

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

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 122 (1971)

Heft: 5

Artikel: Pflanzenmorphologische und -physiologische Untersuchungen zur Begründung von Forstkulturen

Autor: Schmidt-Vogt, H. / Gürth, P. / Schnurbein, U. v.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-767278>

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: 03.05.2026

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

Pflanzenmorphologische und -physiologische Untersuchungen zur Begründung von Forstkulturen

Von *H. Schmidt-Vogt, P. Gürth* und *U. v. Schnurbein*

Oxf. 232.411

(Aus dem Waldbau-Institut der Universität Freiburg i. Br.)

Die Durchführung von Forstkulturen wurde in der Vergangenheit überwiegend als technisches Problem gesehen. Die Entwicklung von Pflanzverfahren und Pflanzgeräten sowie Zeitstudien bei der Pflanzarbeit spielten in den letzten Jahrzehnten eine grosse Rolle. So gibt es über Fragen der günstigsten und rationellsten Pflanzmethoden eine sehr umfangreiche Literatur. Allein für die Fichte hat *H e s m e r*, 1950, 24 verschiedene Pflanzverfahren beschrieben.

Demgegenüber trat das Objekt der Pflanzung, nämlich die Pflanze selbst, weitgehend in den Hintergrund. In Wirklichkeit sind jedoch für den Kulturerfolg die morphologischen und physiologischen Eigenschaften einer Forstpflanze von ausschlaggebender Bedeutung. Sie entscheiden weit mehr als das Pflanzverfahren darüber, in welchem Umfang nach der Kulturbegründung Pflanzen ausfallen oder im Wuchs stocken.

Die physiologischen und ökologischen Probleme der Pflanzung gewinnen in der Gegenwart vor allem auch dadurch verstärkt an Bedeutung, dass mehr als früher in vielen Ländern der Welt Wälder mit dem Ziel begründet werden, die Landeskultur zu fördern, den Wasserhaushalt zu regeln und zu verbessern, Wind- und Wassererosion zu verhindern und Lawinenschutz zu bieten. Dies führt zu Pflanzungen auf extremen Standorten, auf denen in besonders hohem Masse der Kulturerfolg von der optimalen Gestaltung morphologischer und physiologischer Pflanzeigenschaften abhängt.

Aus den genannten Gründen wurde vor einigen Jahren am Waldbau-Institut der Universität Freiburg i. Br. eine grössere Versuchsreihe begonnen, die seit dem letzten Kongress des Internationalen Verbandes Forstlicher Forschungsanstalten 1967 mit ähnlichen Forschungsvorhaben in anderen Ländern koordiniert ist. Ziel dieser Untersuchungen ist, zur Rationalisierung und Optimierung der Forstkulturen die Probleme der Arbeitstechnik von der pflanzenmorphologischen und -physiologischen Seite her zu ergänzen.

Zur Klärung der hier anstehenden Probleme wurden zahlreiche Versuchsflächen angelegt. Selbstverständlich können auf Grund der Langfristigkeit dieser Versuche die meisten Fragen frühestens in einigen Jahren mit

ausreichender Sicherheit beantwortet werden. Viele Teilfragen sind jedoch so aktuell, dass schon jetzt versucht werden soll, der forstlichen Praxis einige Informationen zu geben.

1. Morphologische Pflanzeigenschaften und Kulturerfolg

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens stehen zwei aktuelle Probleme im Vordergrund. Bei dem ersten Problem handelt es sich um die Schaffung von Qualitätsnormen für Forstpflanzen. Ein Sachverständigenausschuss der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft ist seit einigen Jahren bemüht, für einen gemeinsamen Forstpflanzenmarkt einheitliche Pflanzenqualitätsnormen zu schaffen. Hierzu wurden umfangreiche Untersuchungen durchgeführt.

Das zweite Problem ist ebenfalls zeitbedingt. Die Verhältnisse auf dem Gebiet der Pflege von Forstkulturen haben sich in den letzten Jahren grundlegend gewandelt. In vielen Gebieten stehen kaum noch Arbeitskräfte zur Verfügung, und die Löhne sind so gestiegen, dass intensive Pflegearbeiten fast nicht mehr durchzuführen sind. In dieser Situation wird versucht, durch den Einsatz von chemischen Mitteln der Verunkrautung und Vergrasung auf den Kulturflächen Herr zu werden. Wir sind mit unseren Versuchen bestrebt, dieses Problem mit grossen und starken Pflanzen zu lösen, die die grossflächige Verwendung von chemischen Mitteln in Forstkulturen überflüssig machen. Zwischen der Lösung beider Probleme bestehen enge Beziehungen sowohl hinsichtlich der Wechselwirkung von Pflanzenqualität und Kulturerfolg auf ungünstigen, zur Verunkrautung neigenden Standorten als auch hinsichtlich der Methodik der hierfür notwendigen Untersuchungen. Beide Fragen sollen daher hier zusammen diskutiert werden.

1.1 Pflanzenbewertung

Als Flury im Jahre 1895 im Hinblick auf die vom Boden und der Meereshöhe des Pflanzgartens abhängige Pflanzenentwicklung vorschlug, die Forstpflanzen nach der Höhe zu klassifizieren, war dies für jene Zeit ein grosser Fortschritt. Doch seitdem sind über 75 Jahre vergangen, und unsere Kenntnisse und Erfahrungen auf dem Gebiet der Anzucht und der Verwendung von Forstpflanzen sind wesentlich bereichert worden. Wir sind uns heute darüber im klaren, dass die ausschliessliche Bewertung der Sprosshöhe nur ein Behelf und unter bestimmten Bedingungen sogar ungünstig sein kann. Dies gilt vor allem dort, wo Forstpflanzenanzucht ausschliesslich nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten betrieben wird. Es ist hier zum Beispiel möglich, durch enge Verschulverbände und Stickstoffdüngung Pflanzen in die Höhe zu treiben und sie damit in die gutbezahlten grösseren Sortierungen zu bringen, obwohl natürlich bei derartigen Anzuchtmethoden die Pflanzenqualität mit steigender Grösse sinkt und hohe Ausfälle und Wuchstockungen die Folge sind.

