

# UNTERSUCHUNGEN ÜBER DEN VERSETZSCHOCK BEI DER LÄRCHE

## WACHSTUM UND WASSERHAUSHALT NACH DEM VERSETZEN

Wilhelm Havranek und Walter Tranquillini

### Einleitung

Rationelle Bestandesbegründungen in Tieflagen und Aufforstungsvorhaben unter besonders schwierigen Bedingungen an der Waldgrenze erfordern in vermehrtem Maße die Produktion von Qualitätspflanzen und die Anwendung geeigneter Pflanzverfahren. Ein zentrales Problem bei Aufforstungen bildet der Transport der Forstpflanzen aus dem Pflanzgarten ins Freiland. Dabei kommt es in der Regel zu einem „Versettschock“, dessen Intensität von geringen Zuwachsstockungen bis zum Absterben der Setzlinge variiert und von einer Vielzahl von Faktoren beeinflußt werden kann.

So wirken sich Standortsunterschiede, wie Änderungen des Klein- und Großklimas des Bodens (BOSSHARD 1964) oder Wechsel in den Konkurrenzverhältnissen bei Aufforstungen auf den Zuwachs nach dem Versetzen aus (SCHMIDT-VOGT 1970, SCHMIDT-VOGT & GÜRTH 1970).

In diesem Zusammenhang interessiert vor allem die Frage, ob man durch verschiedene Kulturmaßnahmen während der Anzucht Forstpflanzen mit bestimmten morphologischen und physiologischen Eigenschaften erhalten kann, bei denen der Versettschock nach einer Auspflanzung in geänderte Umweltbedingungen möglichst klein bleibt (Literaturübersicht dazu bei GÜRTH 1970).

Unter den verschiedenen morphologischen Eigenschaften von Forstpflanzen, die allerdings häufig mit physiologischen Anpassungen gekoppelt sind, spielt für den Kulturerfolg die Stufigkeit der Pflanzen eine wichtige Rolle (SCHMIDT-VOGT 1966).

Zu den teilweise steuerbaren physiologischen Eigenschaften zählen vor allem der Entwicklungszustand der Pflanzen zum Zeitpunkt der Versetzung und die sich häufig mit ihm ändernden Ernährungs- (Reservestoff-) und Resistenzverhältnisse (TRANQUILLINI 1965, TRANQUILLINI und UNTERHOLZNER 1968), sowie der Frischezustand der Setzlinge. Besonders die Erhaltung des Frischezustandes zwischen Ausheben und Einsetzen kann den Versettschock stark reduzieren (SCHMIDT-VOGT & GÜRTH 1967). Zu diesem Zweck entwickelte Wurzelfrischhaltepräparate und Antitranspirantien sollten auch unter ungünstigen Witterungsbedingungen erfolgreiche Aufforstungen ermöglichen (KELLER 1966, 1969, DIMPFLMEIER 1969, RABENSTEINER & TRANQUILLINI 1970 u.a.). Ihre Anwendung könnte die Bestrebungen der Forstwirtschaft nach einer Vergrößerung des für Versetzungen in Frage kommenden Zeitraumes wirksam unterstützen.

Weitere Möglichkeiten, die Zeit für Versetzungen zu strecken, bietet z.B. die Kühllagerung, bei der Forstpflanzen für eine begrenzte Zeit in einem günstigen Entwicklungszustand gehalten werden können (SCHMIDT-VOGT 1964), oder andere Maßnahmen wie Wurzelschnitt im Saatbeet (engl.: wrenching), um die Forstpflanzen in einen für Versetzungen günstigen Entwicklungszustand zu bringen (CAMERON & ROOK 1967, ROOK 1969, VAN DORSSER 1970).

Da sich der physiologische Zustand der Pflanze im natürlichen Vegetationsablauf ändert, was sich u.a. in ihrem wechselnden Wurzelregenerationsvermögen zeigt (STONE et al. 1963), kann man annehmen, daß sie auf das Versetzen zu verschiedenen Zeitpunkten nicht gleich reagiert. Daher interessierte zunächst die Frage, welchen Einfluß verschiedene Versetztermine auf das Wachstum einzelner Organe haben (TRANQUILLINI & HAVRANEK 1970) und wie der Versetztschock auf den Zuwachs in der Folgezeit nachwirkt.

Obwohl das Auftreten eines Versetztschockes allgemein und seit langer Zeit bekannt ist, fehlen doch umfassende Untersuchungen seiner physiologischen Ursachen noch weitgehend (vgl. GÜRTH 1970). Da beim Versetzen primär der Kontakt zwischen Boden und Wurzeln gestört wird, erschien es uns sinnvoll, vorerst den Wasserhaushalt nach dem Versetzen zu verfolgen. Hier galt es zu klären, in welchem Ausmass der Wasserhaushalt zu verschiedenen Terminen versetzter Pflanzen von dem unversetzter abweicht und wie lange es dauert, bis sich die Wasserbilanz der Setzlinge wieder normalisiert.

Da die Wasserversorgung direkten und indirekten Einfluß auf den übrigen Stoffwechsel hat, dürfte ihr für den Versetztschock zentrale Bedeutung zukommen.

### **Material und Methodik**

Ein erster Versuch, um die Auswirkungen des Versetzens auf den Zuwachs verschiedener Pflanzenorgane zu bestimmen, wurde im Jahre 1969 begonnen und mit Höhenzuwachs-messungen im Jahre 1970 fortgesetzt. In einem zweiten, 1970 neu angelegten Versuch wollten wir neben dem Höhenzuwachs vor allem den Wasserhaushalt nach dem Versetzen verfolgen.

Als Versuchspflanzen dienten in beiden Jahren 2-jährige unverschulte Lärchen (*Larix decidua* Mill.), die aus Rillensaat in Beeten des Pflanzgartens Flauring (700 m ü. M.) hervorgegangen waren.

Ein Teil der Sämlinge wurde zunächst durch Ausschneiden ausgelichtet, sodaß diese etwa den gleichen Abstand hatten wie die Pflanzen nach dem Versetzen. Sie blieben bis zum Abschluß der Messungen im Beet und dienten als unversetzte Kontrollen. Von den übrigen Sämlingen wurde von April bis Oktober monatlich eine Gruppe in ein anderes Beet des Pflanzgartens versetzt. Die wie üblich ausgehobenen Pflanzen kamen zunächst in einen Raum der Pflanzgartenhütte, wo ihre Wurzeln mit einem feuchten Tuch abgedeckt wurden. Erst nach vier Stunden wurden sie in den Boden eingesetzt, wobei der Pflanzen- und Reihenabstand etwa 10 cm betrug. Durch die Lagerung sollten die Verhältnisse bei sorgfältig ausgeführten prak-

tischen Aufforstungen nachgeahmt werden, bei denen in der Regel das Einsetzen auch erst einige Stunden nach dem Ausheben erfolgt. Um Ungleichheiten des Wetters zu den verschiedenen Pflanzterminen und in der darauffolgenden Zeit abzuschwächen, wurden alle Setzlinge bei Trockenheit begossen, besonders unmittelbar nach dem Versetzen. An je 20 Pflanzen der Kontrollen und jeder Versetzungsgruppe wurde monatlich die Länge des Haupttriebes gemessen. Die Zuwächse der Seitentriebe, Dickenwachstum, Verholzung und Kambialaktivität wurden nur im Jahre 1969 bestimmt. Hingegen wurde der jeweilige Bewurzelungsgrad von Kontrollen und versetzten Lärchen in beiden Versuchsjahren nach Zahl und Länge der neugebildeten weißen Wurzeln geschätzt.

Im Jahre 1970 wurden ferner der Versetzschock bei 1-jährigen Lärchensämlingen untersucht, um altersabhängige Unterschiede in der Hemmung des Höhenwachstums bei einer Frühjahrserschulung zu erfassen.

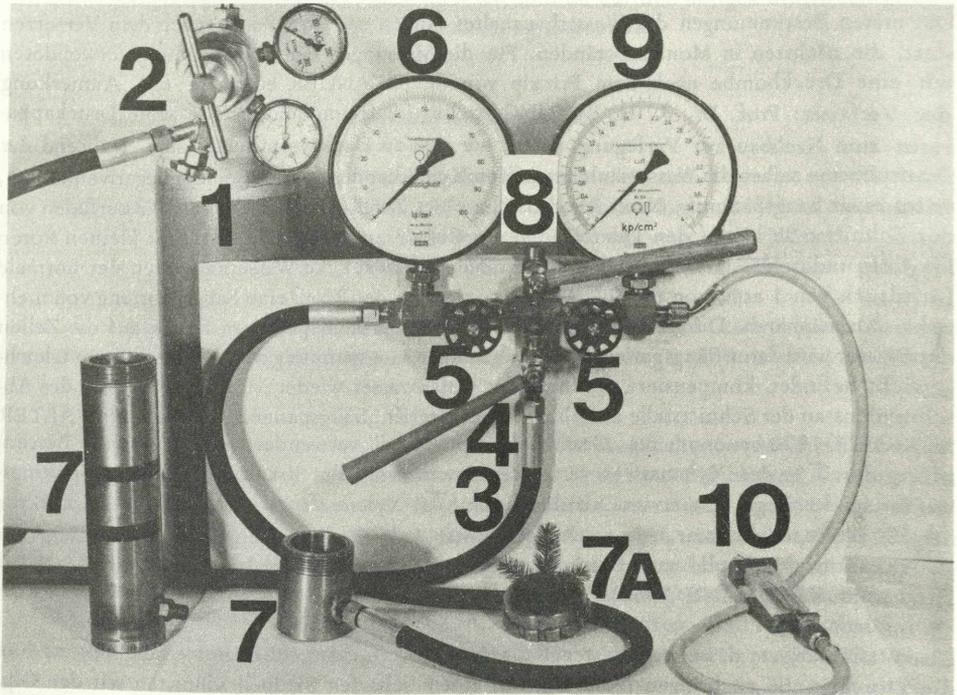
Zur Charakterisierung des Wasserhaushaltes der Lärchen bestimmten wir die tagesperiodischen Änderungen der Saugspannung des Wassers im Gefäßsystem ( $S$ ), den potentiellen osmotischen Druck ( $\pi^*$ ) und den Verlauf der Transpiration. Nach Möglichkeit wählten wir dazu warme Schönwettertage, an denen Anspannungen in der Wasserversorgung besonders deutlich hervortreten. Um den Zustand größtmöglicher Wassersättigung der Pflanzen zu erfassen, maßen wir  $S$  und  $\pi^*$  in der Dämmerung vor Sonnenaufgang; weitere Bestimmungen führten wir am Morgen und während der heißesten Zeit am frühen Nachmittag durch, wo erfahrungsgemäß die größten Sättigungsdefizite auftreten.

