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

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 139 (1988)

Heft: 9

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

Autor: Schönenberger, Walter / Frey, Werner

Kapitel: 4: Ergebnisse der Vor- und Begleitversuche

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

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 17.07.2025

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

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 Bermenaufforstung 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.

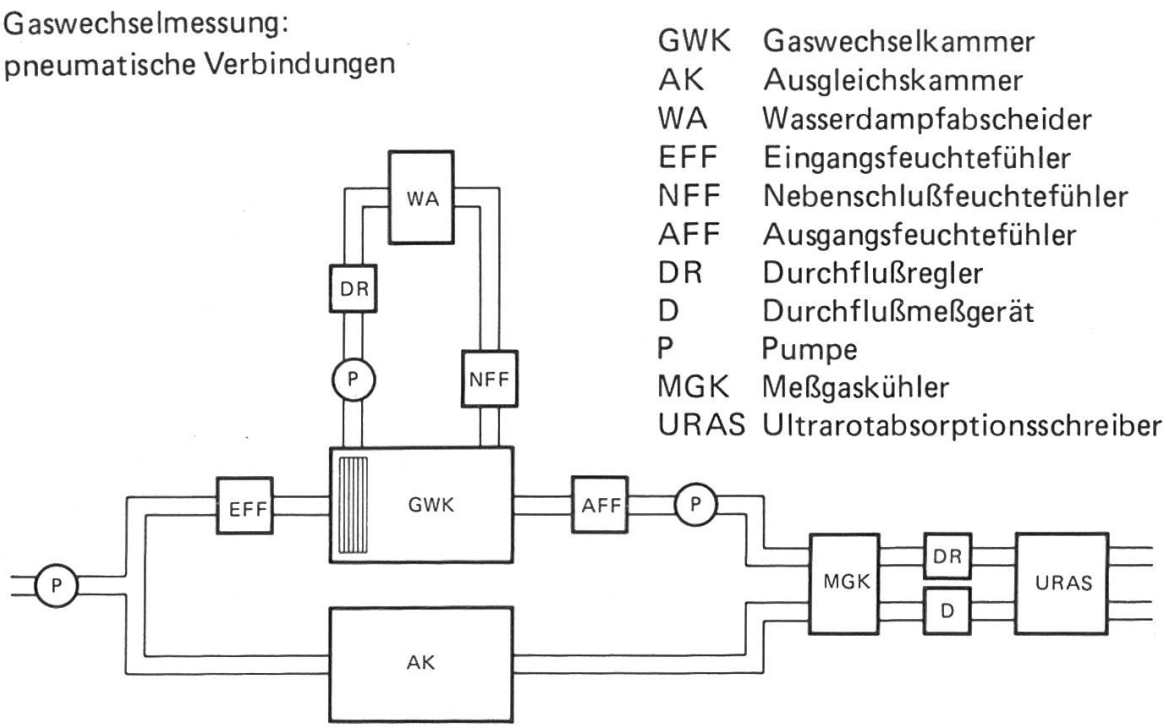


Abbildung 4.1 b. Schema der pneumatischen Verbindungen der Gaswechselmessapparatur.

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 *Häsler* (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-

