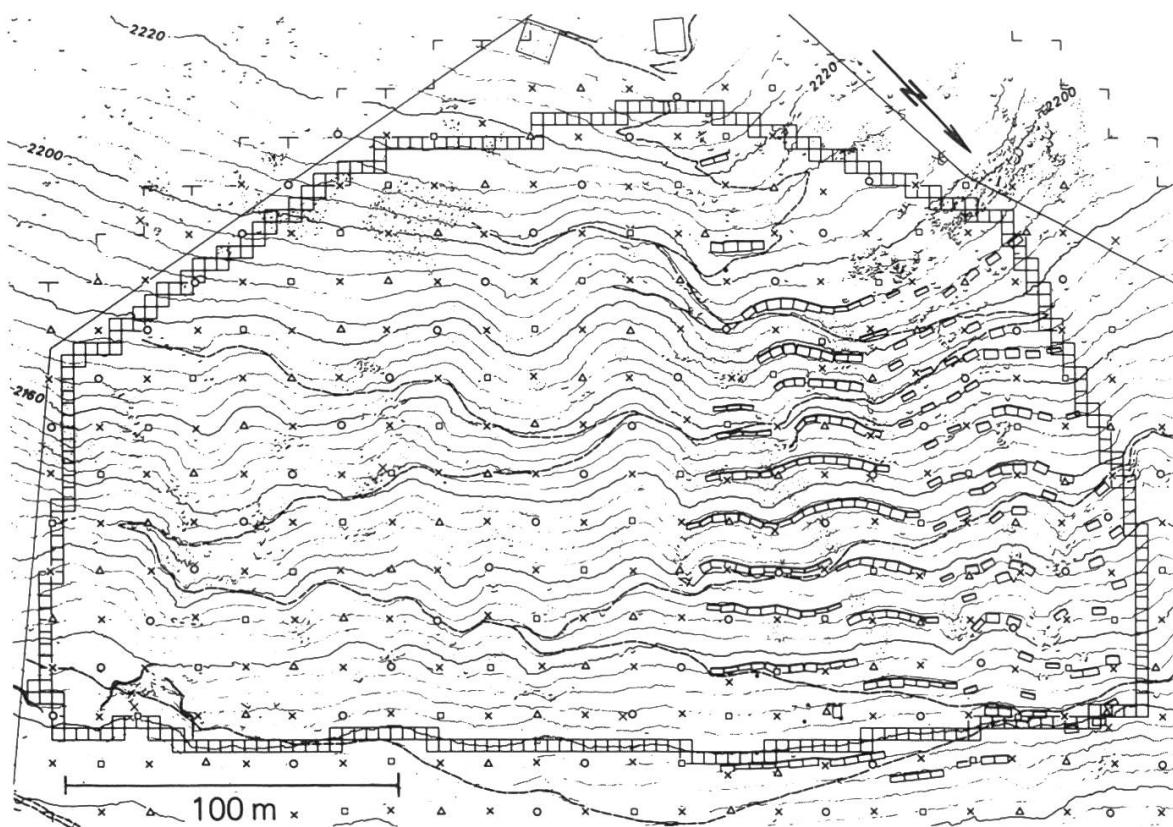


Abbildung 3.1 b. Übersichtsplan über die Versuchsfläche Stillberg. Äquidistanz 4 m. Der Aufforstungsraster ist durch die Einheitsflächen (EF) am Rande angegeben. Links der Flächenteil ohne technische Massnahmen, rechts die 1968 bis 1972 eingebauten Rundholz-Schneerechen in der durchgehenden und der aufgelösten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

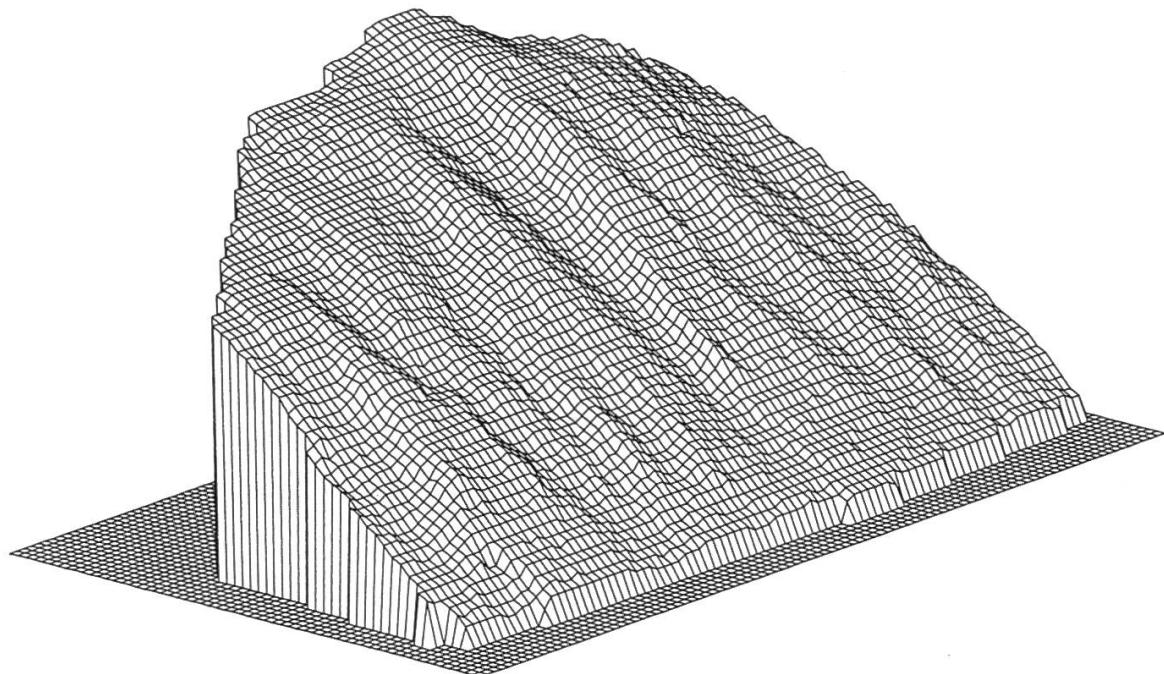


Abbildung 3.1 c. Geländemodell mit dem Raster der Aufforstungs-Einheitsflächen auf 2080 bis 2230 m ü. M. Jedes Quadrat von 3,5 x 3,5 m ist im Abstand von 70 cm mit 25 Bäumchen der gleichen Art, alternierend Arve, Bergföhre und Lärche, bepflanzt.

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

#### 3.2.1 Ökologische Klimacharakteristik

Der Stillberg liegt im gemässigt kontinentalen Klimagebiet der Innenalpen. 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.

	<i>J</i>	<i>F</i>	<i>M</i>	<i>A</i>	<i>M</i>	<i>J</i>	<i>J</i>	<i>A</i>	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>N</i>	<i>D</i>	<i>Jahr</i>
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/m<sup>2</sup>  
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

STILLBERG (2090 m) a) 1.6° b) 1053 mm

c) (20–7)

d) (1961–80) e) (1975–81)

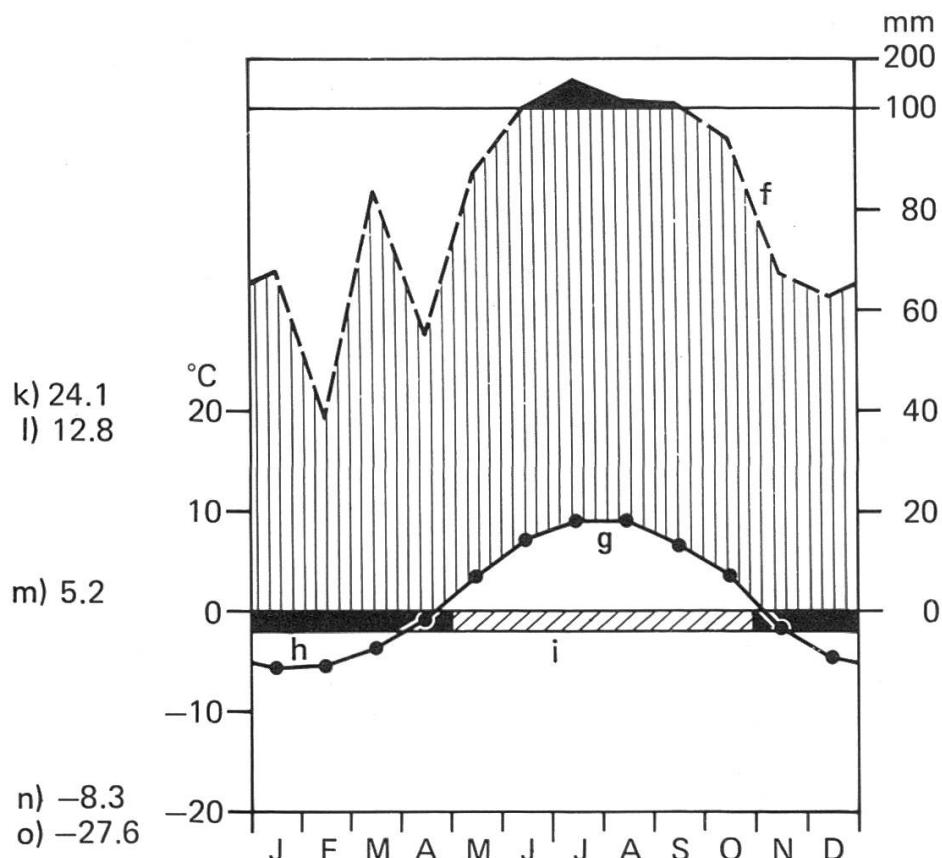


Abbildung 3.2 a. Klimadiagramm Stillberg (2090 m ü. M.).

- 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 Innenalpen 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 entfernter 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%) möglich. 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.

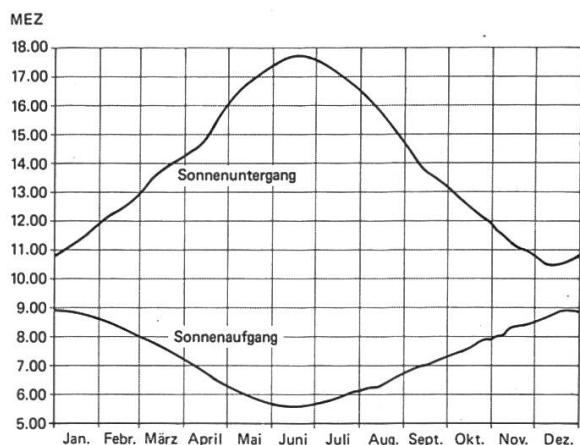
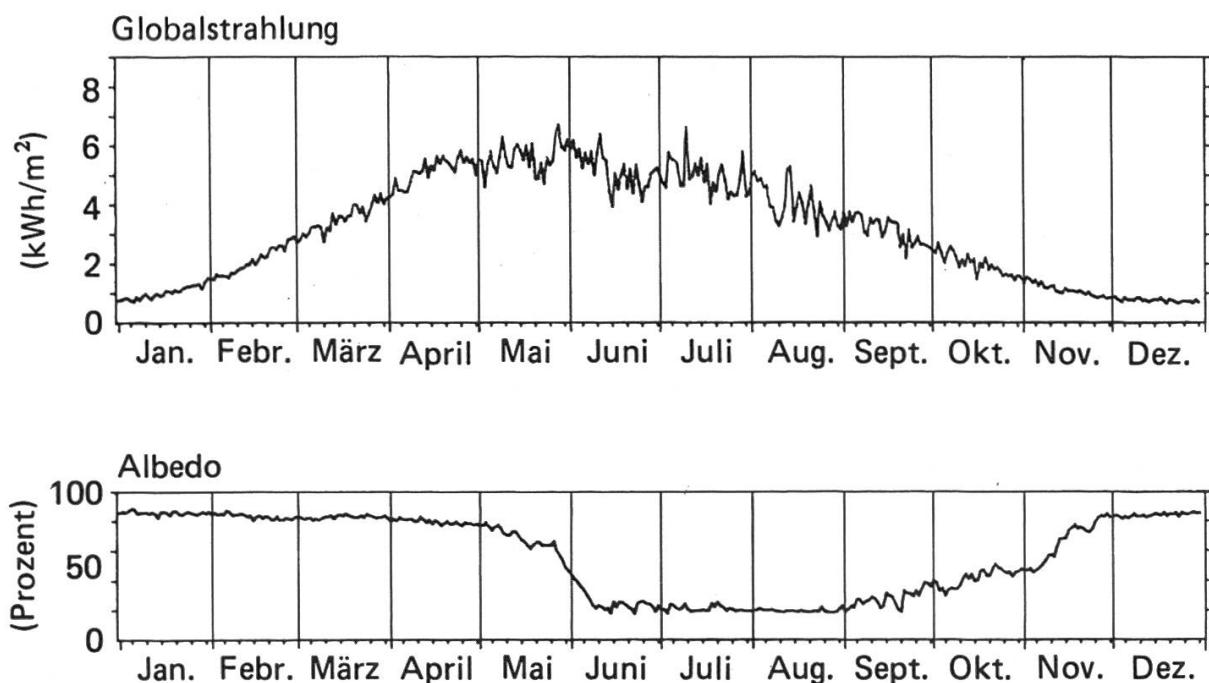


Abbildung 3.2 b. Sonnenaufgang und -untergang an der meteorologischen Station Stillberg (orographisch mögliche Sonnenscheindauer).

### 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 gröszenordnungsmässig 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 Bevölkerungsverhältnissen 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 ( $\text{kWh}/\text{m}^2$ ) 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/m<sup>2</sup> von oben einstrahlen und 80 bis 90% dieser Strahlungsmenge (also etwa 4700 Wh/m<sup>2</sup>) vom Schnee reflektiert werden, so dass eine allseitige Strahlungslast von 10 Kilowattstunden pro m<sup>2</sup> 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 (4 $\frac{1}{3}$  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,

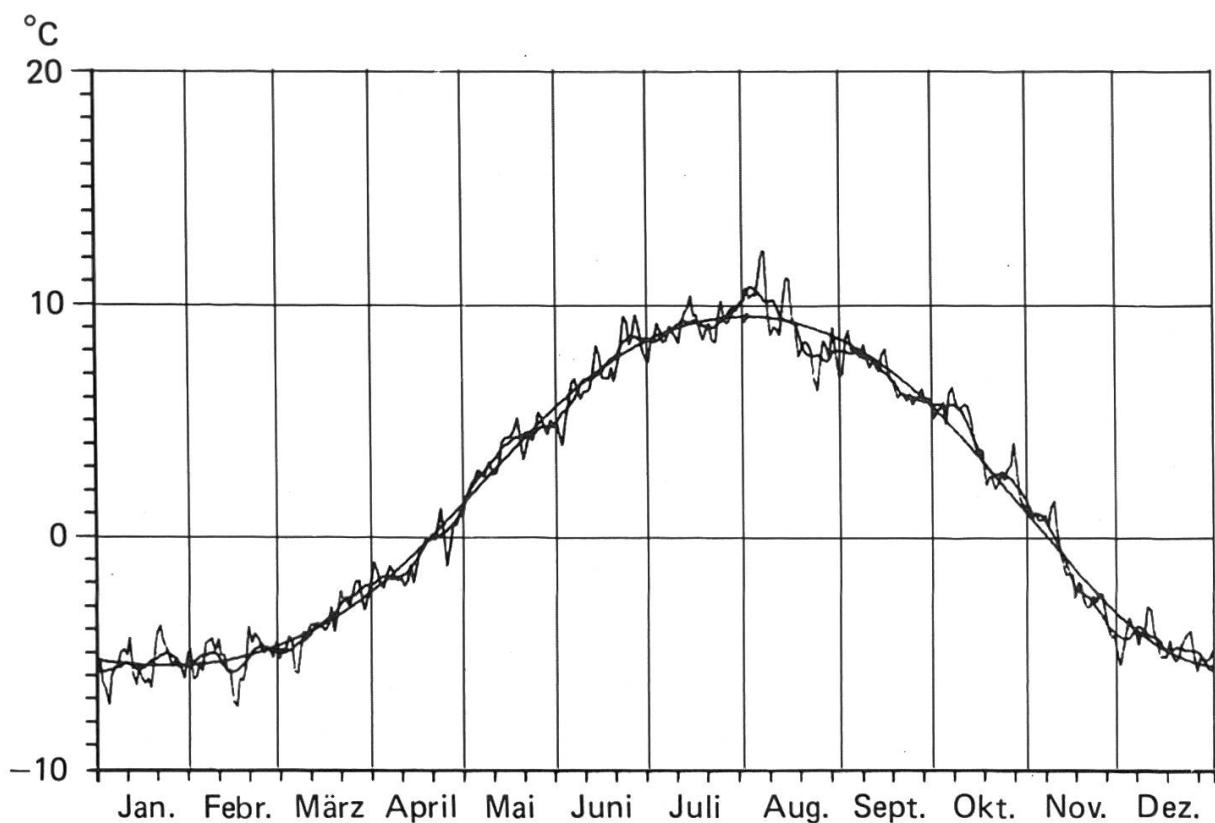


Abbildung 3.2 d. Jahresgang der Lufttemperatur-Tagesmittel an der meteorologischen Station Stillberg (Periode 1961 bis 1980) mit zwei Kurven unterschiedlich starker Glättung.

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 ( $\frac{2}{5}$  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

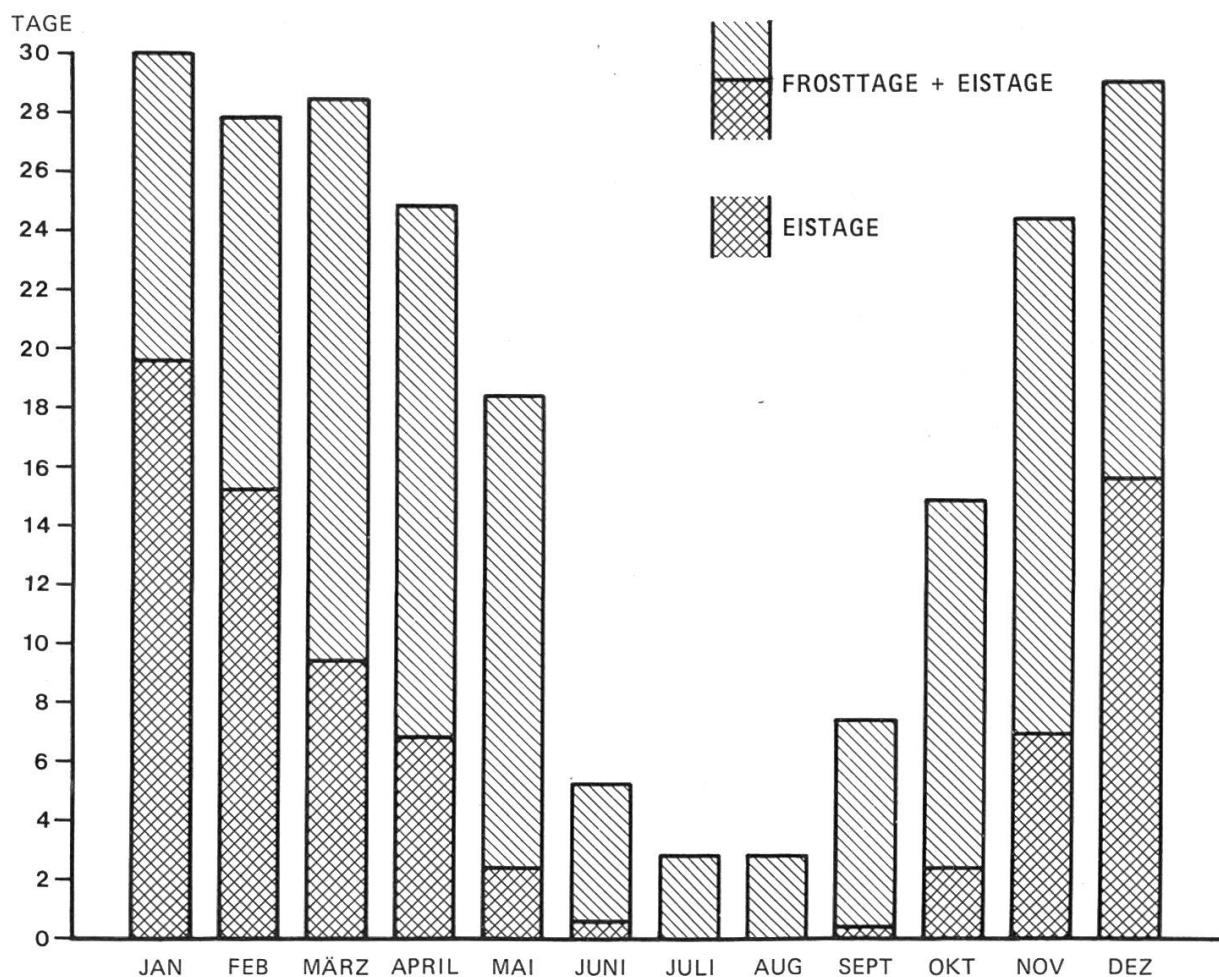


Abbildung 3.2 e. Mittlere Zahl der Frosttage (mit Temperaturmaximum über 0 °C) und der Eistage (mit Maximaltemperatur unter 0 °C) an der meteorologischen Station Stillberg. Mittelwerte 1961 bis 1980 anhand von Daten der Station Arosa reduziert auf die langjährige Reihe 1931 bis 1960 der Klimatologie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

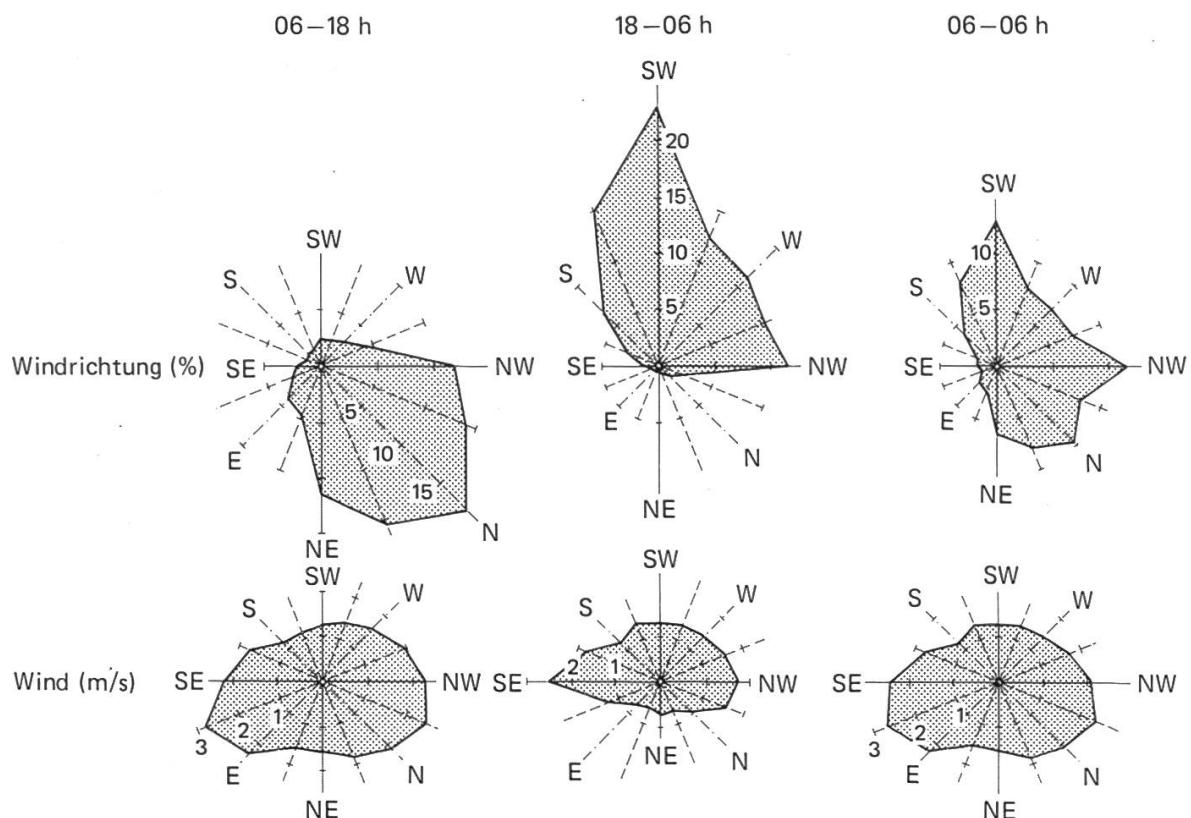


Abbildung 3.2f. Windrichtungshäufigkeit und mittlere Windgeschwindigkeit (m/s) pro Richtung der 16teiligen Windrose an der meteorologischen Station Stillberg für den ganzen Tag sowie für Tag und Nacht getrennt (Vegetationsperioden 1962 bis 1965). Aus Nägeli (1971).

### 3.3 Mikroklima in der Versuchsfläche Stillberg (Hans Turner, EAFV)

#### 3.3.1 Allgemeines

Von der Gesamtheit der am Wuchsplatz 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 Mikroklima 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 immer 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

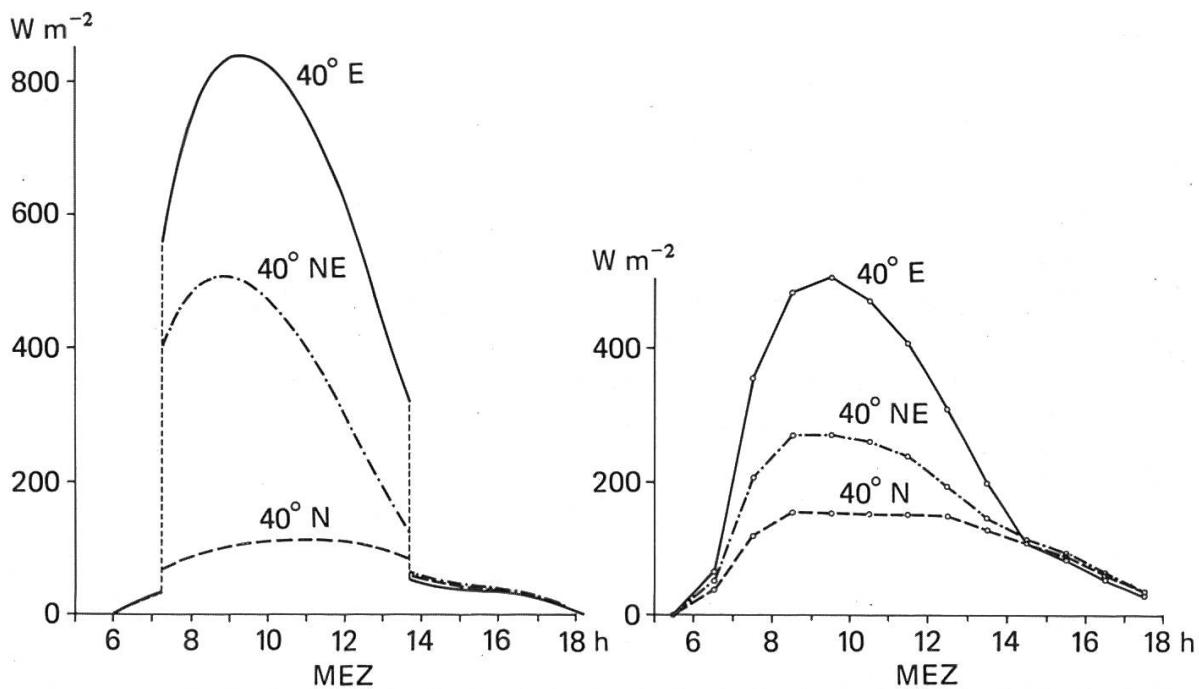


Abbildung 3.3 a. Tagesgänge der Bestrahlung 40 Grad geneigter Nord-, Nordost- und Osthänge durch Sonne und Himmel. Links: am wolkenlosen 15. September 1965. Rechts: mittlere monatliche Tagesgänge September 1965. Aus *Turner, 1967*.

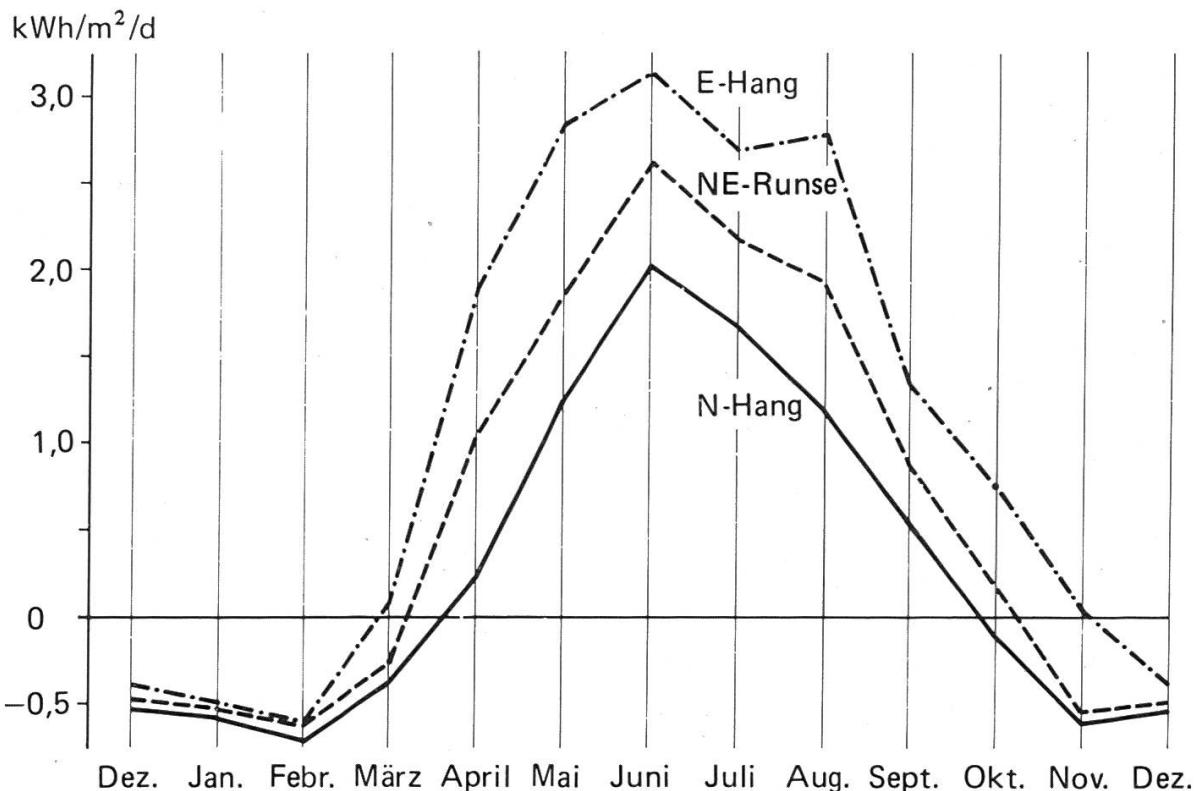


Abbildung 3.3 b. Jahresgang der hangparallel gemessenen Gesamtstrahlungsbilanz (Globalstrahlung plus langwellige atmosphärische Gegenstrahlung minus reflektierte Globalstrahlung minus langwellige Ausstrahlung) in drei Hanglagen des Stillberges. Mittlere Tagessummen pro Monat 1980/1981 in Kilowattstunden pro m<sup>2</sup>.