Die ersten Bestimmungen des Wasserhaushaltes fanden ca. eine Woche nach dem Versetzen statt, die nächsten in Monatsabständen. Für die Messungen der Saugspannung verwendeten wir eine Druckbombe nach dem Prinzip von SCHOLANDER et. al. (1965). Anmerkung der Verfasser: Prof. Dr. R. H. WARING stellte uns freundlicher Weise seine Druckapparat zum Nachbau zur Verfügung, wofür wir ihm zu Dank verpflichtet sind. Während der Transpiration stehen die Wassersäulchen in den Xylemkapillaren unter einem negativen Druck, unter einer Saugspannung. Nach Abschneiden eines Zweiges ziehen sich die Wasserfäden von der Schnittstelle bis zu den Querwänden der Gefäße zurück, die wegen ihrer kleinen Poren für Luft undurchlässig sind. An der Schnittstelle wirkt auf die Wasserkapillaren der normale Luftdruck von 1 atm, von den Blättern her jedoch in der Regel eine Saugspannung von mehreren Atmosphären. Durch einen im Idealfall gleich großen positiven Druck auf die Zellen der Blätter wird deren Saugspannung, die sich mit der Saugspannung des Xylemsaftes im Gleichgewicht befindet, kompensiert, wodurch das Gefäßwasser wieder wie zum Zeitpunkt des Abschneidens an der Schnittstelle aufsteigt. (Der Begriff „Saugspannung“ kann nach WALTER & KREEB 1970 synonym für „Gesamtwasserpotential“ verwendet werden. Auf die Bestimmung des  $\pi^*$  des Xylemsaftes verzichteten wir, weil die Streuung der Saugspannungswerte in der Regel größer war als die durch  $\pi^*$  Xylemsaft zu erwartende Korrektur der  $S$ -Werte. Vgl. dazu Untersuchungen unter Laborbedingungen über die Eignung der Druckkammer-Methode zur Bestimmung des Wasserpotentials der Blätter von BOYER 1967 und KAUFMANN 1968).

Um Wasserverluste des abgeschnittenen Zweiges zu vermeiden, ist es notwendig, ihn rasch in die Druckbombe zu bringen (Abb. 1). Mit einem scharfen Skalpell schnitten wir den Gip-

Abb. 1:

Druckapparat zur Bestimmung der Saugspannung im Xylem (linke Bildhälfte) und der Stomataweite von Nadeln (rechte Bildhälfte). Zur Funktionsweise der Druckbombe: Der rechte Teil der Apparatur wird durch Absperrventil (5) druckfrei gehalten. Druckregulierventil (4) und Auslaßventil (8) werden geschlossen; Preßluftflasche (1) öffnen und Reduzierventil (2) einstellen; Apparatur ist meßbereit: Zweig abschneiden, in den Deckel (7A) der Druckbombe (7) mit der Schnittstelle nach außen hineinstecken und Deckel aufschrauben. Danach wird (4) langsam geöffnet, sodaß Preßluft über den Druckschlauch (3) in die Bombe strömt. Der Druckanstieg ist am Manometer (6) kontrollierbar. Nach Feuchtwerden der Schnittstelle wird (4) zuge dreht und (6) abgelesen. Druck über (8) ablassen, Bombe öffnen, Zweig entfernen und (8) schließen; die Apparatur ist für die nächste Messung bereit. Stomataweitenbestimmung nach FRY & WALKER 1967: Linker Hahn (5) und (4) werden geschlossen. In der Halterung wird eine Nadel mit flüssigem Baumwachs befestigt und in die mit einem Alkohol-Wassergemisch gefüllte Plexiglasküvette (10) eingedichtet. Nach sehr vorsichtigem Öffnen von (4) steigt der Druck in der Küvette langsam an, bis die Infiltration der Nadel eintritt. Nach Absperrren von (4) kann der Druck auf einem Feinmanometer (9) (0 bis 4 atm) abgelesen werden.



feltrieb ab und schälten etwa auf 1 cm Länge hinter der Schnittstelle Rinde und Phloem ab. Das freigelegte Xylemende wird dann vorsichtig, um ein Abknicken zu vermeiden, durch einen Gummistöpsel, der als Dichtung in den Deckel des Stahlzylinders eingesenkt ist, nur soweit durch die Deckelbohrung nach außen geschoben, daß die Schnittstelle mit einer Lupe gut betrachtet werden kann.

Nach Zuschrauben des Deckels läßt man in die nunmehr gasdichte Kammer langsam, so daß der Druck in der Kammer höchstens um 0.5 bis 1.0 atm/sec. ansteigt, Preßluft ein. Sobald auf der Schnittstelle außerhalb der Kammer die ersten Spuren ausgepreßten Gefäßwassers erscheinen — bei Lärchen wird das Holz feucht, bevor Wassertröpfchen und Luftblasen hervorsprudeln—, wird das Regulierventil geschlossen und der betreffende Druck auf einem Manometer bis 0.5 atm genau abgelesen.

Eine vollständige Einzelmessung dauerte vom Abschneiden bis zum Druckgleichgewicht nur etwa 2 Minuten, so daß sich die geringen Transpirationsverluste noch nicht in einem Anstieg der Meßwerte auswirkten. (Nach WARING & CLEARY 1967 stiegen bei *Pseudotsuga* die Werte auch 5 min. nach dem Abschneiden noch nicht an. Abgeschnittene Lärchenzweige wiesen nach unseren Beobachtungen nach 5minütiger Exposition in starker Sonne bereits leicht erhöhte Saugspannung auf).

Für jede Bestimmung verwendeten wir 6 Einzelpflanzen, deren Saugspannungen gemittelt wurden. Die Streuung der Einzelwerte war bei niedriger Saugspannung sehr klein ( $\pm 0.3$  atm) und nahm bei unversetzten oder gut bewurzelten Lärchen tagsüber auf maximal  $\pm 1.5$  atm (im Herbst jedoch auf + 3 atm) zu. Bei schlecht bewurzelten Setzlingen war die Streuung naturgemäß größer; besonders stark abweichende Einzelwerte wurden daher in Abb. 5 als solche eingetragen.

Unmittelbar nach den Saugspannungsmessungen wurde in der Regel das an den Sechsergruppen übriggebliebene Nadelmaterial samt kleinen Seitenästchen für die kryoskopische Bestimmung des potentiellen osmotischen Druckes (nach WALTER & KREB 1970) eingesammelt.

Die Transpiration wurde an 3 – 4 cm langen abgeschnittenen Zweigen, die wir jeweils von 3 verschiedenen Bäumchen jeder Versetzgruppe entnahmen, nach der Momentanmethode mit einer Torsionswaage bestimmt; die Evaporation gleichzeitig mit grünen Piche-Scheiben von 5 cm Durchmesser.

## Ergebnisse

### 1. Höhenwachstum

Das Höhenwachstum im Jahr der Versetzung blieb bei den Lärchen aller Versetztermine gegenüber unversetzten Kontrollpflanzen deutlich zurück. Von allen Versetzterminen der Jahre 1969 (Abb. 2.) und 1970 (Abb. 3 A) wurde das Höhenwachstum 2-jähriger, bereits benadelter Lärchen nach der Verschulung Anfang Mai am schwächsten gehemmt: Die Sämlinge des

Versuchsjahre 1969 (46.7 cm hoch) erreichten 51 %, die etwas kleineren (35 cm) Lärchen des Versuchsjahres 1970 sogar 60 % der Länge des Höhentriebes von Kontrollen. 1-jährige Sämlinge (ca. 3 cm), die 1970 zugleich mit den 2-jährigen verpflanzt wurden, entwickelten sogar einen Höhenzuwachs von 70 % ihrer Kontrollen (Abb. 3 B). Im noch unbenadelten Zustand Anfang April 1969 verschulte 2-jährige Lärchen erreichten 45 % des Höhentriebes der Kontrollen.

Sehr stark war die Zuwachsstockung bei den im Sommer versetzten Pflanzen, die trotz des Vorsprungs, der durch den Höhentrieb vor dem Versetzen Anfang Juni gegeben war, nicht über 35 % (1969) bzw. 32 % (1970) der Endtrieblänge von Kontrollen hinaus kamen.

Selbst die Mitte August übertragenen Pflanzen zeigten noch eine deutliche Zuwachshemmung, obwohl die Wachstumsintensität der Kontrollpflanzen zu diesem Zeitpunkt schon stark zurückgegangen war (Abb. 2).

Tiefere Einblicke in den Verlauf des Höhenwachstums erhält man, wenn man die mittlere Wachstumsintensität zwischen den einzelnen Meßterminen betrachtet (Abb. 4 A). Die Wachstumsintensität unversetzter Pflanzen nahm bis Ende Juli laufend zu und fiel dann rasch ab. Der Zuwachs der versetzten Lärchen stockte vor allem im 1. Monat nach dem Versetzen und wurde meist im weiteren Verlauf wieder etwas lebhafter. Aus Abb. 4 ist nochmals deutlich zu erkennen, daß das Wachstum nach den beiden Sommerschulungen (Juni und Juli) am stärksten gehemmt war.

Da sich der Höhentrieb 1969 aus dem Zuwachs vor und nach der Verschulung zusammensetzt und sich die Spätherbstverschulung auf den diesjährigen Höhenzuwachs nicht mehr auswirken konnte, wurde er auch in der darauffolgenden Vegetationsperiode bestimmt (Abb. 2). Die im Frühjahr 1969 versetzten Lärchen begannen 1970 als erste mit der Ausbildung von Nadeln, die schließlich, verglichen mit den übrigen Versetzgruppen, am größten wurden. Etwas später erschienen die Nadeln der im Sommer verschulerten Lärchen, die dann deutlich kleiner blieben. Zuletzt folgten stark verzögert die Bäumchen der Herbstverschulung, die nur kümmerliche kleine Nadelbüschel hervorbrachten. Dieser Benadelungsintensität entsprach auch der Höhenzuwachs 1970: Den weitaus größten erreichten im Frühjahr versetzte Lärchen (100 %), einen deutlich geringeren die Pflanzen der Sommerschulung (56 %) und einen sehr kleinen von nur 20 % jene der Herbstverschulung.