Auch bei der Anzucht von Pflanzen für Hochlagen führt diese Bewer-

tung zu negativen Massnahmen. Hochlagenherkünfte sind im allgemeinen wesentlich langsamwüchsiger als Herkünfte aus Tieflagen. Unter unseren in Mitteleuropa gegebenen Bedingungen kann zum Beispiel eine Hochlagenherkunft der Fichte im Pflanzgartenalter von 2 bis 5 Jahren nur 50 Prozent der Höhe einer Tieflagenherkunft erreichen. Da nur die grossen Pflanzen als gut angesehen werden und im Pflanzenhandel finanziell entsprechend bewertet werden, führt dies oft dazu, dass bei der Verschulung im Pflanzgarten die kleinen Sämlinge aussortiert und vernichtet werden, obwohl gerade diese Pflanzen Individuen sind, die später nach der Auspflanzung in Hochlagen ein zähes Holz bilden und besonders resistent gegen Schnee- und Eisbruch sind. In zahlreichen Untersuchungen über den Zusammenhang von Augusttrieb- bildung, Jugendwachstum und Provenienz konnte festgestellt werden (Schmidt-Vogt, 1966, I), dass die für Hochlagenaufforstungen wertvollsten Herkünfte aus Zonen mit hohem Schnee- und Eiselektionsdruck im Pflanzgarten einen hohen Anteil sehr geringwüchsiger Nachkommen haben, der in Unkenntnis des Resistenzwertes dieser Pflanzen einer negativen Aussortierung zum Opfer fällt. Eine Massnahme, die im Normalfall richtig ist, kann also bei bestimmten Herkünften ausgesprochen falsch sein.

Aus diesen Gründen wurden Vorschläge erarbeitet, die zur Qualitätsbewertung die Sprosslänge von Forstpflanzen mit einem bestimmten Durchmesser am Wurzelhals koppeln (Schmidt-Vogt, 1966, II). Diese Koppelung der Gütemerkmale erschien möglich, nachdem umfangreiche statistische Untersuchungen einen straffen Zusammenhang (Korrelationskoeffizient zwischen 0,6 und 0,98) zwischen den Pflanzenmerkmalen Wurzelhalsdurchmesser und den für die Stufigkeit der Pflanzen bedeutsamen Merkmalen Pflanzengewicht, Sprossgewicht und Wurzelgewicht ergeben hatten.

Um eine möglichst einfache praxisnahe Lösung zu finden, waren wir bestrebt, hinsichtlich des Wurzelhalsdurchmessers nur untere Grenzwerte zu bestimmen, die nicht unterschritten werden dürfen. Zur Festlegung dieser unteren Grenzwerte wurden Formeln erarbeitet, die sehr einprägsam sind und als Faustformeln in die forstliche Praxis Eingang finden können.

Die Grundformel lautet:

$$d_{\min} \text{ (mm)} = L \text{ (cm)} \times R + Z$$

R bedeutet einen nach Baumgruppen unterschiedlichen Reduktionsfaktor, der die jeweilige Relation von Sprosslängen- und Durchmesserentwicklung zum Ausdruck bringt. Er beträgt zum Beispiel für 3- und 4jährige verschulte Fichtenpflanzen 0,1. Z ist eine Zuschlagzahl, die die vorläufig empirisch festgelegten Qualitätsanforderungen ausdrückt. Z beträgt für 3- und 4jährige verschulte Fichtenpflanzen 1,0, kann aber auch höher mit 2 oder 3 angesetzt werden.

Der Mindestwurzelhalsdurchmesser einer 4jährigen Fichtenverschulpflanze von 50 cm Sprosslänge beträgt demnach:

$$d_{\min} = 50 \times 0,1 + 1,0 = 6,0 \text{ (mm)}$$

In diesem Zusammenhang wurden auch weitere morphologische Eigenschaften von Forstpflanzen untersucht, inwieweit sie etwas über die Qualität von Forstpflanzen aussagen, so zum Beispiel neben dem bereits erwähnten Pflanzengewicht, Sprossgewicht und Wurzelgewicht die Faktoren: Bezweigung, Benadelung, Knospeneigenschaften, Wurzellänge, aktive Wurzeloberfläche und Mykorrhizafrequenz der Wurzeln. Alle diese Faktoren können jedoch — wenigstens bis heute — nur bei wissenschaftlichen Arbeiten zahlenmässig ermittelt werden, nicht jedoch bei Massensortimenten in der forstlichen Praxis. Hier wäre der Messaufwand zu gross.

1.2 Auspflanzungsversuche

Die Festlegung von Mindestdurchmesserwerten für eine bessere Qualitätsbewertung war nur ein erster Schritt, um eine qualitative Aussage durch Zahlen zu objektivieren und um wenigstens ausgesprochen schlechtes Pflanzenmaterial auszuschneiden. Das Ziel ist, gesicherte Vorstellungen zu gewinnen, wie unsere Forstpflanzen aufgebaut sein müssen, damit ein hoher Anwuchserfolg und eine günstige Weiterentwicklung auf der Kulturfläche gesichert sind.

Zu dieser Suche nach der «optimalen» Forstpflanze, die schnell in die Höhe zieht und in kurzer Zeit die kritische Zone der Unkrautkonkurrenz, des Bodenfrostes und des Wildverbisses überwindet, trat das Problem der Grosspflanze, also derjenigen Pflanze, die sich schon bei der Verpflanzung ins Freiland im oberen Bereich dieser kritischen Zone befindet.

Zur Lösung dieser Fragen wurden zahlreiche Versuchsfelder in verschiedenen Wuchsgebieten von Baden-Württemberg und Bayern angelegt, um verschiedene Pflanzenqualitäten und -größen auf ihren Anwuchserfolg unter verschiedenen Standortbedingungen zu testen. Die Versuche beschränken sich bis jetzt im wesentlichen auf die Baumart Fichte.

Die Frage, ob und in welcher Art es eine Differenzierung im optimalen Pflanzenaufbau nach Standorten gibt und in welcher Weise der Kulturerfolg bei Verwendung von Grosspflanzen durch den Standort beeinflusst wird, lässt sich heute noch nicht voll beantworten. Die bisher erarbeiteten Ergebnisse deuten aber in folgende Richtung:

Pflanzenausfälle:

Im ersten Jahr nach der Auspflanzung waren bei unseren Versuchen die Ausfälle von grossen Pflanzen (über 70 cm) am häufigsten, im zweiten und dritten Jahr fielen dagegen wesentlich mehr kleine (unter 45 cm) als mittlere (55 bis 65 cm) und grosse Pflanzen aus. Dies ist auf den steigenden Einfluss der Unkrautkonkurrenz zurückzuführen. Insgesamt betrachtet waren in den ersten 3 Jahren die Pflanzenausfälle am höchsten bei den kleinen Pflanzen, während die mittelgrossen Pflanzen am besten abschnitten.

Höhenwuchs:

Jede Verpflanzung von wurzelnackten Pflanzen führt zu einem Verpflanzungsschock, zu einer Depression des Höhenzuwachses. Im allgemeinen dauert dieser Verpflanzungsschock zwei Vegetationsperioden an, wobei der Höhenzuwachs im zweiten Jahr nach der Auspflanzung meist noch niedriger ist als im ersten Jahr. Relativ gesehen geht bei den Grosspflanzen der Höhenwuchs nach der Pflanzung am stärksten zurück. Die Reaktionen der verschiedenen Pflanzengrößen auf die Verpflanzung sind aber nicht so bedeutend, dass ein Ausgleich der ursprünglichen Unterschiede in den Sprosslängen eintreten würde.