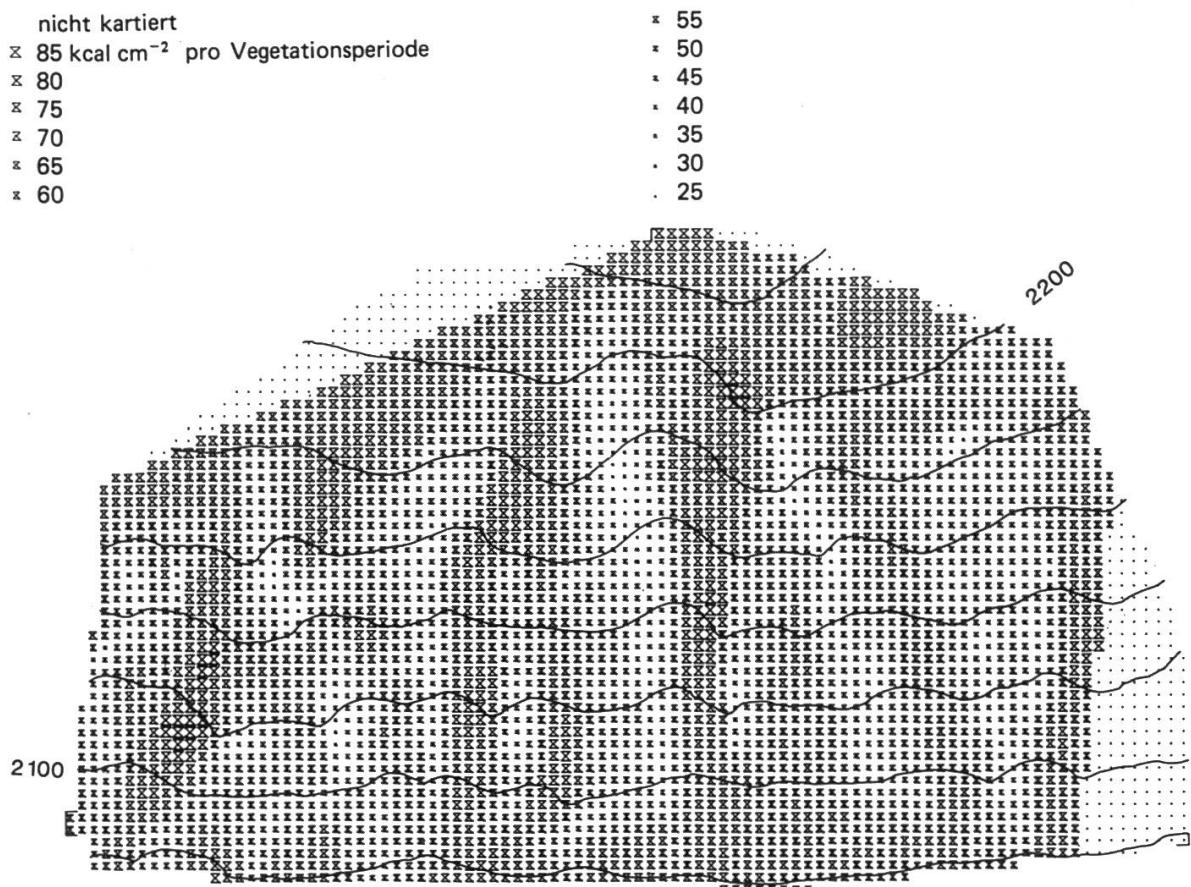
bodennahen Luftsicht sowie für Evapotranspiration und Photosynthese zur Verfügung steht.

### 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 Sonnenschein- dauer 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/cm<sup>2</sup> und Vegetationsperiode. Grosse Unterschiede im Strahlungsgenuss zwischen Nord- und Ost- hängen. Die Karte widerspiegelt bis in Einzelheiten das Relief. Nach Turner, 1966, auf den Auf- forstungsraster übertragen.

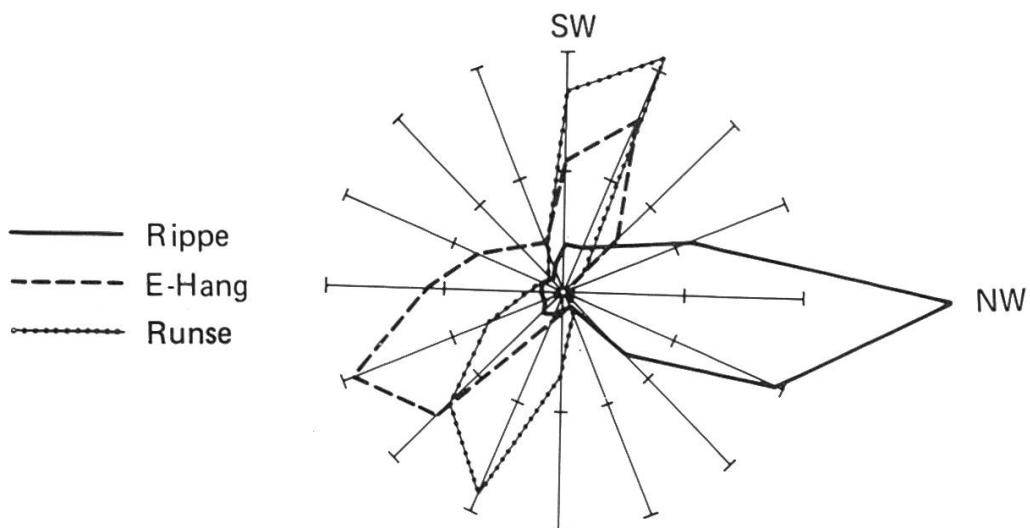
(2080 bis 2180 m) viele ostexponierte Hänge rund viermal grössere Strahlungssummen erhalten als Nordhänge, dass aber auch flache Nordostlagen des obersten Versuchsflächenabschnittes strahlungsmässig ebenso begünstigt sind wie die Osthänge.

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 Mikroklima 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 Versuchsgebände 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 Falllinie 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.

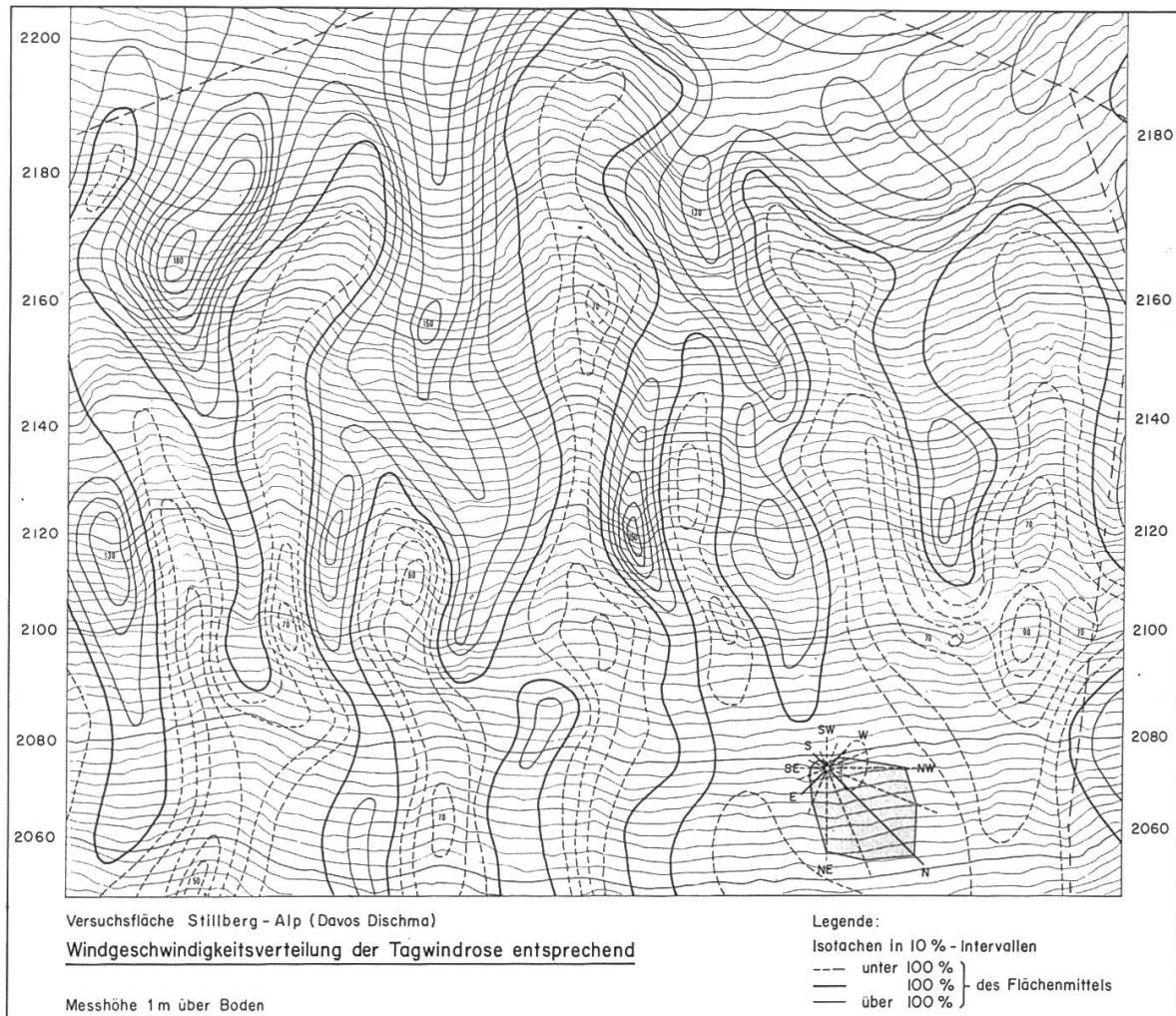


Abbildung 3.3 e. Karte der durchschnittlichen Windgeschwindigkeitsverteilung in 1 m Höhe über Boden während der Vegetationsperiode (06.00 bis 18.00 Uhr). Die Linien gleicher Windgeschwindigkeit sind in 10%-Intervallen gezeichnet; 100% entsprechen dem räumlich-zeitlichen Mittelwert von 1,9 m/sec. Die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

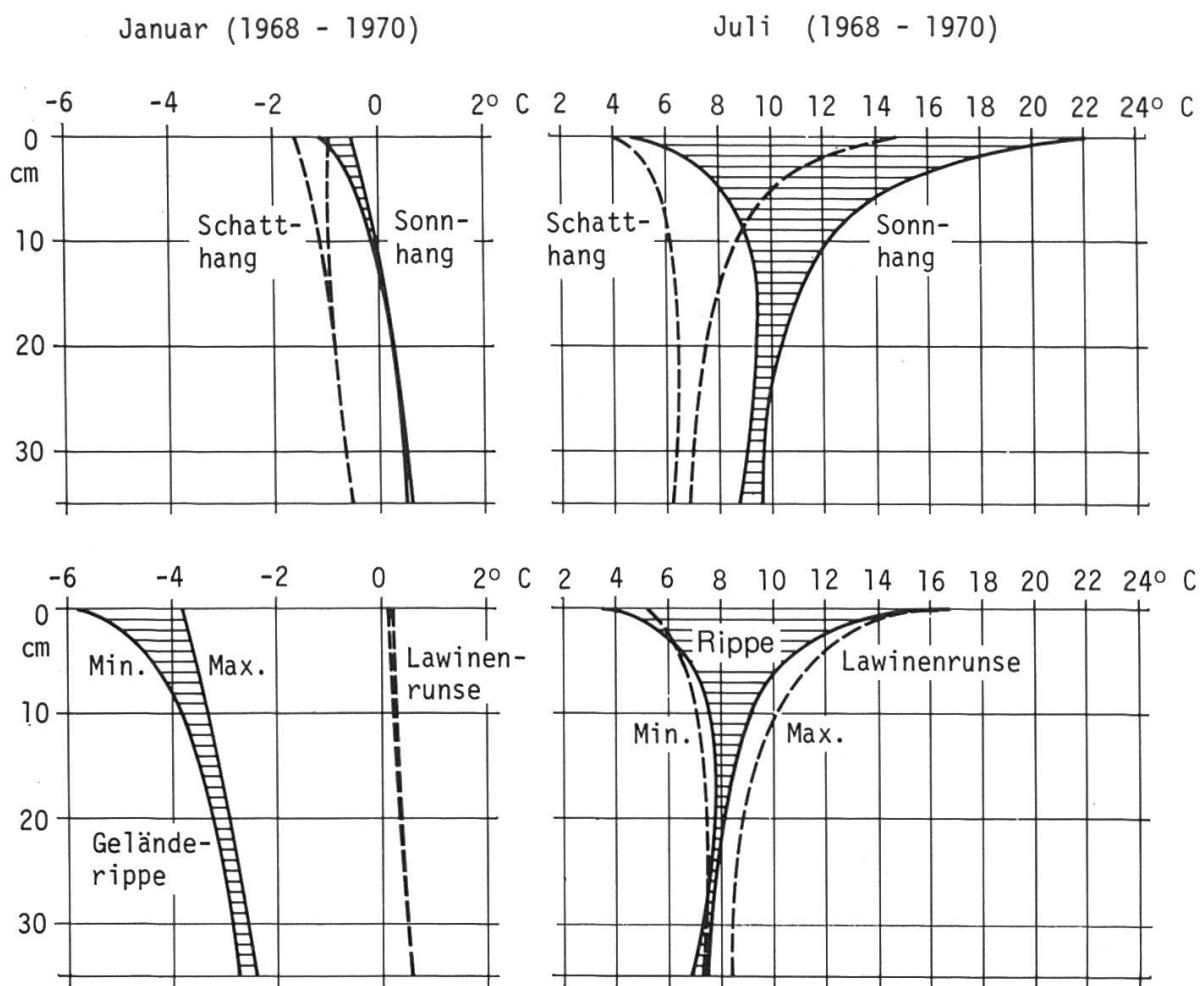


Abbildung 3.3 f. Monatsmittel der täglichen Maxima und Minima der Bodentemperatur in 0 bis 35 cm Tiefe, Januar und Juli 1968 bis 1970 an vier Hauptstandorten der grossen Lawinenrunse (aus Turner et al., 1975).

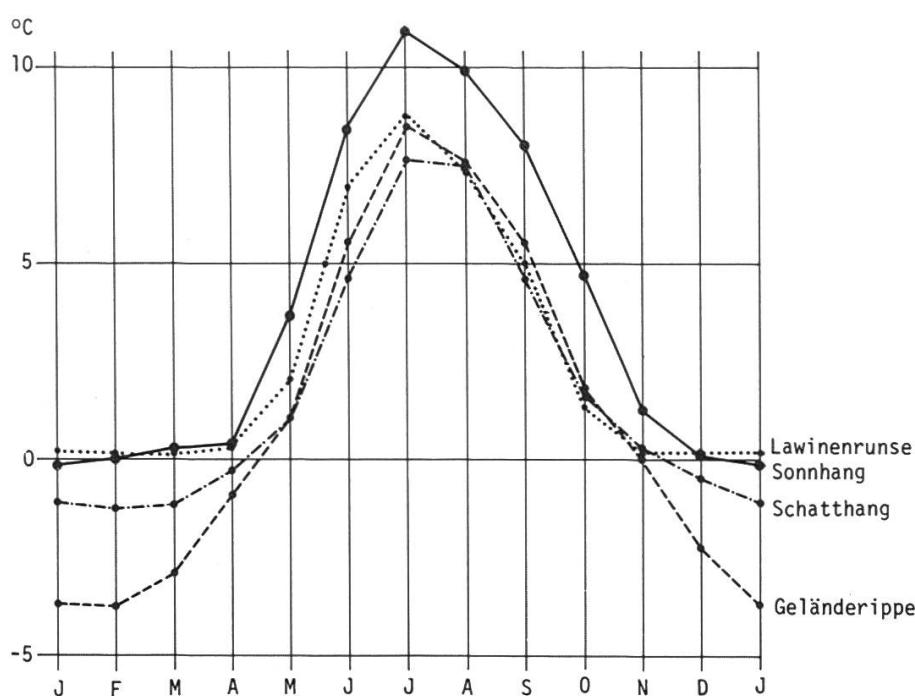


Abbildung 3.3 g. Jahresgang der Bodentemperatur in 8 cm Tiefe nach monatlichen Mittelwerten der Messperiode 1968 bis 1970. Messstellen wie in Abbildung 3.3 f (aus Turner et al., 1975).

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 Luftsicht; 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 überwärme 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).

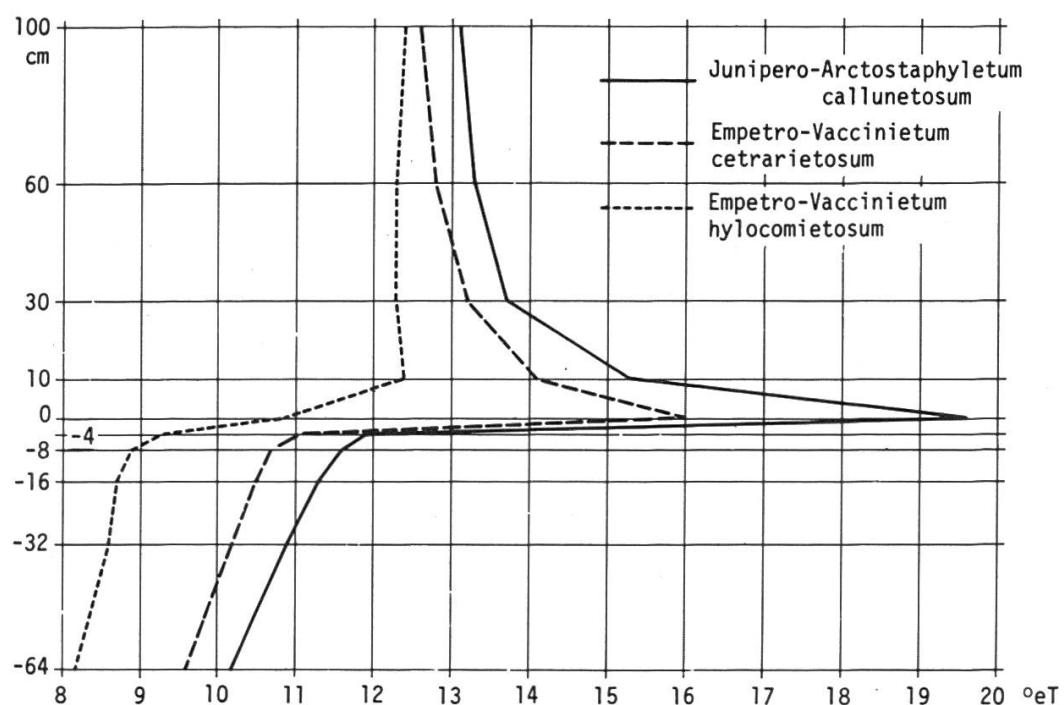
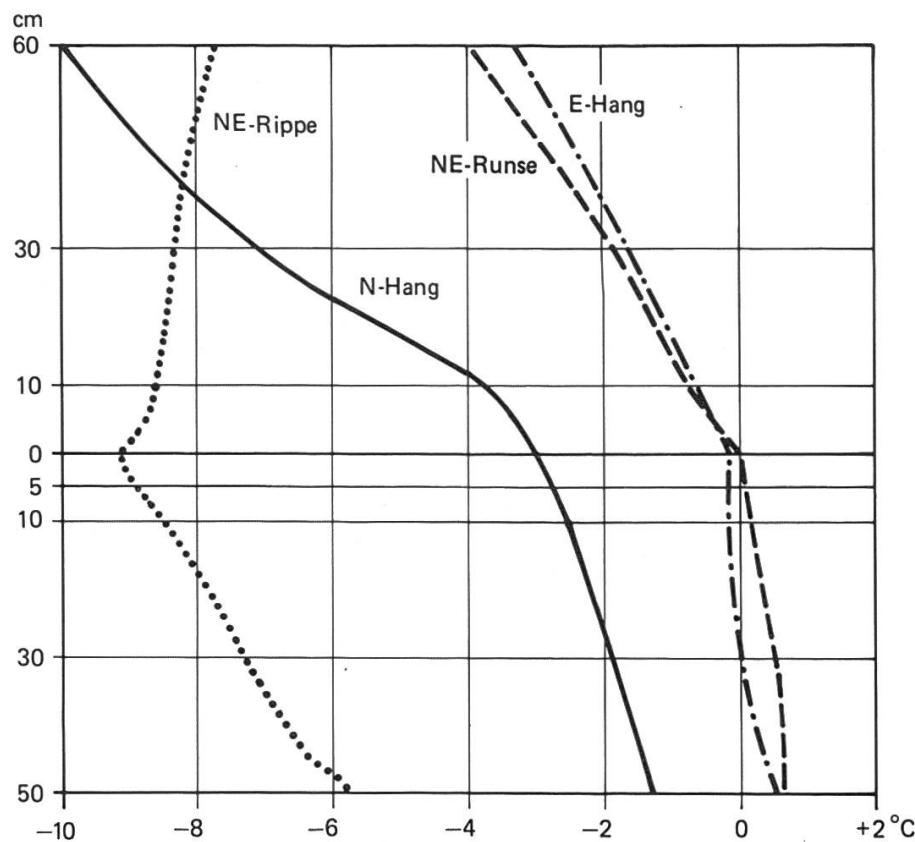


Abbildung 3.3 h. Exponentielle Temperaturmittel in der bodennahen Luftsicht, an der Bodenoberfläche und im Boden der Wacholder-Bärentraubenheide, der flechtenreichen Vaccinienheide und der Etagenmoos-Vaccinienheide. Vegetationsperiode 1961 (aus Turner et al., 1975).

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 Sonnung 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 Luftsichten 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.

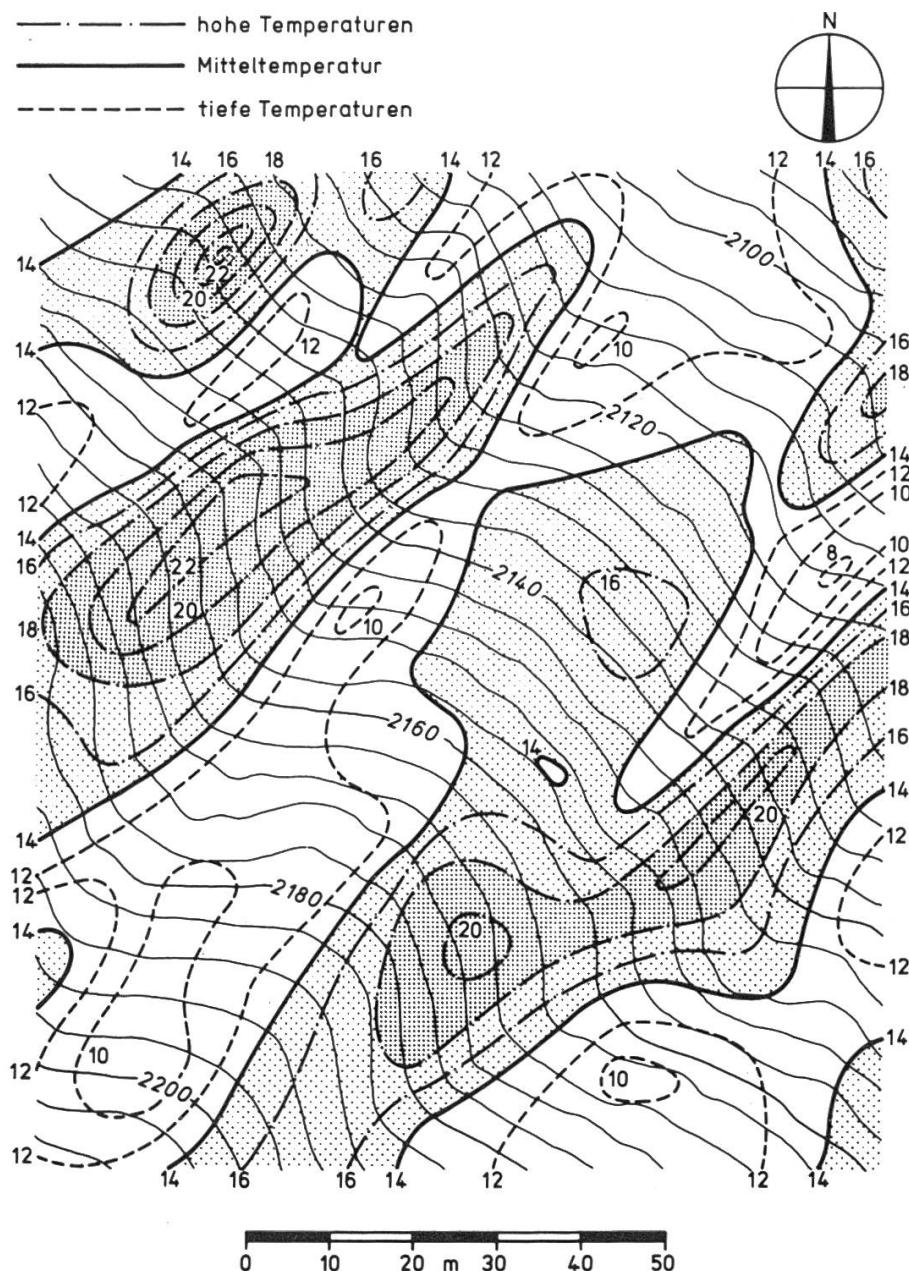


Abbildung 3.3.j. Verteilung der Bodenoberflächentemperatur im Bereich der «Grossen Runse» in östlich bis nördlich exponierten, etwa 40 Grad geneigten Hanglagen zwischen 2100 und 2200 m ü. M. Isothermen der exponentiellen Mitteltemperatur (eT) nach Messungen mit der Zuckerinversionsmethode nach Pallmann. 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 Hauptstandorttypen 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 Schneepiegeln. 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 Leellagen dagegen bis über 420 cm gemessen. Die Schneeverteilung auf der Versuchsfäche 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 Stratigraphie, 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-*

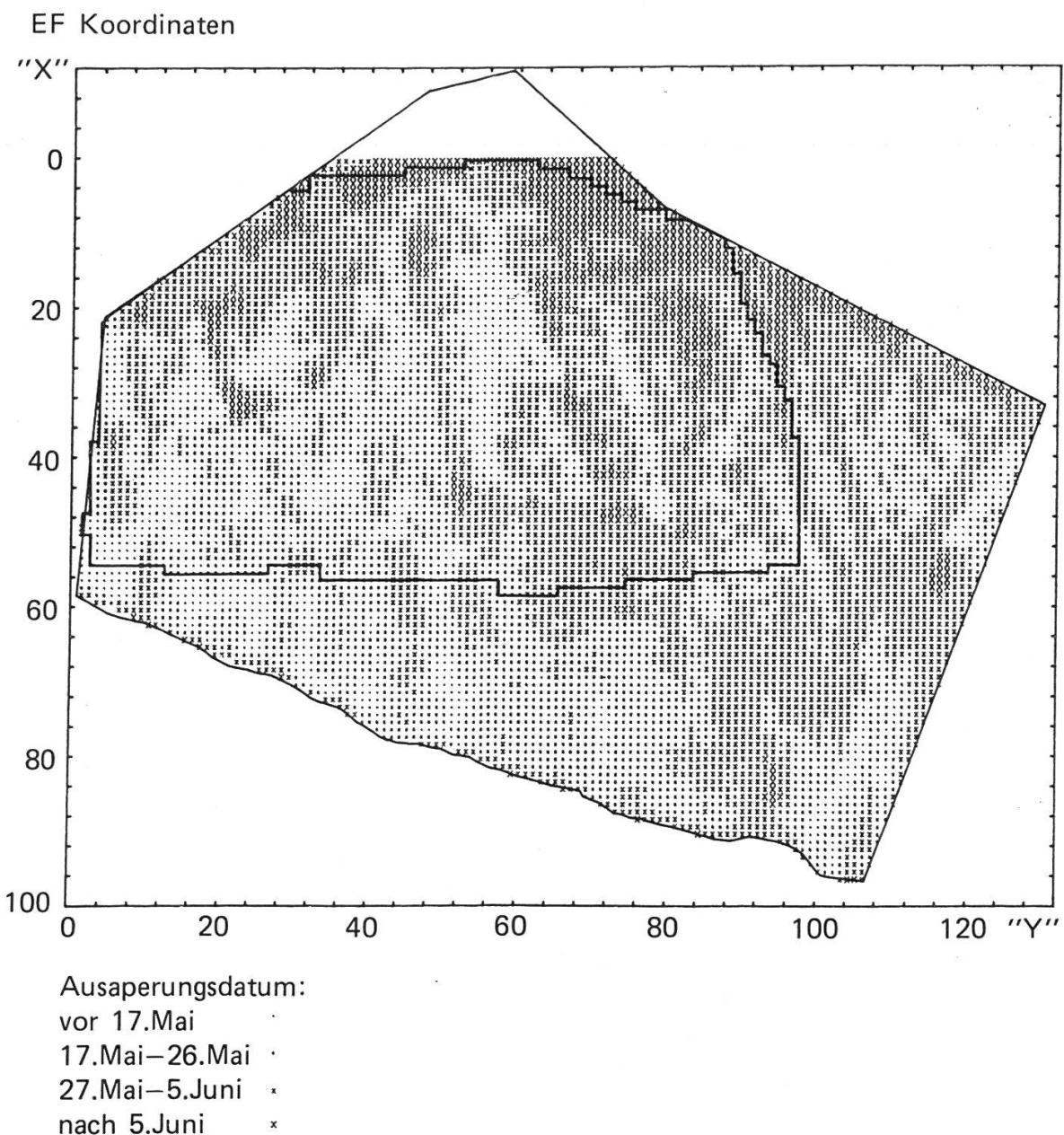


Abbildung 3.4 a. Karte der mittleren Ausaperungsdaten, Mittel 1975 bis 1982. Die Aufforstungsfläche ist umrandet.

*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

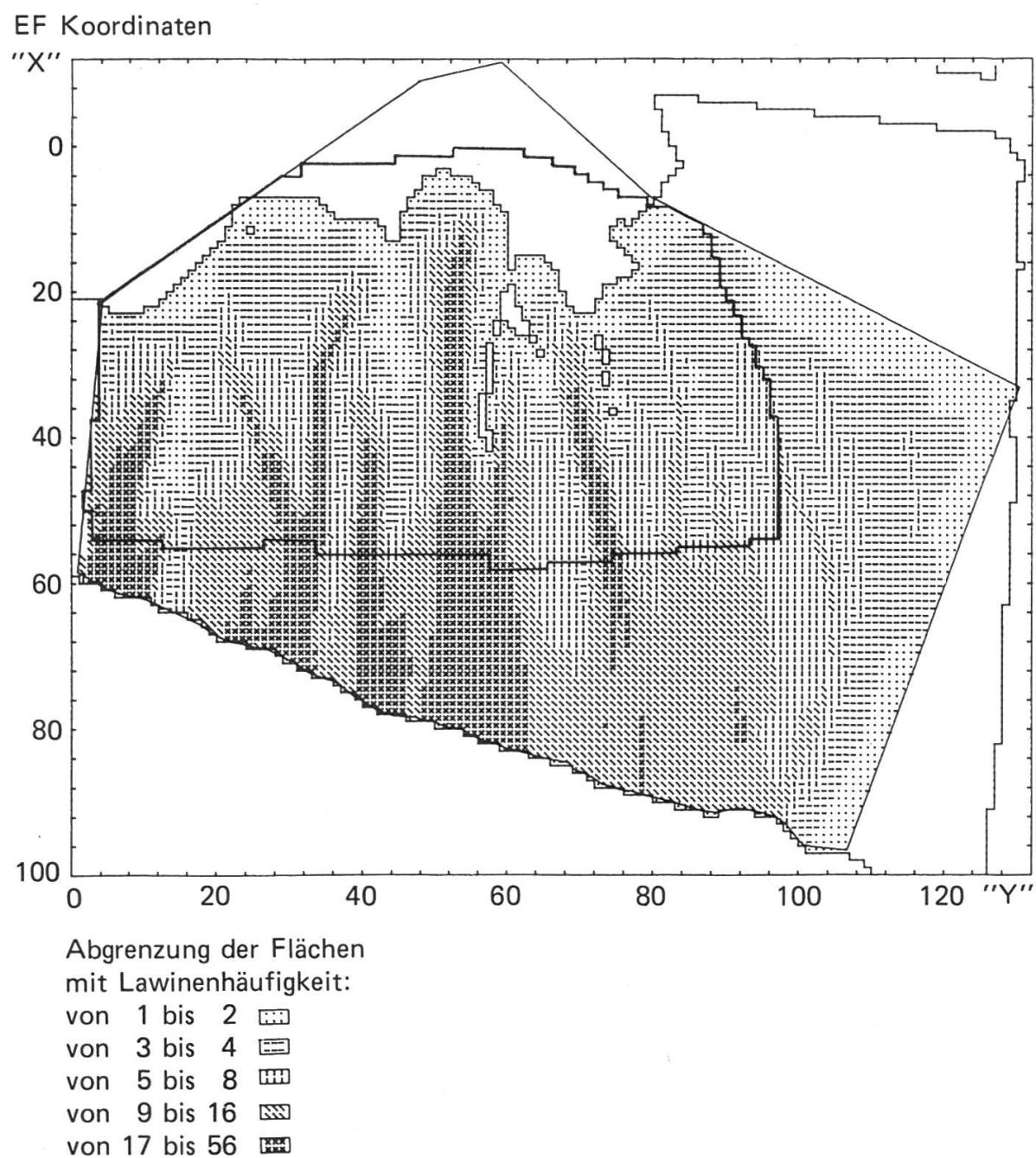


Abbildung 3.4 b. Karte der Lawinenhäufigkeit, Mittel 1975 bis 1982. Die Aufforstungsfläche 1975 ist umrandet.