Die Wachstumsintensität der im Frühjahr verschulerten Pflanzen war sogar wesentlich höher als die der Kontrollpflanzen, wodurch sie diese bereits im 2. Jahr an Höhe übertrafen (Abb. 2). Bei Verschulungen im Sommer und im Herbst wirkt der Versetzchock auch im 2. Jahr noch stark nach. Das hatte zur Folge, daß Lärchen der Herbstverschulung nur 66 % des Gesamthöhenzuwachses der im Frühjahr versetzten Lärchen erreichten;

## 2. Seitentrieb- und Dickenwachstum

Im allgemeinen blieb das Seitentriebwachstum nach dem Versetzen weniger stark zurück als das Höhenwachstum. Dies beruht vor allem darauf, daß die Seitentriebe der früh verpflanzten

Lärchen relativ lange und im Herbst noch lebhaft wuchsen, während die Seitentriebe der unversetzten Kontrollen ihr Wachstum ab August einstellten (Abb. 4 B).

Der Radialzuwachs wurde nach dem Versetzen bedeutend weniger gehemmt als das Längenzuwachs der Haupt- und Seitentriebe (vgl. MULLIN 1964). Er blieb zwar in der ersten Zeit nach dem Versetzen gegenüber den Kontrollen zurück, holte aber bis zum Ende der Vegetationsperiode auf und übertrag bei einzelnen Versetzungsgruppen sogar den Zuwachs der Kontrollen.

In dieser relativen Förderung des Seitentrieb- und Dickenwachstums gegenüber dem Höhenzuwachs spiegelt sich der bekannte Verschulungseffekt wider, der zur Ausbildung von stufigen Pflanzen mit kräftigeren Sprossen führt (RUPF, SCHÖNHAR und ZEYHER 1961).

### 3. Wurzelwachstum

In den Jahren 1969 und 1970 blieb das Wurzelwachstum bei unversetzten Kontrollen im Frühjahr mäßig, ruhte weitgehend während der Hauptstreckungsperiode der Triebe und setzte

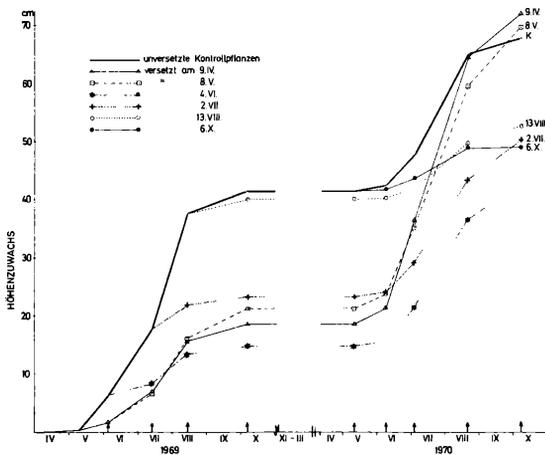


Abb. 2: Einfluß des Versetzens zu verschiedenen Zeitpunkten auf den Höhenzuwachs 2-jähriger Lärchen im Jahr der Versetzung (1969) und im Folgejahr (1970). Die Versetzttermine, an denen gleichzeitig die Länge der Haupttriebe gemessen wurde, sind durch Pfeile markiert.

erst im Spätsommer wieder intensiv ein. Aus Abb. 5 ist zu ersehen, daß im Frühjahr (1969) versetzte Lärchen ca. 2 Monate, dagegen im Sommer versetzte nur etwa 1 Monat brauchten, um ein üppiges, neues Wurzelsystem zu entwickeln. Danach klang das Wurzelwachstum wieder rasch ab.

Die Regeneration des Wurzelsystems gelang 1969 fast allen Pflanzen während der gesamten Vegetationsperiode. (Von über 200 Setzlingen fielen nur 2 aus). Dies beweist, daß die Lärchen wenigstens von April bis September die Fähigkeit zu intensiver Wurzelneubildung besitzen. Nur die im Oktober versetzten Pflanzen konnten sich vermutlich wegen der tieferen Bodentemperatur nicht mehr gut bewurzeln.

Im Jahre 1970 wurde der Bewurzelungszustand das erste Mal schon eine Woche nach dem Versetzen geprüft. Es stellte sich heraus, daß die Lärchen zu keinem Versetztermin in der Lage waren, sich in dieser kurzen Zeit bereits neu zu bewurzeln. Lediglich nach der Spätsommerverschulung (31. August) konnten schon nach der ersten Woche vereinzelt dicke weiße Wurzelknospen festgestellt werden.

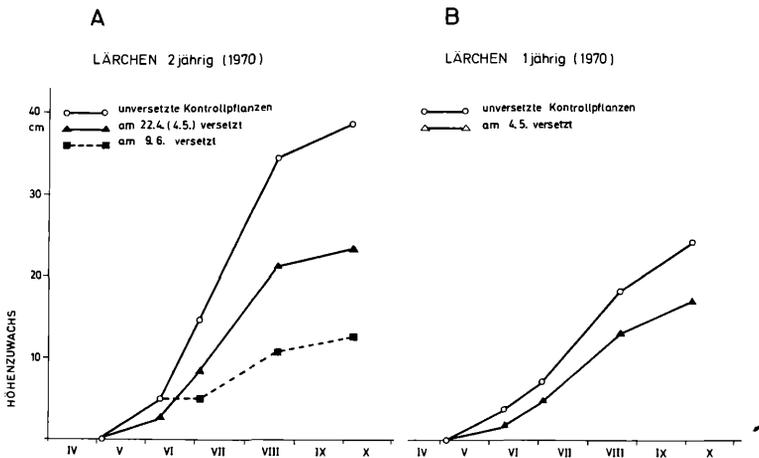


Abb. 3: Höhenzuwachs 2-jähriger und 1-jähriger Lärchensämlinge im Jahr der Versetzung (1970). Der Höhenzuwachs ist bei 2-jährigen Lärchensämlingen (A) absolut größer als bei den 1-jährigen Lärchensämlingen (B), zeigt jedoch bei letzteren relativ zu den unversetzten Kontrollen eine geringere Hemmung

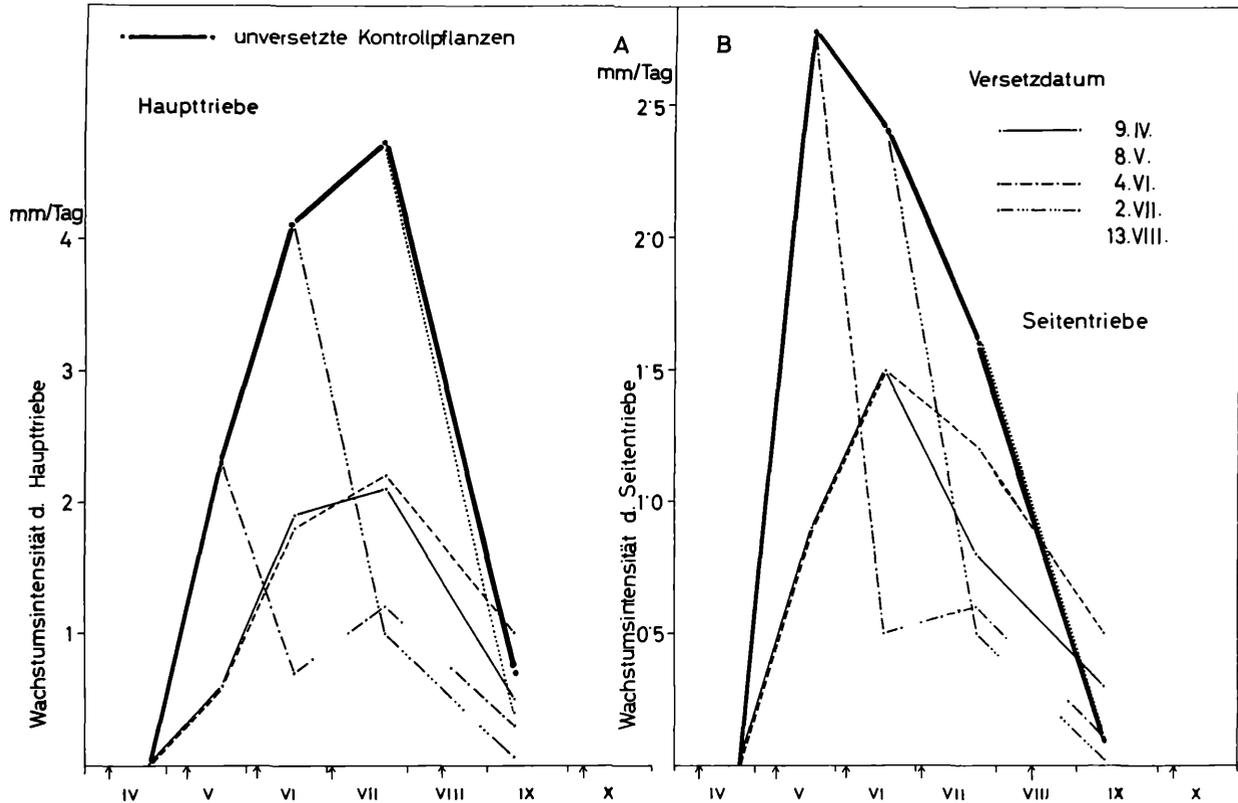


Abb. 4: Wachstumsintensität (Zuwachs in mm/Tag) der Haupttriebe (A) und der Seitentriebe (B) unversetzter sowie zu verschiedenen Zeitpunkten verschulter 2-jähriger Lärchen zwischen den einzelnen Meßterminen (Pfeile) während der Vegetationsperiode 1969.