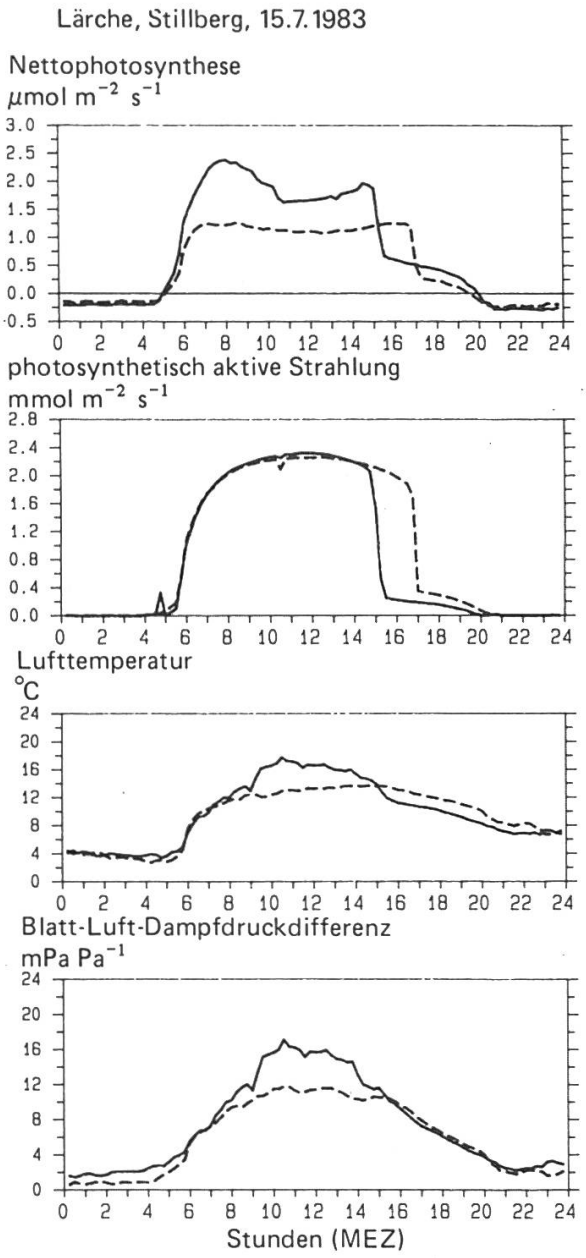


Abbildung 4.1 c. Tagesgang von Photosynthese, photosynthetisch aktivem Licht, Lufttemperatur und Dampfdruckdefizit an einem Schönwettertag im Hochsommer. Osthang (—), Nordhang (- - -).

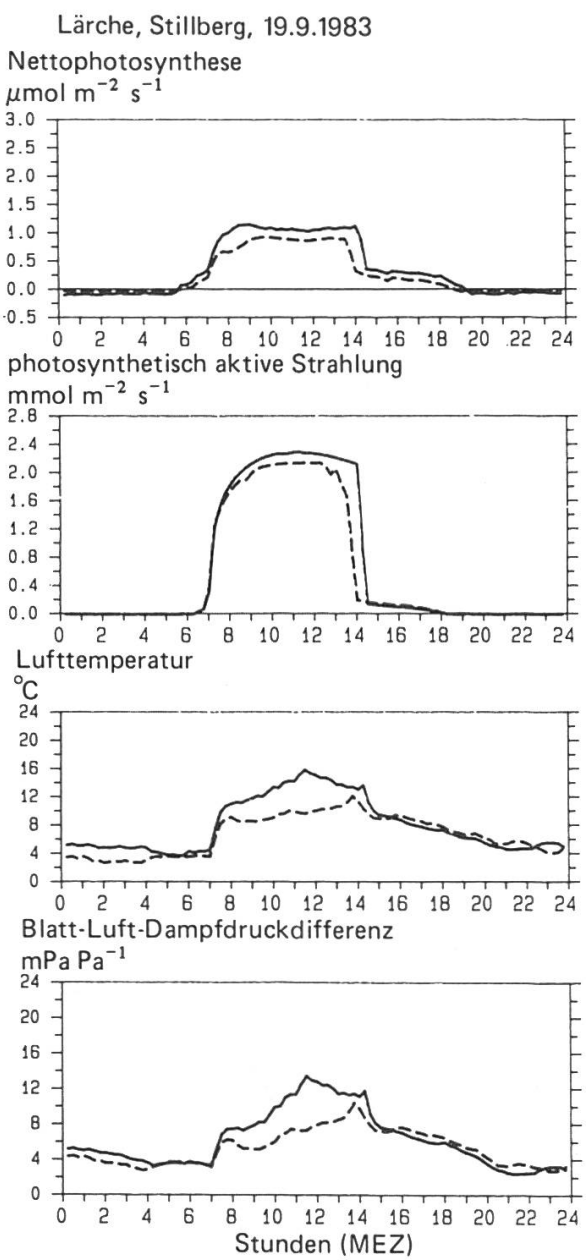


Abbildung 4.1 d. Tagesgang von Photosynthese, photosynthetisch aktivem Licht, Lufttemperatur und Dampfdruckdefizit an einem Schönwettertag im Herbst. Osthang (—), Nordhang (- - -).