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 Pflanzen-geellschaften (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 Krähen-beeren-Vaccinienheide mit Etagenmoos, und zuletzt aperte der Wollreitgras-rasen aus.

Die Alpenrosen-Vaccinienheide zeigte einen stark signifikanten Unter-schied im mittleren Ausaperungsdatum zu den Windflechten-Azaleenheiden einerseits und zu den Krähenbeeren-Vaccinienheiden und zum Wollreitgras-rasen 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 klei-nen Frequenzen befanden sich auf der oberen Verebnung und auf den Rippen-standorten. 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 Gleit-schnegebiet. Allerdings konnten in der zweiten Hälfte Oktober 1974, in einem Winter mit extrem frühem Einschneien, 13 Gleitschneerisse beobachtet wer-den. Auf besonders stark betroffenen Standorten waren kleinflächige Boden-abschürfungen die Folge. Auch im Frühling 1979 konnten Risse in der Schnee-decke 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 innerhalb des Aufforstungsareals sind folgende:

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

Diese Zergstrauchgesellschaften 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 freiblässt. 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 rippenäheren 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 Rohhumusaufklage.

## Vegetationskarte Stillberg

- nicht kartiert
- † Pionier-Pflanzengesellschaften
- + *Cetrario-Loiseleurietum electorietosum*
- ✗ *Cetrario-Loiseleurietum cladonietosum*
- ✗ *Empetrio-Vaccinietum cetrarietosum*
- ✗ *Empetrio-Vaccinietum hylocomietosum*
- ✗ *Rhododendro-Vaccinietum rhododendretosum*
- \* *Calamagrostietum villosae*
- † *Alnetum viridis*
- *Junipero-Arctostaphyletum juniperetosum*
- △ *Junipero-Arctostaphyletum callunetosum*

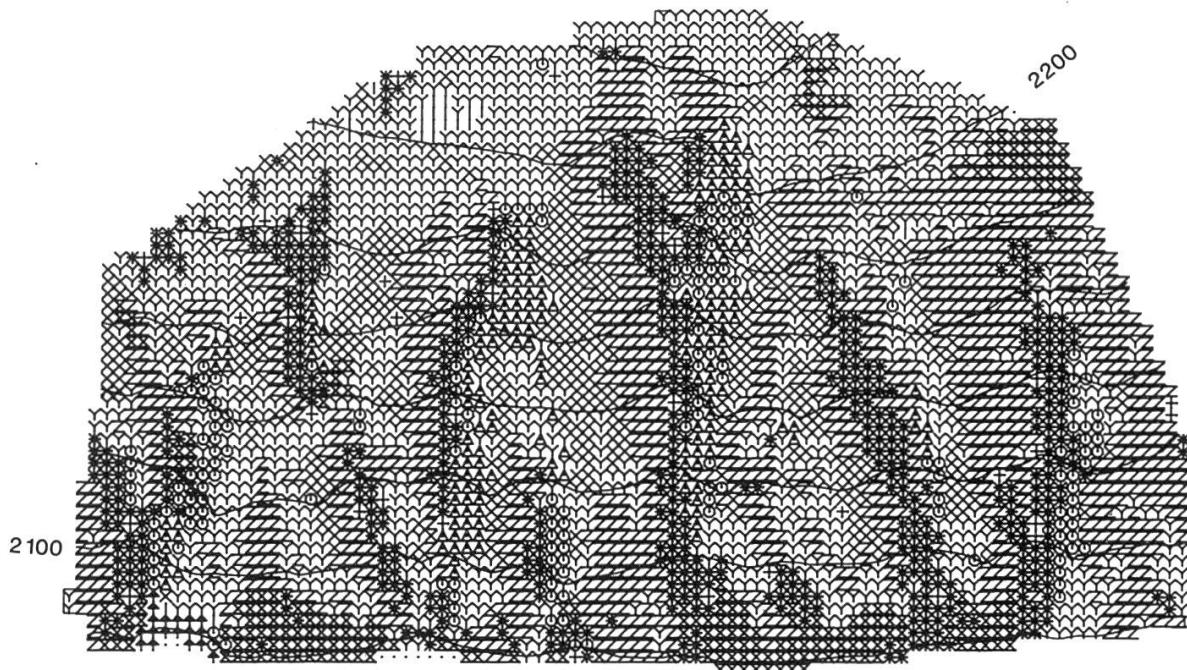


Abbildung 3.5. Vegetationskarte. Die Gesellschaften des Zwergrauhgürtels sind vorwiegend in vertikalen Streifen angeordnet, der Geländegliederung entsprechend. Nach Kuoch, 1970, übertragen auf den Aufforstungsraster.

Der Reitgrasrasen ist charakteristisch für die frischen, skelettreichen Böden in den Lawinenrinnen. 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 Schneedeckung 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 Eisenhumuspodsol	7%	Moder	25%
stark entwickelter Eisenhumuspodsol	38%	Erosionsstellen	4%
flachgründiger Eisenhumuspodsol	7%	Geröll	5%
Runsenböden degradierte Runsenböden	8%	Fels	4%
Mosaik verschiedener Böden	2%		
	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 Streumsetzungsarten 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-

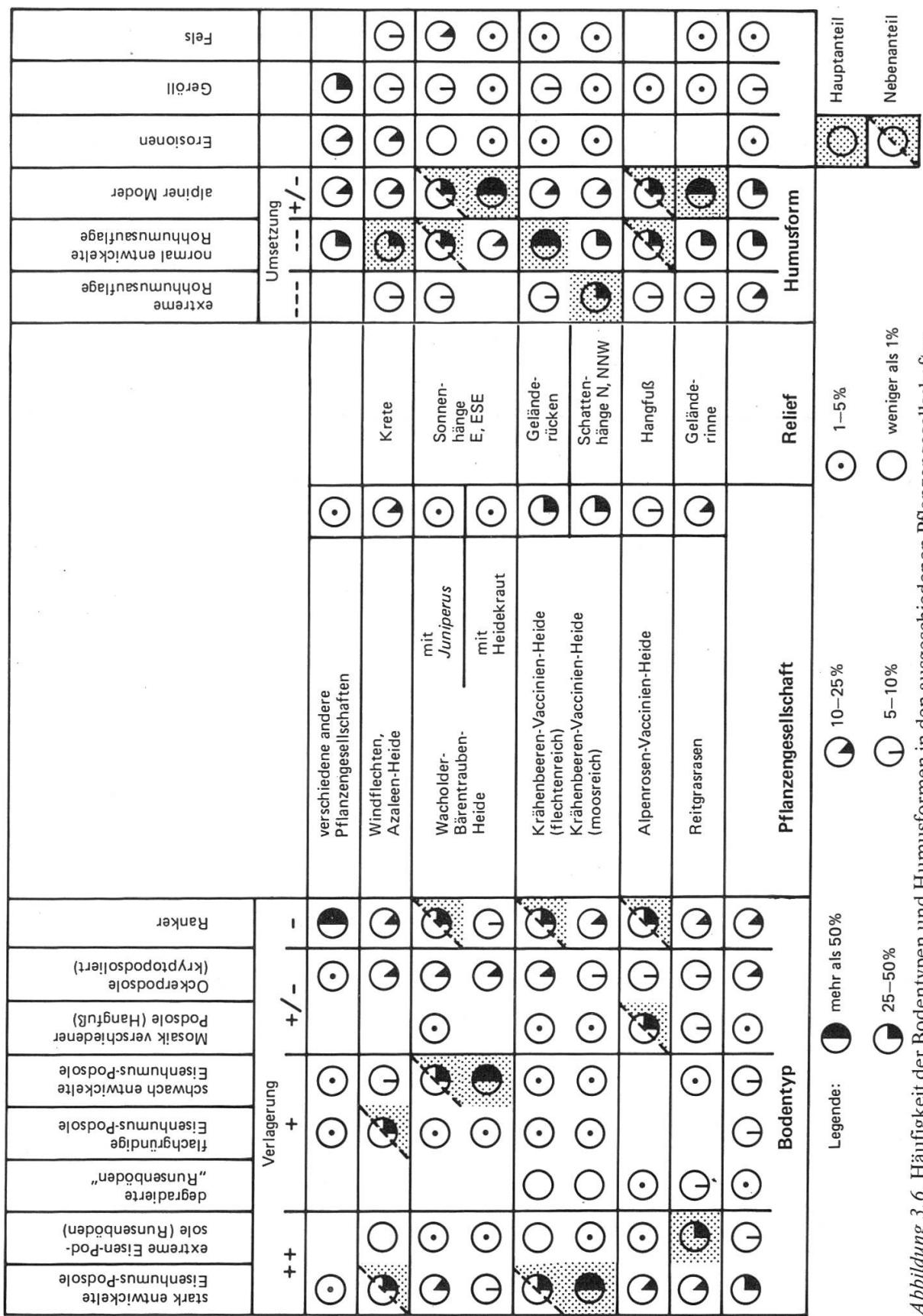


Abbildung 3.6. Häufigkeit der Bodentypen und Humusformen in den ausgeschiedenen Pflanzengesellschaften.

tendenz, begünstigt das Pflanzenwachstum. Zudem verbessern die milderden 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.

## 4. Ergebnisse der Vor- und Begleitversuche

### 4.1 Photosynthese- und Transpirationsmessungen in der Versuchsfläche Stillberg (Rudolf Häsler, EAFV)

#### 4.1.1 Einleitung

Messungen des Längenwachstums an Bäumchen im Bereich der alpinen Waldgrenze erlauben eine zeitliche Auflösung von bestenfalls einer Woche, normalerweise von einem Jahr. Die Pflanzen reagieren aber sehr rasch auf sich ändernde Witterungsbedingungen. Um ergänzend diese kurzfristigen Reaktionen zu untersuchen, wurden zwischen 1975 und 1983 auf dem Versuchsgelände Stillberg Gaswechselmessungen durchgeführt. Diese ermöglichen es, die Zusammenhänge zwischen der Photosynthese (Kohlendioxidaufnahme), der Transpiration (Wasserabgabe) und den einzelnen mikrometeorologischen Größen (Licht, Temperatur, Feuchtigkeit usw.) mit hoher zeitlicher Auflösung zu untersuchen. Die Methode erlaubt damit Einblicke in den Kohlenstoff- und den Wasserhaushalt, das heisst in zwei Hauptkomponenten des Stoffwechsels der Pflanze.

Das Ziel der Gaswechselmessungen ist, den Einfluss der sich rasch ändernden Witterungsfaktoren auf das Wachstum von Aufforstungspflanzen genauer zu betrachten und zu analysieren.

#### 4.1.2 Standorte, Pflanzenmaterial und Methode

Die Messstation liegt in der grossen Runse (2185 m ü. M.). Der ostexponierte Hang weist dort eine Neigung von 120%, der nordexponierte eine von 100% auf. Der Boden ist ein Ocker- bzw. ein Eisenhumuspodsol auf Paragneis-Unterlage (Blaser, 1980). Untersucht wurden hauptsächlich Bäumchen auf zwei verschiedenen Standorten an den Flanken der «Grossen Runse», die als die beiden Extreme anzusehen sind. Einerseits ist dies die für das Baumwachstum günstige ostexponierte Flanke (Wacholder-Bärentraubenheide) und andererseits die nur rund 40 m entfernte problematische Nordflanke (Krähenbeeren-Vaccinienheide) (Kuoch, 1970). Die Pflanzengesellschaften auf den unterschiedlich exponierten Flanken weisen, wie Turner (1966), Nägeli (1971) und Turner *et al.* (1975) zeigten, erstaunlich grosse mikroklimatische Unterschiede auf, obschon sie sehr nahe beieinander liegen.

Die Gaswechselmessungen wurden anfangs an Bäumchen der Bermenauforstung aus dem Jahre 1962 (Schönenberger, 1975) und ab 1979 an denen der Aufforstung von 1975 durchgeführt. In die Messungen einbezogen wurden die Arve, die aufrechte Bergföhre und die Lärche.

Die Photosynthese- und Transpirationsmessungen wurden mit klimatisierten Gaswechselmesskammern (System Koch) am Standort durchgeführt (*Abbildung 4.1 a*). Das Prinzip dieser Methode lässt sich am besten anhand des Schemas erklären (*Abbildung 4.1 b*): Mit einer Pumpe wird Luft angesaugt und durch die Gaswechselmesskammer mit dem zu untersuchenden Zweig geleitet. Vor und nach der Kammer wird die Luftfeuchtigkeit gemessen. Im Messgaskühler wird die Luft, zur Verhinderung von Störungen der Kohlendioxidmessung durch den Wasserdampf, auf 1 °C abgekühlt. Der gegenüber der Vergleichsluft veränderte Kohlendioxidgehalt wird schliesslich im Infrarot-Gasanalysator (URAS) verglichen. Zur Berechnung der absolut umgesetzten Kohlendioxidmenge muss man zusätzlich den Luft-Durchfluss kennen. Er wird mit einem Durchflussmesser bestimmt und mit einem Differenzdruckregler konstant gehalten.

Durch das Einschliessen des Zweiges erzeugt man ein gegenüber aussen verändertes «Treibhausklima». Um dies zu vermeiden, wird die Temperatur in der Kammer automatisch den Freilandbedingungen nachgeregelt. Das vom Zweig abgegebene Wasser wird im Nebenschluss durch einen Wasserdampfabscheider (Kältefalle) ausgeschieden. Damit erreicht man einerseits eine Feuchteklimatisierung nach den Aussenbedingungen, und andererseits lässt



*Abbildung 4.1 a.* Gaswechselmessplatz in der Grossen Runse. Rechts im Vordergrund liegt der gutbesonnte, ostenexponierte und links (weisse Wetterhütte) der nordexponierte Standort. In der Hütte befinden sich die Mess- und Regelgeräte.

Gaswechselmessung:  
pneumatische Verbindungen

GWK	Gaswechselkammer
AK	Ausgleichskammer
WA	Wasserdampfabscheider
EFF	Eingangsfeuchtefühler
NFF	Nebenschlußfeuchtefühler
AFF	Ausgangsfeuchtefühler
DR	Durchflußregler
D	Durchflußmeßgerät
P	Pumpe
MGK	Meßgaskühler
URAS	Ultrarotabsorptionsschreiber

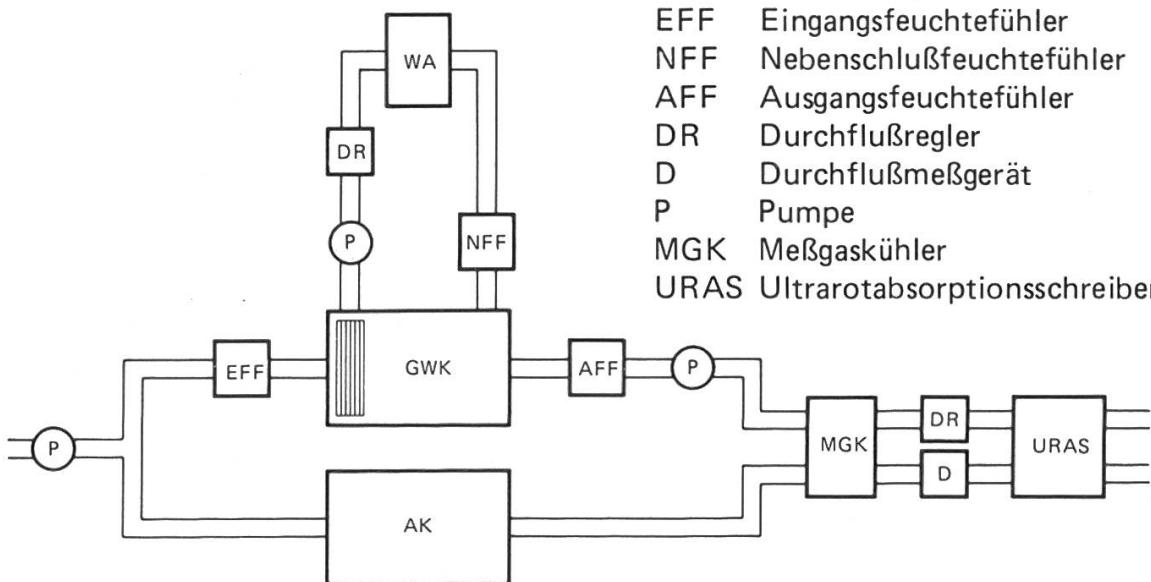


Abbildung 4.1 b. Schema der pneumatischen Verbindungen der Gaswechselmessapparatur.

sich aus der Luftmenge und der Feuchtigkeitsdifferenz zwischen Eingangsluft und getrockneter Luft die Transpiration bestimmen. Aus der Transpiration und dem Wasserdampfdruckdefizit der Luft lässt sich schliesslich die Blattleitfähigkeit errechnen, ein Mass für den Öffnungszustand der Spaltöffnungen. Dieser abgeleitete Wert zeigt besonders schön, wie die Pflanzen auf gewisse Umweltfaktoren (zum Beispiel Trockenheit) reagieren. Ausführliche Beschreibungen der Gaswechselmessmethode findet man bei *Schulze et al. (1972)*, *Kerner und Koch (1976)* und *Hässler (1982)*.

#### 4.1.3 Ergebnisse

Es sollen hier nur einige grundsätzliche Ergebnisse dargestellt und besprochen werden. Deshalb wird darauf verzichtet, die einzelnen Baumarten getrennt zu behandeln. Es muss aber beachtet werden, dass bei entsprechenden Bedingungen die Größenordnung von Photosynthese- und Transpirationsraten für Arve und Bergföhre ähnlich sind, während die nadelwerfende Lärche etwa die zwei- bis dreifache Rate pro Trockengewicht oder pro Nadeloberfläche erreicht.

#### Einfluss der Sonnenstrahlung:

Ohne genügend Licht ist die Kohlendioxidbilanz der Bäumchen negativ, nur die Atmung ist messbar (Abbildung 4.1 c). Bei Sonnenaufgang setzt die Pho-

Lärche, Stillberg, 15.7.1983

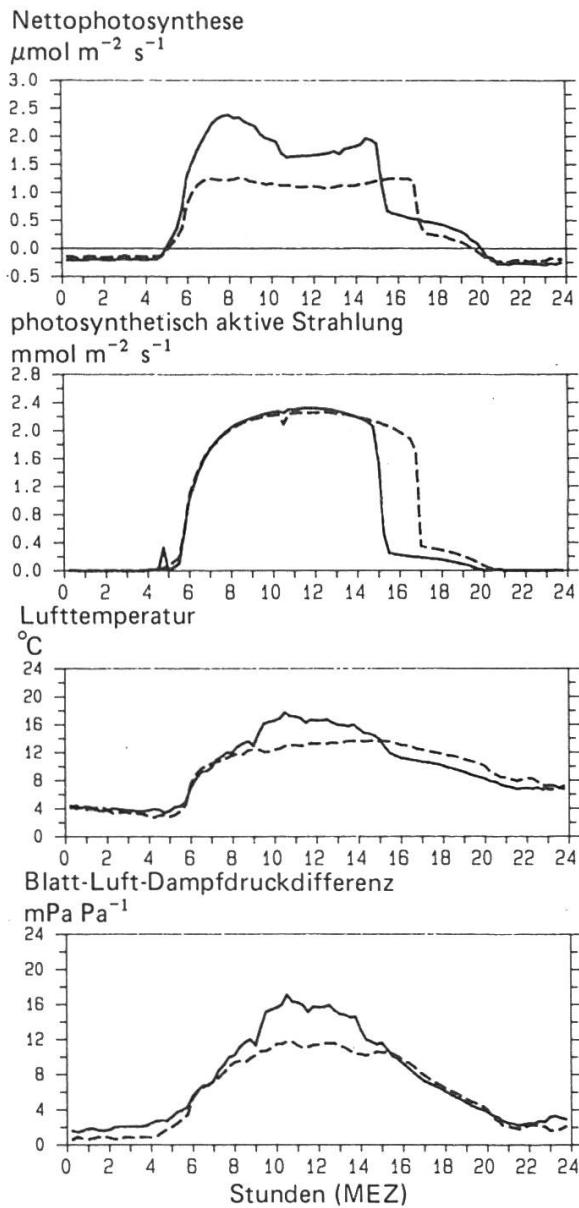


Abbildung 4.1 c. Tagesgang von Photosynthese, photosynthetisch aktivem Licht, Lufttemperatur und Dampfdruckdefizit an einem Schönwettertag im Hochsommer. Osthang (—), Nordhang (---).

Lärche, Stillberg, 19.9.1983

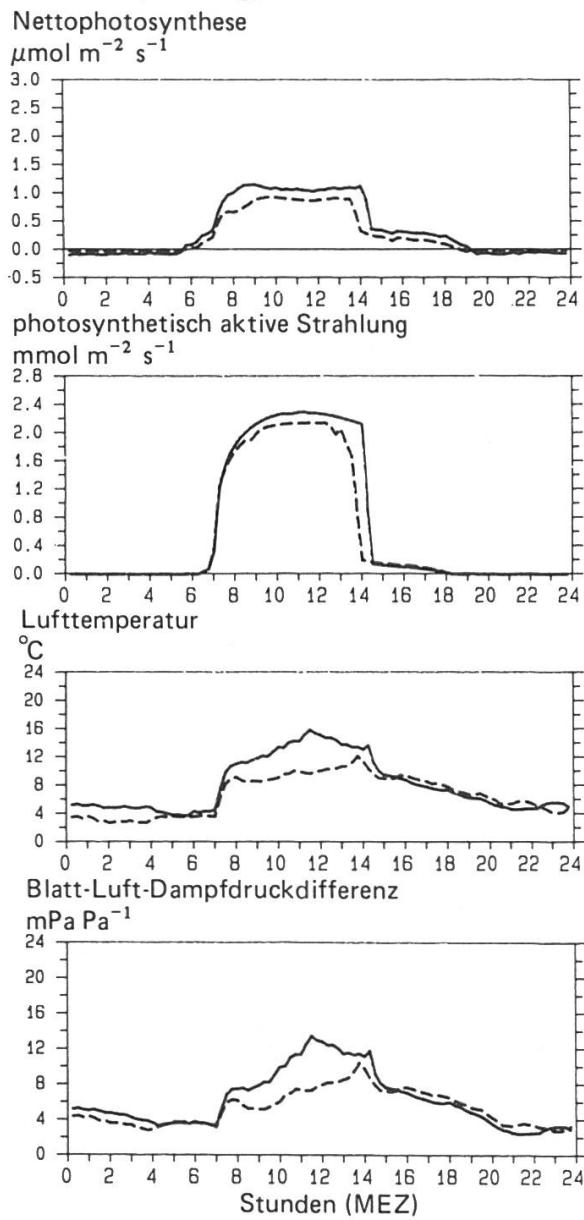


Abbildung 4.1 d. Tagesgang von Photosynthese, photosynthetisch aktivem Licht, Lufttemperatur und Dampfdruckdefizit an einem Schönwettertag im Herbst. Osthang (—), Nordhang (---).

tosynthese ein, der Verlust von Kohlendioxid durch die Atmung wird aufgewogen, die Bilanz wird positiv. Der Baum nimmt Kohlendioxid auf. Bereits etwa ein Viertel der maximalen Sonnenstrahlung sättigt das Photosynthesevermögen, das heißt, zusätzliches Licht steigert die Kohlendioxidassimilation nicht mehr (Abbildung 4.1 e/A). Bei stärkerer Bewölkung kann die Lichtmenge aber doch für die Photosyntheserate begrenzend sein. Indirekte Strahlung genügt nicht, um eine maximale Kohlendioxidaufnahme zu bewirken. Dies zeigt sich

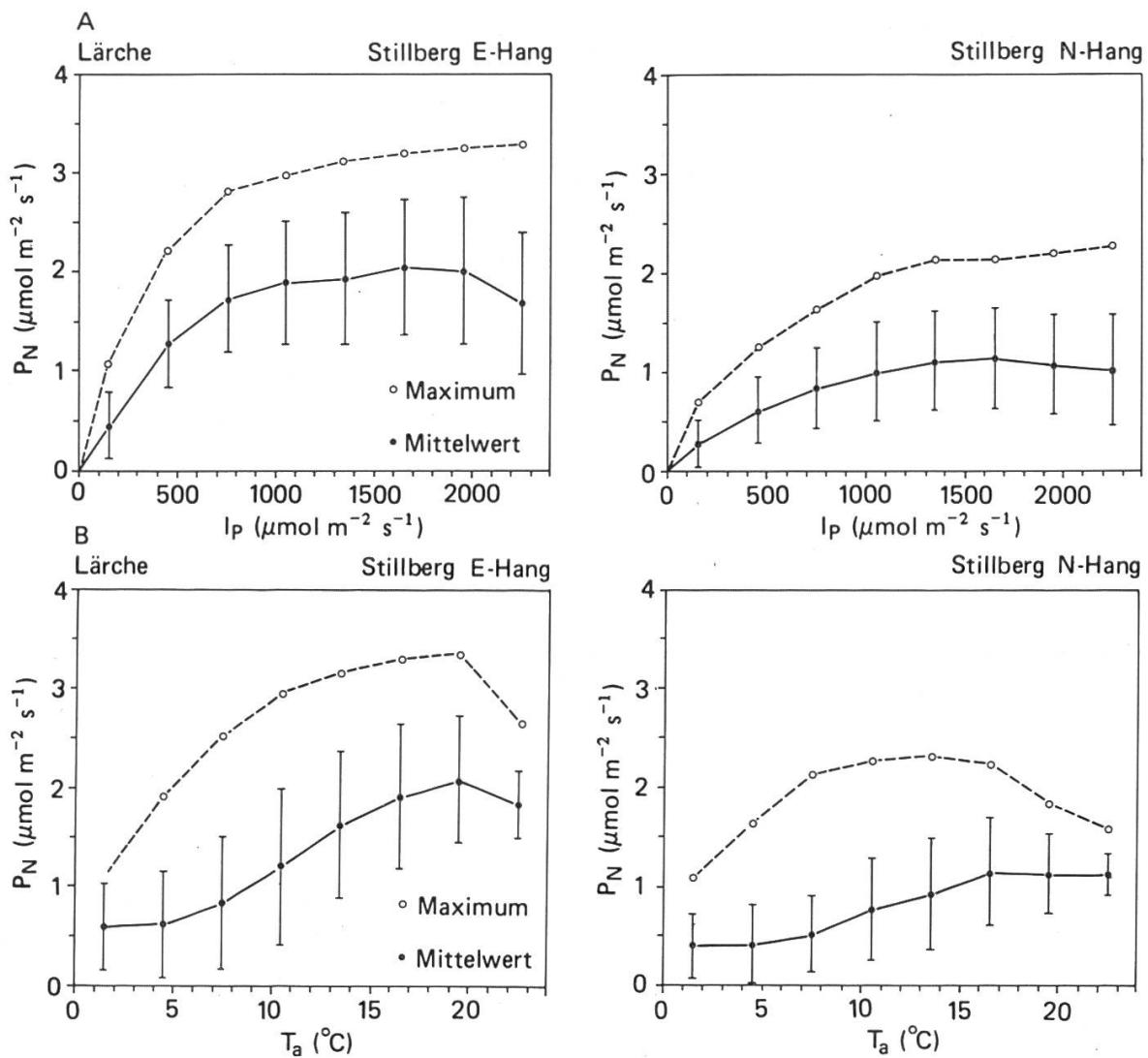


Abbildung 4.1 e. A Abhängigkeit der Photosynthese vom Licht.  
B Abhängigkeit der Photosynthese von der Lufttemperatur.

sehr deutlich nach dem Untergehen der Sonne unter den örtlichen Horizont: die Kohlendioxidaufnahme nimmt sofort stark ab. Hier macht sich bereits der erste markante Unterschied zwischen den beiden Standorten bemerkbar. Besonders im Herbst geht die Sonne am nordexponierten Standort bereits sehr früh unter (*Abbildung 4.1 d*), und das Licht reicht anschliessend gerade noch aus, um die Kohlendioxidverluste durch die Atmung zu kompensieren. Infolge der kürzer werdenden Tage nimmt am Schatthang die Phase mit positiver Bilanz rasch ab.

#### Einfluss der Luft- und Bodentemperatur:

Die Photosynthese ist auch von der Temperatur abhängig. Im Gegensatz zur Lichtabhängigkeit, wo ein Maximalwert erreicht wird (*Abbildung 4.1 e/A*), handelt es sich bei der Temperaturabhängigkeit um eine Optimumskurve (*Ab-*

Lärche, Stillberg, 2185 m ü. M.

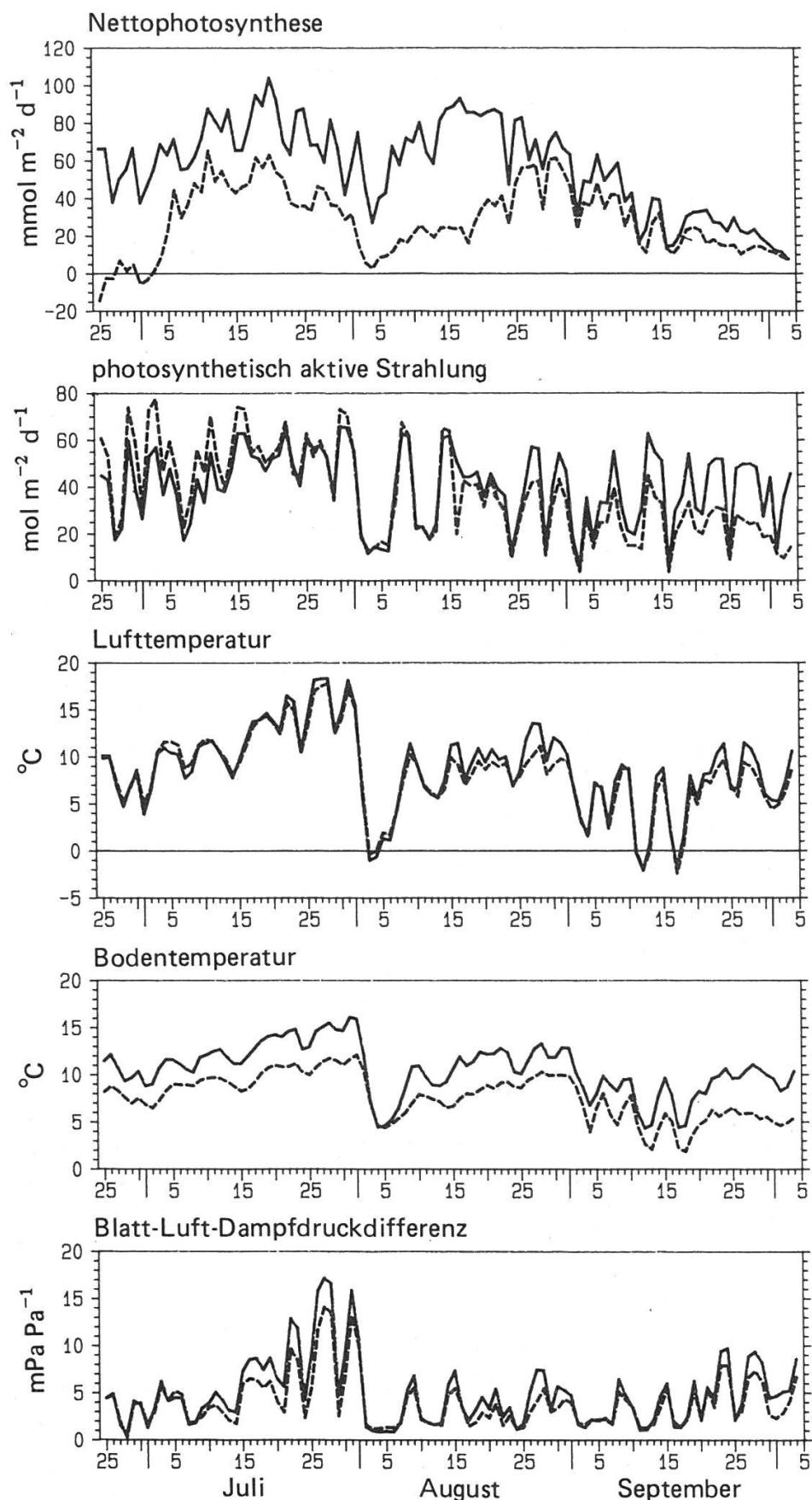


Abbildung 4.1f. Tagesmittelwerte von Photosynthese, photosynthetisch aktivem Licht, Luft- und Bodentemperatur und Dampfdruckdefizit vom 25. Juni bis zum 5. Oktober 1983. Osthang (—), Nordhang (---).