Bei der nächsten Untersuchung, die ein Monat nach dem Versetzen erfolgte, glich die Intensität der Neuwurzelbildung in groben Zügen derjenigen von 1969 (langsames Wurzelwachstum im Frühjahr, rascheres im Sommer), doch reagierten die Setzlinge vor allem bei den Sommer- und Spätsommerverschulungen (9.6., 3.7. und 31.8.) nicht so einheitlich wie 1969: Ein Großteil von ihnen hatte bereits nach dem 1. Monat ein üppiges, aus zahlreichen neuen Lang- und Kurzwurzeln bestehendes Wurzelsystem ausgebildet. Bei einem anderen Teil der Lärchen begannen gerade neue Wurzelspitzen auszutreiben, während bei einigen Setzlingen keinerlei Anzeichen einer Wurzelneubildung erkennbar waren. Von dieser letzten Gruppe konnten einzelne Lärchen nach dreimonatiger sommerlicher Dürrebelastung Anfang September noch in bescheidenem Maß Wurzeln schlagen. Nur wenige waren dazu nicht mehr in der Lage; ihre alten Wurzeln wiesen zu diesem Zeitpunkt bereits Fäulniserscheinungen auf und die oberirdischen Teile vertrockneten zusehends.

Selbst nach Spätsommerverschulungen fanden wir nach 5 Wochen bei rund 15 % der Setzlinge keine Neuwurzeln, obwohl das Wurzelwachstum bei einem Teil der Lärchen schon in der ersten Woche nach dem Versetzen wieder in Gang gekommen war und auch bei den Kontrollen jahreszeitlich bedingt wieder starke Wurzelbildung auftrat.

Bis zum Ende der Vegetationsperiode hatte sich der überwiegende Teil aller Versetzungsgruppen gut bewurzelt. Im Habitus und in der Masse des Wurzelsystems unterschieden sich jedoch die einzelnen Versetzungsgruppen in typischer Weise: Die unversetzten Kontrollen zeigten eine kräftige, tiefreichende Pfahlwurzel mit relativ wenigen Seitenwurzeln. Durch die Frühjahrsverschulung traten an die Stelle einer dominierenden Hauptwurzel mehrere kräftige Senker. Im Sommer verschulte Lärchen zeichneten sich durch ein ähnliches, doch mengenmäßig bedeutend kleineres Wurzelsystem aus. Im Spätsommer und Herbst besaßen die Lärchen schon vor der Versetzung dicke Pfahlwurzeln, aus denen in günstigen Fällen ganze Büschel von Neuwurzeln austrieben, die allerdings nur die nächste Umgebung der Hauptwurzel erschlossen. Allgemein kann gesagt werden, daß das Wurzel/Sproß-Verhältnis und die Durchdringung des Bodenraumes umso geringer blieben, je später die Pflanzen versetzt wurden.

#### 4. Saugspannung und Transpiration

Das erste Mal verschulten wir am 22. April soeben austreibende Lärchen; wir mußten daher mit den ersten Messungen warten bis die Nadeln voll ausgebildet waren. Nach drei Wochen hatten die Kontrollen und Setzlinge mäßig viele Neuwurzeln getrieben. Obwohl wir am 15.5. im Bewurzelungsgrad keinen Unterschied mehr feststellen konnten, stieg an diesem föhlig warmen, leicht bewölkten Tag die Saugspannung der Setzlinge tagsüber stärker an als bei den Kontrollpflanzen (Abb. 6). Dies läßt darauf schließen, daß ihre Wasseraufnahmefähigkeit verringert war. Um einigermaßen das Gleichgewicht zu halten, mußten sie daher die Transpiration etwas einschränken.

Eine Woche nach der 2. Versetzung besaßen die Lärchen noch keine Neuwurzeln (15.6.). Dementsprechend blieb ihre Wasseraufnahme so gering, daß die Saugspannung schon am

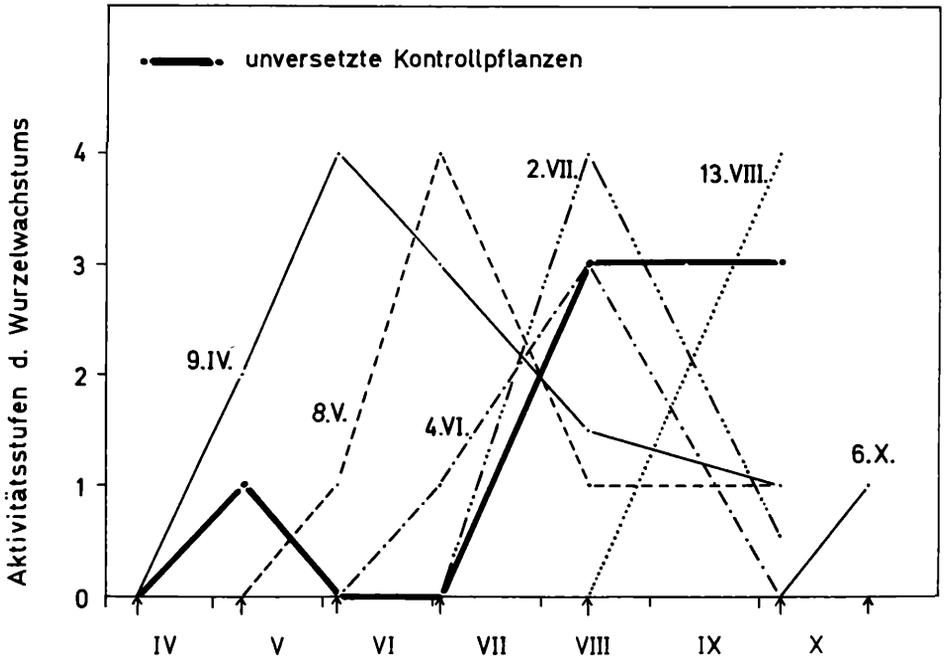


Abb. 5: Aktivität des Wurzelwachstums unversetzter sowie zu verschiedenen Zeitpunkten verschulter 2-jähriger Lärchen während der Vegetationsperiode 1969. Die Pflanzen wurden zu den einzelnen Beobachtungsterminen (Pfeile) sorgfältig ausgehoben und die Aktivität des Wurzelwachstums nach der Zahl und der Länge der weißen Neuwurzeln beurteilt: Stufe 0: kein Zuwachs, Stufe 1 einige lange oder viele kurze weiße Neuwurzeln, Stufe 2: mäßig viele lange Neuwurzeln, Stufe 3: sehr viele lange Neuwurzeln, Stufe 4: überaus zahlreiche, sehr lange Neuwurzeln.

Morgen bei trübem, windstillem Wetter auf über 15 atm. anstieg, das ist um 6.5 atm mehr als bei den Kontrollen (Abb. 6). Um eine weitere Verschlechterung der Wasserbilanz zu verhindern, reduzierten die Setzlinge ihre Wasserabgabe auf ein Minimum (Abb.7 A). Diese rigorose Drosselung der Transpiration führte- wie man aus der Abnahme der Saugspannung am Nachmittag schließen kann- zu einer leichten Besserung im Wasserhaushalt, obwohl es ab 11 Uhr sonnig und warm wurde. Die Kontrollen und die bereits sehr gut bewurzelten Setzlinge der 1. Verschu- lung konnten es sich leisten, ihre Transpiration und ihre Saugspannung mit zunehmender E- vaporation noch etwas ansteigen zu lassen.

Einen Monat nach der 2. Versetzung stimmten die Tagesgänge der Saugspannung und der Transpiration bei einem Großteil der Setzlinge im wesentlichen wieder mit den Kontroll- pflanzen überein (8.7.). Bei einzelnen welken Pflanzen wurden jedoch schon in der Morgen- dämmerung Saugspannungen bis zu 35 atm gemessen, d.h., diese Lärchen konnten sich auch über Nacht nicht wieder aufsättigen. Ähnlich hohe Werte fanden wir bei welken Pflanzen auch tagsüber. Aber auch an turgeszenten und äußerlich in keiner Weise von den übrigen Lärchen unterscheidbaren Setzlingen traten manchmal im Vergleich zu den Kontrollen (12- 13 atm) stark überhöhte Saugspannungen von 20–25 atm auf. Wie sich herausstellte, hatten diese Pflanzen erst ganz wenige und kurze Neuwurzeln oder wenigstens viel altes Wurzelwerk. Demgegenüber wiesen welke Pflanzen nur alte Wurzeln und keine Anzeichen eines neuer- lichen Wurzelwachstums auf, während alle Pflanzen mit normalen Saugspannungswerten ein bereits gut ausgebildetes Neuwurzelsystem besaßen. Wir konnten also eine schöne Überein- stimmung finden zwischen der Höhe der Saugspannung und dem Bewurzelungsgrad. Das glei- che Ergebnis erhielten wir bei dieser 2. Versetzgruppe auch noch 2 Monate später am 8.9. Bis zum 7.10. konnten sich hingegen alle Lärchen, soweit sie nicht abgestorben waren, neu bewurzeln und somit ihre Saugspannung und Transpiration normalisieren.

Der 3. Versetztermin lag im Hochsommer, am 3.7. Obwohl der Pflanzgartenboden immer feucht blieb – Stichproben am 8.7. ergaben Bodenwasser–Saugspannungen im Wurzelhori- zont zwischen 0.2 und maximal 1 atm –, konnten diesmal die vor einer Woche versetzten und noch nicht neu bewurzelten Lärchen auch über Nacht ihr Wassersättigungsdefizit vom Vor- tag nicht vollständig ergänzen. Ihre Saugspannung blieb daher vor Sonnenaufgang um 2 atm höher als bei den Kontrollen (Abb. 6, 8.7.). Sobald die Bäumchen in die Sonne kamen, nahm die Saugspannung bei den frisch Versetzten auf 17 atm, bei den Kontrollpflanzen nur auf 10 atm zu. Im Verlauf dieses heißen, sonnigen Tages vergrößerte sich das Wassersättigungs- defizit der Luft von  $-7 \text{ g/m}^3$  am Morgen auf  $-27 \text{ g/m}^3$  am frühen Nachmittag. Dadurch waren nicht nur die erst kürzlich versetzten Lärchen gezwungen, ihre Wasserabgabe kategorisch ein- zuschränken, sondern auch die Kontrollpflanzen und die übrigen gut bewurzelten Pflanzen, wenn auch nicht im gleichen Ausmaß (Abb. 7).