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

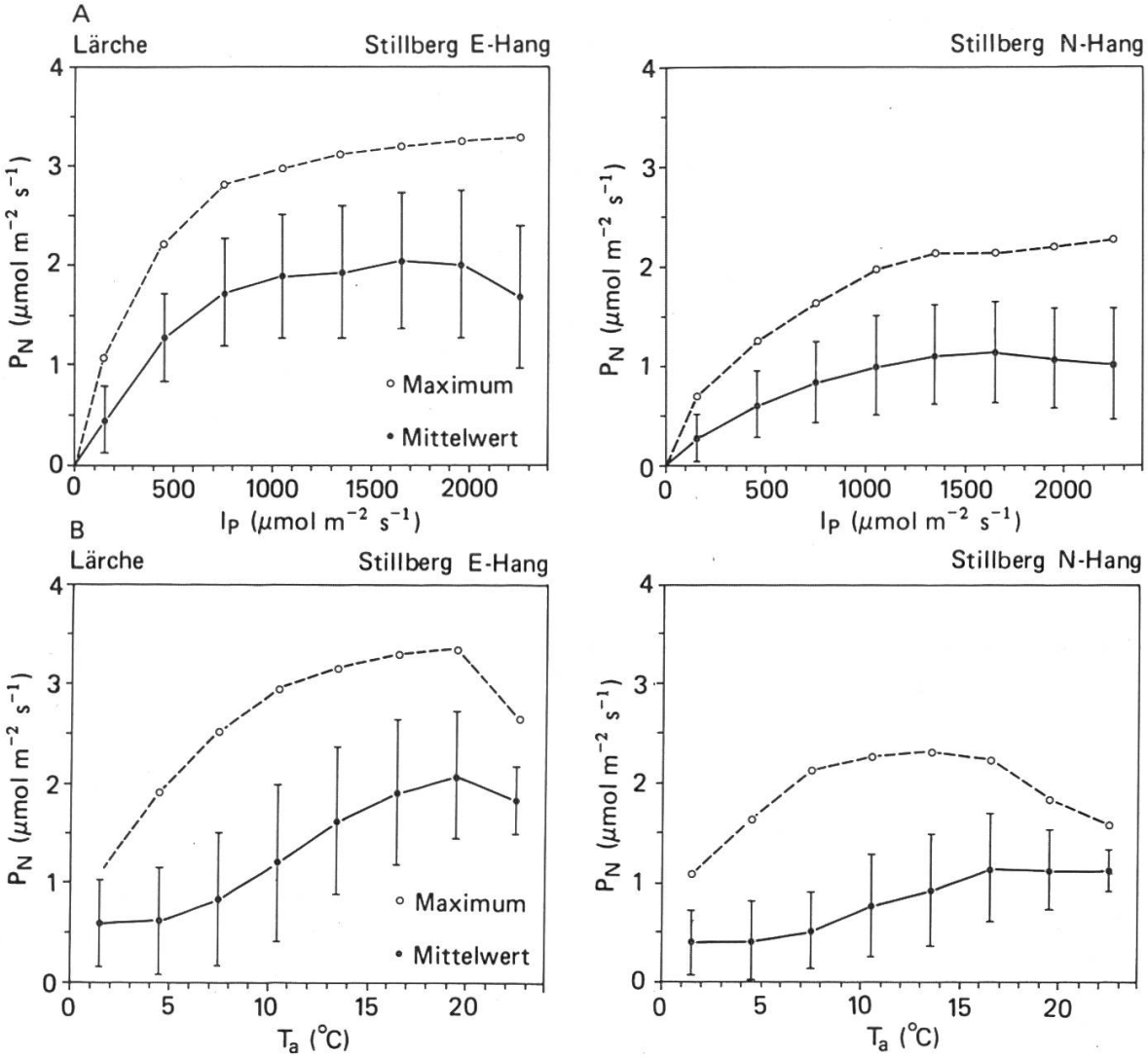


Abbildung 4.1 e. A Abhängigkeit der Photosynthese vom Licht.
B Abhängigkeit der Photosynthese von der Lufttemperatur.