*bildung 4.1 e/B*). Die Kurve hat eine relativ breite Schulter in einem Temperaturbereich zwischen etwa 12 ° und 20 °C. Während die Strahlung an Ost- und Nordhang bei klarem Himmel etwa gleich gross ist, sind die Lufttemperaturen knapp über dem Boden am Nordhang tagsüber meist geringer als am Osthang (*Abbildungen 4.1 c, d*). Die am Nordhang mit einem flacheren Winkel eintreffenden Strahlen vermögen Boden und bodennahe Luftsicht weniger stark zu erwärmen. Dies hat die Konsequenz, dass die Bäumchen am Nordhang dauernd bei etwas tieferen Temperaturen leben müssen. Noch grösser sind die Temperaturunterschiede im Boden (*Abbildung 4.1 f*). Die Bodentemperaturen wirken sich insofern auf das Wachstum der Bäumchen aus, als bei tieferen Temperaturen die Wasseraufnahme verlangsamt ist und damit auch die Nährstoffaufnahme aus dem Boden gehemmt wird. Damit lässt sich ein Teil der meistens geringeren Photosyntheserate auf dem Nordhang erklären. Da das Temperaturoptimum der Bäumchen flach verläuft (*Abbildung 4.1 e/B*), sind die relativen Einbussen zwar klein, doch man muss berücksichtigen, dass die Pflanze auf dem ungünstigeren Standort während der ganzen Vegetationsperiode weniger Kohlendioxid aufnehmen kann.

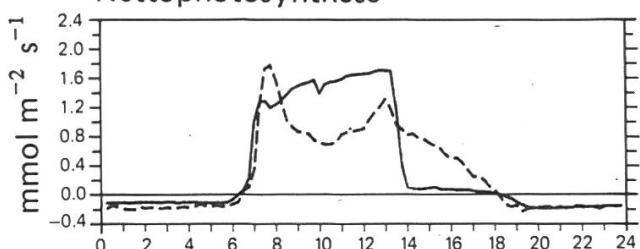
Wie sich dies summiert, lässt sich besonders schön in *Abbildung 4.1 f* sehen, wo nicht die einzelnen Tagesgänge, sondern die Tagessummen aufgetragen sind. Die Abbildung zeigt zudem noch weitere Temperatureffekte. Zu Beginn der Messungen Ende Juni zeigte die Lärche auf dem früher ausapernden Sonnhang bereits eine stark positive Kohlendioxidbilanz, während die Pflanze am Nordhang, noch vor kurzem unter Schnee, eben erst die Knospen geöffnet hatte und in den nur wenige Tage alten Nadeln die Photosynthese lediglich die Atmung kompensieren konnte. Anschliessend nahm auch die Photosyntheserate der Pflanze am Nordhang stark zu. Sie blieb aber weit unterhalb der Werte der Kohlendioxidassimilation der Pflanze am Osthang. Ein extremer Temperatursturz mit kurzem Frost Anfang August führte auf beiden Standorten zu einer starken Reduktion der Photosynthese. Während die bereits weiter ausgereiften Nadeln der Lärche auf dem Sonnhang sich relativ rasch erholten, brauchten die noch jüngeren Nadeln der Lärche am Schatthang rund drei Wochen, bis sie den Temperaturschock überwunden hatten. Im Spätsommer verringerten sich die Unterschiede in den Photosyntheseraten. Gegen Ende September vergilbten die Lärchennadeln auf beiden Standorten.

#### Einfluss der Luftfeuchtigkeit:

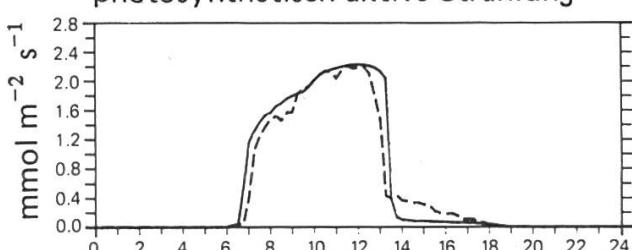
Die Luftfeuchtigkeit scheint keinen allzu grossen Einfluss auf die Photosyntheserate zu haben (Häsler, 1982; Häsler, 1985). Besonders auf dem stärker besonnten Osthang lässt sich aber bei längeranhaltend trockenem Wetter am Nachmittag eine Verminderung der Photosyntheserate feststellen. Bei trockener Luft verdunstet mehr Wasser aus den Nadeln, als aus dem Boden nachgeliefert werden kann. Um nicht zu vertrocknen, schliesst die Pflanze daher die Spaltöffnungen und reduziert damit die Transpiration und den weiteren Gasaus-

Aufrechte Bergföhre, Stillberg

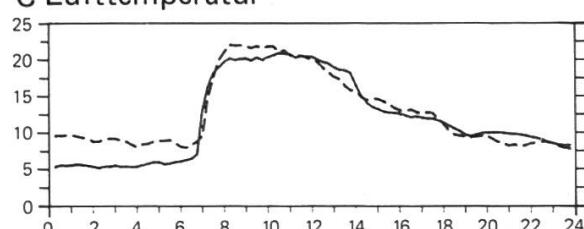
Nettophotosynthese



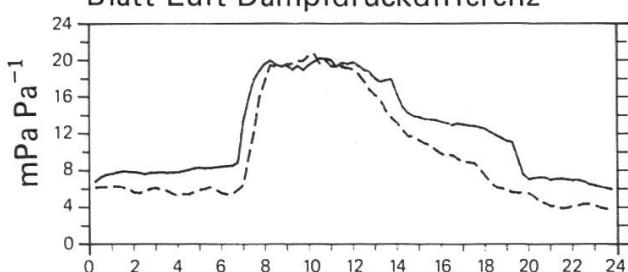
photosynthetisch aktive Strahlung



°C Lufttemperatur



Blatt-Luft-Dampfdruckdifferenz



Transpiration

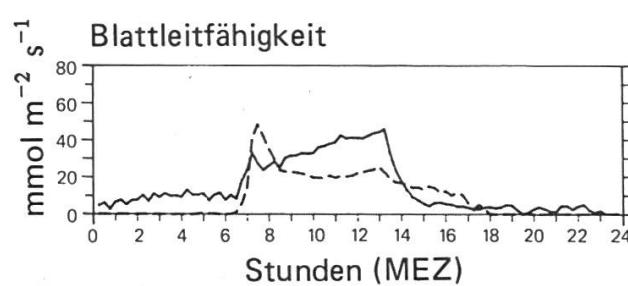
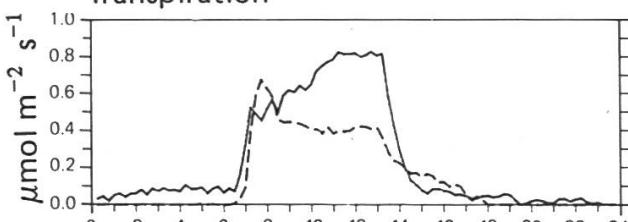


Abbildung 4.1 g. Tagesgang der Photosynthese einer Bergföhre am 3. September (—) und nach vierzehntägiger Trockenheit, am 17. September (---), zusammen mit photosynthetisch aktivem Licht, Lufttemperatur, Transpiration und Blattleitfähigkeit.

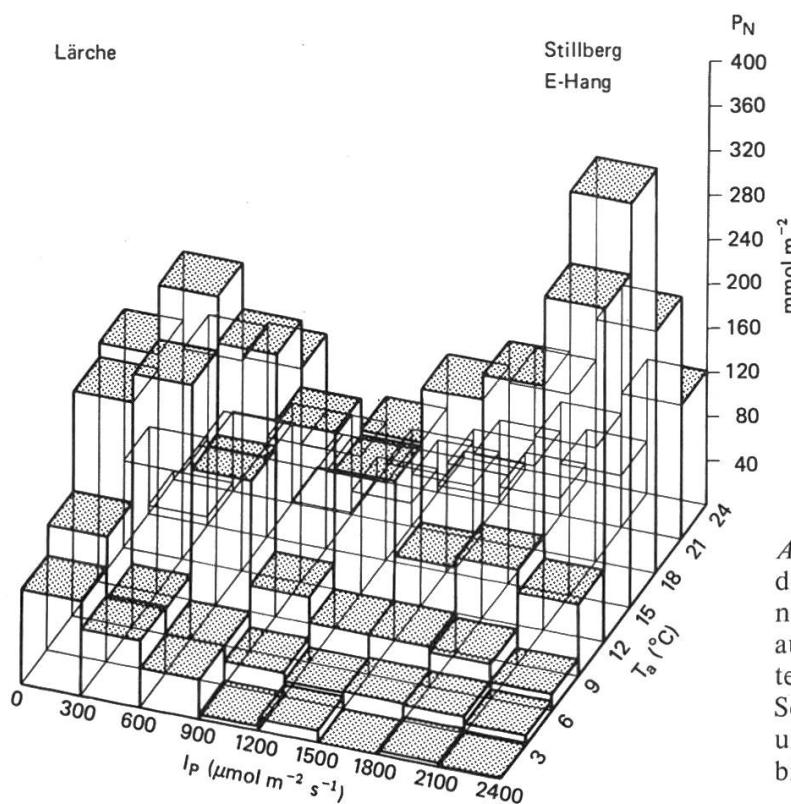
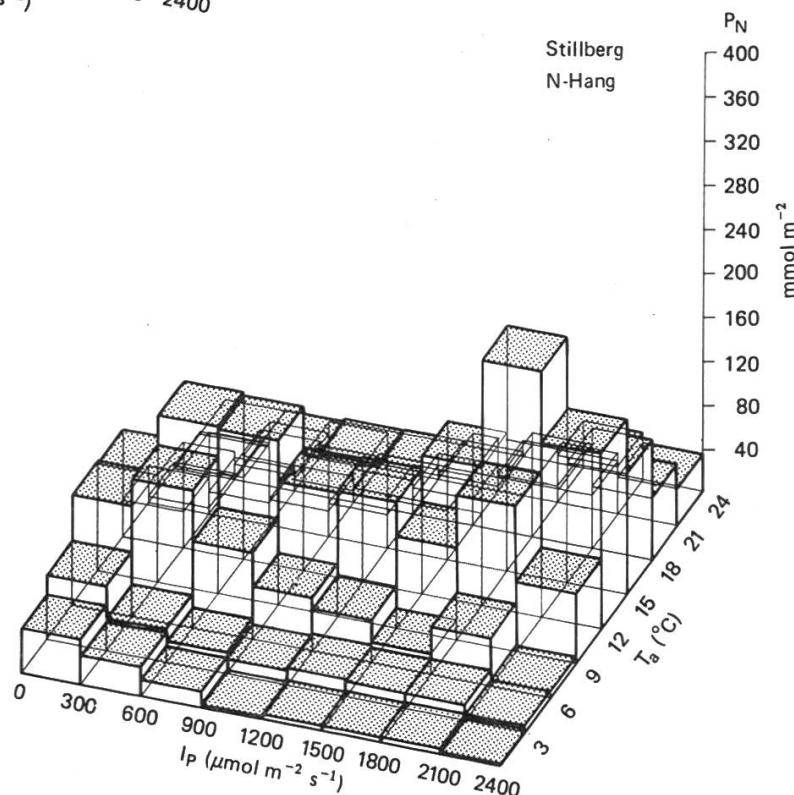


Abbildung 4.1 h. Säulendiagramm der summierten Kohlendioxidaufnahme je einer Lärche (bezogen auf die Blattfläche) am ostexponierten Sonn- und am nordexponierten Schatthang, geordnet nach Licht und Temperaturklassen (25. Juni bis 5. Oktober 1983).



tausch (Abbildung 4.1 g). Unter normalen Bedingungen an der alpinen Waldgrenze dürfte diese Einbusse allerdings kaum einen grossen Einfluss besitzen. Sie kann aber auf besonders trockenen Standorten unter extremen Bedingungen im Herbst für neu gepflanzte Bäumchen wohl doch eine Bedeutung haben. Ab-

*Abbildung 4.1 g* zeigt dies für eine Bergföhre im Sonnhang. Die beiden Kurven stammen vom gleichen Zweig. Anfang September zeigten die Photosynthese und die Transpiration noch einen völlig unbeeinträchtigten Verlauf. Nach vierzehn Tagen prächtigen Herbstwetters ohne Regen wurde das Wasser schliesslich knapp. Bereits um 8 Uhr morgens schloss die Bergföhre die Spaltöffnungen auf rund die Hälfte (Verminderung der Blattleitfähigkeit). Sowohl Photosynthese als auch Transpiration wurden dadurch erheblich eingeschränkt. Dass dazu auch die Bodentrockenheit wesentlich beigetragen hatte, konnte durch künstliche Bewässerung der Pflanze sehr schön nachgewiesen werden: die Spaltöffnungen reagierten zwar immer noch auf die trockene Luft, aber die Reduktion des Gasaustausches betrug nur noch rund 10 Prozent (Häsler, 1984).

#### Gemeinsamer Einfluss von Licht und Temperatur:

Um auf den beiden Standorten die Einflüsse von Licht und Temperatur noch deutlicher zu demonstrieren, sind in *Abbildung 4.1 h* die Kohlendioxidd Mengen summiert, die unter den entsprechenden Bedingungen während der gesamten Messperiode (25. Juni bis 5. Oktober) assimiliert wurden. Diese Summen zeigen besonders deutlich die grossen Unterschiede zwischen den beiden Standorten: Während der untersuchten Periode hatte die Lärche auf dem ostexponierten Hang doppelt soviel Kohlendioxid assimiliert wie diejenige auf dem Nordhang. Auch wenn man den eher aussergewöhnlichen Temperatursturz im August ausklammert, bleiben die Unterschiede immer noch beachtlich. Zudem ist zu berücksichtigen, dass der Anfang der Vegetationsperiode auf dem besonnten Hang nicht erfasst werden konnte. Dies würde das Verhältnis noch zusätzlich zuungunsten des Bäumchens auf dem nordexponierten Standort verschieben.

#### 4.1.4 Diskussion

Was verursacht nun die grossen Unterschiede im Wachstum auf den beiden Standorten? Mehrere Faktoren spielen hierbei eine Rolle. Einen grossen Einfluss hat die unterschiedliche Dauer der Vegetationsperiode, die doch beträchtlich länger ist auf dem gut besonnten Standort. Diesen Einfluss sieht man besonders deutlich auf der Sommer-Darstellung (*Abbildung 4.1 f*). Der Vorsprung, mit dem die Pflanzen auf dem Sonnhang früher mit der Photosynthese beginnen können, dürfte je nach Witterungsverhältnissen drei bis vier Wochen betragen. Diesen Vorsprung holen die Pflanzen am später ausapernden Standort nicht mehr auf. Eine Gefahr könnte aber auch der frühere Beginn mit sich bringen: Während des Austreibens sind die Nadeln relativ frostempfindlich. Was ein Frost zu einem kritischen Zeitpunkt bewirken kann, ist ebenfalls in *Abbildung 4.1 f* zu sehen – allerdings war in diesem Fall die später austreibende Pflanze am Schatthang benachteiligt. Der Frost am 2./3. August schwächte die Bäume-

chen am Nordhang beachtlich, obschon ihnen äusserlich nichts anzusehen war. Dies gilt nicht nur für die nadelwerfenden Lärchen, sondern genauso für die immergrünen Bäume.

Einen wesentlichen Einfluss hat auch die Dauer der möglichen direkten Einstrahlung. Lange Beschattung, bewirkt durch die Horizontüberhöhung, vermindert die Kohlendioxidaufnahme merklich. Dies ist für die kleinen Bäumchen von ganz besonderer Bedeutung, kann doch schon ein grosser Stein an einem ungünstigen Ort oder eine leichte Geländewölbung zu beachtlichen Einbussen in der Kohlenstoffassimilation führen (Häsler und Blaser, 1981). An dauernd beschatteten Standorten können allerdings Schattennadeln, die mehr Chlorophyll enthalten und daher eine bessere Photosyntheseleistung bei schwachem Licht aufweisen, die Kohlendioxidassimilation noch etwas verbessern.

Abhängig von Einstrahlung und Relief sind auch die Luft- und die Boden-temperatur, die wesentlich mitbestimmen, dass auf den nordexponierten Standorten meist eine geringere Photosyntheseleistung vorhanden ist. Im Bereich der alpinen Waldgrenze, einem Extremstandort, kann dies schliesslich dazu führen, dass die jungen Bäume die während der Vegetationsperiode gewonnenen Kohlenstoffreserven im Laufe des Jahres wieder veratmen. Selbst an guten Standorten im Flachland verbraucht ein Baum pro Jahr rund zwei Drittel der Assimilate für die Atmung. An extremen Standorten bleibt zur Bildung neuer Zweige und Nadeln nur sehr wenig oder kein Kohlenstoff übrig, das heisst, die Pflanze wächst nur sehr langsam, bzw. sie kann sich gerade am Leben erhalten. Zusätzliche Stressfaktoren wie Frost zum ungünstigen Zeitpunkt oder Frosttrocknis gefährden schwächere Pflanzen stärker. Es ist auch wahrscheinlich, dass die immergrünen Nadeln an kritischen Standorten oft nicht vollständig ausreifen. Solche wenig widerstandsfähigen Pflanzen dürften gegenüber Schwächenpilzen besonders anfällig sein. Standorte mit derart ungünstigen Verhältnissen sind für Aufforstungen kaum geeignet.

Während die Pflanzen am N-Hang gerade knapp überleben, reicht es für die Bäumchen am günstigeren Standort noch zu respektabelm Wachstum. Mit dem aufgenommenen Kohlenstoff können zusätzliche Zweige und Nadeln gebildet werden, die weiteres Kohlendioxid assimilieren, womit es schliesslich zu den markanten Wachstumsunterschieden kommt (vgl. hierzu Turner *et al.*, 1982).

#### 4.1.5 Mesures d'échanges gazeux (résumé)

(Traduction: *Vincent Barbezat, IFRF*)

C'est entre 1975 et 1983 qu'eurent lieu les mesures d'échanges gazeux dans la «Grande Combe», à l'aide de chambres climatisées électriquement. Le but de ces recherches était de trouver une explication aux grandes variations de croissance existant entre les différentes expositions. De plus on mesura encore la photosynthèse nette, la respiration nocturne, la transpiration et la conductibilité

foliaire en fonction de différents paramètres climatiques (rayonnement prenant activement part à la photosynthèse, températures et humidités de l'air et du sol).

La différence entre les taux de photosynthèse nette des arbres des flancs en-soleillés exposés est et des arbres des flancs ombreux exposés nord est, la plupart du temps, faible. Mais l'arbre climatiquement désavantagé assimile au cours des ans moins de dioxyde de carbone, ce qui, au fil du temps, s'additionne et produit une différence notable. L'influence d'une période de végétation plus courte due à une fonte des neiges tardive sur les flancs ombreux vient encore renforcer cet effet. Le carbone restant après déduction de la part prise dans la respiration ne suffit qu'à peine aux arbres du flanc nord pour une croissance normale, alors que, pour cette altitude, il en reste une quantité remarquable aux arbres exposés est, leur permettant la production d'aiguilles, de bois et de racines.

## *4.2 Frühere Testpflanzungen in der Versuchsfläche Stillberg (Walter Schönenberger, EAFV)*

### *4.2.1 Die Versuchsanlage*

Seit den späteren 1950er Jahren wurden in der Versuchsfläche Stillberg verschiedentlich kleinere Aufforstungsversuche mit diversen Zielsetzungen angelegt. Die wichtigsten Ergebnisse dieser Versuche seien hier kurz dargestellt. Ausführlich behandelt wurden sie von Turner (1971) und Schönenberger (1975).

Standortstestpflanzung 1959: In 43 Pflanzflächen wurden je 16 Fichten, Lärchen, Omorikafichten und je 8 Bergföhren in die charakteristischen Pflanzengesellschaften gepflanzt.

Gruppenpflanzung 1961: In 112 Gruppen mit je 60 Pflanzen, unterschiedlich zusammengesetzt aus Fichten, Lärchen und Arven, wurden jeweils vier Bäumchen gemeinsam in ein Loch gepflanzt. Bei einem Truppabstand von 50 cm ergab dies eine sehr dichte Anordnung in dreieckigen Rotten von 2 m Seitenlänge.

Bermenpflanzung 1962: Im oberen Teil der grossen Lawinenrunse wurden im Abtragsverfahren etwa 60 m lange und 30 cm breite Bermen gebaut und mit je etwa 2000 Arven, Fichten und Lärchen bepflanzt.

Alle Bäumchen wurden als Ballenpflanzen, vorwiegend in Torftöpfen, eingebbracht.

### *4.2.2 Ergebnisse und Folgerungen*

Die Vorversuche zeigten, dass das Versuchsgelände Stillberg ein breites Spektrum von Standorten aufweist, von den für die Aufforstung relativ pro-

blemlosen Stellen über jene Bereiche, die nur mittels geeigneter Massnahmen aufforstbar sind, bis hin zu eigentlichen Ausschlussstellen, an denen eine Aufforstung aussichtslos ist.

Die Bermen haben kaum Lawinenanrisse verhindern können, und Schneegleiten trat auch ohne Bermen kaum auf. Die Bermen brachten aber eine andere positive Wirkung, nämlich einen gewissen Ausgleich der Standortsbedingungen, was vor allem einer Verbesserung der problematischen Standorte gleichkam. Der starke Eingriff beim Bermenbau reduzierte ziemlich nachhaltig die Konkurrenzkraft des Reitgrasrasens, wodurch die Bäumchen in der entscheidenden Startphase einen Vorsprung erhielten. Gerade im Nordhang mit dem chronischen Wärmemangel wurde auf den horizontalen Bermentritten der Einfallswinkel der direkten Sonnenstrahlung viel günstiger. Dadurch absorbierte der Boden mehr Strahlung und erwärmte sich stärker. Beim Bermenbau wurde die problematische Rohhumusauflage aufgebrochen und mit Mineralerde vermischt. Insgesamt war also mit einer Aktivierung der mikrobiologischen Vorgänge im Boden zu rechnen. An Standorten mit Wärmemangel, mit dicker Rohhumusauflage oder mit starker Vegetationskonkurrenz fallen der Bau von Bermen oder bermenähnliche Eingriffe als Massnahme zur Standortsverbesserung in Betracht, auch wenn sie hier nicht als Gleitschneeschutz, sondern als Starthilfemassnahme gedacht sind.

Nach der kurzen Laufzeit von gut zehn Jahren liess sich über die Auswirkungen der dichten Gruppenpflanzung noch nicht viel aussagen. Das Wachstum war in allen Versuchen mit Ausnahme der wuchsgünstigeren Standorte so gering, dass es nach einem Jahrzehnt trotz geringen Pflanzabständen von 40 bzw. 50 cm noch kaum zu einem Kronenschluss und zu einer gegenseitigen Einengung der Pflanzen kam. In derart extremen Lagen sind also enge Pflanzverbände in der Größenordnung um 50 cm durchaus angebracht, wie sie bei Empfehlungen zur Rottenpflanzung vertreten werden.

Die meisten Krankheiten und Schäden, welche anhand des Hauptversuches in Kapitel 6 abgehandelt werden, traten schon in den Testversuchen auf. Es war jedoch wegen der verstreuten Lage der Versuche schwierig, sich ein Bild über ihre Verbreitung und damit über die Abhängigkeit vom Standort zu machen.

#### *4.3 Wurzelwachstum und Sprossentwicklung junger Koniferen im Klimastress der alpinen Waldgrenze (Hans Turner und Arnold Streule, EAFV)*

##### *4.3.1 Ziel und Zweck*

Parallel zu den Aufforstungsversuchen im Lawinenanrissgebiet der entwaldeten oberen subalpinen Stufe am Stillberg werden seit 1971 Messungen des

Wurzel- und Triebwachstums an jungen Arven, Bergföhren und Lärchen durchgeführt. Die Untersuchungen haben den Zweck,

- einen differenzierten Einblick in das Wachstumsverhalten von Hochlagen-aufforstungen zu erhalten, indem das ober- und unterirdische Wachstum getrennt und in der zeitlichen Auflösung einer Woche betrachtet wird;
- Auswirkungen der Standortsbedingungen und vor allem der durch das Gelände abgewandelten Witterungs- und Mikroklimabedingungen auf das ober- und unterirdische Wachstum junger Bergföhren, Arven und Lärchen festzustellen;
- bessere Grundlagen für die Standortauswahl bei Hochlagenaufforstungen zu gewinnen.

#### 4.3.2 Methode

Nach anfänglichen Versuchen mit Wurzelwachstumskästen nach Engler werden seit 1977 die Messungen mit Hilfe von «Wurzelfenstern» durchgeführt. Das sind direkt im Gelände vertikal im Hangabstich eingesetzte Acrylglasplatten 200 x 60 cm, durch die etwa  $\frac{1}{3}$  des Wurzelwerks der Bäumchen beobachtet

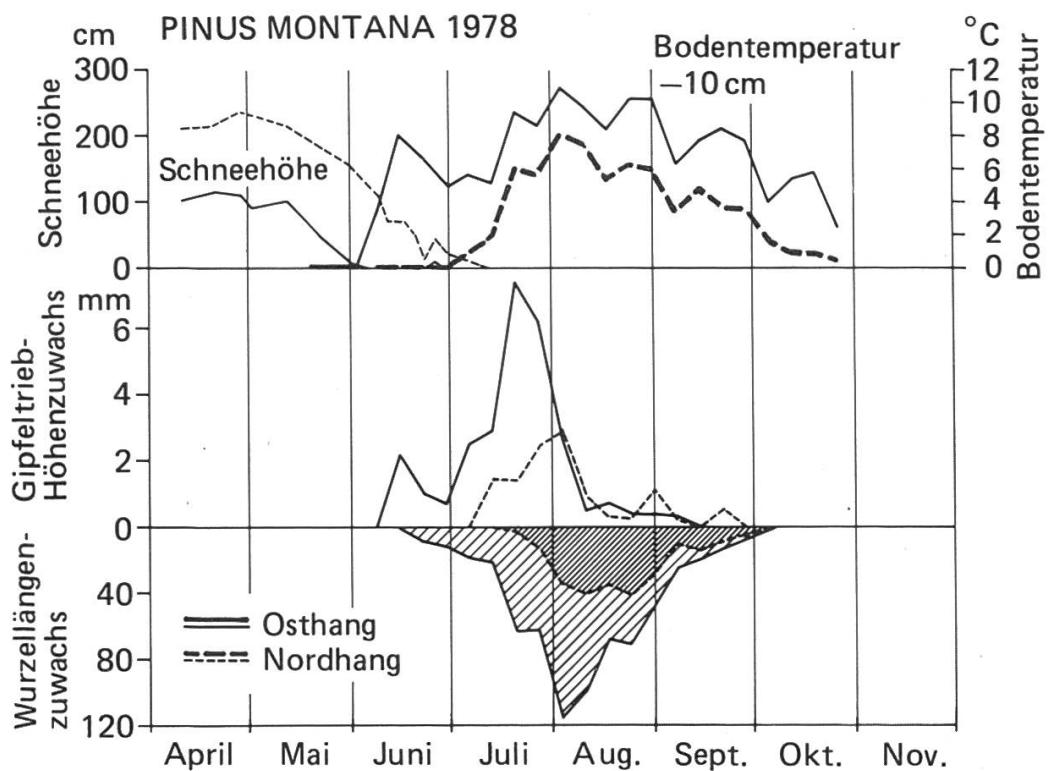


Abbildung 4.3 a. Jahreszeitlicher Gang wöchentlicher Mittelwerte von Bodentemperatur (in 10 cm Tiefe), Schneehöhe, Sprosszuwachs und Gesamtlängenzuwachs sichtbarer Wurzeln junger Bergföhren, auf ost- und nordexponierten Hängen der Versuchsfläche Stillberg im Jahre 1978. Die Zuwachsdaten sind Mittelwerte von je zehn gemessenen Pflanzen pro Standort. Alter der Pflanzen: sechs Jahre. Datum der Pflanzung: September 1976. Aus Turner und Streule, 1983.

werden kann. Pro Wurzelfenster kann das Wurzelwachstum von fünf Bäumchen erfasst werden. Die Messungen erfolgen während der Vegetationszeit (Juni bis Oktober) in wöchentlichen Intervallen auf drei unterschiedlichen Standorten (Osthang, Nordhang, Lawinenrunse) in etwa 2160 m Höhe ü. M. Pro Standortstyp sind zwei Wurzelfenster installiert, also insgesamt sechs Wurzelfenster mit 30 Jungbäumen. Um möglichst natürliche Bedingungen zu gewährleisten, sind die Wurzelfenster gut isoliert und abgedunkelt. Im Bereich der Wurzelfenster wird die Bodentemperatur in 10 cm Tiefe und die Temperatur am Spross in etwa 10 cm über Boden registriert.