Nach 2 Monaten (8.9.) hatten sich die meisten Setzlinge ausgezeichnet neu bewurzelt und stimmten nun hinsichtlich Saugspannung und Transpiration mit den Kontrollpflanzen überein. Wie nach der 2. Versetzung gab es auch bei dieser 3. einzelne Lärchen, die 2 Monate nach dem Versetzen noch keine neuen Wurzeln und daher noch hohe Saugspannungen aufwiesen.

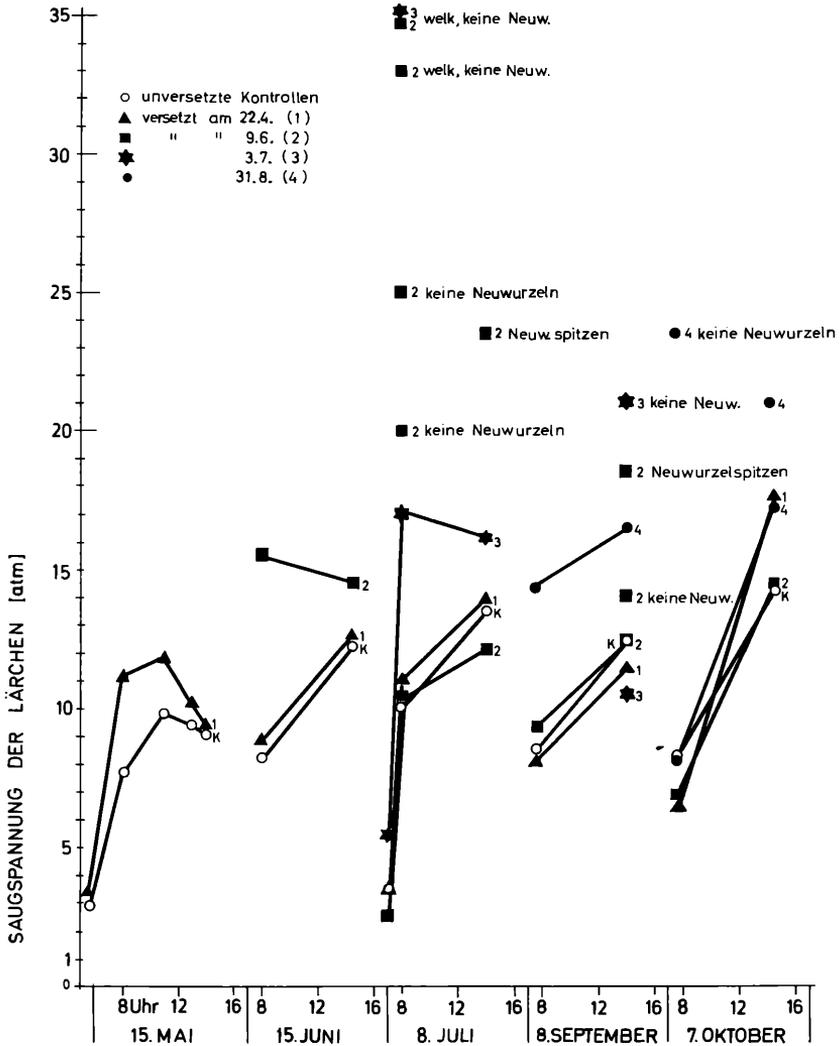


Abb.6: Wasserhaushalt 2-jähriger Lärchen nach Verschulung zu verschiedenen Terminen (1-4) im Vergleich zu unversetzten Kontrollen (K): Tagesgänge der Saugspannung des Xylemwassers an verschiedenen, meist sonnig-warmen Tagen. Einzelsymbole bezeichnen Meßwerte von Einzelpflanzen, verbundene (Symbole) Mittelwerte mehrerer Messungen.

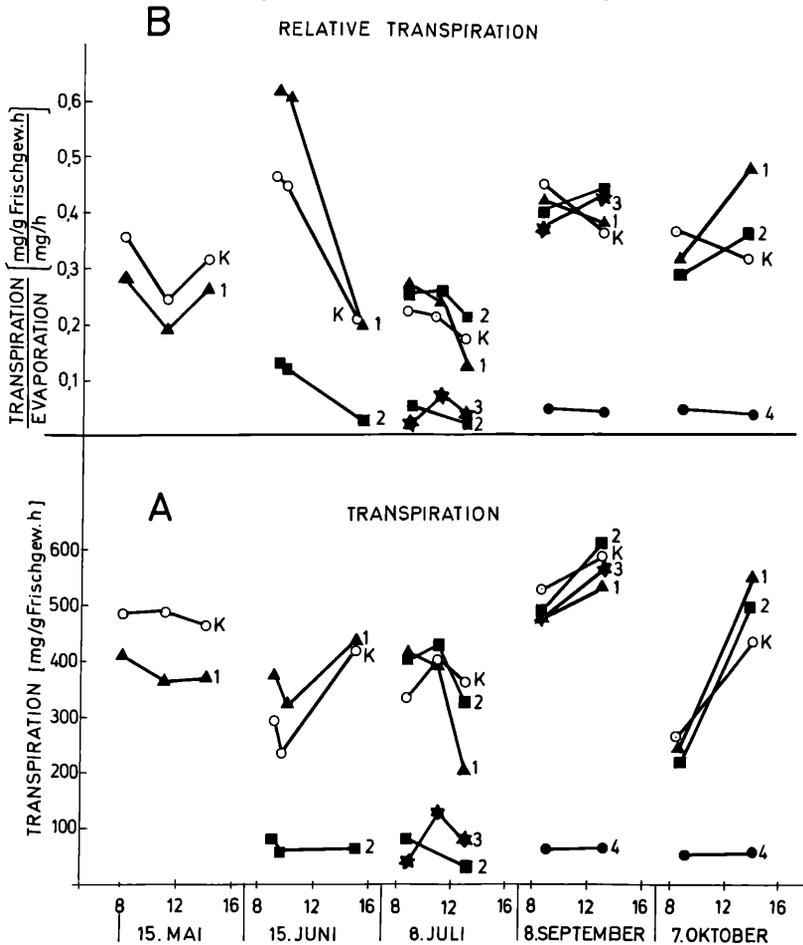


Abb. 7: Tagesgänge der Transpiration (A) und der relativen Transpiration (B) von 2-jährigen Lärchen nach Verschulung zu verschiedenen Terminen im Vergleich zu unversetzten Kontrollen. Zur Berechnung der relativen Transpiration wurde die Wasserabgabe der Pflanzen auf die Verdunstung einer nassen Filtrierpapierscheibe (Piche-Scheibe) bezogen. Man kann daher aus der Größe der relativen Transpiration auf Spaltöffnungsregulationen schließen. Gleiche Symbole wie in Abb. 6.

Im Spätsommer (31.8.) verpflanzte Lärchen bildeten z.T. schon in der 1. Woche nach dem Versetzen neue Wurzelknospen aus. Ihre morgendliche Saugspannung lag am 8.9. trotzdem durchschnittlich um 5 atm höher als bei den Kontrollpflanzen. An diesem Tag herrschte zwar herbstlich schönes Wetter, doch waren die Evaporationsbedingungen bereits viel niedriger als im Sommer. (Das Wassersättigungsdefizit der Luft betrug am Morgen  $-4 \text{ g/m}^3$ , am frühen Nachmittag  $-13 \text{ g/m}^3$ ). Wie die hohen Transpirationsraten beweisen, hatte außer den frisch versetzten Lärchen, die nur kutikulär transpirierten, keine andere Versetzungsgruppe Schwierigkeiten mit der Wassernachleitung. Einen Monat danach (7.10.) besaßen von den zuletzt versetzten Lärchen ca.85% unterschiedlich weit entwickelte neue Wurzelsysteme und 15% keine Neuwurzeln. Mehr oder weniger unabhängig vom Bewurzelungszustand blieb die Transpiration bei allen Lärchen dieser 4. Versetzungsgruppe (Abb. 7 A, Kurve 4) im Vergleich zu den übrigen Lärchen recht niedrig. Bei wolkenlosem, warmem Herbstwetter erreichte das Sättigungsdefizit der Luft am Morgen nur  $-2 \text{ g/m}^3$  und in den Mittagsstunden nur mehr  $-5 \text{ g/m}^3$ . Es überraschte daher, daß die Saugspannung bei allen Lärchen von entsprechend niedrigen Morgenwerten auf unverhältnismäßig hohe Mittagswerte anstieg. Da die Pflanzen mit Ausnahme der 4. Versetzungsgruppe absolut und relativ zur Evaporation stark transpirierten, wird die Wasserabgabe trotz der hohen Saugspannung durch die Spaltöffnungen anscheinend kaum eingeschränkt.

### 5. Der potentielle osmotische Druck ( $\pi^*$ )

Um die an verschiedenen Meßtagen erhaltenen osmotischen Drucke untereinander vergleichen zu können, wurden die  $\pi$ -Werte auf  $0^\circ \text{C}$  berechnet ( $\pi_{0^\circ}$ ) und zum Vergleich mit den Saugspannungsmessungen auf die jeweils zum Zeitpunkt der Messung herrschenden Lufttemperaturen ( $\pi_{\frac{t}{t}}$ ).

Die Morgenwerte des osmotischen Druckes ( $\pi_{0^\circ}^*$ ) von Kontrollen und gut bewurzelten Lärchen (Abb. 8) lagen an den einzelnen Meßtagen bis zum 8.9. ziemlich konstant bei 14 atm und nahmen erst im Herbst auf 15 atm zu. (Einen ähnlichen herbstlichen Anstieg beobachtete SCHMUCKER 1962 bei Lärchensämlingen). Die Tagesamplitude des  $\pi_{0^\circ}^*$  betrug während der heißesten Zeit (15.6. und 8.7.) 1 bis 1.5 atm, bei kühlerer Witterung (8.9. und 7.10.) jedoch 2 bis 2.5 atm. Die Bestimmung des osmotischen Druckes fiel im Frühjahr aus technischen Gründen aus. Im Sommer und Spätsommer traten eine Woche nach den Versetzungen schon am Morgen gegenüber den Kontrollen um 2 bis 3 atm erhöhte osmotische Drucke auf. Die Setzlinge konnten diesen Wert aber tagsüber ähnlich wie die Saugspannung annähernd konstant halten und sogar erniedrigen, indem sie durch starke Drosselung der Transpiration die Wasserbilanz stabilisierten. (Ob die Abnahme des osmotischen Druckes am 8.7. bei den Lärchen des 2. und 3. Versetztermines tatsächlich an ein und derselben Pflanze auftritt, kann nicht mit Sicherheit behauptet werden, weil die Morgen- und Mittagswerte von verschiedenen Pflanzen stammen, die u.U. unterschiedlich bewurzelt waren).