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-*

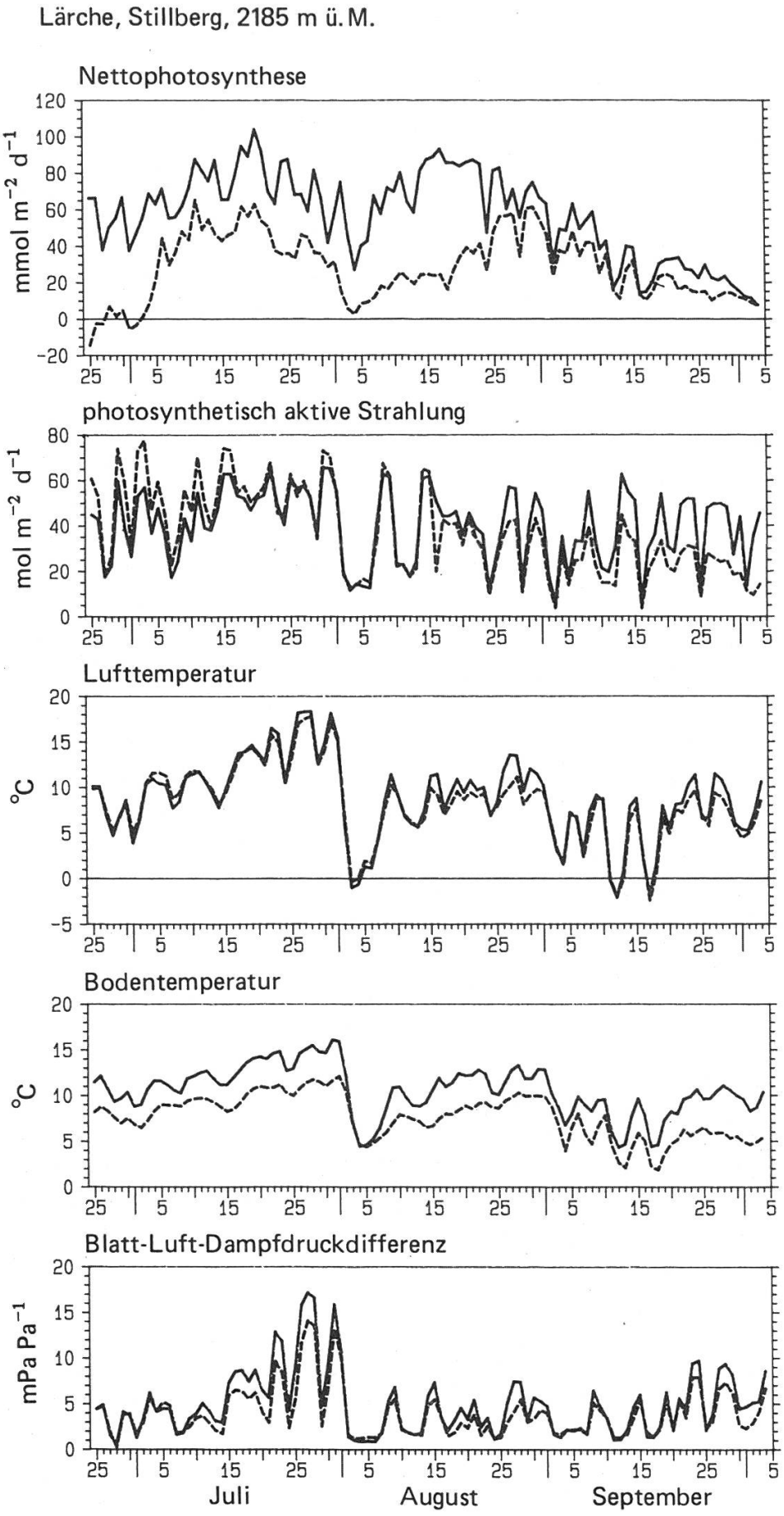


Abbildung 4.1 f. Tagesmittelwerte von Photosynthese, photosynthetisch aktivem Licht, Luft- und Bodentemperatur und Dampfdruckdefizit vom 25. Juni bis zum 5. Oktober 1983. Osthang (—), Nordhang (- - -).

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 Luftschicht 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-