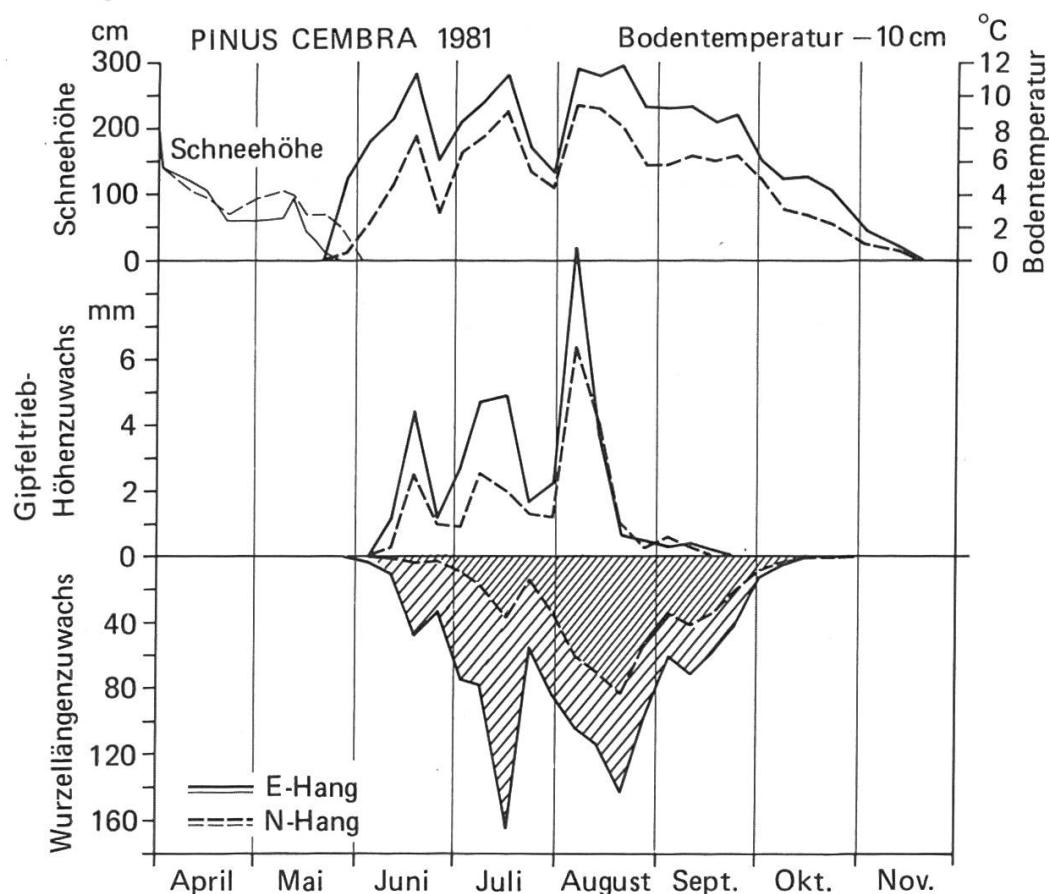


Abbildung 4.3 b. Wie Abbildung 4.3 a, jedoch Wachstumsverlauf der Arve im Jahr 1981. Alter der Pflanzen: acht Jahre. Datum der Pflanzung: September 1980. Aus Turner und Streule, 1983.

#### 4.3.3 Bisherige Ergebnisse

1. Das Wurzelwachstum setzt generell einige Tage nach Ausaperung bei einer Bodentemperatur von 2 bis 3 °C ein und kommt im Herbst bei ähnlichen Temperaturen knapp über dem Gefrierpunkt zum Stillstand, bei einzelnen Arven sogar erst mit effektivem Bodenfrost.

2. Die Bergföhre beginnt mit dem Wurzelwachstum bedeutend später als mit dem Sprosswachstum: am Osthang um etwa 1 Woche, am Nordhang um 2 bis  $2\frac{1}{2}$  Wochen später (Abbildung 4.3 a).
3. Im Vergleich zum mikroklimatisch günstigeren Osthang zeigen die am Nordhang einem besonderen Klimastress ausgesetzten Bergföhren und Arven eine ausgeprägte Verzögerung und Verminderung des Wurzelwachstums (Abbildungen 4.3 a und b).

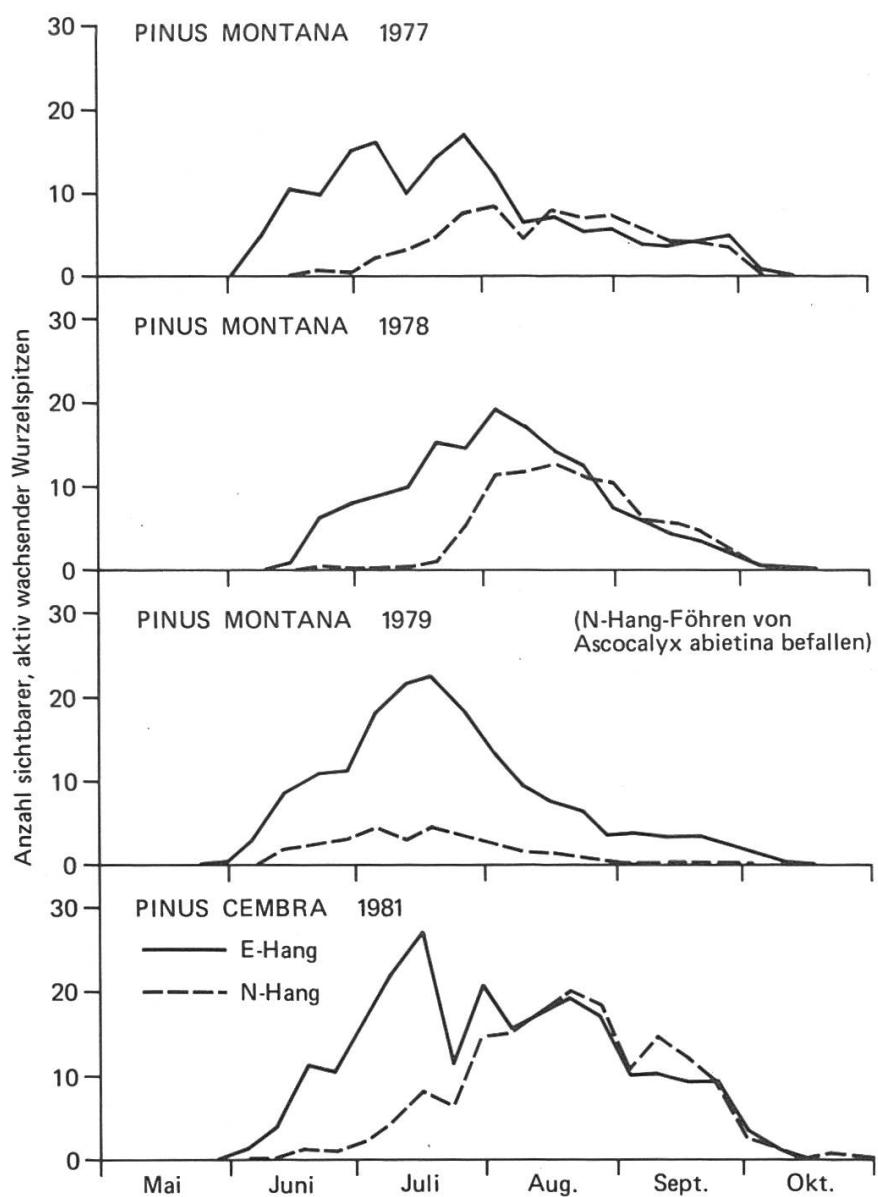
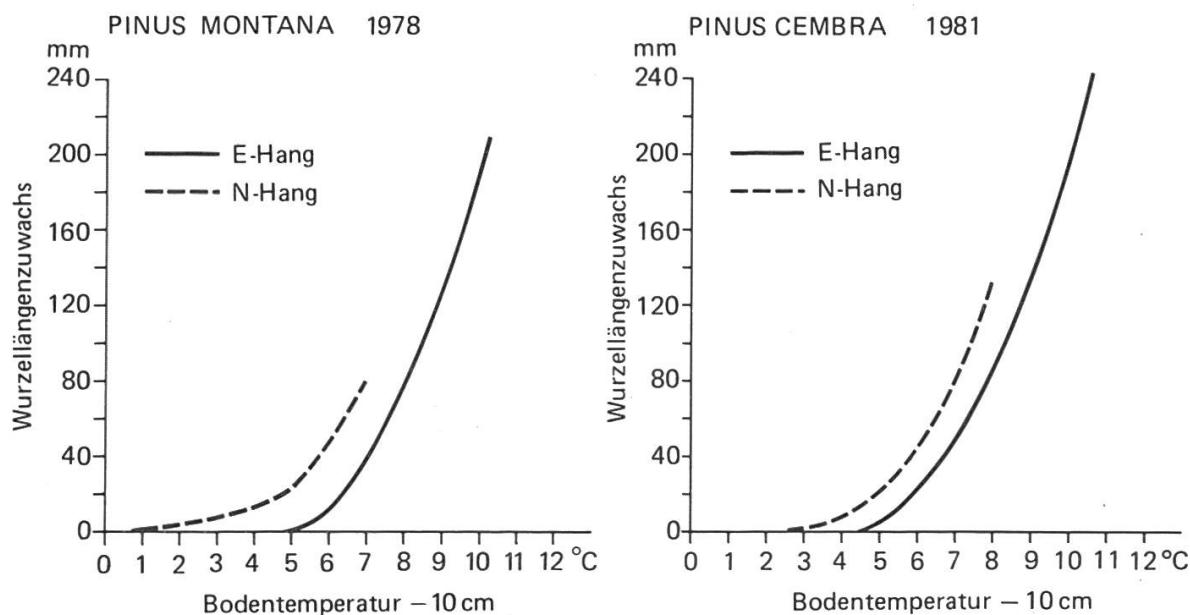


Abbildung 4.3 c. Anzahl sichtbarer, wachsender Wurzelspitzen junger Bergföhren und Arven an ost- und nordexponierten Hängen der Versuchsfläche Stillberg (Mittelwerte von je zehn Pflanzen pro Standort). Aus Turner und Streule, 1983.

4. Das Wurzelwachstum wird am nordexponierten Standort wesentlich deutlicher eingeschränkt als das Sprosswachstum (*Abbildung 4.3 b*).
5. Am Nordhang ist bei Arve und Bergföhre eine deutliche Verschiebung des Gipfels der Wurzelwachstumsaktivität gegen den Herbst hin feststellbar. Beide Baumarten bilden dann am kühlen Nordhang zudem zahlreichere wachsende Wurzelspitzen aus als am wärmeren Osthang (*Abbildung 4.3 c*).
6. Jeder markante Temperaturrückgang während der Vegetationszeit bedeutet eine Reduktion des Wurzellängenwachstums, sogar bis zum permanenten Wachstumsstillstand (*Abbildungen 4.3 a und b*). Umgekehrt führt ein deutlicher Anstieg der Bodentemperatur nicht nur zu schnellerem Wurzellängenwachstum, sondern auch zu verstärkter Neubildung von Feinwurzeln.
7. Eine interessante umweltabhängige Reaktion zeigen die Nordhangbäume insofern, als der Wurzellängenzuwachs bezogen auf gleiche Temperatur deutlich grösser war als jener der Osthangbäume (*Abbildung 4.3 d*).

In der Originalarbeit (Turner und Streule, 1983) sind diese Verhältnisse näher ausgeführt und auch Beziehungen zur Photosynthese und Trockensubstanzproduktion hergeleitet.



*Abbildung 4.3 d.* Abhängigkeit des Wurzellängenzuwachses junger Koniferen von der Bodentemperatur in 10 cm Tiefe an ost- und nordexponierten Hängen der Versuchsfläche Stillberg. Längenzuwachs aller sichtbaren Wurzeln pro Pflanze (Mittelwerte von zehn Pflanzen pro Standort). Aus Turner und Streule, 1983.

## 5. Der temporäre Stützverbau im Versuchsgebiet Stillberg

### 5.1 Zweck

(Franz Leuenberger, SLF)

Mittels durchgehend und aufgelöst angeordneter Stützverbauungen aus Holz galt es, den Abgang von grossen Schneebrettern und Lockerschneelawinen zu verhindern. Die Werke sollten kleinere Schneerutsche schadlos überstehen und die Aufforstung vor grossflächigen Schäden schützen.

Hauptzweck in diesem Lawinenanrissgebiet war die Überprüfung jener technischen Schutzmassnahmen, die für das Aufkommen einer Aufforstung erforderlich sind. Die Erprobung von verschiedenen Bautypen unter kontrollierten Bedingungen sollte einen Vergleich zwischen der Aufforstung ohne bzw. mit baulichen Schutzmassnahmen ermöglichen. Die Werke wurden in einer *durchgehenden* Variante mit richtliniengemässen Abständen (*Richtlinien*, 1968) und in einer *aufgelösten* Variante mit doppelten Werkabständen und Werkzwischenräumen angeordnet (Werklängeneinsparung von 30 bis 50%; *Abbildung 3.1 b*).

Man wollte die folgenden Versuchsfragen beantworten:

- Welches sind die Unterschiede in Art, Ausmass und Häufigkeit der Lawinenanrisse in den unterschiedlich stark verbauten Anrisszonen?
- Wie wirkt sich der durchgehende bzw. der aufgelöste Lawinenverbau auf den Aufwuchs der Aufforstung aus?
- Welche Mängel und Schäden treten an den verschiedenen Werktypen und in den verschiedenen Anordnungen auf?

### 5.2 Bautyp

(Franz Leuenberger, SLF)

Der anzuwendende temporäre Bautyp sollte folgende Anforderungen erfüllen: Sicherstellung des Aufwuchses der Aufforstung durch hohe Widerstandsfähigkeit, Wirksamkeit und Standdauer bei möglichst geringen Baukosten.

Die Grundlagen für das Verbauprojekt und die Bautypenwahl lieferten die Richtlinien (1968) des Eidgenössischen Oberforstinspektorate für den Stützverbau sowie die in Kapitel 3.4 erwähnten Winterbeobachtungen im Gebiet.

In Zusammenarbeit mit der Eidgenössischen Materialprüfungsanstalt (EMPA) ist der nachfolgend beschriebene Rundholz-Schneerechen berechnet, entwickelt und im Versuchsgebiet Stillberg in den Jahren 1968 bis 1972 erstellt worden. Eine ausführlichere Beschreibung des Bautyps findet sich bei *in der Gant*, 1972; über den praxisbezogenen Schutz von Aufforstungen durch temporäre Verbaumassnahmen berichten Leuenberger und Frey, 1987, sowie Schönenberger *et al.*, 1989. Folgende wesentlichen Vorteile führten zur Wahl des in *Abbildung 5.2* dargestellten Werktypes, einer Rechenkonstruktion:



Abbildung 5.2. Versuchsgebiet Stillberg, Variante Verbau aufgelöst; temporärer Stützverbau mit Holzschnerechen Typ EISLF.

- geringe schneemechanische Beanspruchung (Rechenbalken in Zugrichtung);
- günstige Verteilung der Zugkraft (zehn Rosthölzer auf Pfette bzw. Schwelle);
- nur zwei horizontal liegende Hölzer, nämlich die Pfette und die Schwelle;
- günstige Anordnung der Rosthölzer für die aufwachsende Aufforstung (geringere Abbiegeschäden der Bäumchen auf dem Rost).

Die angeführten Details können von Schneebrückenkonstruktionen nicht erfüllt werden. Die auf diesem Standort erforderliche Standdauer der Holzschutzwerke konnte mit einer industriellen Wechseldruck-Imprägnierung der verwendeten Hölzer erreicht werden.

Der Einbau der Schwelle in den gewachsenen Boden (Fundationstiefe mindestens 1,0 m) und das Wiedereinfüllen und Einstampfen des Aushubes brachten gegenüber den üblichen, offengelassenen Bermen eine wesentliche Erhöhung der Zugfestigkeit bei dynamischer Belastung der bergseitigen Werkfundation. Wo die Zugfestigkeit der zugedeckten Schwelle ungenügend war (zum Beispiel bei Randwerken), wurden zusätzlich entweder Eisenpfähle oder Stahlbügel (Felsverankerung) eingesetzt. Verglichen mit der offenen Schwellenberme wurde mit dem Wiedereinfüllen des Aushubes die Gefahr von Erosionsschäden und Absackungen vermindert. Das Überdecken verschiedener Holzelemente bedingte allerdings, dass diese Elemente mit entsprechenden Schutzmassnahmen (Holzbautechnik/Imprägnierung) vor frühzeitiger Zerstörung durch Fäul-

nis geschützt werden mussten. Zusätzlich zur industriellen Grundimprägnierung wurden alle im Boden eingebauten Holzteile in der sogenannten Tag-Nacht-Zone (rund 20 cm im bis etwa 20 cm über dem Boden) mit einer Imprägniersalz-Bandage gegen die verstärkten Pilzangriffe geschützt. Auch sind alle nach der Grundimprägnierung angebrachten Schnittflächen mit einem geeigneten Schutzmittel nachbehandelt. Die Pfette wurde für ausgeglichene Biegemomente dimensioniert und zur Vermeidung von stagnierendem Wasser auf der ganzen Länge mit einer Aluminiumfolie bedeckt.

Die Stützen mit dem obenliegenden Pfettenlager wurden auf eine armierte Betonplatte als Stützenfundament gestellt. Deren Grundfläche und die Armierung wurden so dimensioniert, dass die zentrisch wirkenden Druckkräfte innerhalb der zulässigen Grenzwerte für Platte und Bodenpressung blieben. Die Verbindung Stütze – Platte erfolgte mit einem Rundeisendorn.

Die Dimensionierung der Rostbalken basierte auf der maximalen Schnebelastung bei einer Rostneigung von  $15^\circ$  (Winkel Stützfläche – Hangsenkrechte). Durch die Vorkragung der Rostbalken sollten bei voll hinterfülltem Werk wie bei der Pfette möglichst ausgeglichene Biegemomente erreicht werden. Zur Versteifung der Tragkonstruktion gegen Seitenbelastungen wurden sogenannte Büge (Halbhölzer) zwischen Stütze und Pfette angebracht.

Bei den Nagelverbindungen wurden die nötigen holzbautechnischen Forderungen erfüllt. Die Nägel wurden minimal 10 cm ins zweite Holz eingeschlagen, der Abstand Holzende – Nagel betrug mindestens 12 cm. Wo die Nagelverbindungen zur Aufnahme der Zugkräfte nicht mehr genügten (Randwerk ab Konstruktionshöhe  $H_k$  3,4 m), wurde zusätzlich zur Nagelverbindung eine Seilverbindung von der Schwelle zur Pfette angebracht. Die Werke sind 30 bis 50 cm weniger hoch gebaut als die extreme Schneehöhe am Werkstandort. Die Abschätzung der extremen Schneehöhe war auf Grund der mehrjährigen Schneehöhenmessungen möglich.

Diese Rundholzschneerechen haben sich bis heute sowohl in bezug auf den angewandten Holzschutz wie auch als Konstruktion bewährt.

### 5.3 Auswirkungen des temporären Stützverbaues

#### 5.3.1 Schneehöhen und Schneedeckungsdauer (Jiri Rychetnik, SLF)

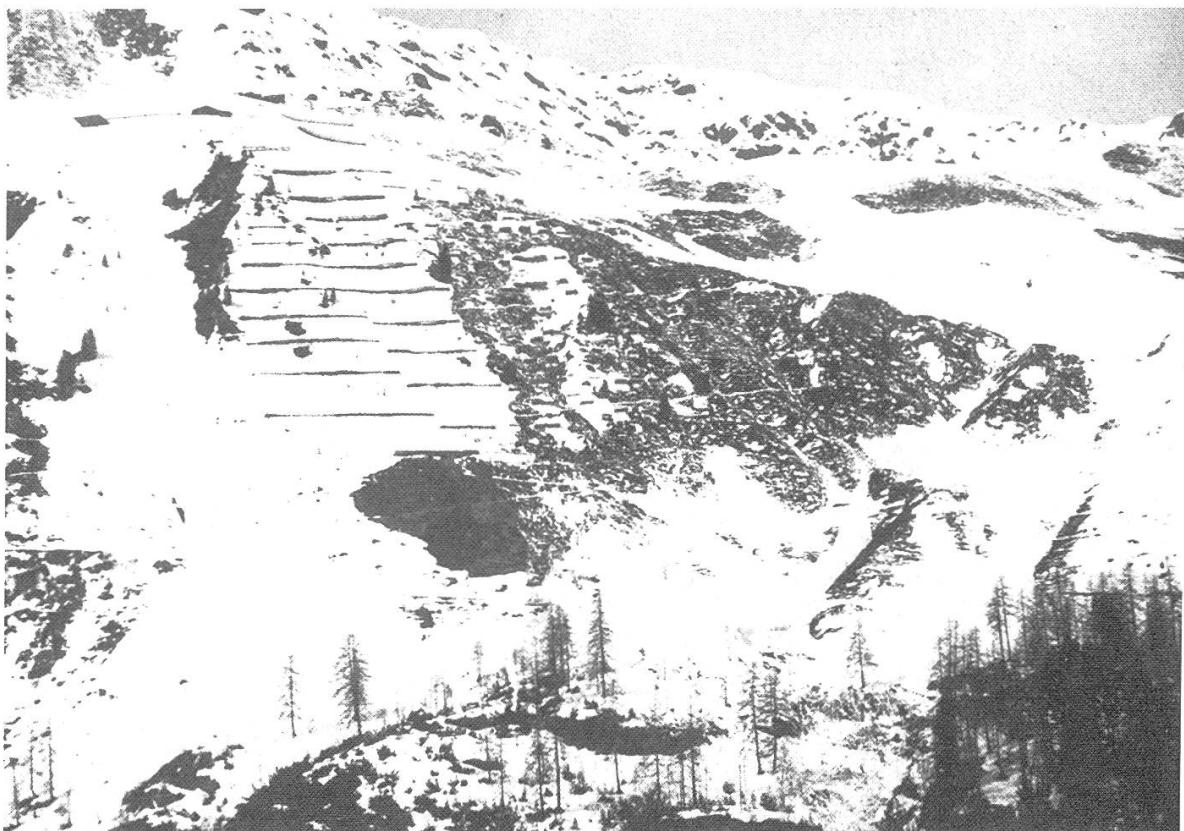
Die Schneeablagerung wurde durch den Stützverbau beeinflusst, und zwar vor allem durch die Änderung des Windfeldes und die Verhinderung des Schneeabtransports durch Lawinen. Die Schneemenge und die Schneeverteilung sind somit auch durch die Art des Lawinenverbaues, dessen Anordnung und Dichte geprägt. Im durchgehend verbauten Teil der Versuchsfläche Stillberg schätzen wir eine Zunahme des Flächenmittels der Schneehöhen von

durchschnittlich etwa 20 bis 30 cm als Folge des Lawinenverbaues. Die grössten Schneehöhen fanden sich unabhängig vom Geländerelief direkt oberhalb der Werke, während unterhalb weniger Schnee lag. Standorte im Trauf der Werke blieben sogar oft ohne Schneebedeckung.

Auf Grund der veränderten Schneeverteilung war auch eine Verzögerung der Ausaperung auf den verbauten Flächen zu erwarten. Auf der Ausaperungskarte (*Abbildung 3.4 a*) beginnt sich für die Periode 1975 bis 1982 der Einfluss der Verbauung abzuzeichnen.

### 5.3.2 Lawinen (*Jiri Rychetnik, SLF*)

Ein Vergleich der Lawinenaktivität vor und nach der Erstellung des temporären Stützverbaus zeigte, dass im durchgehend verbauten Teil die Frequenz von Schneebrettlawinen in der Periode nach dem Verbau um 58% und auf der darunterliegenden Fläche um 54% reduziert war. Im aufgelöst verbauten Teil zeichnete sich eine Reduktion der Lawinenhäufigkeit um 16% und auf der darunterliegenden Teilfläche um 41% ab. Die aufgelöste Anordnung der Stützwerke genügte bei extremen Schneebedingungen nicht. *Abbildung 5.3 a* zeigt als Beispiel dafür die Situation vom 11. bis 19. Mai 1979.



*Abbildung 5.3 a.* Lawinensituation vom 11. bis 19. 5. 1979 in der Versuchsfläche Stillberg.

Der Anteil der Lockerschneelawinen auf Stillberg war mit 77% aller Lawinen gross, ihre Ausdehnung war aber kleiner als diejenige der Schneebrettawinen, und ihre Tiefe blieb meist auf die obersten Schneeschichten beschränkt. Sie könnten sich jedoch bei entsprechenden Voraussetzungen und bei fehlender oder ungenügender Einengung zum Beispiel durch Lawinenverbau zu grossflächigen und tiefer greifenden Lawinen entwickeln.

### 5.3.3 Aufforstung (Werner Frey, SLF)

Einige Wirkungen des Werkbaues auf die Aufforstung 1975 wurden näher untersucht. Für die verbauten Teilflächen wurde für jeden Baum der Pflanzort auf die Werke bezogen aufgenommen, und zwar unterschieden nach den folgenden Zonen:

- Werktrauf (in der Projektion der Werkkonstruktion liegend)
- Druckzone 1 (bis 1 Hk oberhalb des Werkes, schief am Hang gemessen, wobei unter Hk die lotrechte Höhe des Werkes verstanden wird)

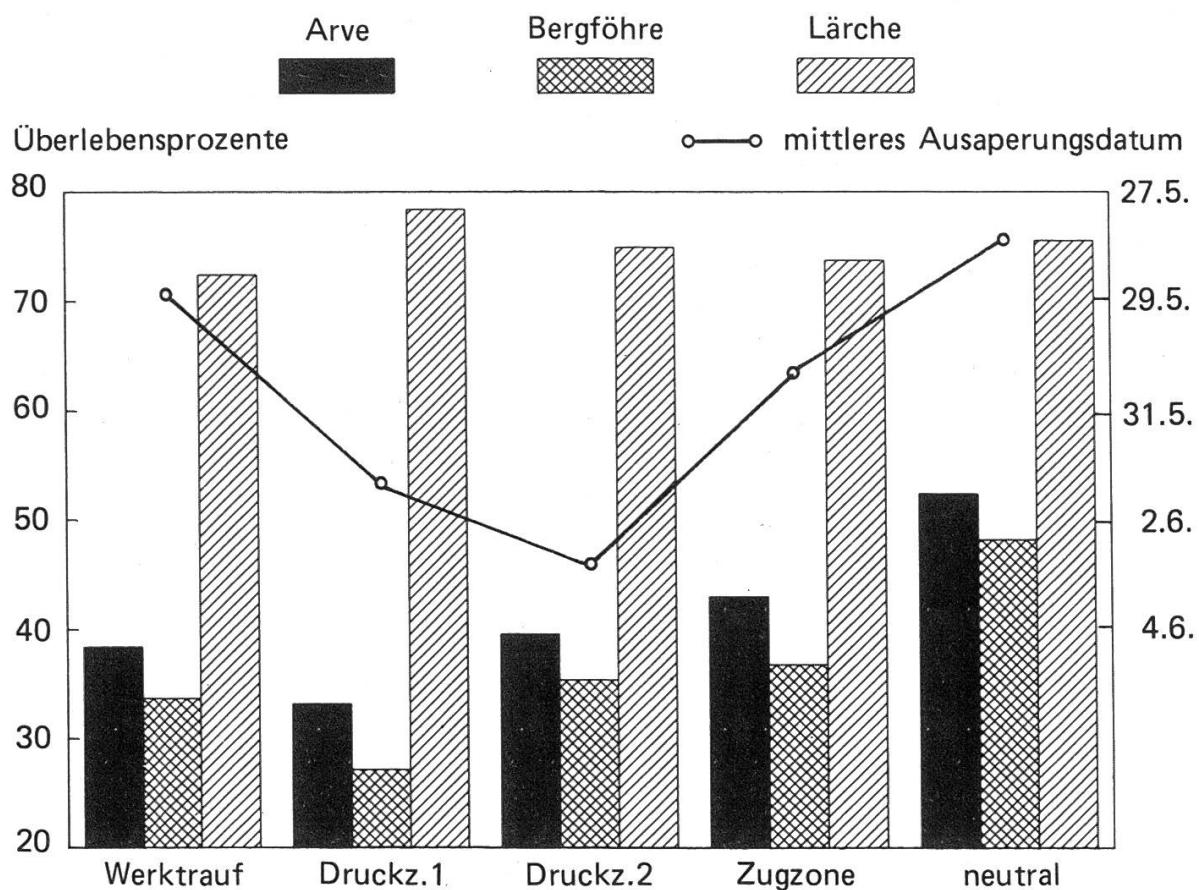


Abbildung 5.3 b. Überlebensprozente 1985 und mittlere Ausaperungsdaten 1975 bis 1982 in den ausgeschiedenen Zonen bezüglich Stützwerke, berechnet für die Einheitsflächen. Verbaute Teilfläche der Aufforstung 1975.

- Druckzone 2 (1 bis 2 Hk oberhalb des Werkes, schief am Hang gemessen)
- Zugzone (bis 1 Hk unterhalb des Werkes, schief am Hang gemessen)
- Randzone (bis 2 m neben dem Werk, alle oben genannten Zonen umfassend)
- Neutrale Zone (übrige Flächen im verbauten Teilgebiet)

Die Auswertung wurde auf der Basis der Einheitsflächen (EF) durchgeführt, indem jede Einheitsfläche derjenigen Zone zugeordnet wurde, in welcher die meisten Bäume der EF liegen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Errichtung eines Lawinenstützverbaus die Überlebensrate senkte durch eine Verlängerung der Schneebedeckung, und zwar bei den immergrünen Arten Arve und Bergföhre deutlich, während die Lärche wenig darauf reagierte (*Abbildung 5.3 b*). Dies war vor allem in den länger schneebedeckten oberen Höhenzonen und der aufgelöst verbauten Teilfläche ausgeprägt. Als Ausfallursache wirkte insbesondere auf den länger schneebedeckten Standorten bei Bergföhre und Arve das Triebsterben; bei Arve waren zudem Föhrenschütte und Schneeschütte ausschlaggebend. Der Zuwachs der Überlebenden wurde bisher durch deren Pflanzort bezüglich der Werke kaum beeinflusst.

#### *5.4 Les constructions paravalanches temporaires de la surface d'essais du Stillberg (résumé)* (Werner Frey, ENA; traduction: *Vincent Barbezat, IFRF*)

La construction d'ouvrages paravalanches temporaires a permis de déterminer quelles sont les mesures minimales de protection nécessaires à la réussite d'une afforestation.

Le type d'ouvrage choisi, une construction en râtelier avec rondins d'épicéa imprégnés et traverses ancrées dans le sol, s'est avéré jusqu'à aujourd'hui très efficace. La documentation concernant la construction de ces ouvrages peut être retirée auprès de l'ENA.

Les ouvrages paravalanches temporaires entraînèrent une augmentation de la hauteur de neige directement au-dessus des rangées d'ouvrages, liée naturellement à une fonte des neiges plus tardive, ce qui se répercuta sur le taux de survie du pin de montagne et de l'arolle, avant tout dans la zone tampon; le mélèze par contre s'est montré moins sensible.

Les constructions paravalanches n'ont pas pu empêcher toute avalanche dans la surface, mais ont nettement réduit l'activité des avalanches par plaques.

## 6. Die Versuchsaufforstung Stillberg 1975

### 6.1 Versuchsanlage und -ausführung der Aufforstung Stillberg (Werner Frey, SLF)

#### 6.1.1 Versuchsanlage Stillberg

Die Versuchsanlage ist in die folgenden drei Varianten gegliedert:

- Variante ohne Lawinenverbauungen, im Südosten der Fläche gelegen, etwa 3 ha Fläche, bezeichnet als Variante U = Unverbaut.
- Variante mit Lawinenverbauungen, welche gemäss den Richtlinien 1968 erstellt wurden, etwa 1 ha Fläche, bezeichnet als Variante Vd = Verbau durchgehend.
- Variante mit Lawinenverbauungen, wobei nur etwa die Hälfte der gemäss Richtlinien 1968 notwendigen Werke in aufgelöster Anordnung erstellt wurden, etwa 1 ha Fläche, bezeichnet als Variante Va = Verbau aufgelöst.

Diese drei Varianten wurden in identischer Art ausgepflanzt, und zwar zwischen den Höhenkoten 2080 m ü. M. und 2230 m ü. M. Die Lage dieser drei Varianten und der Aufforstungsfläche ist aus *Abbildung 3.1 b* ersichtlich.