Infolge der unzureichenden Wasserversorgung im 1. Monat nach dem Versetzen kommt es zu einem Anstieg des osmotischen Druckes (vgl. Abb. 8, Kurven 2 und 4), der erst nach Besserung der Wasserbilanz wieder auf das Niveau der unversetzten Kontrollen sinkt. Es fällt je-

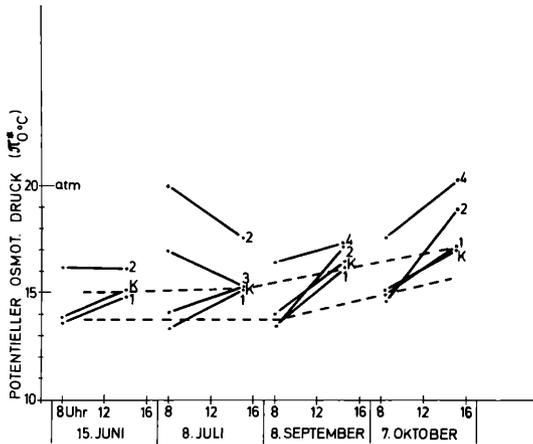


Abb. 8: Tagesschwankungen des potentiellen osmotischen Druckes der Nadeln. Die strichlierte Linie umgrenzt die osmotische Amplitude unversetzter (K) und im Frühjahr verschulter Lärchen (1). Gleiche Symbole wie in Abb. 6.

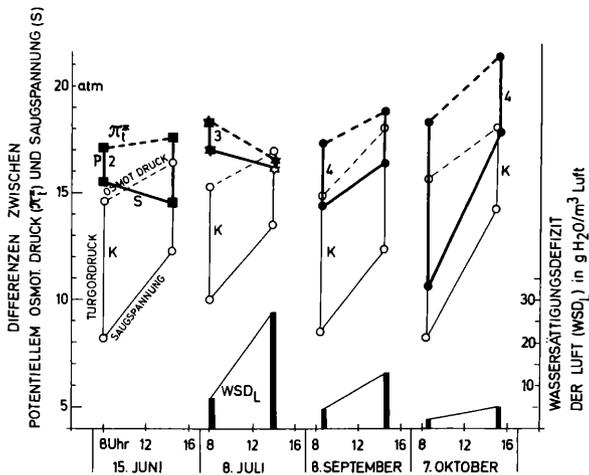


Abb. 9: Tagesschwankungen des Turgordruckes (P) eine Woche nach dem Versetzen 2-jähriger Lärchen im Vergleich zu unversetzten Kontrollen (K). Die Turgordrucke wurden aus den Meßwerten nach der Formel  $\pi - S = P$  berechnet. Gleiche Symbole wie in Abb. 6.

doch auf, daß die Tagesamplitude des osmotischen Druckes möglicherweise wegen der vorangegangenen Dürrebelastung größer bleibt. (Kurve 2 am 8.9. und 7.10.; vgl. KRAL 1966).

## 6. Turgordruck (P)

Der Turgordruck wurde nach der osmotischen Zustandsgleichung  $\Pi \pm S = P$  berechnet (vgl. WALTER & KREEB 1970). Bei dieser überschlagsmäßigen Berechnung wurde für die Saugspannung der Zellen die S des Xylemwassers eingesetzt und Volumsänderungen der Zellen, Gewebedruck und osmotischer Druck des Xylemsaftes vernachlässigt. Da die Berechnung jedoch weniger dem absoluten Wert des Turgordruckes, sondern einem relativen Vergleich zwischen unversetzten Kontrollpflanzen und den verschulerten Lärchen galt, dürfte diese Vereinfachung vertretbar sein.

Im Lauf der Nacht sättigen sich die Kontrollpflanzen sowie die meisten frisch verpflanzten Setzlinge weitgehend auf. Sie zeigen dann sehr niedrige Saugspannungswerte von 2–3 atm und der Turgordruck entpricht annähernd dem osmotischen Druck. Schon am Morgen unterscheidet sich jedoch der Verlauf der osmotischen Zustandsgrößen von Kontrollen und Setzlingen. Während der Turgor der Kontrollen relativ langsam kleiner wird und während der heißesten Zeit immer noch mit mehreren Atmosphären positiv bleibt, nimmt er bei den Setzlingen am Morgen viel rascher und stärker ab und bleibt tagsüber sehr gering (Abb. 9). Daß die überschlagsmäßige Berechnung des Turgordruckes keinen größeren Fehler enthält, beweist die gute Übereinstimmung zwischen dem fast vollständigen (berechneten) Turgorverlust und dem Welken der Setzlinge am 8.7.

Hohe Saugspannungen können in kaum verholzten Xylemzellen allgemein (vgl. GLERUM 1970) und bei der Lärche besonders nach Sommerschulungen zu Deformationen oder sogar Zerreißen der jüngst gebildeten Tracheiden führen, was wir an Sproßquerschnitten unter dem Mikroskop im Jahr 1969 mehrfach beobachten konnten (TRANQUILLINI & HAVRANEK 1970). Auch das Auftreten sogenannter, „falscher Jahresringe“, d.h. der plötzliche Wechsel von großlumigen Frühholztracheiden zu kleinlumigen, dickwandigen Zellen nach dem Versetzen, denen mit der Besserung der Wasserbilanz wieder großlumigere Zellen folgen, könnte maßgeblich von den geänderten Turgorverhältnissen nach den Versetzten bestimmt werden, zumal dem Turgordruck eine wichtige Rolle beim Zellwachstum zugeschrieben wird.

## Besprechung der Ergebnisse

Auch bei vorsichtigem Ausheben verlieren die Lärchen einen beträchtlichen Teil ihrer Feinwurzeln. Sie sind daher gezwungen nach dem Versetzen durch verstärkte Wurzelneubildung ein entsprechendes Wurzel/Sproß-Verhältnis (vgl. KAUSCH & EHRIG 1959) und den innigen Kontakt mit dem Boden wiederherzustellen. Während die unversetzten Lärchen ihr Wurzelwachstum in der Hauptaustriebsperiode gefahrlos weitgehend stilllegen (TRANQUILLINI & UNTERHOLZNER 1968) und dadurch die verfügbaren Baustoffe für das Triebwachstum verwenden können (LISTER et. al. 1967, URSINO & NELSON & KROTKOV 1968), müssen die

Setzlinge auch während der Triebperiode trachten, möglichst rasch Baustoffe für die Regeneration ihres Wurzelsystems bereitzustellen. Die daraus entstehende Konkurrenz zwischen Wurzel und Sproß um die Baustoffe zeigt sich besonders deutlich im 1. Monat nach dem Versetzen, in dem das Haupt- und Seitentriebwachstum fast völlig ruht, während gleichzeitig die Hauptmasse des Feinwurzelsystems regeneriert wird. Erst wenn dadurch die Wasserversorgung wieder sichergestellt ist, geht das Wurzelwachstum zurück und das Triebwachstum kann wieder aktiviert werden.

Im Frühjahr gelingt es den Lärchen am leichtesten, ihre Wurzelverluste zu ersetzen, ohne dadurch das Sproßwachstum besonders nachhaltig einschränken zu müssen. Dies mag damit zusammenhängen, daß die Pflanzen zu dieser Jahreszeit ein noch relativ günstiges Wurzel/Sproß-Verhältnis und ein hohes Wurzelregenerationspotential besitzen. Bis zum Beginn des Triebwachstums haben diese Lärchen, wie man aus den Wasserhaushaltsmessungen erkennt, ihr funktionelles Wurzel/Sproß-Verhältnis wiederhergestellt, sodaß die weitere Zuwachsleistung von dieser Seite kaum mehr beeinträchtigt wird. Dennoch bleibt ihr Zuwachs auch in der Folgezeit kleiner als bei den Kontrollen, u.a. weil die Zuwachsraten auch von der jeweils gegebenen Gesamtnadeloberfläche der Pflanzen (Photosynthesefläche), die bei den versetzten Lärchen kleiner ist als bei den Kontrollen, mitbestimmt wurde.

Die Bedeutung der Blattfläche für den Zuwachs erkennt man aus den unterschiedlichen Jahreszuwachsen von 1- und 2-jährigen Kontrollen (Abb. 3 A, B) und von frühjahrsversetzten 1- und 2-jährigen Sämlingen, wobei der Absolutzuwachs der 2-jährigen Setzlinge trotz des stärkeren Versetzschokes noch größer als bei den 1-jährigen bleibt.

Die Reduktion der Photosynthesefläche gegenüber unversetzten Kontrollen ist bei Verschulungen im Sommer besonders groß, weil die durch langanhaltende Schwierigkeiten im Wasserhaushalt hervorgerufene Zuwachshemmung in die Zeit intensiven Sproßwachstum fällt, und weil das Wurzel/Sproß-Verhältnis nicht nur durch Wurzelbildung sondern auch durch teilweisen Nadelabwurf wiedererlangt wird.

Nach der Spätsommer- und Herbstverschulung werden vermutlich für die umfangreiche Wurzelregeneration so viele Photosyntheseprodukte verbraucht, daß die Setzlinge nicht mehr viel Reservestoffe speichern können. Die dadurch im nächsten Frühjahr gegenüber Kontrollen auf die Hälfte bis auf ein Drittel reduzierte Nadelfläche ermöglicht vermutlich nur einen entsprechend geringen Stoffgewinn, wodurch die noch nicht abgeschlossene Bewurzelung verzögert wird und der Sproßzuwachs nur sehr langsam zunimmt.