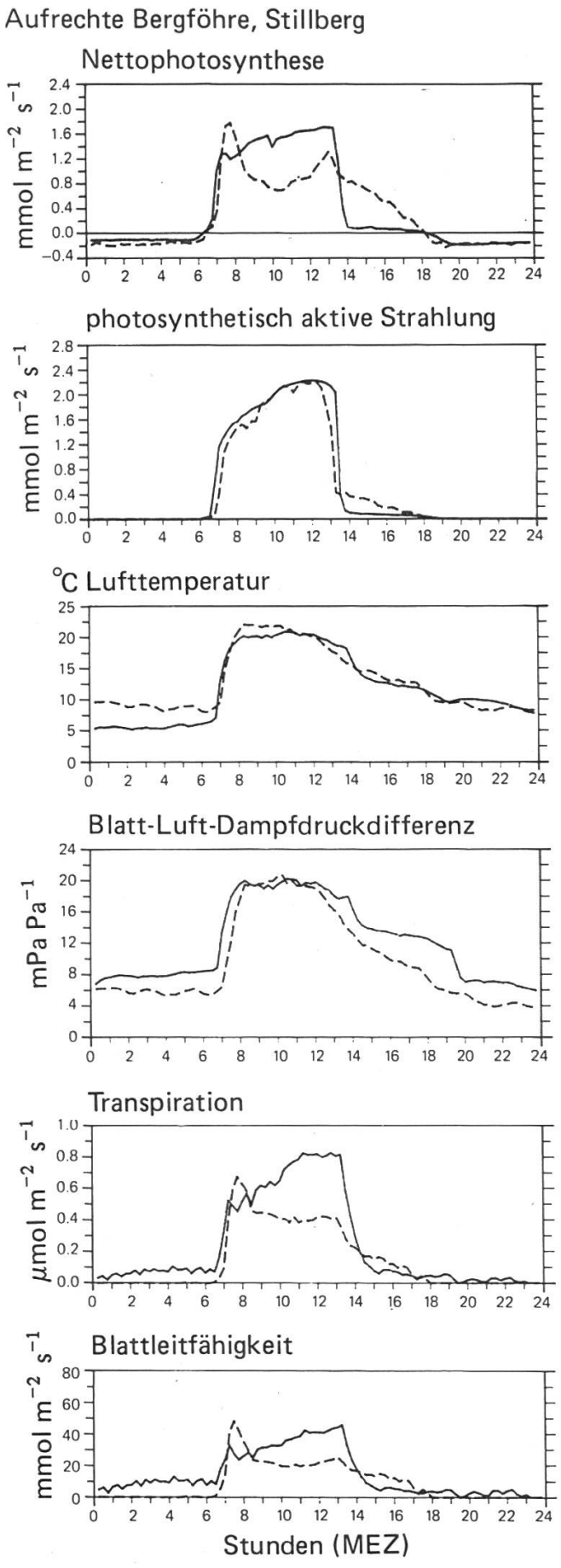


Abbildung 4.1 g. Tagesgang der Photosynthese einer Bergföhre am 3. September (—) und nach vierzehntägiger Trockenheit, am 17. September (- - -), zusammen mit photosynthetisch aktivem Licht, Lufttemperatur, Transpiration und Blattleitfähigkeit.

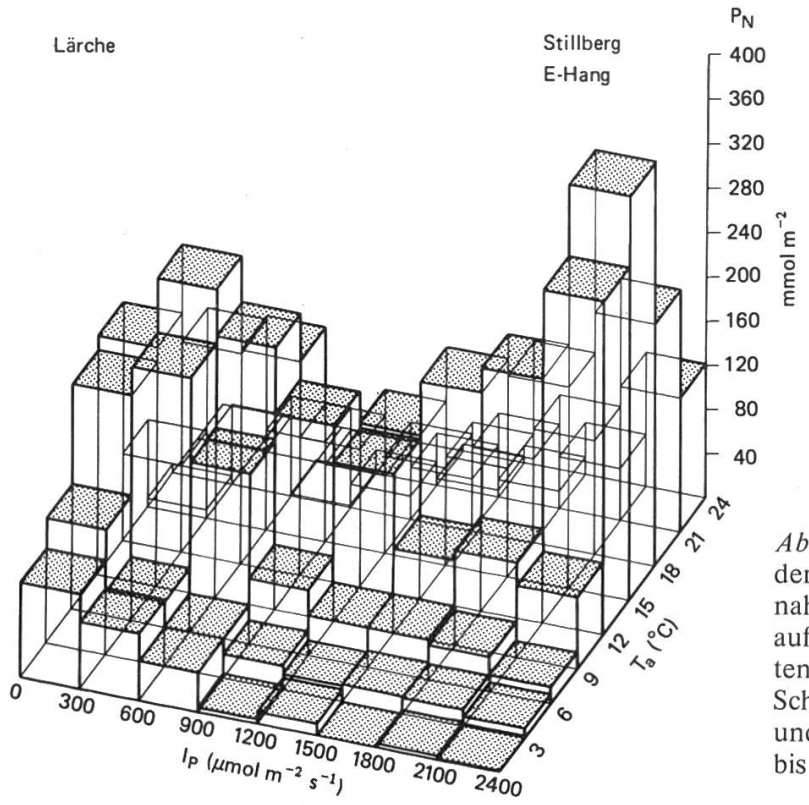
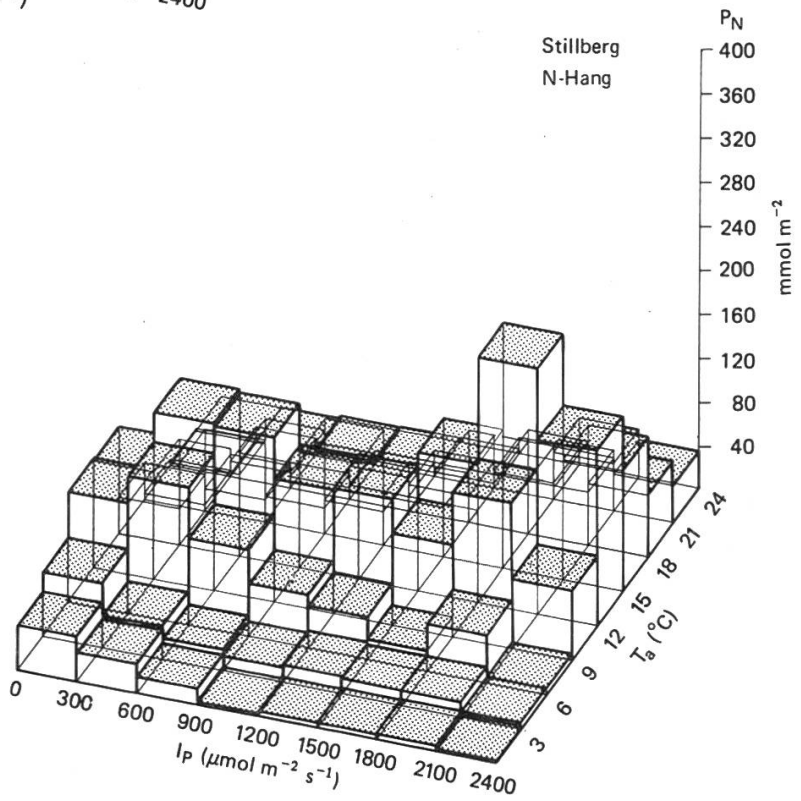