#### 6.1.2 Pflanzennachzucht, Provenienzen

Die Aufforstung wurde mit den folgenden drei Baumarten, Provenienzen, Baumaltern und Baumhöhen durchgeführt (Frehner, 1977):

Arve	<i>Pinus cembra</i> L.	Capettawald, Avers GR	2050 m ü. M.	NE 4/1 14 cm
Bergföhre	<i>Pinus mugo</i> TURRA	Briançon, Frankreich	2150 m ü. M.	NW 2/1 10 cm
Lärche	<i>Larix decidua</i> L.	Sils-Maria, Engadin GR	2050 m ü. M.	NW 1/0 2 cm

Die Arve wurde im Pflanzgarten Klosters, die Bergföhre und die Lärche im Pflanzgarten der EAFV in Birmensdorf ZH gesät. Verschult wurde die Arve in Klosters, die Bergföhre in Birmensdorf, während die Lärche im Juni 1974 in Birmensdorf in kleine Töpfe pikiert wurde.

Alle drei Baumarten wurden in Davos Dorf vertopft. Über den Winter 1974/75 war die Bergföhre in einem Kühlhaus in Davos und die Lärche in Davos Dorf unter Schnee gelagert, während die Arve direkt aus dem relativ spät ausapernden Pflanzgarten Klosters zur Vertopfung nach Davos gebracht wurde.

Die etwas über 120 000 Pflanzen wurden in «Fertil-Pots» (Grösse 10 x 10 cm) in ein Substrat von leicht gedüngtem, gut befeuchtetem Torf vertopft (Frey, 1977 b), und zwar nach der bei Schönenberger *et al.*, 1989, beschriebenen

Methode. Die kleinen Töpfchen, in welche die Lärchen pikiert waren, wurden dabei entfernt.

Bis zur Pflanzzeit im Juli/August 1975 wurden die vertopften Pflanzen im Topfquartier in Davos Dorf sorgfältig gepflegt, so dass die Durchwurzelung der Töpfe beginnen konnte. In diesem Topfquartier wurden die Pflanzen auch in stapelbare Plastikharasse für den Transport nach Stillberg abgefüllt.

#### *6.1.3 Aufforstungstechnik, Pflanztechnik, Transport*

Die Aufforstung wurde flächendeckend in quadratischen Einheitsflächen (EF) mit einer horizontalen Seitenlänge von 3,5 m ausgeführt. Die Baumart wechselt von jeder EF zur nächstfolgenden EF. In der darunterliegenden Reihe wurden die Baumarten je um eine EF verschoben. Damit ist jede Einheitsfläche von einem identischen Muster der Nachbarflächen umgeben. Total wurden 4052 Einheitsflächen ausgepflanzt, je ein Drittel mit Arve, Bergföhre und Lärche.

Innerhalb der EF beträgt der Pflanzabstand 0,7 x 0,7 m, was einer maximalen Pflanzenzahl von 25 pro EF beziehungsweise von 20 000 Pflanzen pro ha entspricht. Wo wegen Steinen, Geröll oder Versuchseinrichtungen die Pflanzung am Sollpflanzort nicht möglich war, entfiel die Pflanzung des entsprechenden Baumes. Bei dieser Anordnung ist die genaue Identifizierung eines jeden der etwa 92 000 gepflanzten Bäume möglich.

Die Pflanzfläche wurde im Juli und August 1974 von lose herumliegenden Steinen geräumt. Um die Pflanzlöcher wurde die Vegetation auf einer Fläche von rund 30 x 30 cm geschält und anschliessend der Boden im Bereich des Pflanzloches durchmischt. Damit wurde die Vegetationskonkurrenz in den ersten Jahren eingedämmt und die Bodenrauhigkeit erhöht. Die vertopften Pflanzen wurden dann in einer sauber ausgeführten Lochpflanzung in der Periode vom 10. Juli bis 2. August 1975 eingebracht. Dabei wurde auf die entscheidend wichtige Überdeckung des Topfrandes mit etwa 1 cm Erde geachtet, damit die Pflanzen nicht infolge Austrocknung an der richtigen Durchwurzelung des Topfes gehindert werden.

Die bei der Verwendung von Topfpflanzen recht grossen Transportprobleme konnten dank ausgebauter Infrastruktur (Strasse Davos Dorf bis Dischma, Seilbahntransport zur Stillbergalp, Transport mit zwei Materialseilbahnen in die Pflanzfläche, Feinverteilung von Hand) gut bewältigt werden.

Eine Zusammenstellung der in diesem Kapitel nur kurz beschriebenen Arbeiten finden sich bei Frey, 1977 a.

#### 6.1.4 Vergleichsaufforstungen

Gleichzeitig mit der Anlage des Hauptversuches Stillberg wurden zwei kleinere, geländemässig ziemlich ausgeglichenen und örtlich getrennte Gebiete aufgeforstet. Die Vergleichsaufforstungen umfassen je 66 Einheitsflächen, welche in gleicher Weise wie in der Versuchsfläche Stillberg angeordnet sind. Das Ziel war, die Entwicklung der Pflanzen an einem Südwesthang (Vergleichsaufforstung Lucksalp, Dischmatal) und einem Südosthang (Vergleichsaufforstung Rudolf, ob Davos) mit den Ergebnissen des Stillbergversuches vergleichen zu können. Ausser den Schnee- und Lawinenverhältnissen werden in diesen Vergleichsaufforstungen keine Klimadaten bestimmt.

Die Pflanzengesellschaften beider Flächen sind durch den Übergang von ehemaligen Weideflächen zur Wacholder-Bärentraubenheide mit Heidekraut charakterisiert. Beide Flächen liegen deutlich oberhalb der aktuellen Waldgrenze und sind zwischen 60 und 80% steil. Die Vergleichsaufforstung Rudolf war in den zehn Berichtswintern schneereicher als die Vergleichsaufforstung Lucksalp (mittleres maximales Flächenmittel der Schneehöhen 176 cm bzw. 142 cm) und aperte später aus (mittleres Ausaperungsdatum 20. bzw. 15. Mai; Vergleichswert für die Fläche Stillberg: 21. Mai). Die mittlere Dauer der saisonalen Schneedecke betrug 162 bzw. 155 Tage (Mittel für Stillberg: 195 Tage). Die Vergleichsaufforstung Rudolf wurde in den zehn Wintern von deutlich mehr Lawinen berührt als die Vergleichsaufforstung Lucksalp (25 bzw. 4 Lawinen). In beiden Flächen beeinflussten jedoch nur je zwei Lawinen die Pflanzen direkt.

## 6.2 Ein Modell des Ökosystems Gebirgsaufforstung

(Walter Schönenberger, EAFV)

In der Modelldarstellung des Ökosystems einer Gebirgsaufforstung (Abbildung 6.2) steht das Gedeihen der Aufforstung in Abhängigkeit vom Standort im Zentrum der Betrachtung. Der Aufforstungserfolg bemisst sich aufgrund der Überlebensrate, des Gesundheitszustandes und des Wachstums, welche zusammen den Nettozuwachs ausmachen. Die Bäumchen sind in eine komplexe Umwelt gestellt; die verschiedenen Standortsfaktoren wirken direkt oder indirekt über Schäden und Krankheiten, fördernd oder hemmend auf den Nettozuwachs der Bäumchen ein. Sie sind auch untereinander mannigfach verknüpft und in einer gewissen Hierarchie abhängig.

Bei der folgenden Auswertung des Aufforstungserfolges in Abhängigkeit von den Standortsbedingungen können aus der Vielzahl der verfügbaren Angaben nur einige wichtige Beziehungen aufgezeigt werden. Für die praktische Arbeit der Standortsbeurteilung sind vor allem solche Faktoren von Interesse, welche im Gelände leicht erkennbar und weitgehend unabhängig von andern

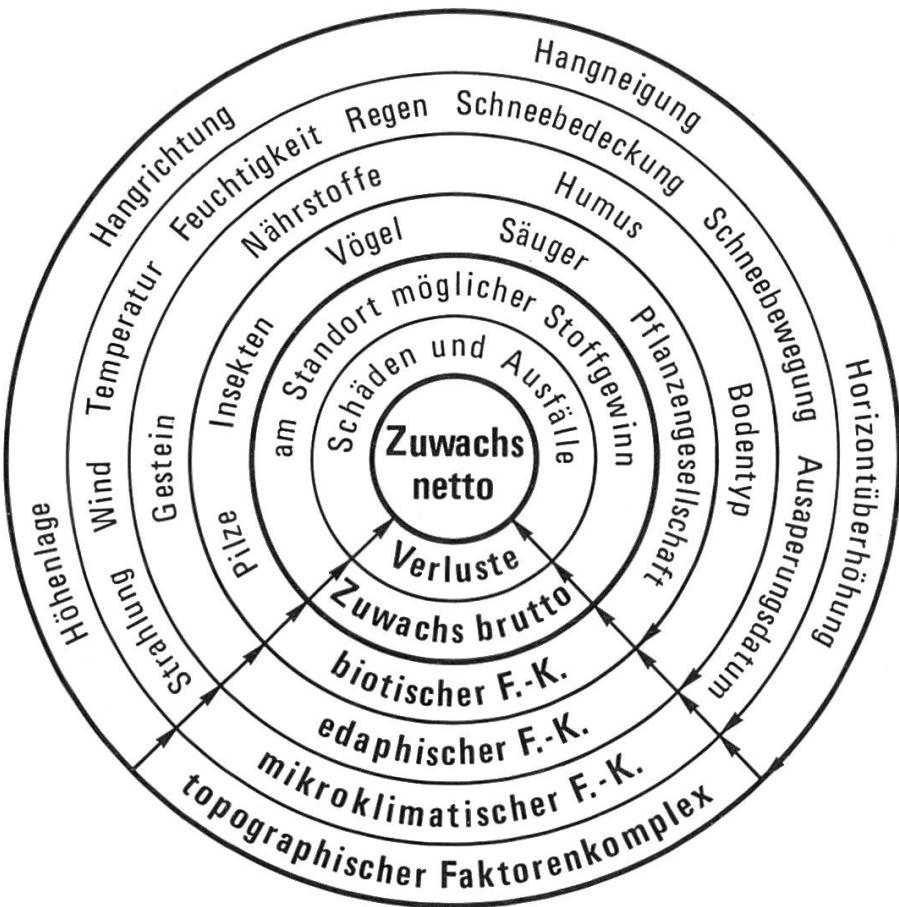


Abbildung 6.2. Okosystemmodell Gebirgsaufforstung. Im Zentrum der Betrachtung der Nettozuwachs der Bäumchen nach Abzug der Verluste durch Schäden und Ausfälle vom Bruttozuwachs. Die Umwelt der Aufforstung gegliedert in vier Faktorenkomplexe (F.-K.), von aussen nach innen und von links nach rechts zunehmend abgeleitet und komplexer vernetzt.

sind, jedoch alle andern stark prägen. Im Modell sind diese Faktoren in den äusseren Schalen aufgeführt.

Ebenfalls spezielles Augenmerk verdienen schliesslich jene Merkmale, welche sozusagen als Indikatoren für das Zusammenwirken aller übrigen Faktoren gelten können, wie etwa die Vegetation. Aufgrund der Vegetation kann man Erfahrungen am besten von einer Gegend in eine andere übertragen. Ein Nachteil ist die aufwendige und schwierige Ansprache der Pflanzengesellschaften. Komplexe, stark von anderen Einflüssen geprägte Standortsfaktoren sind im Modell in den inneren Schalen zu finden.

## 6.3 Die Überlebensraten in der Versuchsaufforstung Stillberg (Walter Schönenberger, EAFV, und Werner Frey, SLF)

### 6.3.1 Überlebensrate 1985 auf Stillberg, Lucksalp und Rudolf

Zur Ermittlung der Überlebensraten wurden jährlich alle noch lebenden Bäumchen aller 4052 bepflanzten Einheitsflächen Stillberg und der je 66 Einheitsflächen der Vergleichsaufforstungen ausgezählt.

Im Hauptversuch Stillberg haben im Durchschnitt über alle Standorte 49% der Arven, 46% der Bergföhren und 77% der Lärchen die ersten zehn Jahre seit der Pflanzung überlebt (Abbildung 6.3 a). Auf Lucksalp war der Erfolg bei allen Baumarten viel besser (Arve 70, Bergföhre 98, Lärche 92%), auf Rudolf bei Arve (62%) und Bergföhre (79%) mittel, bei der Lärche jedoch sehr schlecht (44%).

Der trotz durchschnittlich höherer Lage fast durchwegs bessere Erfolg in den Vergleichsaufforstungen erklärt sich wohl durch die bedeutend wärmere Exposition der Flächen. Vor allem die Bergföhre, am Stillberg an letzter Stelle, konnte davon profitieren. Die grossen Ausfälle der Lärche auf Rudolf wurden hauptsächlich durch die starke Wühltätigkeit von Mäusen in den ersten Jahren verursacht; sie lassen sich deshalb nicht direkt durch Standortsbedingungen erklären. Die Ausfallursachen werden im Kapitel 6.4 behandelt.

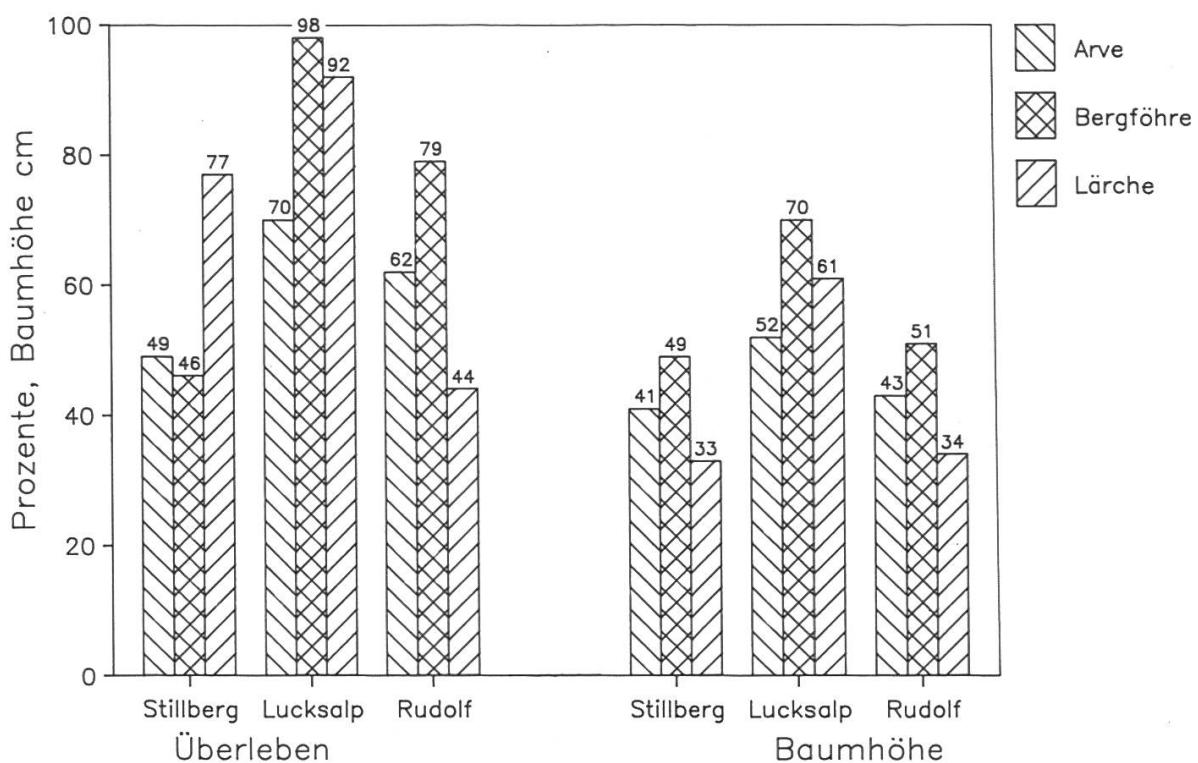


Abbildung 6.3 a. Vergleich der Überlebensraten und der Baumhöhen 1985 in den Versuchsflächen Stillberg, Lucksalp und Rudolf. Mittelwerte über alle Einheitsflächen: Stillberg je Baumart 1351, in den Vergleichsaufforstungen je 22 EF.

## Überlebensprozente 1985 Arve

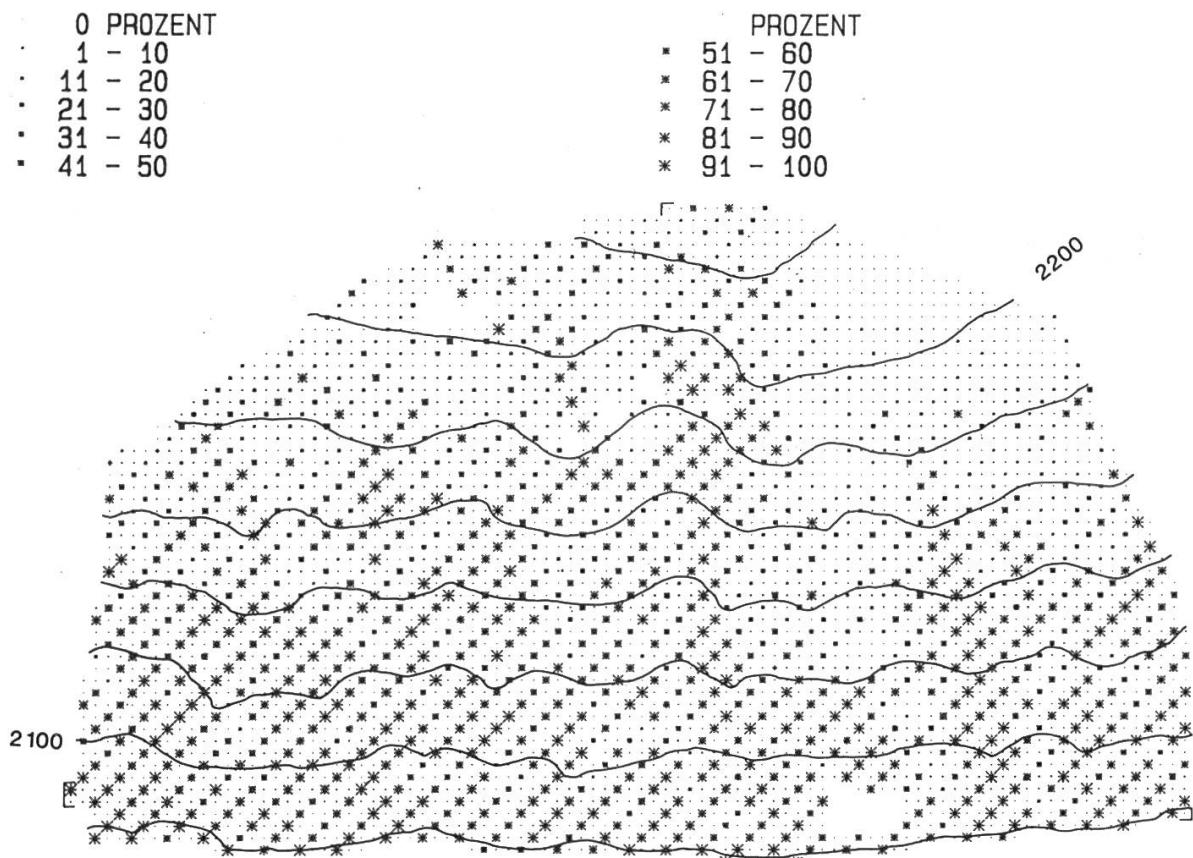


Abbildung 6.3 b. Karte der Überlebensraten 1985 in der Versuchsfläche Stillberg. Arve.

Die Grössenordnung der Ausfälle von bis zu 55% widerspiegelt die extreme durchschnittliche Lage vor allem der Fläche Stillberg. Die Vergleichsflächen entsprechen etwa den besseren Standorten auf Stillberg.

### 6.3.2 Die Verteilung der Überlebensrate 1985 im Gelände

Im Hauptversuch Stillberg war die Überlebensrate 1985 sehr ungleich im Gelände verteilt. Bei Arve und Bergföhre (Abbildungen 6.3 b und 6.3 c) war ein deutlicher Höhengradient festzustellen: Im oberen Flächenteil, besonders auf der Hangschulter, waren die Ausfälle sehr hoch im Vergleich zum Hangfuss. Im Mittelhang waren die Ausfälle vom Relief abhängig. Besonders die Lawinenrinnen, etwas weniger die anschliessenden Nordeinhänge zeichneten sich als Standorte mit den geringsten Überlebensraten ab, während die Osteinhänge und Geländerippen wenig Verluste aufwiesen. Die Lärche (Abbildung 6.3 d) hat auch auf der Hangschulter recht gut überlebt, die Ausfälle konzentrierten sich praktisch ausschliesslich auf die Lawinenrinnen, während alle übrigen Geländeformen nur wenige Verluste zu verzeichnen hatten.

## Überlebensprozente 1985 Bergföhre

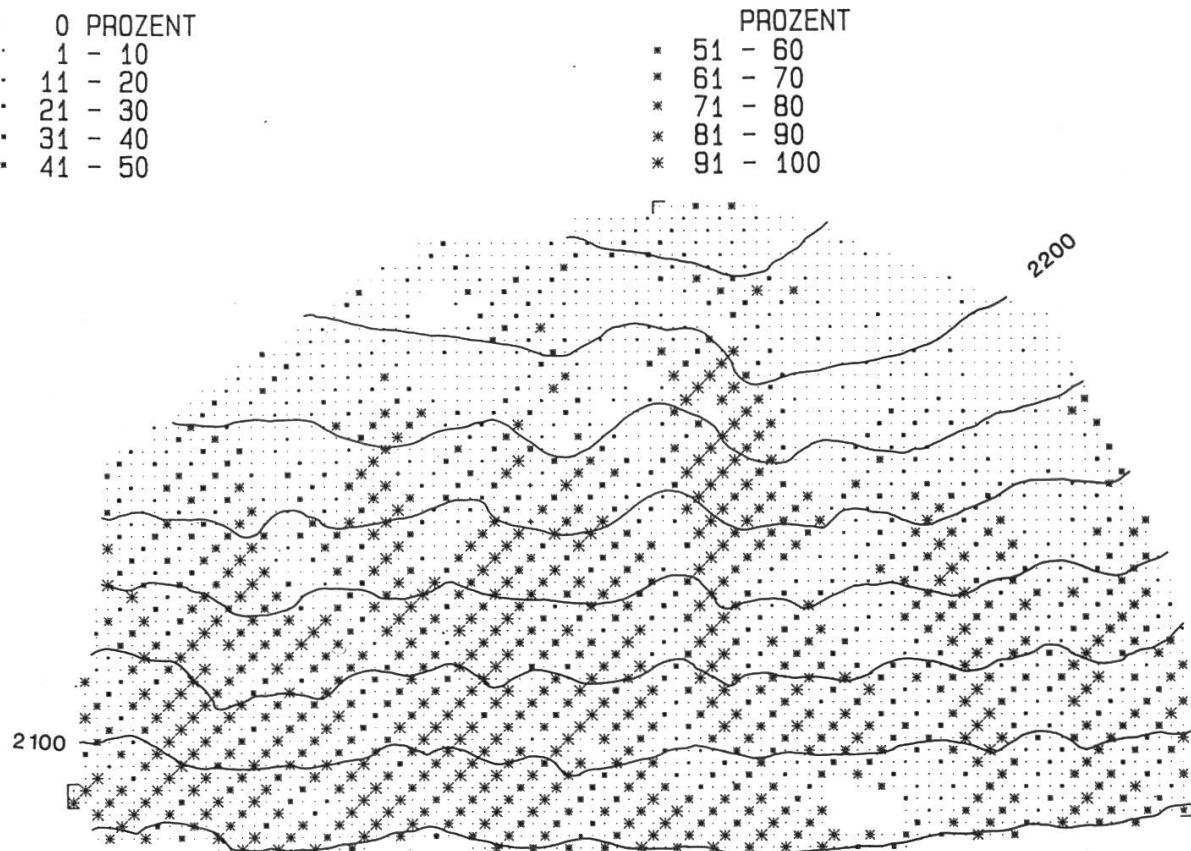


Abbildung 6.3 c. Karte der Überlebensraten 1985 in der Versuchsfläche Stillberg. Bergföhre.

### 6.3.3 Die Entwicklung der Überlebensraten bis 1985 nach Pflanzengesellschaften

Im Hauptversuch Stillberg konnten sich Arve und Bergföhre in den ersten fünf Jahren recht gut halten, haben doch noch 1980 rund 90% der Pflanzen gelebt (Abbildung 6.3 e). Seit 1981 haben sie dann allerdings anhaltend grössere Verluste erlitten. Die Lärche hatte demgegenüber in den ersten Jahren eher höhere Ausfälle zu verzeichnen als später, seit 1980 waren die Ausfälle nicht mehr nennenswert.

Das vergleichsweise sehr gute Überleben der Bäumchen in den allerersten Jahren (Anwuchsphase) war wohl der Verwendung von Topfpflanzen und der sorgfältigen Ausführung der Pflanzung zu verdanken, welche Abgänge durch Pflanzschock weitgehend ausschlossen. Dank der guten Wurzelregeneration in den Töpfen bereits vor der Auspflanzung konnte die Vertrocknungsgefahr stark herabgesetzt werden. Die Lärchen waren allerdings bei der Auspflanzung noch sehr klein und ihre Wurzelchen noch so schwach, dass eine beträchtliche Anzahl die Auspflanzung nicht lange überlebte. In der zweiten Hälfte des ersten Lebensjahrzehnts waren die weiteren Ausfälle dann kaum mehr von der Behandlung abhängig, sondern es begann die Auslese durch die Standorts-

## Überlebensprozente 1985 Lärche

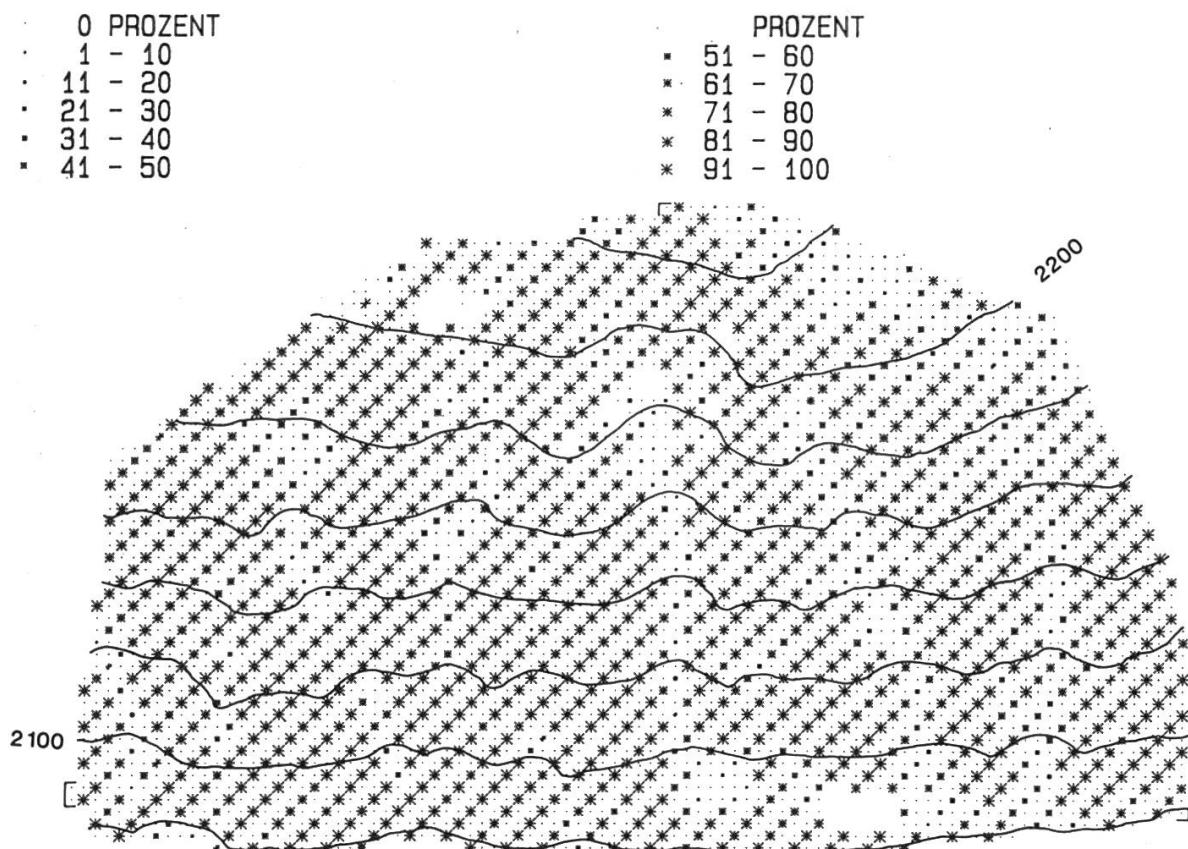


Abbildung 6.3 d. Karte der Überlebensraten 1985 in der Versuchsfläche Stillberg, Lärche.

bedingungen zu spielen. Von dieser Selektion wurde nun offensichtlich die Lärche viel weniger betroffen.

Von allen Pflanzengesellschaften war der Wollreitgrasrasen ganz deutlich die ungünstigste Pflanzengesellschaft für die Aufforstung. Hier waren wohl die Konkurrenz ums Licht sowie die extrem lange Dauer der Schneebedeckung verantwortlich für die grossen Verluste, jedoch noch kaum die hier recht häufigen Lawinenniedergänge. Ebenfalls sehr gross waren die Verluste der Arve und Bergföhre in den beiden Varianten der Krähenbeeren-Vaccinienheide auf den nordexponierten Runsenflanken mit ihren kalten, dicken Rohhumusauflagen, in der die Bäumchen kaum genügend Nährstoffe aufnehmen konnten. Hervorragend war der Erfolg durchwegs in den beiden wärmebegünstigten Varianten der Wacholder-Bärentraubenheide auf den Osthängen. Ebenfalls recht hoch waren die Überlebensraten in der schneearmen, früh ausapernden Windflechten-Azaleenheide auf den Geländerippen sowie in der Alpenrosen-Vaccinienheide vorwiegend am Hangfuss.

Die Lärche erreichte demgegenüber in allen Pflanzengesellschaften mit Ausnahme des Wollreitgrasrassens ziemlich gleichmässig hohe Überlebensprozente. Es scheint, dass sie bisher fast ausschliesslich unter der Konkurrenz

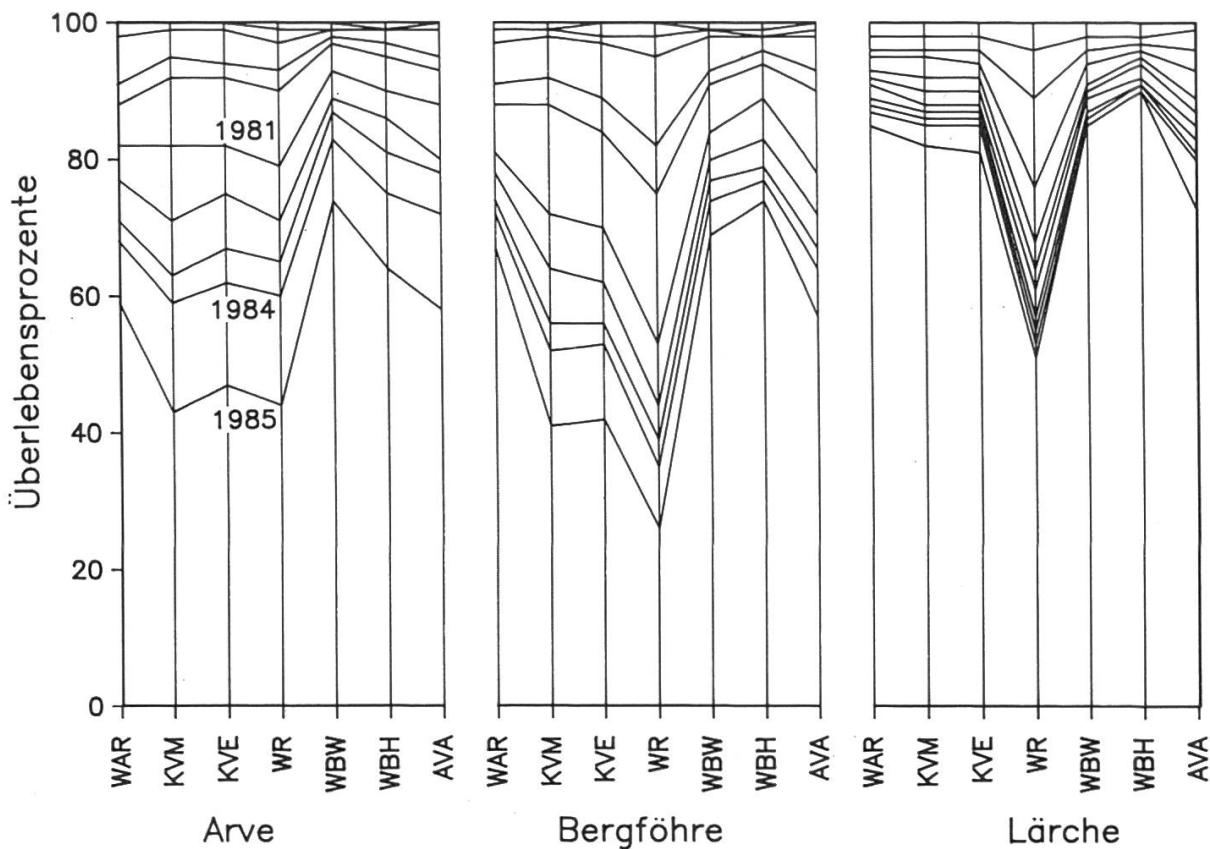


Abbildung 6.3 e. Entwicklung der Überlebensraten der drei Baumarten seit 1976 in den Pflanzengesellschaften. Die unterste Linie gibt die Überlebensprozente für 1985 an, die zweitunterste für 1984 usw., der Abstand der Linien somit die Abgangsprozente von Jahr zu Jahr. Vollaufnahmen der 4052 Einheitsflächen.