Einfluss des Sprossdurchmessers:

Der Verpflanzungsschock wird ausserdem stark beeinflusst vom Spross- (Wurzelhals-) Durchmesser. Die Wuchsdepression war bei Grosspflanzen mit starkem Durchmesser erheblich geringer als bei Grosspflanzen mit geringem Durchmesser. In einer Versuchsreihe war sogar der Verpflanzungsschock der starken Grosspflanzen geringer als der von Kleinpflanzen.

Einfluss des Standorts:

Die Versuchsflächen wurden auf verschiedenen Standorten in den Jahren 1965, 1966 und 1968 angelegt, um den Einfluss der Jahreswitterung erfassen und ausschalten zu können, da ein trockener Standort in einem niederschlagsreichen Pflanzjahr und ein feuchter Standort in einem trockenen Pflanzjahr zu ähnlichen Ergebnissen führen können. Auch hier müssen noch weitere Messergebnisse ausgewertet werden. Als Tendenz der Entwicklung des Höhenzuwachses ist jedoch vorläufig erkennbar, dass auf trockenen Standorten und in Hochlagen die grossen Pflanzen ungünstiger, auf den stau-nassen Standorten dagegen günstiger waren als die kleinen Pflanzen.

Hinsichtlich der Ausfälle schnitten jedoch die Grosspflanzen in den Hochlagen, mit Ausnahme der extremen Hochlagen, günstiger ab als die Kleinpflanzen, obwohl bei den Grosspflanzen vielfach an den steilen Hängen eine Schubwirkung des Schnees beobachtet wurde.

Vorläufige Folgerungen:

Die bisherigen Versuchsergebnisse zeigen die grosse Bedeutung der Unkrautkonkurrenz für das Anwuchsprozent und die Weiterentwicklung der Kultur. Es ist daher unrationell, auf unkrautgefährdeten Standorten mit kleinen Fichtenpflanzen zu arbeiten, auch wenn diese einen etwas geringeren Verpflanzungsschock erleiden. Dies gilt vor allem dann, wenn man den Einsatz von chemischen Mitteln auf der Kulturfläche vermeiden will und wenn als Pflanzmethode die Winkelpflanzung angewandt wird.

Weiterhin zu berücksichtigen sind bei der Verwendung von Grosspflanzen die wirtschaftlichen Gewinne, welche die Verlagerung einiger Wuchsjahre von der Freifläche in den Pflanzgarten mit sich bringt. Hierauf

hat besonders A b e t z (1969), Abteilung Ertragskunde der Baden-Württembergischen Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Freiburg i. Br., hingewiesen, der in Oberschwaben ebenfalls umfangreiche Versuche mit Grosspflanzen, hier vor allem mit Ballenpflanzen, durchführt.

Jedes Entwicklungsjahr, dass die Pflanze noch im Pflanzgarten auf begrenztem Raum und nicht schon auf der grossen Kulturfläche verbringt, stellt einen betriebswirtschaftlichen Gewinn dar, da die Wuchs- und Pflegebedingungen im Pflanzgarten günstiger sind als auf der Freifläche.

Abetz schlägt daher auch vor, bei der Wiederaufforstung von unvorhergesehenen Sturmwurfflächen 2 bis 3 Jahre zuzuwarten, sofern keine grossen Fichtenpflanzen zur Verfügung stehen. Die Fichte wächst in der Pflanzschule bei entsprechender Düngung schneller als auf der Kulturfläche und erfordert weniger Aufwand für Pflege und Schutz.

Eine isolierte Betrachtung des Kostenaufwandes für die Einzelbereiche: Anzucht von Forstpflanzen, Durchführung der Pflanzung und Pflege der Kultur kann zu falschen Massnahmen führen. Es kann hier nur eine Gesamtkalkulation geben. Für die Bewertung des Pflanzmaterials gilt dabei, dass das Pflanzensortiment den grössten forstlichen und finanziellen Erfolg erzielt, bei dem der Gesamtaufwand für die Pflanzenanzucht, die Kulturbegründung und den Schutz und die Pflege der Kultur bis zu ihrer endgültigen Sicherung am geringsten ist.

Grundsätzlich ist nochmals festzuhalten, dass die morphologischen Pflanzeigenschaften, und zwar insbesondere bei Grosspflanzen, einen entscheidenden Einfluss auf den Kulturerfolg haben und deswegen auch die Anzucht derartiger Pflanzen in ausreichend weitem Verschulverband zur Erzielung eines starken Sprossdurchmessers und einer grossen Bewurzelung einen wesentlichen Faktor darstellt.

2. Spross- und Wurzelentwicklung sowie Wasserhaushalt von Fichtenverschulpflanzen nach der Auspflanzung in das Freiland

Aus den im ersten Abschnitt beschriebenen Auspflanzungsversuchen mit Forstpflanzen von unterschiedlicher morphologischer Qualität entstand das Bedürfnis, die Ursachen des unterschiedlichen Kulturerfolges bei den verschiedenen Versuchssorten aufzuklären.

Wasserhaushalt und Wurzelentwicklung in der kritischen Anwuchsphase sind entscheidend für das Schicksal einer Forstkultur. Sie sollten deshalb im Mittelpunkt unserer Untersuchung stehen.

Eine gründliche Durchsicht der Fachliteratur (G ü r t h , 1970, I) zeigte, dass spezielle Untersuchungen über die Lebensvorgänge von Forstpflanzen nach der Auspflanzung nur in verhältnismässig geringem Umfang angestellt wurden. Vergleichende Untersuchungen an Forstpflanzen von verschiedenen Eigenschaften fehlen fast völlig. Bei dieser Ausgangslage mussten

wir uns in der ersten Phase dieser Untersuchungen auf die Anwendung einfacher ökologischer Feldmethoden beschränken.

Das Versuchsziel lässt sich folgendermassen definieren: Wasseraufnahme, Wasserabgabe und Wasserbilanz von Fichtenverschulpflanzen unterschiedlicher morphologischer und physiologischer Qualität in der ersten Zeit nach der Auspflanzung zu untersuchen und die Ergebnisse mit jenen der Untersuchungen über das Anwuchsprozent und die Entwicklung von Wurzeln und Spross in der ersten Vegetationsperiode in Verbindung zu setzen.

2.1 Material und Methode

Versuchspflanzen von unterschiedlicher Stufigkeit bei gleicher Sprosslänge (50 bis 59 cm) erhielten wir, indem wir 2jährige Fichtensämlinge in unserem Forstlehrgarten Günterstal in den beiden Verschulverbänden 3 x 10 und 15 x 20 cm verschulten (Versuchssorten schwach und stark — Wurzelhalsdurchmesser 4,8 bis 7,0 bzw. 9,2 bis 11,8 mm).

Versuchspflanzen von unterschiedlicher Sprosslänge bei etwa gleicher Stufigkeit lasen wir aus dem Verschulquartier einer Handelsbaumschule aus (Versuchssorten klein [35 bis 44 cm] und gross [75 bis 84 cm]). Der Verschulverband war 6 x 20 cm.