Dieses intensive Nachwirken des Versetzschokes stimmt mit Erfahrungen der Praxis scheinbar nicht völlig überein, wonach bei Herbstverschulungen der Lärche beste Erfolgsaussichten bestehen (GUTSCHICK 1963). Allerdings wird der 1-jährige Sämling als ideale Verschulpflanze angesehen und von der Verschulung 2-jähriger Lärchensämlinge im allgemeinen abgeraten (RUPF & SCHÖNHAR & ZEYHER 1961, S 102). Mit dem Größerwerden der Sämlinge geht beim Ausheben ein im Verhältnis zur Nadelmasse immer größerer Teil der oft bis in den Unterboden reichenden Feinwurzeln verloren und muß neu gebildet werden. Dies ergibt mit fortschreitender Jahreszeit ein zunehmendes Mißverhältnis zwischen wasser aufnehmender und -abgebender Fläche, welches im

Sommer aber auch im Herbst maßgeblich zur langanhaltenden Anspannung im Wasserhaushalt beiträgt.

Zeitweilige Schwierigkeiten in der Wasserversorgung treten witterungsbedingt bekanntlich auch bei unversetzten Lärchen auf, auch wenn sie in gut feuchtem Boden wurzeln. Eine solche jahreszeitlich unterschiedliche Beanspruchung des Wasserhaushaltes von Kontrollen kann man aus den Abb. 6 und 7 herauslesen: Wenn die Tagesmaxima der Evaporation gegen den Sommer hin ansteigen, nehmen auch die Saugspannungsmaxima zu, während die Transpiration stärker eingeschränkt wird.

Vom Frühjahr bis zum Spätsommer werden offenbar zu hohe Transpirationsverluste nach Erreichen einer bestimmten Saugspannung durch Spaltenregulierung vermieden. Im Herbst dagegen scheint diese Bilanzierung wohl infolge einer altersbedingten Spalteninsuffizienz (PISEK & WINKLER 1953) nicht mehr so exakt zu funktionieren (Abb. 6 und 7, 7.10.).

Interessanterweise transpirieren jedoch im Spätsommer versetzte Lärchen auch noch im Oktober (bei gleich hoher Saugspannung) im Gegensatz zu den übrigen Versetzungsgruppen nur sehr wenig. Dies weist auf eine Begrenzung der Transpiration durch ein sehr kleines Wurzel/Sproß-Verhältnis hin (vgl. PARKER 1949).

Dagegen überrascht es kaum, wenn die Lärchen aller Versetztermine eine Woche nach dem Versetzen (wenigstens an trüb-warmen und heiteren Tagen) bei hohen Saugspannungen im Xylem ihre Wasserabgabe annähernd auf die kutikuläre Verdunstung einschränken, weil es ihnen in keinem Fall gelingt, in dieser kurzen Zeit schon Neuwurzeln zu bilden.

Sie sind daher auf die Wasseraufnahme durch die Altwurzeln und eventuelle Wasserreserven im Holz angewiesen (vgl. GÜRTH 1969). Für die 2-jährigen Lärchensämlinge kann man aus einem typischen Tagesgang im Hochsommer (8.7.) ableiten, daß dem Reservewasser keine größere Bedeutung zukommt: Wenn sich die Stomata der am Morgen mehr oder weniger wassergesättigten Nadeln durch starke Belichtung öffnen, nimmt die Saugspannung des Xylemsaftes fast sprunghaft zu, worauf eine rasche Turgorabnahme und ein Schließen der Stomata erfolgt (Abb. 6, 8.7., Kurve 3). Aus dem leichten Nachlassen der Saugspannung tagsüber kann man folgern, daß die Transpirationsverluste eher kleiner bleiben als die gleichzeitige Wasseraufnahme durch die Altwurzeln. Trotzdem konnten auch Pflanzen, denen nach dem Ausheben ein überdurchschnittlich großes Altwurzelsystem erhalten geblieben war, an diesem trockenheißen Tag nicht verhindern, daß ihre Endtriebe welk wurden. Dies leitet zum Schluß, daß die Altwurzeln nach dem Versetzen entweder geschädigt waren, oder der entsprechend enge Kontakt zum Bodenwasser fehlte.

Entscheidend für eine Verbesserung der Wasserbilanz war bei den Lärchen aller Versetztermine die Bildung von neuen Wurzeln, die im Frühjahr bei allen, im Sommer und Herbst bei einem Großteil der Setzlinge eintrat. Bildeten sich keine Neuwurzeln, so stieg die Saugspannung langsam weiter an. Bis über 20 atm blieben die Sprosse turgeszent; bei Saugspannungen zwischen 25 und 35 atm welkten sie bereits.

Einzelne Lärchen konnten mit ihrem alten Wurzelsystem eine Zeitspanne bis zu 3 Monaten überbrücken, bevor sie schließlich Wurzeln trieben. Hatten sich dann noch immer keine Wurzeln gebildet, so begann die Sprosse zu vertrocknen.

Über die Ursachen für das Ausbleiben des Wurzelwachstums bei einzelnen Setzlingen können wir einstweilen nur Vermutungen äußern. Prinzipiell wäre es möglich, daß bei einigen Lärchen trotz vorsichtiger Behandlung nach dem Ausheben die Wurzeln geschädigt wurden, sodaß das gesamte Wurzelsystem und schließlich die ganze Pflanze abstarb (vgl. TARRANT 1964). Eine andere Erklärung wäre, daß ein Teil der Pflanzen zum Zeitpunkt der Versetzung im Sommer keine Reservestoffe besaß oder mobilisieren konnte und die Versorgung aus der laufenden Photosynthese infolge langandauernden Spaltenschlusses bei einzelnen Setzlingen für die Wurzelbildung nicht ausreichte, während sie bei anderen unter günstigeren Witterungsbedingungen gerade noch möglich wurde.

Die Ergebnisse der Wasserhaushaltsmessungen nach dem Versetzen lassen die Schlußfolgerungen zu, daß zur Vermeidung eines großen Versetztschockes ein gutes und vor allem funktionsfähiges Wurzel/Sproß-Verhältnis für die Überbrückungszeit bis zum Beginn der Neuwurzelbildung vor allem unter ungünstigen Witterungsbedingungen von größter Wichtigkeit ist. Ebenso, daß sich die Pflanzen zum Zeitpunkt der Versetzung in einer gewissen inneren Bereitschaft zur Wurzelbildung befinden.

Beiden Forderungen kommt eine in letzter Zeit besonders in Neuseeland intensiver erforschte Anzuchtmethode entgegen, nämlich die wiederholte Durchführung von Wurzelschnitten im Saatbeet unter gleichzeitiger Lockerung des Bodens (engl.: wrenching). So erreichte man durch Wurzelschnitte bei *Pinus radiata* eine verstärkte Umstellung des Assimilattransportes in Richtung Wurzeln und erzielte damit ein größeres Wurzel/Sproß-Verhältnis, während gleichzeitig der Sproß klein bleibt und in eine Art Ruhezustand gebracht werden kann. Es bilden sich Endknospen aus, die Endtriebe verholzen stärker und die Pflanze bleibt stufixromorph (CAMERON & ROOK 1967).

*Pinus radiata* – Sämlinge, bei denen in kurzen Abständen Wurzelschnitte vorgenommen wurden, wiesen in der ersten Woche nach dem Versetzen auch unter ungünstigen klimatischen Bedingungen eine mehrfach höhere Transpiration und ein früher einsetzendes Wurzelwachstum als unbehandelte Kontrollen auf. Ihre Wasserbilanz war daher bedeutend ausgeglichener als die von selten oder überhaupt nicht mit Wurzelschnitt behandelten Sämlingen, was sich auch bei Aufforstungsversuchen in einem viel besseren Anwuchserfolg auswirkte (ROOK 1969).

Auf die Möglichkeit den Versetztschock im Sommer auch bei der einheimischen Fichte durch Wurzelschnitte klein zu halten, wies BAUER 1967 hin.

Es wäre wünschenswert zu prüfen, 1. wie weit man durch Wurzelschnitte im Saatbeet und durch Anwendung von Wurzelfrischhaltepräparaten die Qualität der Forstpflanzen speziell für Aufforstungen unter extremen Bedingungen in Hochlagen verbessern kann und 2. ob man die Forstpflanzen zu einem für Hochlagenaufforstungen passenden Zeitpunkt in morphologischer

und physiologischer Hinsicht in eine optimale Ausgangssituation für ein rasches Anwachsen bringen kann.

### Zusammenfassung

1- und 2-jährige Lärchensämlinge (*Larix decidua* Mill.) wurden 1969 und 1970 zu verschiedenen Jahreszeiten verschult.

Durch das Versetzen wurde der Zuwachs gegenüber unversetzten Kontrollen bei den einzelnen Pflanzenorganen unterschiedlich gehemmt, und zwar am stärksten der Höhenzuwachs, etwas weniger der Seitentrieb- und kaum der Radialzuwachs. Besonders im 1. Monat nach dem Versetzen stockte der Zuwachs der Sproßorgane fast völlig, da in dieser Zeit die Hauptmasse des Feinwurzelsystems regeneriert wurde. Bei 1-jährigen Sämlingen war der Versetzschock kleiner als bei 2-jährigen.

Im Frühjahr verschulte Lärchen erreichten im Jahr der Versetzung 50 %, im Sommer verschulte 35 % und im Herbst versetzte 95 % des Höhenzuwachses von Kontrollpflanzen.

Im Jahr danach holten die Lärchen der Frühjahrsverschulung die Kontrollen ein (100 %); jene der Herbstverschulung erreichten 71 % und die der Sommersverschulung 66 % des Gesamthöhenzuwachses beider Jahre. Der Versetzschock wirkte nach der Sommer- und besonders nach der Herbstverschulung im 2. Jahr noch stark nach.

Zur Kausalanalyse des Versetzschockes wurde zunächst der Wasserhaushalt nach dem Versetzen verfolgt und mit dem unversetzter Kontrollen verglichen.

Dazu wurden an sonnig-warmen Tagen, die eine starke Anspannung in der Wasserversorgung erwarten ließen, zu verschiedenen Tageszeiten die Saugspannung des Xylemsaftes ( $S$ ), der osmotische Druck ( $\Pi^*$ ) und die Transpiration gemessen, sowie der Turgordruck ( $P$ ) berechnet.

Die versetzten Lärchen konnten sich während der 1. Woche nach keinem Versetztermin neu bewurzeln und daher nur über das z.T. stark reduzierte Altwurzelsystem Wasser aufnehmen. Trotz weitgehender nächtlicher Wassersättigung stieg daher ihre Saugspannung schon am frühen Morgen rasch auf hohe Werte, was nach Absinken des Turgors und Spaltenschluß zu einer drastischen Transpirationseinschränkung führte. Dadurch konnte eine weitere Verschlechterung der Wasserbilanz auch an sehr heißen Tagen vermieden werden.