WAR = Windflechten-Azaleenheide mit Rentierflechten (137 EF pro Baumart)

KVM = Krähenbeeren-Vaccinienheide mit Moosen und Flechten (393)

KVE = KV mit Etagenmoos (413)

WR = Woll-Reitgrasrasen (198)

WBW = Wacholder-Bärentraubenheide mit Wacholder (61)

WBH = WB mit Heidekraut (58)

AVA = Alpenrosen-Vaccinienheide mit Alpenrose (80)

um Licht gelitten hat. Wie bereits betont, kann man aufgrund der Vegetation Erfahrungen am besten von einer Gegend in eine andere übertragen. So ist die Wacholder-Bärentraubenheide auf Stillberg standörtlich der Vergleichsfläche Lucksalp mit ähnlicher Vegetation nahezustellen, welche jedoch mehr Wärme geniesst.

#### 6.3.4 Die Überlebensrate 1985 nach Ausaperungsdatum

Die Überlebensprozente waren sehr klar mit dem durchschnittlichen Ausaperungsdatum und damit mit der Dauer der Vegetationsperiode korreliert (Tabelle 6.3). Im Mittel vor dem 21. Mai schneefreie Stellen waren für alle Baum-

Tabelle 6.3. Überlebensprozente 1985 nach Ausaperungszeitpunkt (mittleres Datum 1975 bis 1982). Vollaufnahme der 4052 Einheitsflächen.

Datum	Vor 12. Mai	12.– 21. Mai	22.– 31. Mai	1.– 10. Juni	nach 10. Juni	Mittel
Anzahl EF	356	852	1951	734	159	4052
Arve	73	68	51	21	5	49
Bergföhre	87	72	45	10	2	46
Lärche	84	87	79	63	40	77

arten weit überdurchschnittlich günstig, haben doch hier die Bäumchen zu etwa 80% überlebt. Der Aufforstungserfolg wurde dann immer geringer, je später die Ausaperung erfolgte. Offenbar ist ein mittleres Ausaperungsdatum gegen Ende Mai eine kritische Schwelle für die Aufforstbarkeit. Die erst im Juni schneefreien Stellen mit nur mehr 10 bis 20% überlebenden Arven und Bergföhren müssen auf dem Stillberg als nicht aufforstbar gelten. Der Anwuchserfolg der Lärche war etwas weniger ausgeprägt, aber immer noch deutlich, vom Ausaperungsdatum bestimmt.

Mit keinem anderen der überprüften Standortsfaktoren war die Überlebensrate auch nur annähernd so eng verknüpft wie mit dem Ausaperungsdatum. Dies ist von grosser praktischer Bedeutung, wird doch das Ausaperungsmuster somit ein hervorragender und gleichzeitig ein sehr einfacher Anzeiger für die Aufforstungsgunst, denn es kann im Frühjahr direkt im Gelände abgelesen, kartiert oder fotografiert werden. Dabei ist allerdings ein allfälliger Schneeeabtrag durch Lawinen im vorangegangenen Winter zu beachten. Selbst im Sommer kann das Ausaperungsmuster aufgrund der Geländeformen noch abgeschätzt werden.

#### 6.4 Die wichtigsten Schäden in der Versuchsaufforstung Stillberg (Walter Schönenberger, EAFV, und Werner Frey, SLF)

##### 6.4.1 Methode und Datenumfang

In den Jahren 1979, 1982 und 1985 wurden die Schäden an allen noch lebenden Bäumchen der ganzen Versuchsfläche taxiert (Vollaufnahme mit 4052 Einheitsflächen), in den übrigen Jahren nur in den 680 Stichproben-Einheitsflächen. Die Vergleichsaufforstungen wurden jährlich vollständig aufgenommen. Angesprochen wurden Schadenart sowie Schadengrad in einer vierstufigen Skala:

- 1 = schwach geschädigt (weniger als  $\frac{1}{3}$  der Organe),
- 2 = mittel geschädigt ( $\frac{1}{3}$  bis  $\frac{2}{3}$ ),
- 3 = stark geschädigt (mehr als  $\frac{2}{3}$ ),
- 4 = tödlich geschädigt

Alte Schäden aus früheren Jahren wurden nicht nochmals aufgenommen. In diesem Kapitel werden nur die in den Versuchsaufforstungen bis 1985 bedeutsamen Schäden behandelt, soweit sie zu erheblichen Ausfällen geführt haben. Eine umfassendere und verallgemeinerte Beschreibung von Symptomen, Bedeutung, Vermeidungsmöglichkeiten usw. sowie Abbildungen der wichtigsten Schäden, mit denen in Hochlagenaufforstungen zu rechnen ist, findet der Leser in einer separaten Publikation (Schönenberger *et al.* 1989).

Die Schadenansprache beruhte auf äusseren, von blossem Auge sichtbaren Symptomen. Aufgrund von eigenen Beobachtungen, wiederholten mikroskopischen Untersuchungen und Expertenbefragungen wurden die Verursacher der Symptome (Pilze, Insekten usw.) ermittelt. Oft war eine eindeutige Zuordnung von Symptom und Verursacher nicht möglich, besonders bei den häufigen Kombinationen verschiedener Verursacher, welche die Symptome verwischen, zum Beispiel Föhrenschütte und Saugschäden, Föhrenschütte und Triebsterben. Am grössten waren die Unsicherheiten bei der Lärche.

#### 6.4.2 Die wichtigsten Ausfallursachen bis 1985

Mit Abstand die grössten Schäden haben Pilze verursacht. Sowohl auf Stillberg wie auch in den Vergleichsaufforstungen liessen sich je etwa drei Viertel der Ausfälle von Arve und Bergföhre mit einiger Sicherheit auf das Triebsterben (*Ascocalyx abietina* [Lagerb.] Schläpfer, Synonym *Gremmeniella abietina* [Lagerb.] Morelet) zurückführen (Abbildung 6.4 a). Vor 1979 gab es noch keine Ausfälle durch Triebsterben, seither jedoch jährlich 5 bis 10%. Die Ausfälle waren zunächst bei der Bergföhre grösster, seit 1983 jedoch bei der Arve. Bis 1985 waren 35% der Arven und 39% der Bergföhren dem Triebsterben zum Opfer gefallen. Bei der Lärche war nur ein kleiner Teil der Ausfallursachen klar. Das Triebsterben (hier *Ascocalyx laricina*) konnte zwar mittels mikroskopischer Untersuchungen nachgewiesen werden, das wahre Ausmass liess sich im Gelände jedoch mangels eindeutiger Merkmale von blossem Auge nicht ermitteln. Es besteht der Verdacht, dass die unter «unbekannt» und «übrige» eingestuften Verluste ebenfalls weitgehend dem Triebsterben anzulasten sind.

Neben dem Triebsterben spielte bei der Arve der Schneeschüttepilz (*Phacidium infestans* Karst.) eine bedeutende Rolle. Obwohl jeden Frühsommer die infizierten Zweige abgeschnitten und verbrannt wurden, um die Infektionsquellen zu entfernen, war dieser Pilz in der Lage, innerhalb von zehn Jahren

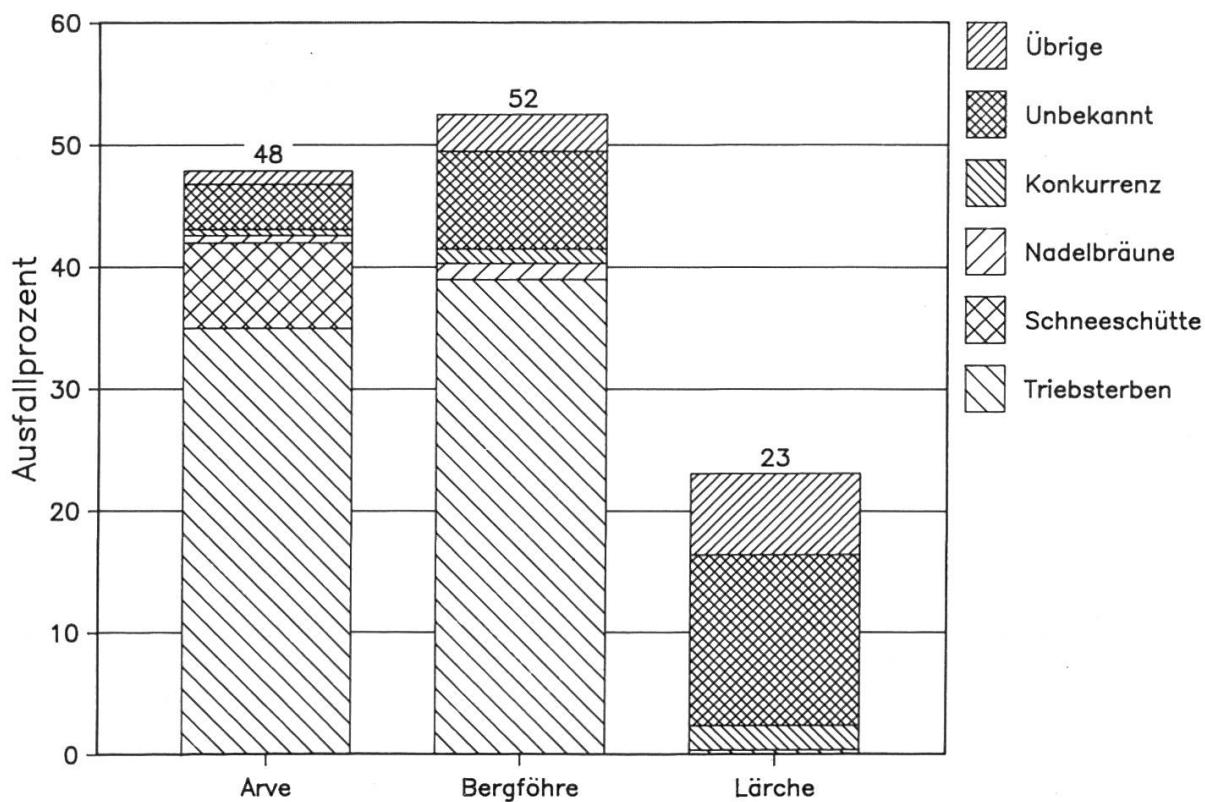


Abbildung 6.4 a. Anteil der verschiedenen Ausfallursachen nach Baumarten, kumuliert über die ganze Anwuchsphase bis 1985. Auswertung der 680 Stichproben-Einheitsflächen, nämlich 228 Arven-, 226 Bergföhren- und 226 Lärchen-EF.

weitere 7% der Bäumchen abzutöten (ab 1977, die vorher durch Schneeschütte abgetöteten Arven wurden ersetzt und sind hier nicht berücksichtigt). In den Vergleichsaufforstungen war dieser Pilz jedoch kaum verbreitet, vermutlich weil hier alte Arven als Infektionsquellen weitgehend fehlen.

Eine Erscheinung an Arve und Bergföhre, der wir den vorläufigen Arbeitsstitel «Nadelbräune» zuwiesen, konnten wir bis heute nicht befriedigend klären. Wir vermuten eine komplexe Schädigung durch die Saugtätigkeit von Insekten, Frosttrocknis und eine Form der Föhrenschütte (*Lophodermium* sp.). Das Symptom besteht in einer Bräunung der Nadeln, vorwiegend der älteren Jahrgänge. In den ersten Jahren war es deutlich vom Triebsterben zu unterscheiden, verschwieg sich aber mit der Zeit immer mehr mit dem Erscheinungsbild des Triebsterbens. Nadelbräune kam zwar recht häufig vor, aber selten derart gravierend, dass sie als Ausfallursache angesehen wurde.

Ein geringer Anteil der Verluste war der Vegetationskonkurrenz zuzuschreiben. Die anfangs sehr kleinen Lärchen waren besonders stark davon betroffen (2%).

Die vielfältigen Schäden, welche im folgenden unter «unbekannt» und «übrige» zusammengefasst sind, haben häufig nicht zum Absterben der Bäumchen geführt, konnten ihnen aber manchmal erhebliche Nachteile bringen.

Von Knospen-, Rinden- und Nadelfrass waren vor allem Bäumchen auf Rippenstandorten sehr häufig betroffen, wo die Birk- und Schneehühner im Winter dank der geringen Schneehöhe ihre Nahrung leicht erreichten (Streule, 1973). Auch in den Vergleichsaufforstungen Rudolf und noch mehr auf Lucksalp waren diese Schäden sehr verbreitet. Die Folgen waren selten unmittelbar tödlich. Im ersten Winter nach der Pflanzung frasssen Mäuse in besorgniserregendem Ausmass die Rinde ab, mit Vorliebe an der Bergföhre auf grobblockigen oder felsigen Geländepartien. Durch ihre Wühltätigkeit in dem weichen Substrat der Töpfe entwurzelten sie besonders die kleinen Lärchen recht häufig. Dieser Schaden war in der Vergleichsaufforstung Rudolf für die grossen Lärchenausfälle in den ersten Jahren verantwortlich. In den folgenden Jahren nahmen die Mäuseschäden jedoch ab.

Insekten haben kaum je direkt Ausfälle verursacht. Stellenweise und von Jahr zu Jahr in unterschiedlichem Ausmass haben die wolligen Fichtengallenläuse (*Sacchiphantes viridis* Ratz und *Adelges laricis* Vall.) an Lärchen Saugschäden verursacht. Ihr Auftreten war immer auffallend auf die wärmsten Standorte und auf kräftige Bäumchen konzentriert. An der Arve haben ferner die schwarze Kiefern-Rindenlaus (*Cinara pini* L.) und die wollige Arvenlaus (*Pineus cembrae* Chol.) durch ihre Saugtätigkeit an der Nadelscheide bewirkt, dass die Nadelbüschel vertrockneten. In den Vergleichsaufforstungen waren Insektenschäden weniger häufig.

Die klimatischen Schäden durch Winterfrost und Frosttrocknis führten ebenfalls selten zu Ausfällen und waren von Jahr zu Jahr in verschiedenem Ausmass anzutreffen. Frosttrocknis konzentrierte sich in manchem Frühjahr entlang der Gefällskante der Hangschulter. Die südlich exponierten Baumteile waren jeweils deutlich stärker geschädigt als der Rest. Spät- und Frühfröste schädigten sporadisch die Aufforstung. Folgenschwer war der Wintereinbruch in den ersten Septembertagen 1984. Damals erfroren vor allem die Gipfeltriebe der schönsten und grössten Lärchen und Bergföhren auf den wüchsigesten, wärmsten Standorten.

Mechanische Schäden spielten bisher eine geringe Rolle. In den ersten Jahren wurden vereinzelt Bäumchen entwurzelt, wo sie in skelettreiche Böden oder an ungünstigen Stellen gepflanzt oder wo durch die Wühltätigkeit von Mäusen die Töpfe ausgehöhlt wurden. Im Bereich der Lawinensturzbahnen waren sporadisch Schürforschäden an Rinde und Nadeln festzustellen. Von einiger Bedeutung waren die Verluste jener Nadeln, die bei Lawinenniedergängen an der Nadelbasis geknickt wurden und anschliessend vertrockneten. Ast- und Stammknicke und -brüche spielten nur stellenweise eine Rolle.

#### 6.4.3 Verbreitung der wichtigsten Schäden 1982 im Gelände

Bei der Verbreitung der Schneeschütte an Arve im Jahre 1982 fällt auf, dass die Schäden im oberen Teil der Versuchsfläche fast vollständig fehlten. Im mittleren und unteren Flächenteil waren sie auf Rippen- und Osthanglagen konzentriert (Abbildung 6.4 b). Tatsächlich spielte die Schneeschütte auf den relativ früh schneefreien Stellen die wichtigste Rolle als Ausfallursache (Tabelle 6.4). Dies überrascht, denn der Schüttepilz ist ja für seine Entwicklung auf den Schutz der Schneedecke angewiesen und gilt als problematisch in Schneelöchern. Bei der Aufnahme konnten wir jedoch deutlich feststellen, dass bestehende alte Arvengruppen meist als Infektionsquellen und Ausgangspunkte der Krankheit wirkten; um diese Bäume herum breitete sich der Pilzbefall konzentrisch aus. Dieser Zusammenhang war vor allem in den ersten Jahren sehr deutlich sichtbar, im Laufe der Jahre wurde die Ausbreitung immer diffuser.

#### Verbreitung der Schneeschütte an Arve 1982

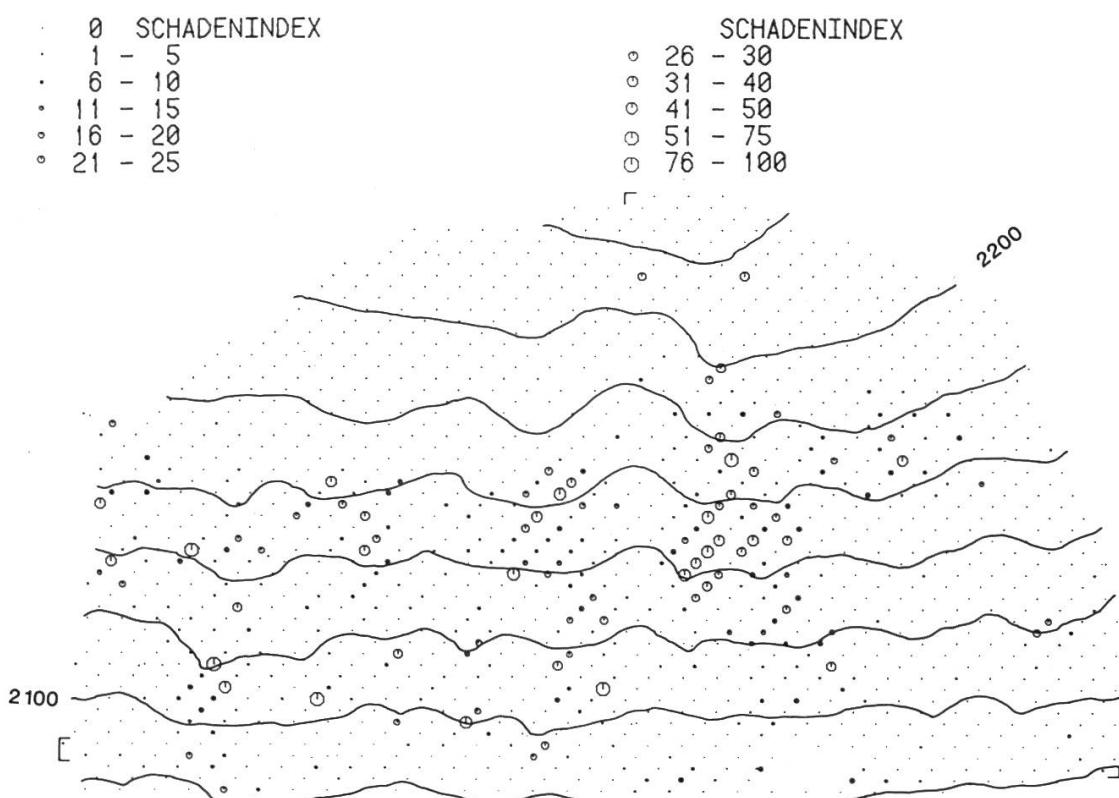


Abbildung 6.4 b. Verbreitungskarte von *Phacidium infestans*, dem Erreger der Schneeschütte, an der Arve, Momentaufnahme der Situation 1982. Der Schadenindex ist die Schadenhäufigkeit mal Schadengrad.

$$I = (i^1 + 2i^2 + 3i^3 + 4i^4) * N/n$$

$i^1, i^2$  usw. = Anzahl Bäume mit Schadengrad 1, 2 usw.

N = Anzahl gepflanzte Bäume

n = Anzahl überlebende Bäume

Der Index bewegt sich zwischen 1 und 100. Index 100 würde bedeuten, dass bei der Aufnahme 1982 sämtliche im Vorjahr noch lebenden Pflanzen der Schneeschütte zum Opfer gefallen sind.

Tabelle 6.4. Ausfallprozente bis 1985 durch Triebsterben, Schneeschütte und übrige Schäden, bei Arve, nach Ausaperungsdatum. 228 Stichproben-Einheitsflächen.

	Vor 11. Mai	11. – 21. Mai	22. – 31. Mai	1. – 10. Juni	nach 10. Juni	Mittel
Anzahl EF	39	60	82	41	6	228
Triebsterben	6	17	41	72	85	35
Schneeschütte	10	13	5	1	0	7
Übrige Schäden	4	4	7	9	10	6

Die Verbreitung des Triebsterbens war ganz anders, wie die Karte für Bergföhre von 1982 zeigt (Abbildung 6.4 c). Im unteren Flächenteil waren die Schäden gering, im oberen dagegen sehr gross. Im Mittelteil waren sie deutlich standortsabhängig. Die Osthänge und Rippen blieben weitgehend schadenfrei, die Nordhänge und Runsen waren dagegen stark betroffen. Ganz ähnlich war das Verbreitungsmuster des Triebsterbens bei der Arve. In krassem Gegensatz zur Schneeschütte waren die durch Triebsterben verursachten Ausfälle auf den

### Verbreitung des Triebsterbens an Bergföhre 1982

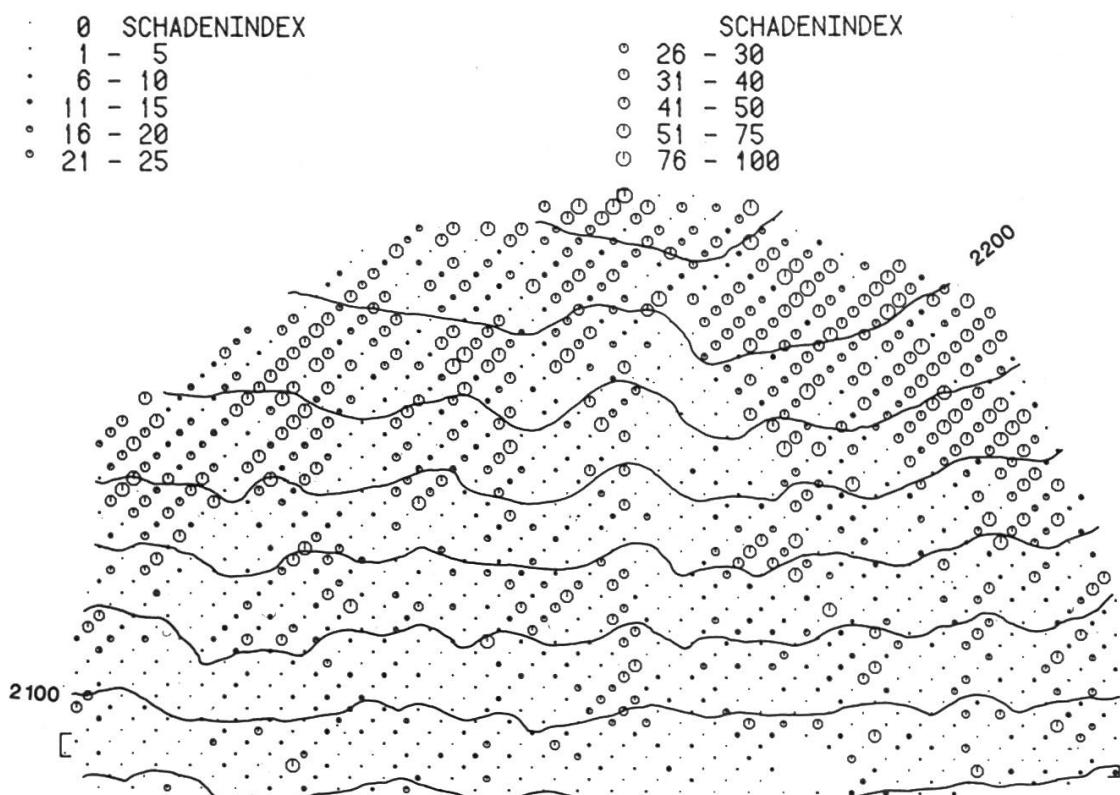


Abbildung 6.4 c. Verbreitungskarte von *Ascocalyx abietina*, dem Erreger von Triebsterben, an der Bergföhre, 1982. Schadenindex siehe Abbildung 6.4 b.

früh schneefreien Standorten gering, dagegen auf Standorten mit später Ausaperung bedeutend (*Tabelle 6.4*).

Die Nadelbräune trat bei Arve und Bergföhre sehr oft kombiniert mit dem Triebsterben auf dem gleichen Bäumchen auf. Die Verbreitung war sehr ähnlich, jedoch war die Aufforstung auch im untersten Teil der Fläche ziemlich stark betroffen.

## 6.5 Das Wachstum in der Versuchsaufforstung Stillberg (Walter Schönenberger, EAFV, und Werner Frey, SLF)

### 6.5.1 Methode und Datenumfang

Als einfaches Mass für das Netto-Wachstum wurde auf Stillberg in den 680 Stichproben und in den Vergleichsaufforstungen in den je 66 EF jährlich von jedem noch lebenden Baum die Höhe gemessen, von der Stammbasis bis zur Höhe des verholzten Vorjahrestriebes, bei Gipfelverlust bis zum höchsten noch begrünten Teil. Bei den Vollaufnahmen in den Jahren 1975, 1979, 1982 und 1985 wurden alle Bäumchen der 4052 Einheitsflächen gemessen. Der wirklich erzielte Netto-Höhenzuwachs war manchmal stagnierend oder gar negativ, wenn infolge von Schäden der Gipfel verlorenging. Gerechnet wurde mit den mittleren Höhen der noch lebenden Bäumchen pro Einheitsfläche. Dies ist ein grobes, jedoch angesichts der grossen Datenmenge in diesem statistischen Grossversuch sinnvolles Mass für das Wachstum, auch wenn es wenig aussagt über die Stoffproduktion. In der Anwuchsphase ist nämlich vor allem der Höhenzuwachs entscheidend dafür, wann der Baum der gefährlichen bodennahen Schicht entrinnen kann.

Mittels Biomasse-Analysen an 120 Einzelbäumen wurde die unterschiedliche Stoffproduktion als Trockengewicht der drei Baumarten auf den vier Hauptstandortstypen ermittelt. Gepflanzt wurden diese Bäumchen 1977, geerntet 1982. Das Material wurde in Wurzeln, Spross und Nadeln zerlegt, bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und dann gewogen.

### 6.5.2 Die Baumhöhen 1985 auf Stillberg, Lucksalp und Rudolf

Über alle Standorte gemittelt war der Zuwachs bei den drei Baumarten in den ersten zehn Jahren sehr bescheiden. Auf Stillberg brachte es die Arve von 14 auf 41 cm, die Bergföhre von 10 auf 49, die Lärche von nur 2 auf 33 cm (*Abbildung 6.3 a*). Sehr ähnlich war der Zuwachs in der Fläche Rudolf, deutlich besser jedoch auf Lucksalp, wo vor allem die Lärche sehr guten Zuwachs erzielte. Damit ist die Fläche Lucksalp vergleichbar mit den wüchsigsten Standorten auf Stillberg.

### 6.5.3 Baumhöhenverteilung 1985 im Gelände

Die Mittelwerte über alle Standorte sind natürlich mit sehr grossen Streuungen behaftet. Wie unterschiedlich und vom Gelände abhängig der Zuwachs in den einzelnen Einheitsflächen war, zeigt die Karte der mittleren Baumhöhen 1985, zehn Jahre nach der Pflanzung (Abbildung 6.5 a), welche variieren zwischen 0 in Flächen mit Totalausfall und rund 100 cm auf den bevorzugtesten Standorten.

Am Hangfuss war der Zuwachs generell viel grösser als auf der Hangschulter im obersten Flächenteil, wo häufig im Mittel überhaupt kein Zuwachs erzielt wurde. Im Mittelhang zeichnete sich bei der Baumhöhenkarte sehr deutlich die topographische Geländegliederung ab. Ein überdurchschnittlicher Zuwachs war auf den ost-exponierten Einhängen festzustellen, gering war er dagegen in den Runsen und auf den Nord-Einhängen (Abbildung 6.5 a). Vergleicht man die Baumhöhenkarte mit der Strahlungskarte (Abbildung 3.3 c), fällt sofort die frappante Ähnlichkeit auf, sieht man von dem fehlenden Höhengradienten bei der Strahlungskarte ab. Die besser bestrahlten und deshalb wärmeren Standorte erbrachten dort ein grösseres Wachstum, wo die Auswirkung der Strahlung nicht durch allzu späte Ausaperung (Hangschulter) oder stärkere Bewindung (Hangschulter, Geländerippen) aufgehoben wurde.

#### Mittlere Baumhöhe 1985 alle Baumarten

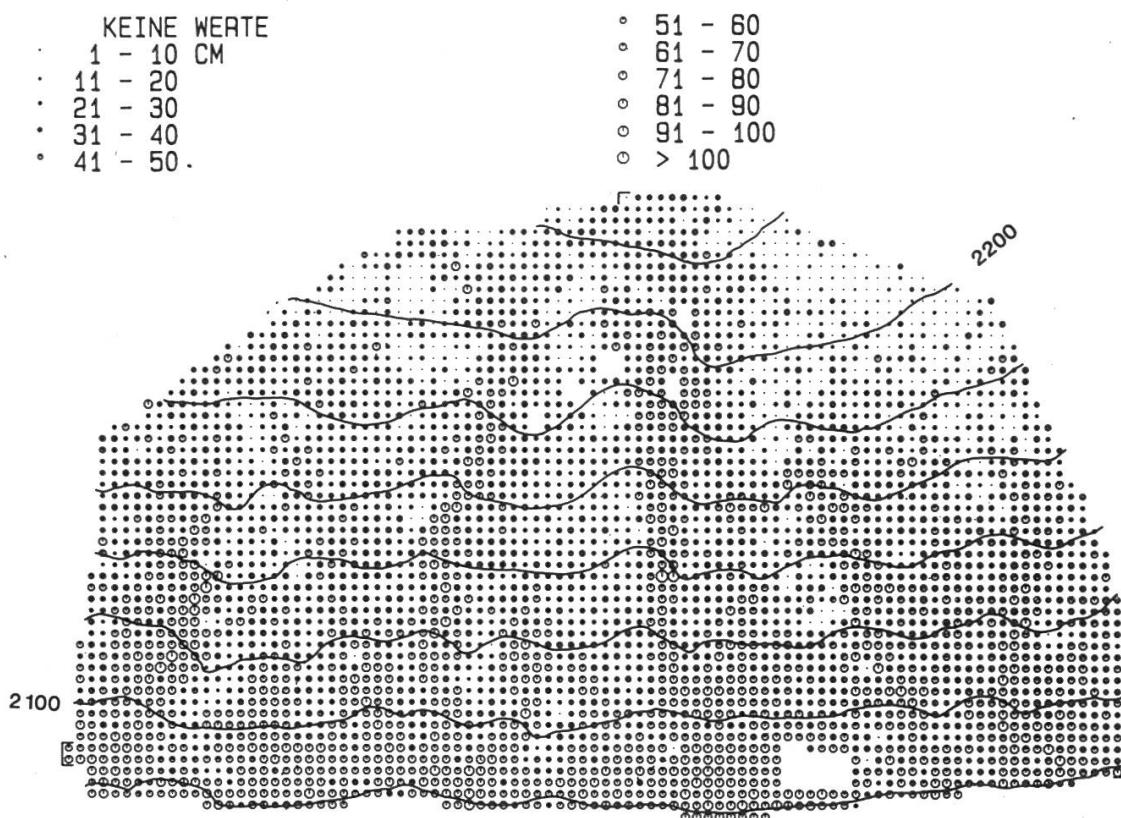


Abbildung 6.5 a. Karte der mittleren Baumhöhe 1985, alle drei Baumarten.