Versuchspflanzen von verminderter Frische erhielten wir 1968 durch Austrocknen in einer selbstgebauten, klimatisierten Kulturkammer bzw. 1966 und 1967 im Freiland an der Sonne.

In der Versuchspflanzung wurden neben der Ermittlung des Wachstums von Spross und Wurzeln folgende Untersuchungen vorgenommen:

Bestimmung der Wasseraufnahme durch die Wurzeln durch Zufuhr einer wässrigen Lösung von Lithiumnitrat LiNO_3 an die Wurzeln und Nachweis des Testsalzes aus der Nadelasche mit dem Spektralphotometer näherungsweise. Die Wasserabgabe durch Transpiration wurde sowohl an abgeschnittenen Zweigen (Schnellwägemethode nach Stocker) als auch durch Wiegen der eingetopften Versuchspflanzen untersucht. Durch Einhüllen der Töpfe in Plastikbeutel und Abdichten der Bindestelle mit «Terostat» liess sich der Fehler durch die Bodenverdunstung auf 10 Prozent bringen. Schliesslich wurden die aktuellen Wassergehalte mittels zweier verschiedener Methoden festgestellt. Die Belastung des Wasserhaushaltes wurde in Form des aktuellen Wassersättigungsdefizits:

$$\text{WSD aktuell} = \frac{\text{Wassergehalt}_{\text{max}} - \text{Wassergehalt}_{\text{aktuell}}}{\text{Wassergehalt}_{\text{max}}} \times 100 (\%)$$

ausgedrückt (Stocker, 1929; Clausen und Kozlowski, 1965). Alle Ergebnisse wurden mit Hilfe des t-Testes mathematisch-statistisch abgesichert.

Um die Versuchsergebnisse beschreiben zu können, wurden weiterhin die wichtigsten Klimadaten des Bodens und des bodennahen Luftraumes ermittelt.

1966 und 1968 fielen in den ersten vier Wochen nach der Verpflanzung hohe Niederschläge, die Temperaturen waren mässig. 1967 waren die Witterungsverhältnisse nach der Verpflanzung extrem ungünstig; es fiel nur rund ein Siebtel der Niederschläge von 1968, und es herrschten meist bereits recht hohe Temperaturen.

2.2 Ergebnisse

Laboruntersuchungen:

Bei den starken Pflanzen war der prozentuale Anteil der Nadeln und der Wurzeln am Trockengewicht der Gesamtpflanze höher als bei den schwachen Pflanzen. Der Anteil der Sprossachse war bei den schwachen Pflanzen höher. Bei den kleinen Pflanzen war der prozentuale Anteil der Nadeln und Wurzeln, insbesondere auch der Feinwurzeln, höher als bei den grossen Pflanzen. Bei letzteren war hingegen wiederum der Anteil der Sprossachse am Gesamtgewicht höher.

Im relativen Wassergehalt unterschieden sich innerhalb jeder Versuchsorte die Nadeln des einjährigen Sprosses und des obersten Astkranzes stets durch einen deutlich geringeren Wassergehalt von den übrigen Nadeln. Unter dem Mikroskop zeigten sie einen typisch xeromorphen Bau. Nadeln von den starken und den grossen Pflanzen besaßen ebenfalls einen deutlich geringeren Wassergehalt als die Nadeln aus derselben Region bei den schwachen und den kleinen Pflanzen. Hingegen war der relative Wassergehalt der mehrjährigen Sprossachse und der Hauptwurzel bei den beiden erstgenannten Versuchsorten höher als bei den schwachen und den kleinen Pflanzen. Unter dem Mikroskop zeigte sich, dass die starken und die grossen Pflanzen dementsprechend eine grössere Zahl von Tracheiden und eine grössere Querschnittsfläche der einzelnen Tracheiden im äussersten Jahresring aufwiesen.

Spross- und Wurzelentwicklung in der ersten Vegetationsperiode:

Die Entwicklung des Höhenzuwachses entspricht den schon im ersten Abschnitt geschilderten Ergebnissen. Auffällig beim Zuwachs an Trockensubstanz war der erhebliche Verlust an alten Nadeln in der kritischen Anwuchsphase und die Bevorzugung des Wurzelzuwachses vor dem Sprosszuwachs bei allen Versuchsorten.

Austreiben der Seitenknospen:

Die Verpflanzung in das Freiland führte in jedem Falle zu einem späteren Beginn und einer längeren Dauer des Austreibens der Seitenknospen. Die Verzögerung war am stärksten (bei einzelnen Pflanzen bis in den Hochsommer) unter den ungünstigen Witterungsverhältnissen 1967 und bei den ausgetrockneten, insbesondere bei den grossen ausgetrockneten Pflanzen. Der Ablauf des Höhenwachstums verzögerte sich parallel zum

Knospenaustrieb. Fröhrtreibende Pflanzen besaßen grössere Höhenzuwüchse.

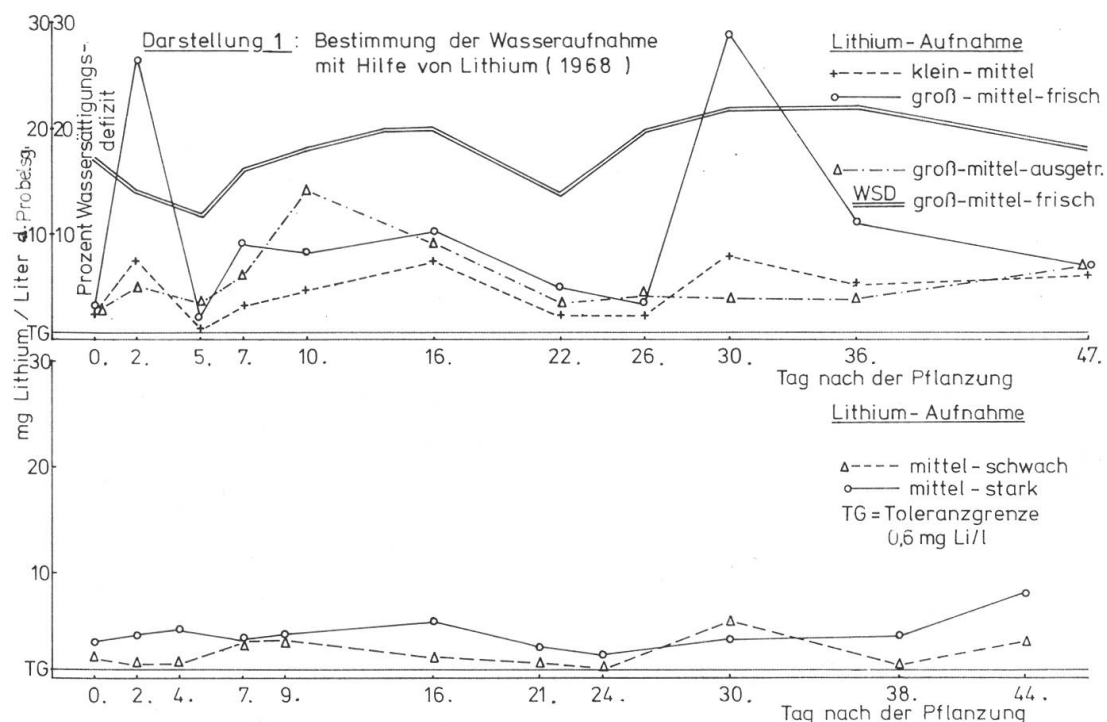
Wurzelentwicklung nach der Verpflanzung:

Die Verpflanzung führte auch zu einer Verzögerung in der Bildung neuer Wurzeltriebe. Bei bereits vor zwei Jahren verpflanzten Fichten lag die Bildung neuer Wurzeltriebe etwa drei Wochen vor dem Knospenaustrieb. Bei den kurz vorher verpflanzten Fichten fielen beide Termine hingegen zusammen. Unter den ungünstigen Witterungsverhältnissen 1967 und bei den ausgetrockneten Pflanzen lag der Beginn der Wurzelentwicklung bis 3 Wochen nach dem Beginn des Knospenaustriebes.

Das Verhältnis der beiden Daten war also ausgesprochen charakteristisch für den späteren Kulturerfolg.

In der Zahl der neuen Wurzeltriebe waren wiederum die frischen den ausgetrockneten Pflanzen, die kleinen den grossen und die starken Pflanzen den schwachen überlegen. «Fröhrtreiber» besaßen stets hohe Wurzelgewichte und eine grössere Zahl neuer Wurzeltriebe. Die Untersuchungen über das Längenwachstum der Wurzeln blieben ohne verwertbares Ergebnis.

Wasserhaushalt in der kritischen Anwuchsphase und Wasseraufnahme durch die Wurzeln:



Aus der Darstellung lässt sich erkennen, dass die frischen Pflanzen bereits in den ersten Stunden nach der Verpflanzung Wasser aufnehmen und selbst die ausgetrockneten Pflanzen innerhalb eines Tages.

Aus dem Vergleich der Wasseraufnahmekurve mit der ebenfalls dargestellten Kurve der Wassersättigungsdefizite am Beispiel der grossen Pflanzen sieht man, dass Perioden hoher Wasseraufnahme denen hoher Sättigungsdefizite der Nadeln folgen.

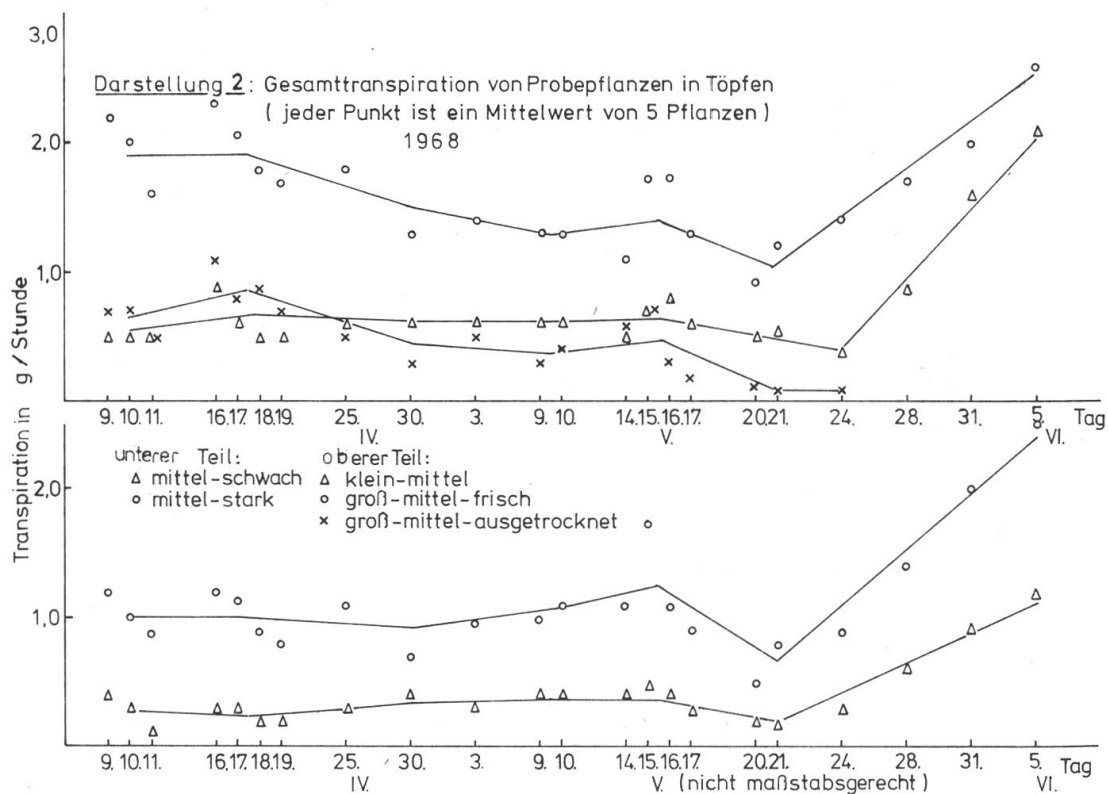
Während die drei übrigen Versuchssorten recht ausgeglichene Wasseraufnahmekurven besitzen, deutet diejenige der frischen grossen Pflanzen auf einen sehr unausgeglichene Wasserhaushalt hin. Die ausgetrockneten Pflanzen nahmen offenbar zunächst relativ viel Wasser auf, um dann immer stärker hinter die frischen Pflanzen zurückzufallen.

Wegen der Problematik der quantitativen Auswertung der gewählten Testsalzmethode muss auf die Originalarbeit verwiesen werden.

Wasserabgabe durch Transpiration:

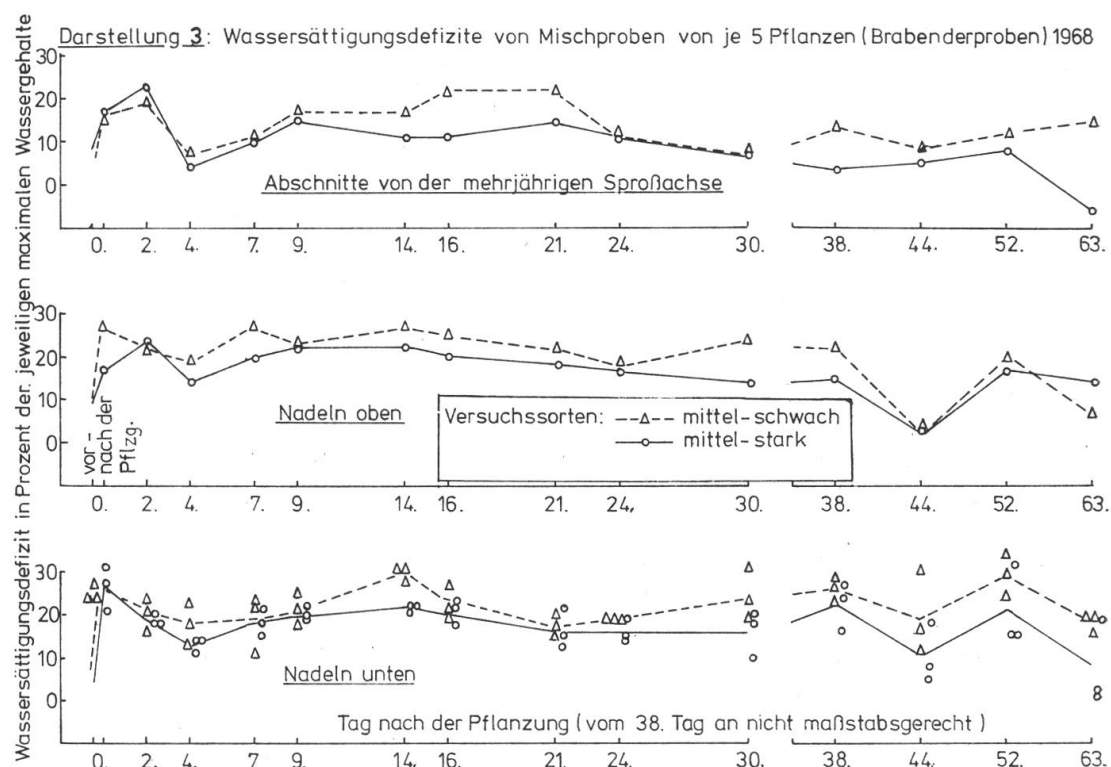
Während mit der Schnellwägemethode nur die höhere Transpirationsrate der Nadeln unten gegenüber den Nadeln oben nachgewiesen werden konnte, ergab sich bei den Transpirationsuntersuchungen an den eingetopften Pflanzen eine aufschlussreiche Reihung der Versuchssorten:

Versuchssorte	stark	schwach	gross frisch	klein	gross ausgetrocknet
mittlere Transpirationsrate (mg/g Trockengewicht/min)	1,1	1,2	1,1	1,6	0,3



Aus dem Verlauf der mit dieser recht primitiven Methode gewonnenen Transpirationskurve (Darstellung 2) lässt sich weiter erkennen, dass vor dem Knospenaustrieb eine nicht witterungsbedingte Depression liegt, der ein deutlicher Anstieg der Transpiration mit der Streckung der neuen Triebe folgt. Bei den grossen Pflanzen sieht man bis dahin eine laufende Abnahme der Transpirationswerte, während die drei übrigen Versuchssorten wiederum einen recht ausgeglichenen Kurvenverlauf besitzen. Die ausgetrockneten Pflanzen schränkten ihre Transpiration noch weit stärker ein, um mit dem 24. Mai (immerhin erst fast 6 Wochen nach der Schädigung) ganz mit ihr aufzuhören.

Aktuelle Wassergehalte, aktuelle und durchschnittliche Wassersättigungsdefizite:



Darstellung 3 ist ein Beispiel für die Entwicklung der Wasserbilanz nach der Verpflanzung in verschiedenen Pflanzenteilen bei den starken und schwachen Pflanzen. Die Darstellung zeigt deutlich den ruckhaften Anstieg des Wassersättigungsdefizits nach der Verpflanzung (bzw. bei den ausgetrockneten Pflanzen nach der Austrocknung). Einer kurzen, aber sehr ausgeprägten Stabilisierungsphase folgt die eigentliche Krisenphase zwischen dem 7. und dem 16. Tag nach der Verpflanzung. Sie wird von einer zweiten Stabilisierungsphase abgelöst, der unter ungünstigen Bedingungen eine dritte Krisenphase bei Beginn des Knospenausbruchs folgt. Dieses «Verhaltensschema» liess sich bei allen Versuchssorten in allen drei Versuchsjahren nachweisen.

Die ermittelten durchschnittlichen Wassersättigungsdefizite aller Beobachtungstage in den ersten vier Wochen nach der Verpflanzung lassen folgendes erkennen:

- a) Unter günstigen Bedingungen ist die Wasserbilanz der oberen Nadeln besser, bei ungünstiger Witterung oder ausgetrockneten Pflanzen schlechter als die der unteren Nadeln.
- b) Da die Wasserbilanz der Sprossachse unter günstigen Bedingungen besser ist als die der Nadeln, unter ungünstigen Bedingungen jedoch nur gleich oder schlechter, muss das in der Sprossachse vorhandene Wasser teilweise Reservefunktion besitzen.
- c) Die starken Pflanzen besaßen einen ausgeglicheneren Wasserhaushalt als die schwachen Pflanzen.
- d) Unter ungünstigen Anwuchsbedingungen war die Wasserbilanz der grossen Pflanzen gleich oder schlechter als die der kleinen Pflanzen.
- e) Die Wasserbilanz der ausgetrockneten Pflanzen ist entsprechend der schweren, vielfach letalen Störung ihres Frischezustandes, sehr schlecht.

2.3 Diskussion der Ergebnisse

Die Verpflanzung wirkte sich stark verzögernd auf die Spross- und Wurzelentwicklung aus und störte deren Verhältnis zueinander. Während die Wasseraufnahme durch die Verpflanzung nicht für längere Zeit unterbrochen wurde, wird die Transpiration als Folge der Verpflanzung offensichtlich etwa bis zu vier Wochen Dauer stark eingeschränkt. Die Entwicklung der Wasserbilanz zeigte einen vermutlich gesetzmässigen Wechsel von Krisen- und Stabilisierungsphasen. Wasserbilanz, Wurzelentwicklung und Kulturerfolg stehen sicherlich in einem engen Kausalzusammenhang, der teilweise sichtbar gemacht werden konnte.

Frischeverluste vor der Verpflanzung hatten für den Kulturerfolg die ungünstigsten Folgen. Wasserhaushalt und Kulturerfolg bei den starken Pflanzen aus weitem Verschulverband waren eindeutig günstiger als bei den schwachen, eng verschulden Pflanzen. Wesentliche Gründe hierfür scheinen der mehr xeromorphe Charakter der Benadelung und das grössere relative Wasserspeichervermögen der Sprossachse bei den starken Pflanzen zu sein.

Die grossen Pflanzen besitzen gegenüber den kleinen Pflanzen aus demselben mittleren Verschulverband offensichtlich dieselben Vorzüge. Dass ihr Wasserhaushalt und Kulturerfolg unter ungünstigen Witterungsbedingungen gegenüber den kleinen Pflanzen ungünstiger war, kann ausschliesslich auf ihr schlechtes Verhältnis von Nadeln zu Feinwurzeln zurückgeführt werden. Das heisst, dass die normalen Anzuchtbedingungen für grosse Fichtenpflanzen nicht genügen.

Die im ersten Abschnitt gezogenen Folgerungen für die Anzucht von Grosspflanzen wurden durch die hier erzielten Ergebnisse nachdrücklich unterstrichen.