Abbildung 4.1 h. Säulendiagramm der summierten Kohlendioxidaufnahme je einer Lärche (bezogen auf die Blattfläche) am ostexponierten Sonn- und am nordexponierten Schatthang, geordnet nach Licht und Temperaturklassen (25. Juni bis 5. Oktober 1983).



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-*

bildung 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 Kohlendioxidmengen 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 Bäum-

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 Bodentemperatur, 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 Schwächepilzen 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 respektablem 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 photosyntèse, températures et humidités de l'air et du sol).

La différence entre les taux de photosynthèse nette des arbres des flancs ensoleillés 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, eingebracht.

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 Hochlagenaufforstungen 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 Standortsauswahl 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 $^1/_3$ des Wurzelwerks der Bäumchen beobachtet

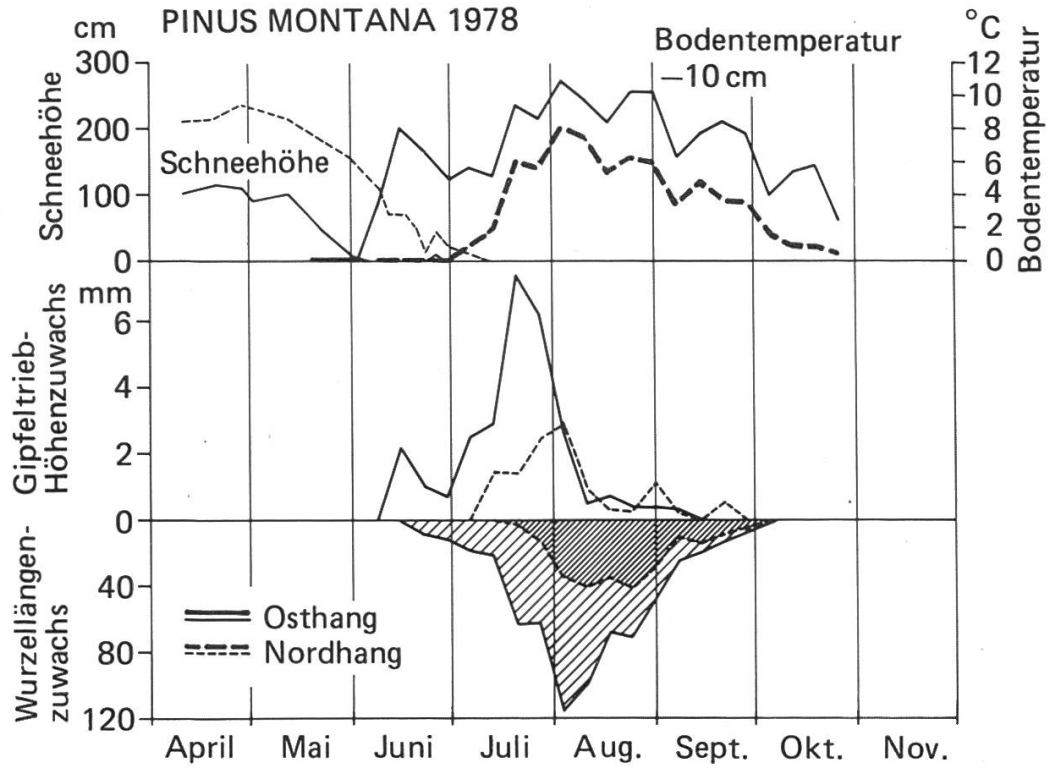


Abbildung 4.3 a. Jahreszeitlicher Gang wöchentlicher Mittelwerte von Bodentemperatur (in 10 cm Tiefe), Schneehöhe, Sprosszuwachs und Gesamtlängenzuwachs sichtbarer Wurzeln junger Bergföhren, auf ost- und nordexponierten Hängen der Versuchsfläche Stillberg im Jahre 1978. Die Zuwachsdaten sind Mittelwerte 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.