#### 6.5.4 Der Zuwachsverlauf bis 1985 in den Pflanzengesellschaften

Zehn Jahre nach der Pflanzung (1985) hatten alle drei Baumarten in der Windflechten-Azaleenheide mit Rentierflechten auf den Geländerippen erst sehr geringe Baumhöhen erreicht (Abbildung 6.5 b), nämlich die Arve im Schnitt 37, die Bergföhre 40 und die Lärche 32 cm. Nur wenig grösser waren die Bäumchen in den beiden im Gelände anschliessenden Varianten der Krähenbeeren-Vaccinienheide (bei Lärche schlechter), gefolgt vom Wollreitgrasrasen. Ganz deutlich am grössten waren sie in der Wacholder-Bärentraubengeheide mit Wacholder mit 56 cm für die Arve, 70 cm für die Bergföhre und 53 cm für die Lärche. Auch die Variante mit Heidekraut sowie die Alpenrosen-Vaccinienheide waren günstig für das Wachstum.

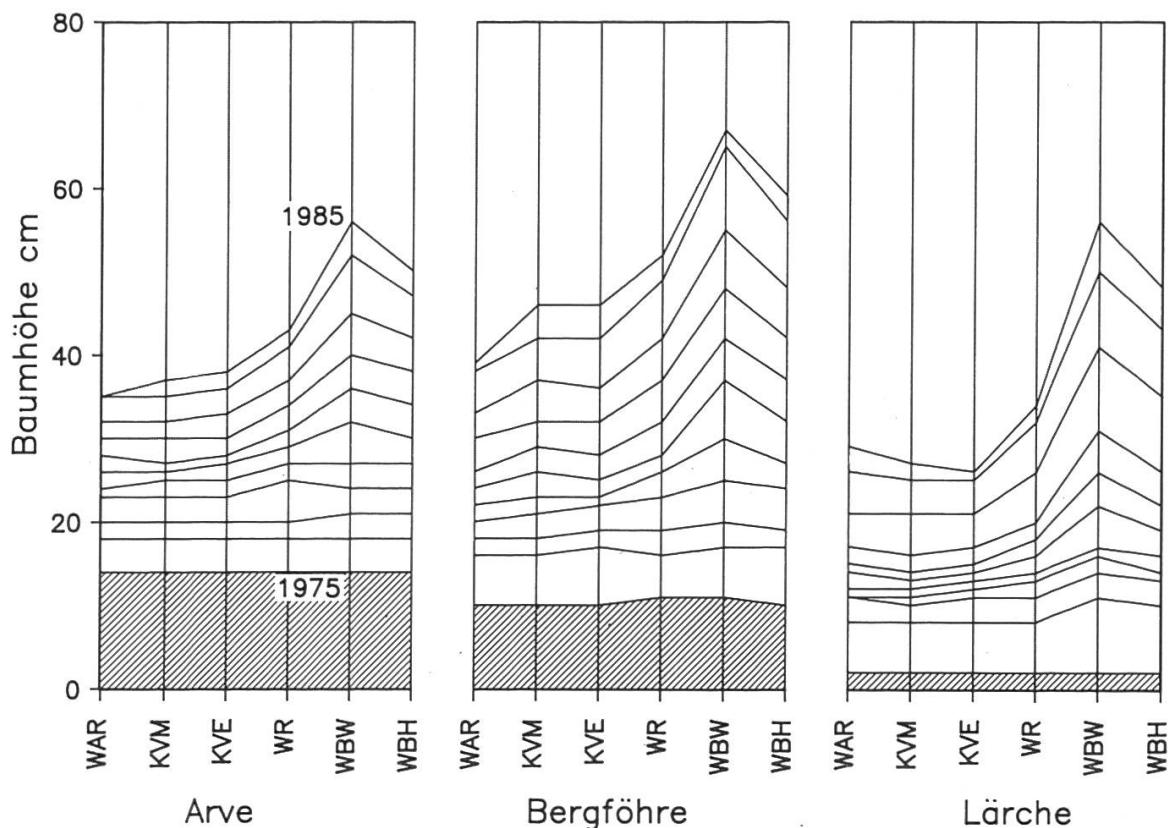


Abbildung 6.5 b. Zuwachs der mittleren Baumhöhen der drei Baumarten in den Pflanzengesellschaften. Die unterste Linie zeigt die Ausgangshöhe 1975 an, die zweitunterste die Baumhöhe 1976 usw., der Linienabstand gibt somit den jährlichen Höhenzuwachs an. Die oberste Linie zeigt die Baumhöhe 1985. 680 Stichproben-Einheitsflächen.

- WAR = Windflechten-Azaleenheide mit Rentierflechten (34 EF pro Baumart)
- KVM = Krähenbeeren-Vaccinienheide mit Moosen und Flechten (48)
- KVE = KV mit Etagenmoos (67)
- WR = Wollreitgrasrasen (27)
- WBW = Wacholder-Bärentraubengeheide mit Wacholder (16)
- WBH = WB mit Heidekraut (33)

Die Rangfolge der Pflanzengesellschaften bezüglich Zuwachs entsprach ihrer Abfolge in einem typischen Schnitt durch eine Lawinenrunse. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die Windflechten-Azaleenheide mit dem geringsten Zuwachs in oberen Höhenlagen, die Alpenrosen-Vaccinienheide dagegen am Hangfuss flächenmäßig überwiegt. Hier ist somit ein Höhengradient enthalten.

Der Zuwachs war im Jahr der Pflanzung auffallend hoch, trotz der durch die Verschulung bedingten Wurzelverletzungen. Dieser Zuwachs wurde noch im Topfquartier erzielt. Nachher war das Wachstum gedämpft und stieg erst 1982/83 wieder an. Die Bergföhre hat die Arve überholt. Die Lärche brauchte viele Jahre, um ihre geringe Ausgangsgröße wettzumachen, scheint aber in jüngster Zeit den Zuwachs wie die Bergföhre zu steigern.

#### 6.5.5 *Der Biomassezuwachs*

Vergleicht man statt der Baumhöhe die Biomasse auf den verschiedenen Relieftypen (*Abbildung 6.5 c*), so ist das Resultat uneinheitlich und für die einzelnen Baumarten unterschiedlich. Von allen Baumarten konnte die Bergföhre ihr Trockengewicht in den fünf Jahren am meisten steigern, nämlich von 17,2 auf durchschnittlich 31,6 g, die Arve von 22 auf 33,9 g und die Lärche (ohne Nadeln) von 4,9 auf 13,1 g Trockengewicht. Der Osthang war in der Regel weit- aus der produktivsten Standort. Hier erreichte die Arve 49,5 g, die Bergföhre 39,6 g und die Lärche 13,1 g, also durchwegs mehr als das Doppelte des Ausgangsgewichtes. Die Unterschiede zwischen den Standorten waren in diesen wenigen Jahren noch nicht sehr gross. Bei der Lärche ermöglichten die Geländerippen die beste Produktion. Auf diesem Standort tendierten die Lärchen nämlich zur Zwieselbildung und Verbuschung, wodurch sie stark in die Breite wuchsen. Die geringste Produktion resultierte fast durchwegs auf dem Nordhang und in den Runsen, wo die Bäumchen im dichten Reitgrasrasen oft ver- geilten und bei relativ gutem Höhenzuwachs nur wenig Biomasse produzierten.

Das Verhältnis Höhe : Trockengewicht änderte mit der Baumart, dem Alter und dem Standort. Die Gewichtssteigerung fiel in der Regel bedeutend grösser aus als der Höhenzuwachs, am meisten jeweils auf dem Osthang. Die Baumhöhe ist somit kein zuverlässiges Mass für die wirkliche Stoffproduktion. Im Trockengewichtsmass würden die besten Standorte noch besser abschneiden als in Höhenzuwachs-Einheiten.

Das Verhältnis von Wurzel-, Spross- und Nadelmaterial war im Zeitpunkt der Pflanzung 1977 etwa gleichmäßig 1:1:1. Die Gewichtszunahme war mit Ausnahme des Osthanges weitgehend auf das Sprossmaterial beschränkt, so dass fünf Jahre später etwa die Hälfte des Gewichtes auf Sprossmaterial entfiel. Wurzelwerk und Nadeln konnten fast nur auf dem Osthang ihr Gewicht merklich steigern.

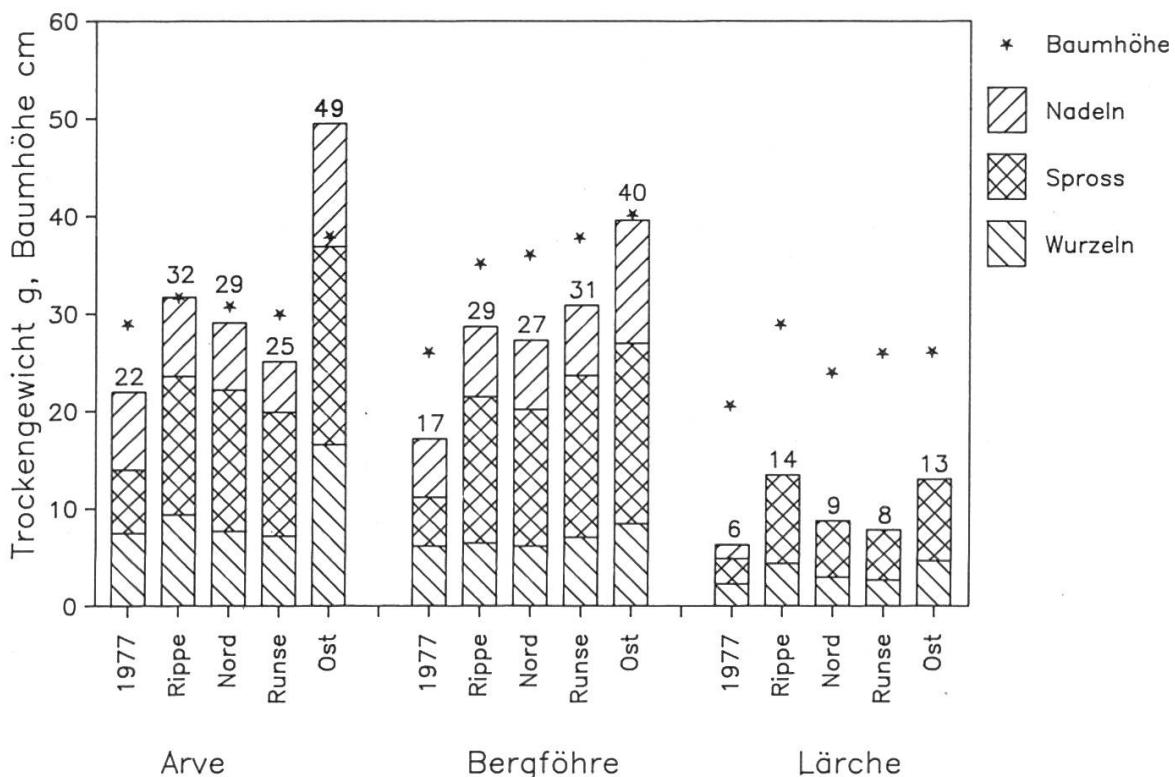


Abbildung 6.5 c. Trockengewicht (nach Wurzeln, Spross und Nadeln) und Baumhöhe von je zehn Arven, Bergföhren und Lärchen. 1977 die Ausgangslage zur Zeit der Pflanzung, übrige Angaben fünf Jahre nach der Auspflanzung an vier verschiedene Standorte. Bei Lärche ohne Nadelgewicht.

## 6.6 Charakterisierung günstiger und ungünstiger Aufforstungsstandorte (Walter Schönenberger, EAFV)

Zusammenfassend seien die Zusammenhänge zwischen Standort und Aufforstungserfolg noch unter einem anderen Gesichtswinkel betrachtet, nämlich vom Aufforstungszustand her. Dabei werden die Standortsbedingungen auf den für die Aufforstung erfolgreichsten Standorten verglichen mit den Bedingungen auf den am wenigsten günstigen Stellen. Als Beispiel dient die Bergföhre, weil diese am empfindlichsten auf Standortsunterschiede reagierte.

In 12,5% der Einheitsflächen betrugten die Überlebensprozente mindestens 90%, in weiteren 12,5% der Einheitsflächen erlitt die Bergföhre Totalausfall. Die erfolgreichsten Einheitsflächen unterschieden sich von den schlechtesten vor allem durch eine um drei Wochen frühere Ausaperung (am 14. Mai gegenüber 6. Juni im siebenjährigen Mittel). Die erfolgreichsten Standorte waren ferner im Winter häufiger schneefrei (10% gegenüber 1%), wiesen überdurchschnittliche Lawinenfrequenz auf (8,4 gegenüber 3,0 pro Winter). Beziiglich Strahlungsgenuss und Windgeschwindigkeit unterschieden sie sich kaum. Die erfolgreichen Einheitsflächen waren überdurchschnittlich häufig in der Windflechten-Azaleenheide (21 statt 2% für die schlechten Standorte) und in den beiden Varianten der Wacholder-Bärentraubenheide. Beziiglich Bodentypen ist festzustellen, dass die guten Standorte auf dem schwachentwickelten Eisen-

humuspodsol stark übervertreten waren. Die Einheitsflächen mit Totalausfall konzentrierten sich dagegen übermäßig auf die Krähenbeerenheiden und den Wollreitgrasrasen, entsprechend auf die Ranker und Runsenböden.

In 12% der Einheitsflächen erreichte die Bergföhre mehr als 70 cm mittlere Baumhöhe, in 20% der Flächen weniger als 40 cm. Allgemein waren die Unterschiede zwischen den Einheitsflächen mit gutem und schlechtem Zuwachs geringer als bei der Stratifizierung nach Überlebensraten. Auffallend war, dass die besten und schlechtesten Standorte sich bezüglich Ausaperungsdatum (ein Tag) und Strahlungsgenuss (64 bzw. 55 kcal) nur wenig unterschieden. Die wüchsigesten Stellen waren im Winter häufiger schneebedeckt (11 gegenüber 2%) und viel häufiger von Lawinen bestrichen (12mal gegenüber 4,2mal pro Winter). Sehr deutlich kam zum Ausdruck, dass die wuchsgünstigsten Standorte im Reitgrasrasen, in den Wacholder-Bärentraubenheiden und in der Alpenrosen-Vaccinienheide übervertreten waren. Wollreitgrasrasen war somit ungünstig fürs Überleben, aber günstig für den Zuwachs. Für die Windflechten-Azaleenheide galt das Gegenteil.

Bei der Gesamtbewertung kommt dem Kriterium des Überlebens mehr Gewicht zu als demjenigen des Wachstums. Nach den ersten zehn Jahren ist noch keineswegs eine abschliessende Beurteilung möglich. In der kommenden Aufwuchsphase werden sich die Wechselwirkungen zwischen Aufforstung und Standort noch wesentlich ändern. Der Aufforstungsversuch Stillberg hat jedoch schon bisher sehr eindrücklich gezeigt, dass unter Freilandbedingungen in der subalpinen Stufe die geländebedingten Unterschiede der Kleinstandorte erstaunlich gross sind und entsprechend grosse Auswirkungen auf den Aufforstungserfolg haben. Wie diese Erkenntnisse für die Praxis der Gebirgsaufforstung nutzbar gemacht werden können, ist Inhalt einer separaten Publikation (Schönenberger *et al.*, 1989).

## 6.7 *L'essai d'afforestation de 1975 au Stillberg (résumé)*

(Traduction: *Vincent Barbezat, IFRF*)

L'arolle, le pin de montagne et le mélèze furent plantés en 1975 systématiquement à travers toute la surface d'essais, à raison de plus de 30 000 arbres de chaque essence. L'utilisation de plants en pots pour l'afforestation a permis d'obtenir un pourcentage de reprise très élevé durant les deux à trois premières années. 49% des arolles, 46% des pins de montagne et 77% des mélèzes étaient encore en vie après dix ans. Les fortes différences microclimatiques ont entraîné une répartition très irrégulière des pertes dans le terrain. Une corrélation frappante a été constatée entre ces dernières et la date de la fonte des neiges: les emplacements libres de neige en premier au printemps présentent pratiquement un taux de survie de 100%, alors que dans ceux qui le sont en dernier, quasi tous les arbres ont disparu après dix ans. Les arolles et les pins de montagne

furent le plus souvent victimes d'affections fongiques, en particulier du dépérissement des pousses terminales (*Ascochyta abietina*) pour les deux essences et de la chute des neiges pour l'arole (*Phacidium infestans*).

La hauteur moyenne des survivants après dix ans passe de 30–40 cm sur les stations les plus froides à 50–70 cm sur les plus favorables.

Les enseignements pratiques tirés de ces essais sont exposés dans le rapport «Ecologie et technique des afforestations en montagne – Suggestions pour la pratique» (Schönenberger *et al.*, 1989).

## 7. Ausblick

(*Martin Meyer-Grass, SLF, und Hans Turner, EAFV*)

Die Erweiterung und Vertiefung unserer Kenntnisse in der Ökologie und Technik der Hochlagenaufforstung ist eine Daueraufgabe. Die am Stillberg zu lösenden Versuchsfragen sind bisher nur zu einem kleinen Teil beantwortet worden. Wie Beobachtungen in alten Gebirgsaufforstungen zeigen, entstehen neue Probleme mit dem Grösser- und Älterwerden der Bäume, die am Stillberg gegenwärtig kaum 5% der Lebenszeit eines subalpinen Gebirgswaldes hinter sich haben. Es muss deshalb dafür gesorgt werden, dass der Aufforstungsversuch Stillberg seine unersetzliche Aufgabe als subalpine Dauerbeobachtungsfläche, als repräsentativer Nucleus des Gebirgsprogrammes, auch in Zukunft erfüllen kann.

Die Hauptfrage nach dem Aufforstungspotential der verschiedenen Standorte ist noch nicht endgültig beantwortet. Meteorologische Extremereignisse, Immissionseinflüsse, neue Schädlinge und Krankheiten, die Wechselwirkungen zwischen Aufforstung und Schneebewegungen usw. können die vorläufigen Ergebnisse umstürzen. Es ist auch noch völlig offen, ab welchem Zeitpunkt an welchen Standorten die Schneedecke durch die Aufforstung stabilisiert werden kann. Ebenfalls ist fraglich, ob der Holzstützverbau durch die Aufforstung rechtzeitig abgelöst werden kann.

Eine einseitig technik- und praxisorientierte Beratungstätigkeit wäre ohne weitergehende grundlegende Forschung bald zur Erstarrung in gefährliche Routine verurteilt. Dringende Forschungsaufgaben betreffen beispielsweise die Rückwirkung der Stillberg-Aufforstung auf entscheidende ursprüngliche, flächendeckend-ökographisch ermittelte Umweltbedingungen (Mikroklima, Vegetation, Boden).

Ebenso wichtig bleiben die Anliegen, analoge ökologische Untersuchungen in problematischen Waldgrenzlagen ganz anderer Grossregionen der Alpen durchzuführen, wohin Ergebnisse vom Stillberg nicht übertragbar sind, oder Versuche zur Verbesserung labiler alter Aufforstungen einschliesslich Melioration alter Weideböden in solchen problematischen Hochlagenaufforstungen (Turner, 1985).

Die am Stillberg gemachten Erfahrungen verlangen, den Ablauf von Aufforstungsprojekten in dieser Höhenlage zu überdenken. Dabei geht es besonders um die Frage, wie Aufforstung und Verbauung am besten koordiniert werden sollen. So könnte es durchaus vorteilhaft sein, die wuchsgünstigen Standorte vorerst ohne Verbau aufzuforsten, um dann, wenn die Aufforstung ihre kritische Höhe erreicht hat, den oberirdischen Teil der Verbauung auf die bereits vorgängig vorbereiteten Fundationen bzw. Verankerungen aufzubauen. Eine zusätzliche Verkürzung der Vegetationsperiode durch eine längere Schneebedeckung (wegen der Schneezurückhaltung durch die Stützwerke) würde so vermieden und der begrenzt haltbare (temporäre) Stützverbau erst dann erstellt, wenn er benötigt wird.

Ein Ausblick in die Zukunft soll nicht schliessen, ohne nachdrücklich auf die bald akut werdenden Probleme der Jungwuchspflege hinzuweisen, die in Aufforstungen solch extremer Lagen besonders heikel und riskant ist, wenn sie vernachlässigt wird. Anregungen in dieser oder anderer Richtung von seiten der Praxis nehmen wir gerne entgegen.

#### *Literatur*

- Aulitzky, H., und Turner, H. (1982): Bioklimatische Grundlagen einer standortsgemässen Bewirtschaftung des subalpinen Lärchen-Arvenwaldes. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Mitt. 58, 4: 327–580.
- Blaser, P. (1980): Der Boden als Standortsfaktor bei Aufforstungen in der subalpinen Stufe (Stillberg, Davos). Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Mitt. 56, 3: 527–611.
- Brockmann-Jerosch, H. (1919): Baumgrenze und Klimacharakter. Beitr. geobot. Landesaufnahme 6: 255 S.
- Frehner, E. (1977): Interner Bericht über die Pflanzennachzucht für die Aufforstungsversuche auf Stillbergalp, Dischmatal, Davos. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Interner Ber., 16 S.
- Frey, W. (1977 a): Bericht über die Anlage der Versuchsaufforstung Stillberg und der Versuchsaufforstungen Lucksalp und Rudolf 1973–1975. Interner Bericht Eidg. Inst. für Schnee- und Lawinenforschung 552, 19 S.
- Frey, W. (1977 b): Bei der Verkopfung durchgeführte Messungen am Pflanzenmaterial für die Aufforstung Stillberg 1975 (Arve, Bergföhre, Lärche). Interner Bericht Eidg. Inst. für Schnee- und Lawinenforschung 555, 13 S.
- Friedel, H. (1952): Gesetze der Niederschlagsverteilung im Hochgebirge. Wetter und Leben 4, 5/7: 73–86.
- Gams, H. (1923): Die Waldklimate der Schweizer Alpen, ihre Darstellung und Geschichte. Verh. Naturf. Ges. Basel, 35.
- Häsler, R. (1982): Net photosynthesis and transpiration of *Pinus montana* on east and north facing slopes at alpine timberline. Oecologia 54: 14–22.
- Häsler, R. (1984): Net photosynthesis of *Pinus mugo* under water stress conditions at alpine timberline. In: Sybesma, C. (ed.): Advances in Photosynthesis Research; Proc. 6th Int. Congr. Photosynthesis 1983, Brussels, IV, 4: 395–398.
- Häsler, R. (1985): CO<sub>2</sub>-uptake in European larch (*Larix decidua* Mill.) near treeline in Switzerland (Stillberg/Davos). Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Ber. 270: 113–122.
- Häsler, R., und Blaser, P. (1981): Nettophotosyntheseaktivität von Arve und Lärche auf verschiedenen Standorten der subalpinen Stufe. Mitt. forstl. Bundesversuchsanstalt Wien, 140: 179–188.
- in der Gant, H.R. (1972): Temporärer Stützverbau und Gleitschneeschutz. In: Lawinenschutz in der Schweiz. Beiheft Bündnerwald 9: 104–130.

- Kerner, H., und Koch, W. (1976): Struktur und Funktion des Assimilationsapparates einer mitherrschenden Fichte (*Picea abies* [L.] Karst.) in einem Altbestand des Ebersberger Forstes bei München. I. Methodik der Gaswechselmessung. *Photosynthetica* 10: 324–334.
- Kuoch, R. (1970): Die Vegetation auf Stillberg (Dischmatal, Kt. Graubünden). Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Mitt. 46, 4: 329–342.
- Kuoch, R., und Amiet, R. (1970): Die Verjüngung im Bereich der oberen Waldgrenze der Alpen. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Mitt. 46, 4: 160–328.
- Larcher, W. (1985): Winter stress in high mountains. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Ber. 270: 11–19.
- Leuenberger, F., und Frey, W. (1987): Temporäre Schutzmassnahmen und Aufforstungsprobleme in Lawinen- und Gleitschnee-Gebieten. In: Mitt. Eidg. Inst. für Schnee- und Lawinenforschung 43: 69–86.
- Nägeli, W. (1971): Der Wind als Standortsfaktor bei Aufforstungen in der subalpinen Stufe (Stillbergalp im Dischmatal, Kanton Graubünden). Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Mitt. 47, 2: 33–147.
- Richtlinien (1968) des Eidg. Oberforstinspektors für den Stützverbau: *Lawinenverbau im Anbruchgebiet*. Mitt. Eidg. Inst. für Schnee- und Lawinenforschung 29, 68 S.
- Rychetnik, J. (1982): Sanierung der Schnee- und Lawinenverhältnisse in Lawinenanbruchgebieten. In: Beitr. zur Wildbacherosions- und Lawinenforschung. Mitt. forstl. Bundesvers'anst. Wien 144: 169–185.
- Rychetnik, J. (1987 a): Projekt Stillberg, Schnee und Lawinen auf der Versuchsfläche. Winterber. Eidg. Inst. f. Schnee- und Lawinenforschung Nr. 50: 184–194.
- Rychetnik, J. (1987 b): Snow Cover Disappearance as Influenced by Site Conditions, Snow Distribution, and Avalanche Activity. Proceedings of International Symposium on Avalanche Formation, Movement and Effects, Davos 1986. IAHS-Publication Nr. 162.
- Schönenberger, W. (1975): Standortseinflüsse auf Versuchsaufforstungen an der alpinen Waldgrenze (Stillberg, Davos). Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Mitt. 51, 4: 357–428.
- Schönenberger, W. (1985): Performance of a high altitude afforestation under various site conditions. In: Establishment and Tending of Subalpine Forest: Research and Management. H. Turner and W. Tranquillini, eds. Proc. 3rd IUFRO Workshop P 1.07-00, 1984. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Ber. 270: 233–240.
- Schönenberger, W., Frey, W., und Leuenberger, F. (1989): Ökologie und Technik der Aufforstung im Gebirge – Anregungen für die Praxis. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Ber., in Vorbereitung.
- Schulze, E.-D., Lange, O. L., und Lembke, G. (1972): A digital registration system for net photosynthesis and transpiration measurements in the field and an associated analysis of errors. *Oecologia* (Berl.) 10: 151–166.
- Streule, A. (1973): Schäden in Gebirgsaufforstungen durch das Birkhuhn (*Lyrurus tetrix*). Bündnerwald 26, 8: 249–254. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Ber. 119.
- Tranquillini, W. (1979): Physiological Ecology of the Alpine Timberline. Tree Existence at High Altitudes with Special Reference to the European Alps. Ecological Studies 31, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 137 p.
- Tranquillini, W., und Turner, H. (1961): Untersuchungen über die Pflanzentemperaturen in der subalpinen Stufe mit besonderer Berücksichtigung der Nadeltemperaturen der Zirbe. Mitt. forstl. Bundesvers'anst. Mariabrunn 59: 127–151.
- Turner, H. (1966): Die globale Hangbestrahlung als Standortsfaktor bei Aufforstungen in der subalpinen Stufe (Stillberg im Dischmatal, Kt. Graubünden). Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Mitt. 42, 3: 109–168.
- Turner, H. (1967): Strahlungskartierung eines gegliederten Gebirgshanges aufgrund von Messungen der räumlichen Komponenten der Globalstrahlung. Veröff. MZA Nr. 4: 331–347.
- Turner, H. (1971): Mikroklimatographie und ihre Anwendung in der Ökologie der subalpinen Stufe. Ann. Meteorol. N.F. 5: 275–281.
- Turner, H. (1980): Types of microclimate at high elevations. New Zealand Forest Service, Forest Research Institute, Tech. Paper no. 70: 21–26.
- Turner, H. (1985): Das Gebirgsprogramm «Wiederherstellung der oberen Waldgrenze» – Anmerkungen zu einem langfristigen interdisziplinären Forschungsvorhaben. In: 100 Jahre Eid-

- genössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen 1885–1985. Teil 2: Die EAFV heute und morgen. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Mitt. 61, 2: 757–765.
- Turner, H., Häsliger, R. and Schönenberger, W. (1982): Contrasting microenvironments and their effects on carbon uptake and allocation by young conifers near alpine treeline in Switzerland. In: Carbon uptake and allocation in subalpine ecosystems as a key to management; ed. by R. H. Waring, p. 22–30. Proc. IUFRO Workshop P. 1.07-00 Ecology of Subalpine Zones, Corvallis, OR, USA: Oregon State Univ., For. Res. Lab.
- Turner, H., Rochat, P., und Streule, A. (1975): Thermische Charakteristik von Hauptstandortstypen im Bereich der oberen Waldgrenze (Stillberg, Dischmatal bei Davos). Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Mitt. 51, 1: 95–119.
- Turner, H., und Streule, A. (1983): Wurzelwachstum und Sprossentwicklung junger Koniferen im Klimastress der alpinen Waldgrenze, mit Berücksichtigung von Mikroklima, Photosynthese und Stoffproduktion. In : Wurzelökologie und ihre Nutzanwendung. Int. Symp. Gumpenstein, 1982, Bundesanstalt Gumpenstein, A-8952 Irdning, 617–635.
- Zingg, Th. (1954): Die Bestimmung der klimatischen Schneegrenze auf klimatologischer Grundlage. Mitt. Eidg. Inst. für Schnee- und Lawinenforschung 12, 7 S.

## Dank

Seit den 1950er Jahren haben in der Versuchsfäche Stillberg unzählige Mitarbeiter der EAFV, der SLF und verschiedener Hochschulinstitute wichtige Vorarbeit für die vorliegende Publikation geleistet.

Besonders hervorzuheben sind die Initianten und frühen geistigen Väter des Projektes: Dr. F. Fischer, H. R. in der Gand und Dr. R. Kuoch.

Bei der Erhebung der standortskundlichen Grundlagen und mit Vorversuchen haben folgende Autoren und ihre Mitarbeiter wesentliche Vorarbeit geleistet: Dr. E. Horak, Dr. Th. Keller, Dr. R. Kuoch, Dr. W. Nägeli, Dr. E. Surber.

Von den unzähligen Helfern beim Unterhalt, bei Messungen und Aufnahmen seien nur die regelmässigen Mitarbeiter der letzten Jahre erwähnt: vom SLF W. Caviezel, J. Kindschi und A. Maccagnan, von der EAFV V. Barbezat, Ch. Beusch, A. Streule und U. Wasem.

Die Herren N. Bischoff, H. Kasper, E. Ott und E. Zeller waren freundlicherweise bereit, das Manuskript kritisch durchzusehen.