3. Wurzelentwicklung und Rotfäulebefall in Fichtenkulturen in Abhängigkeit von Pflanzverfahren

Im Rahmen des Schwerpunktprogramms der Deutschen Forschungsgemeinschaft «Rotfäule der Fichte» wird im hiesigen Institut weiterhin untersucht (v. Schnurbain), in welchem Umfang die Rotfäule in Fichtenkulturen auftritt und inwieweit Abhängigkeiten zu den angewendeten Pflanzverfahren, insbesondere der Winkelpflanzung nach Reissinger, bestehen.

Diesem erst seit einem Jahrzehnt in grossem Umfang eingeführten rationellen kostensparenden Pflanzverfahren gilt besonderes Interesse, weil verschiedentlich vermutet wird, dass die Winkelpflanzung ausgesprochen häufig Verletzungen, Stauchungen und Verformungen der Wurzeln verursacht. Vor derartigen Folgen wird seit jeher in der forstlichen Fachwelt gewarnt. Schon 1907 spricht Reuss von dem «irreführenden Einfluss des Strebens nach billigen Ausführungsmethoden», und Bauer (1936) führt daran anknüpfend aus, «dass die weitverbreitete Rotfäule der Fichte vielfach schon in der ersten Jugend ihren Anfang in einer liederlichen, naturwidrigen Pflanzung nahm...». Rohmeder (1937) greift diese Feststellung auf und fordert, alle naturwidrigen Pflanzverfahren zu vermeiden und der Pflanze durch das Begründungsverfahren eine gesunde, tiefgreifende Wurzelentwicklung zu ermöglichen. In jüngster Zeit wird dieser Gedanke durch Beobachtungen an Kiefernwurzeln, wo «künstlich hervorgerufene Einengungen des Wurzelwerkes noch viele Jahre nachgewirkt haben», von Rohmeder (1968) erneut diskutiert. Specht und Au (1967) konnten ebenfalls an Kiefer, die unter sonst gleichen Bedingungen einerseits durch natürliche Ansamung, andererseits durch Pflanzung begründet wurde, feststellen, «dass sowohl Hallimaschschäden als auch differenzierter Wuchs in auffälliger Weise fast ausschliesslich in Jungwüchsen auftreten, welche durch Pflanzung begründet wurden». Als Ursache des Hallimaschbefalls werden die «naturwidrigen Missgestaltungen der Wurzelorgane» angesehen. Auch Ritter und Pönör (1969) stellten an Kiefernplantagen fest, dass Wurzeldeformationen infolge unsachgemässer Pflanzung entstehen, wodurch langfristig die Vitalität und damit die Resistenz gegenüber Hallimasch abnimmt.

Als Material dienen Fichtenkulturen der wesentlichsten Standorte, die neben der Winkelpflanzung noch aus mindestens einem weiteren Pflanzverfahren oder aus Naturverjüngung unter sonst gleichen Bedingungen hervorgegangen sind. Auf derartigen Flächen, die für die gesamte Bundesrepublik Deutschland erhoben wurden, können Wurzeln in statistisch absicherbarem Stichprobenumfang ausgegraben und hinsichtlich Morphologie und Gesundheitszustand gewertet werden.

Mit Hilfe morphometrischer Messungen lassen sich waldbaulich entscheidende Kriterien der Wurzelsysteme erfassen und quantitativ belegen. Damit entsteht eine objektive Gütebeurteilung der Wurzelmorphologie von

Jungfichten. Im einzelnen werden Eindringtiefe des Wurzelstocks in den Boden, Anzahl und Querfläche abgehender Seitenwurzeln in Beziehung zu Pflanzreihenrichtung und Bodentiefe, der geotropische Grenzwinkel und das Alter der Seitenwurzeln aufgenommen sowie das Gesamtwurzel- und Wurzelstock-Trockengewicht und -volumen bestimmt. Die ermittelten Werte werden zur elektronischen Datenverarbeitung gespeichert, so dass für bestimmte Standorte, Standortseinheiten, Altersstufen und Pflanzverfahren unterschiedliche Kombinationen gerechnet werden können.

Unabhängig von der Messmethode wurden einer Reihe von Fachleuten aus Wissenschaft und Praxis Wurzelkollektive stark voneinander abweichender Standorte zum Test vorgelegt. Die Kollektive waren hinsichtlich der Pflanzverfahren gemischt. Anhand der morphologischen Ausprägungen sollten die Testpersonen auf das angewandte Verfahren rückschliessen.

Im Zusammenhang mit der Erfassung Rotfäule erregender Pilze haben wir sämtliche Verletzungen nach Ausdehnung und Tiefe, möglicher Ursache, Dauer und Art des Heilungsvorganges registriert. Auftretende Infektionen und deren Erreger werden zum Teil vor und sonst nach Bebrüten entsprechender Holzproben makroskopisch und mikroskopisch zu bestimmen versucht.

Das Forschungsvorhaben kommt mit Ablauf des Jahres zum Abschluss. Nach noch unveröffentlichten Ergebnissen (v. Schnurbein, 1970) lassen sich jedoch heute schon gewisse Tendenzen aufzeigen:

Offensichtlich im Gegensatz zur Kiefer treten an Wurzeln von Jungfichten in Abhängigkeit vom Pflanzverfahren keine signifikanten Unterschiede in der Wurzelausformung auf. Dies gilt auch im Vergleich mit Naturverjüngung.

Eindeutig nachweisbar sind dagegen Zusammenhänge von Wurzelmorphologie und Standort.

Nur die ältesten noch im Verschulbeet herangewachsenen Wurzeln können gelegentlich die für die Winkelpflanzung bisher als typisch angesehene Krümmung in Spaltrichtung und die für die Lochpflanzung als typisch angesehene lotrechte Stauchung aufweisen. Die Wuchsrichtung der nach der Verpflanzung gebildeten Wurzeln, die zahlenmässig weit überwiegen, ist genetisch und umweltbedingt, wobei die von den Verfahren bewirkten Umweltveränderungen offensichtlich keine verfahrensspezifische signifikante Beeinträchtigung darstellen.

Unter gleichen ökologischen Verhältnissen besteht für das Faulstockprozent in Abhängigkeit vom Pflanzverfahren kein signifikanter Unterschied. Ist ein Altersunterschied zwischen den nach verschiedenen Verfahren gepflanzten Fichten oder auch zur Naturverjüngung vorhanden, dann haben jeweils die älteren Fichten ein höheres Faulstammprozent. Als einziger bedeutungsvoller Fäulniserreger an Wurzeln junger Fichten muss *Armillaria mellea* (Hallimasch) angesehen werden. Auf ein und derselben Fläche reicht

seine Virulenz vom Fäulnis verursachenden Holzzerstörer bis hin zum pflanzenabtötenden Krankheitserreger. Als Infektionspforten dienen den Rhizomorphen des Pilzes intakte und gelegentlich auch verletzte Abschlussgewebe im gesamten Wurzelbereich. Bevorzugt wird jedoch der Wurzelstock befallen.