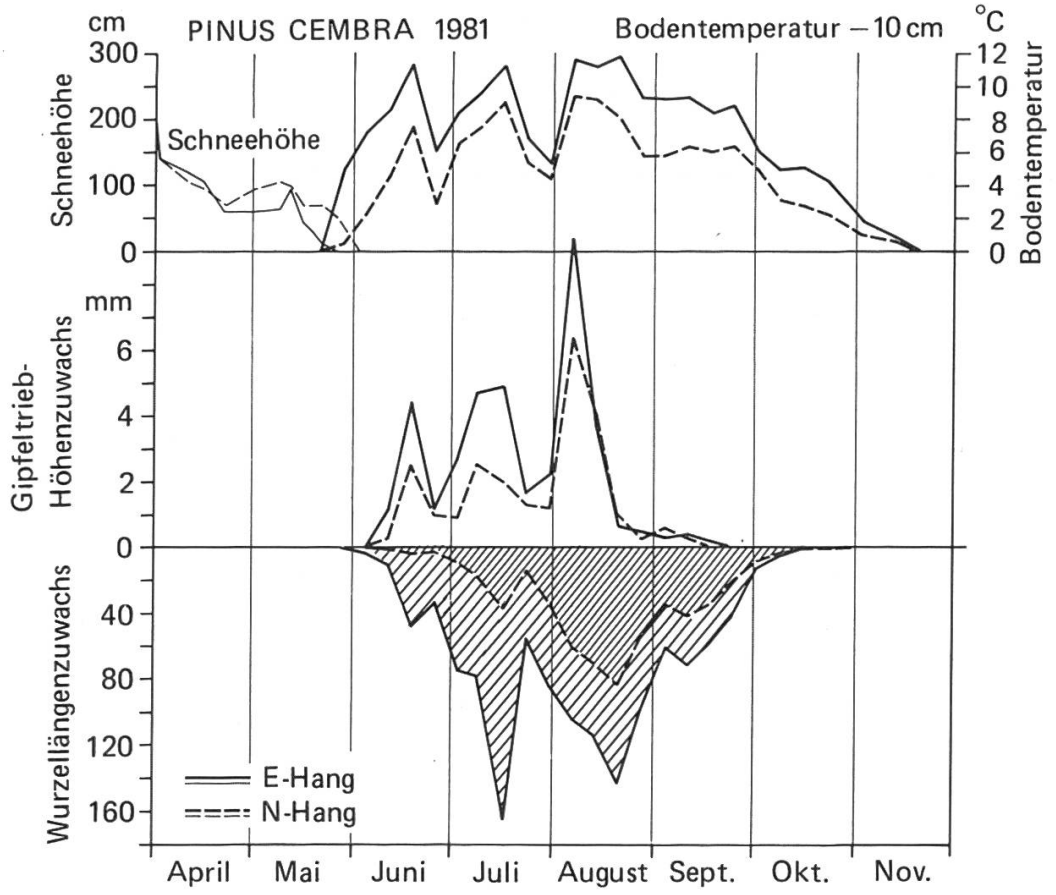


Abbildung 4.3 b. Wie *Abbildung 4.3 a,* jedoch Wachstumsverlauf der Arve im Jahr 1981. Alter der Pflanzen: acht Jahre. Datum der Pflanzung: September 1980. Aus *Turner* und *Streule,* 1983.

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 $2^1/_2$ 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)*.