Eine endgültige Besserung im Wasserhaushalt trat erst mit der Regeneration des Wurzelsystems ein, die in der Regel nach 1 – 2 Monaten beendet war. Während im Frühjahr alle Setzlinge zur Neuwurzelbildung fähig waren, erfolgte sie nach Sommersverschulungen bei manchen Setzlingen erst nach 3 Monaten oder blieb ganz aus.

Die Saugspannungsmessung mit einer Druckbombe erwies sich als rascher und hervorragender Indikator für den Grad der Wiederbewurzelung. Setzlinge, die sich sehr lange nicht neu bewurzeln konnten, blieben unter langsamem Anstieg des osmotischen Druckes bis zu einer Saugspannung von etwa 25 atm turgeszent, bei höheren Werten welkten sie und gingen zugrunde.

Als Ursachen für die nach Sommerschulungen ausbleibende Neuwurzelbildung werden das Fehlen von Reservestoffen zum Zeitpunkt der Versetzung, langanhaltende Hemmung der Photosynthese durch Spaltenschluß und ein Absterben des Altwurzelsystems nach zu starker Schädigung beim Ausheben vermutet.

Abschließend wird auf die Wichtigkeit eines großen und vor allem funktionsfähigen Wurzel/Sproß-Verhältnisses als Starthilfe für das Neuwurzelwachstum und die damit verbundene rasche Überwindung des Versetztschockes hingewiesen, sowie auf moderne Kulturmethoden (Wurzelschnitt), um den Versetztschock auch unter ungünstigen Witterungsbedingungen in erträglichen Grenzen halten zu können.

## LITERATUR

BAUER A.:

Erfahrungen mit der Sommerschulung der Fichte. Allgem. Forstzeitung 1967, 78.Jg., Folge 8, S.167–169.

BOSSHARD W.:

Anpassung junger Forstpflanzen an veränderte Bodenverhältnisse unter Versuchsbedingungen. Beih. Z. Schweiz. Forstver. 1964, Nr.34.

BOYER J.S.:

Leaf water potentials measured with a pressure chamber. Plant Physiol. 1967, 42. Jg., S.133–137. 7+

CAMERON R.J. and D.A. ROOK:

Wrenching as a means of conditioning planting stock. In: Forest Nursery and Establishment Practice in New Zealand. F.R.I. Symposium Nr.9, Rotorua 1967.

DIMPFLMEIER R.:

Agricol, ein neues Mittel, um Forstpflanzen bei der Lagerung und beim Transport länger frisch zu halten. Forstwiss. Centralbl. 88.Jg.,1969,S. 80–96.

DORSSER van J.C.:

Conditioning trees by wrenching. In: Report of F.R.I. for 1969. New Zealand For. Service, Wellington.

FRY K.E. and WALKER R.B.:

A pressure-infiltration method for estimating stomatal opening in conifers. Ecology 1967, 48, S.151–157.

GLERUM C.:

Drought ring formation in Conifers. *Forest Sci.* 1970, 16. Jg., S. 246–248.

GÜRTH P.:

Wachstum und Wasserhaushalt von Fichtenverschulpflanzen unterschiedlicher Qualität nach der Verpflanzung in das Freiland. Diss. Freiburg i.Br. 1969.

GÜRTH P.:

Forstpflanzen und Kulturerfolg – eine Literaturübersicht. *Allgem. Forst- Jagdztg.* 1970, 141. Jg., S. 97–104.

GUTSCHICK V.:

Saat und Pflanzung. In: LOYCKE (Hrsg.). *Die Technik der Forstkultur.* BLV, München 1963.

KAUFMANN M.R.:

Evaluation of pressure chamber technique for estimating plant water potential of forest tree species. *Forest Sci.* 1968, 14. Jg., S. 369–374.

KAUSCH W. und EHRIG H.:

Beziehungen zwischen Transpiration und Wurzelwerk. *Planta* 53, 1959, S. 434–448.

KELLER T.:

Über den Einfluß von transpirationshemmenden Chemikalien (Antitranspirantien) auf Transpiration, CO<sub>2</sub>-Aufnahme und Wurzelwachstum von Jungfichten. *Forstwiss. Centralbl.* 1966, 85. Jg., S. 65–79.

KELLER T.:

Laborversuche über den Einfluß von Antitranspirantien auf den Gaswechsel junger Koniferen. *Schweiz. Z. Forstw.* 1969, 120. Jg., S. 32–34.

KRAL F.:

Der osmotische Wert des Nadelpreßsaftes von Lärchenherkünften als Mittel zur Frühdiagnose ihrer Trockenresistenz. *Forstpflanzen – Forstsaamen* 1966, Heft 4.

LISTER G.R., SLANKIS V., KROTKOV G. and NELSON C.D.:

Physiology of *Pinus strobus* L. seedlings grown under high or low soil moisture conditions. *Ann. Botan.* 1967, 31. Jg., S. 121–132.

MULLIN R.E.:

Reduction in growth of white spruce after outplanting. *Forest Chron.* 1964, 40. Jg., S. 488–493.

PARKER J.:

Effects of variations in the root–leaf ratio on transpiration rate. *Plant Physiol.* 1949, 24. Jg., S. 739–743.

PISEK A. und WINKLER E.:

Die Schließbewegung der Stomata bei ökologisch verschiedenen Pflanzentypen in Abhängigkeit vom Wassersättigungszustand der Blätter und vom Licht. *Planta* 1953, 42.Jg., S253–278.

RABENSTEINER G. und TRANQUILLINI W.:

Die Bedeutung von Antitranspirantien und Wurzelfrischhaltemitteln für den Anwuchsenerfolg von Forstpflanzen. *Allgem. Forstztg.* 1970, 81.Jg., S.319–320.

ROOK D.A.:

Water relations of wrenched and unwrenched *Pinus radiata* seedlings on being transplanted into conditions of water stress. *N.Z.J. For.* 1968, 14.Jg., S.50–58.

RUPF H., SCHÖNHAR S. und ZEYHER M.:

Der Forstpflanzgarten. BLV, München 1961.

SCHMIDT–VOGT H.:

Künstliche Triebverzögerung bei Forstpflanzen durch Kühlhauslagerung. In: Forstsamengewinnung und Forstpflanzenanzucht für das Hochgebirge. BLV, München 1964.

SCHMIDT–VOGT H.:

Wachstum und Qualität von Forstpflanzen. 2 erw. Aufl. von „Die Gütebeurteilung von Forstpflanzen“. BLV, München 1966.

SCHMIDT–VOGT H.:

Rationalisierung der Forstkultur durch Verwendung von Großpflanzen. *Allgem. Forstztg.* 1970, 10.Jg.

SCHMIDT–VOGT H. und GÜRTH P.:

Die Bedeutung des Frischezustandes der Forstpflanzen für den Anwuchsenerfolg und das Jugendwachstum von Forstkulturen. XIV. IUFRO–Kongress München, 1967, Sect.23, S.539–558.

SCHMIDT–VOGT H. und GÜRTH P.:

Eigenschaften von Forstpflanzen und Kulturerfolg. 1. Mitteilung: Auspflanzungsversuche mit Fichten- und Kiefernpflanzen verschiedener Größen und Durchmesser *Allgem. Forst.–Jagdztg.* 1970, 140.Jg., S.132–142.

SCHMUCKER T.:

Über den Jahresgang des osmotischen Wertes bei Standortrassen von *Pseudotsuga* und *Larix*. *Flora* 1962, 152.Jg., S.480–508.

SCHOLANDER P.F., HAMMEL H.T., BRADSTREET E.D. and HEMMINGSEN E.A.:

Sap pressure in vascular plants. *Science* 148, 1965, S.339–346.

STONE C. et. al.:

Variation in the root regenerating potentials of ponderosa pine from four California nurseries. Forest Sci.9, 1963, S.217–225.

TARRANT R.F.:

Top and root moisture content of stored Douglasfir planting stock. U.S.For.Serv. Res.Paper PNW–13, 1964.

TRANQUILLINI W.:

Über den Zusammenhang zwischen Entwicklungszustand und Dürre-resistenz junger Zirben (*Pinus Cembra* L.) im Pflanzgarten. Mitt.Forstl.Bundesversuchsanst.Maria-brunn 1965, Heft 66, S.241–271.

TRANQUILLINI W. und HAVRANEK W.:

Untersuchungen über den Versetztschock bei der Lärche. I. Der Wachstumsverlauf nach dem Versetzen. Centralbl.ges.Forstwes. 1970, 87, Jg., S. 238–250.

TRANQUILLINI W. und UNTERHOLZNER R.:

Das Wachstum zweijähriger Lärchen einheitlicher Herkunft in verschiedener See-höhe. Centralbl.ges.Forstwes. 1968, 85.Jg., S.43–59.

TRANQUILLINI W. und UNTERHOLZNER R.:

Dürre-resistenz und Anpflanzungserfolg von Junglärchen verschiedenen Entwick-lungszustandes. Centralbl.ges.Forstwes. 1968, 85.Jg., S.97–110.

URSINO D.C., NELSON C.D. and KROTKOV G.:

Seasonal changes in the distribution of photo-assimilated  $^{14}\text{C}$  in young pine plants. Plant Physiol. 1968, 43, S.845–853.

WALTER H. und KREEB K.:

Die Hydratation und Hydratur des Protoplasmas der Pflanzen und ihre ökophysiolo-gische Bedeutung. Protoplasmatologia II C 6. Springer Wien–New York 1970.

WARING R.H. and CLEARY B.D.:

Plant moisture stress: Evaluation by pressure bomb. Science 155, 1967, S.1248–1254.

Anschrift der Verfasser:

Dr. Walter HAVRANEK  
Prof. Dr. Walter TRANQUILLINI

Rennweg 1, Hofburg  
A – 6020 I n n s b r u c k

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen der forstlichen Bundes-Versuchsanstalt Wien](#)

Jahr/Year: 1972

Band/Volume: [96\\_1972](#)

Autor(en)/Author(s): Tranquillini Walter, Havranek Wilhelm M.

Artikel/Article: [Untersuchungen über den Versetztschock bei der Lärche 111-135](#)