Wunden kommen unabhängig vom Verfahren an dem Wurzelsystem sehr zahlreich vor. Die verschiedenen Wundreaktionen der Pflanze setzten aber so schnell und wirksam ein, dass die Zellteilungen des Kambiums im allgemeinen im Jahr nach der Pflanzung wieder normal verlaufen sind. Nach Abimpfung und Bebrütung von Wurzelproben aus der Wundzone konnte nie ein holzzerstörender Pilz nachgewiesen werden. Dagegen traten häufig Bakterien und *Fungi imperfectii* auf. Die früheren Bedenken, dass vereinfachte, kostensparende Pflanzmethoden bei der Fichte später zu erhöhtem Rotfäulebefall führen, konnten somit bis jetzt nicht bestätigt werden.

Résumé

Contributions phytomorphologiques et phytophysiologiques à l'établissement de cultures forestières

1. Des recherches dont le but était d'améliorer l'appréciation qualitative des plantons forestiers ont montré que la combinaison des propriétés longueur et diamètre au collet était un bon facteur d'estimation de la réussite d'un semis. Des formules simples indiquent le diamètre minimal correspondant à chaque grandeur de plant.

Les essais ont prouvé que durant l'année de plantation, les grands plantons subissaient un choc plus fort que les petits, mais que ceux-ci étaient dominés dès les années suivantes. Les résultats soulignent d'autre part la grande importance de la concurrence des mauvaises herbes pour le pourcentage de réussite et le développement futur des cultures. Chez l'épicéa, exception faite de stations séchardes ou élevées, l'emploi de grands plantons reste le meilleur garant contre l'utilisation massive de moyens chimiques. Certaines mesures sont alors nécessaires : repiquage à grand écartement pour favoriser la croissance en épaisseur et l'enracinement ; transports à effectuer avec des précautions particulières.

2. Les propriétés suivantes ont été analysées sur des plantons d'épicéa de qualité morphologique et physiologique différente, durant la phase critique suivant la plantation : l'absorption et la perte d'eau ainsi que le bilan hydrique. Si la transplantation n'a pas interrompu longtemps l'absorption d'eau, elle provoqua par contre une limitation durable de la transpiration. Certaines relations entre la teneur en eau, le débouillage, le développement des racines et la réussite des cultures ont été mises à jour.

L'effet le plus défavorable sur la réussite des cultures a été causé par la perte d'humidité avant la transplantation. Les plantes bien fournies, issues d'un repiquage à grand écartement avaient un régime hydrique plus favorable que les plantes fusiformes de repiquages étroits et les cultures réussissaient mieux.

3. Les recherches sur le développement des racines et l'attaque de la pourriture rouge en fonction de l'espace de plantation, dans des cultures d'épicéa, ont

apporté les résultats provisoires suivants : les racines ne montrent aucune différence significative quant à leur forme, contrairement, semble-t-il, au pin ; ceci est également valable pour les comparaisons avec des rajeunissements naturels. Par contre, la dépendance de la morphologie des racines de la station a été prouvée. Les très anciennes suppositions concernant une augmentation des cas de pourriture rouge lors de la plantation par des méthodes simples et économiques n'ont pas été confirmées. L'agaric mielleux reste la seule pourriture d'importance pour les racines des jeunes épicéas.

Traduction J.-P. Sorg

Literatur

- Abetz, P.*: Waldbauliche Versuche mit verschiedenen Pflanzensortimenten bei der Fichtenbestandsbegründung in Oberschwaben. Versuchsprogramm und erste Ergebnisse. Allg. Forst- u. Jagdz. 140, 65—75, 1969
- Bauer, F.*: Naturgemäßes Pflanzen. Forstarchiv 6/7, 85—94, 1936
- Clausen, J., und Kozłowski, T.*: Use of the relative turgidity technique for measurement of water stresses in gymnosperm leaves. Canadian Journ. of Botany 43, 305—316, 1965
- Gürth, P.*: Forstpflanzen und Kulturerfolg — eine Literaturübersicht. Allg. Forst- u. Jagdz. 141, 97—104, 1970 I
- Gürth, P.*: Wachstum und Wasserhaushalt von Fichtenverschulpflanzen unterschiedlicher Qualität nach der Verpflanzung in das Freiland. Allg. Forst- u. Jagdz. 141, 160 bis 172, 1970 II
- Hesmer, H.*: Die Technik der Fichtenkultur. Hannover 1950
- Reuss, H.*: Über die nachteiligen Einflüsse naturwidrig misshandelnder Pflanzmethoden auf die Bestandeszukunft mit spezieller Bezugnahme auf die Fichte. Wien 1907
- Ritter, G., und Pöntör, G.*: Die Wurzelbildung von Jungkiefern als Resistenzfaktor gegenüber Hallimasch. Arch. Forstwes. 18, 1037—1042, 1969
- Rohmeder, E.*: Die Stammfäule der Fichtenbestockung. Mitteilungen aus der Staatsforstverwaltung Bayerns, 23, 1937
- Rohmeder, E.*: Durch künstliche Wurzelraumeinengung bedingter Spiralwuchs von Kiefernwurzeln. Allg. Forstzeitschr. 23, 868—869, 1968
- Schmidt-Vogt, H.*: Der Johannistriebtest als Hilfsmittel zur Feststellung der Bodenständigkeit von Fichtenbeständen in Hochlagen. In: Forstsamengewinnung und Pflanzenanzucht für das Hochgebirge. Hrsg. H. Schmidt-Vogt, München-Basel-Wien 1966 I
- Schmidt-Vogt, H.*: Wachstum und Qualität von Forstpflanzen. 2. erw. Aufl. von «Die Gütebeurteilung von Forstpflanzen». München-Basel-Wien 1966 II
- Schmidt-Vogt, H., und Gürth, P.*: Eigenschaften von Forstpflanzen und Kulturerfolg. I. Mitteilung: Auspflanzungsversuche mit Fichten- und Kiefernpflanzen verschiedener Grössen und Durchmesser. Allg. Forst- u. Jagdz. 140, 132—142, 1969
- Schnurbein v., U.*: Auftreten und Häufigkeit der Rotfäule an Wurzeln von Jungfichten. Waldbau-Institut Univ. Freiburg i. Br., unveröffentlichtes Manuskript 1970
- Specht, F., und Au, H.*: Über Schäden in Kiefernaufwüchsen infolge Wurzeldeformation. Soz. Forstw. 3, 85—86, 1967
- Stocker, O.*: Das Wasserdefizit von Gefässpflanzen verschiedener Klimazonen. Planta 7, 382—387, 1929
- Ein vollständiges Literaturverzeichnis ist in der Dissertation von P. Gürth «Wachstum und Wasserhaushalt von Fichtenverschulpflanzen unterschiedlicher Qualität nach der Verpflanzung in das Freiland», Freiburg i. Br. 1969, enthalten.