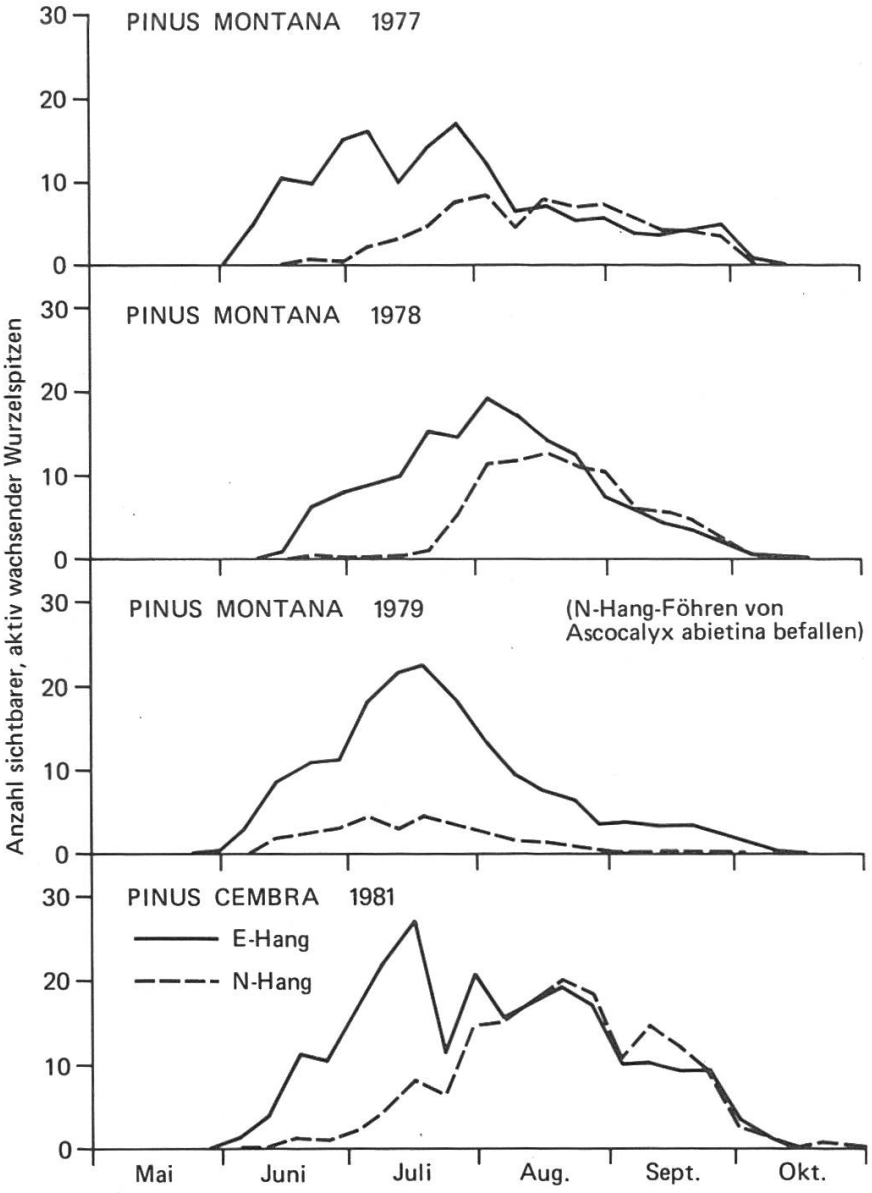


Abbildung 4.3 c. Anzahl sichtbarer, wachsender Wurzelspitzen junger Bergföhren und Arven an ost- und nordexponierten Hängen der Versuchsfläche Stillberg (Mittelwerte von je zehn Pflanzen pro Standort). Aus *Turner* und *Streule*, 1983.

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.

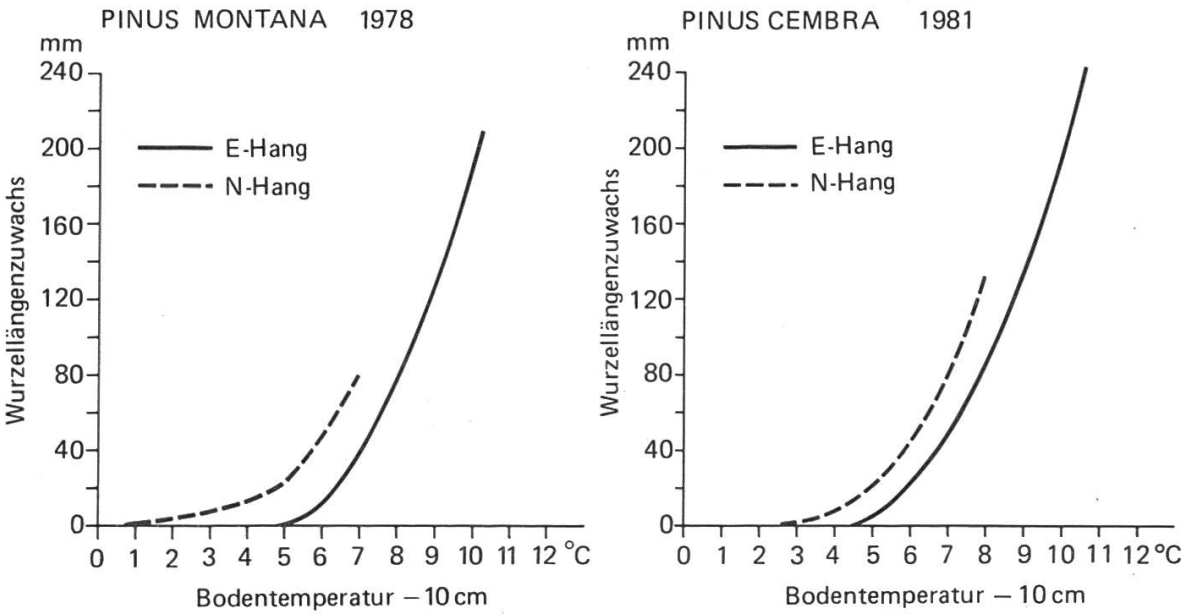


Abbildung 4.3 d. Abhängigkeit des Wurzellängenzuwachses junger Koniferen von der Bodentemperatur in 10 cm Tiefe an ost- und nordexponierten Hängen der Versuchsfläche Stillberg. Längenzuwachs aller sichtbaren Wurzeln pro Pflanze (Mittelwerte von zehn Pflanzen pro Standort). Aus *Turner* und *Streule,*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