

Veränderungen bei der Feinwurzelentwicklung in Weißtannenbeständen

Von H. BLASCHKE

1 Einleitung

Eine der unabdingbaren Voraussetzungen für das Wachstum mykotropher Waldbäume ist eine ausreichende Wasser- und Nährstoffaufnahme, die ausschließlich von den Feinwurzelsystemen und einer Vielzahl von assoziierten Mykorrhizen übernommen wird. Aus Ergebnissen wurzelphysiologischer Untersuchungen geht hervor, daß Wurzelsysteme ferner Leitungs- und Speicherfunktionen erfüllen sowie Orte der Synthese bestimmter Phytohormone sind (TORREY und CLARKSON 1975).

Kenntnisse über diese für Waldbäume lebensnotwendigen Vorgänge im Wurzelbereich sind eine der Grundlagen zum besseren Verständnis der Probleme, die mit dem Rückgang der Vitalität von Waldbeständen verbunden sind (BLASCHKE 1980, ULRICH 1980). Im Fall der Weißtanne wissen wir jedoch vergleichsweise wenig über Einzelheiten der Entwicklung und Funktion von Feinwurzelsystemen. Auch über die Art und Weise wie Umweltbedingungen deren Wachstumsrate beeinflussen, besteht nicht völlige Klarheit. Dagegen läßt sich erkennen, daß: „In many conditions water transport appears to be a significant factor in the translation of an environmental factor in formative aspects of a plant“ (LAMBERS 1979).

Können beim Tannensterben Schadsymptome im Kronenbereich verhältnismäßig deutlich okular wahrgenommen werden, so bleibt dem Beobachter der Zustand des Wurzelbereiches zunächst verborgen. Mit der uns gebotenen technischen Unterstützung bei der Entnahme von Tannen-Wurzelstöcken war es aber möglich, auch eine Analyse der Bewurzelungsverhältnisse durchzuführen (BLASCHKE 1980).

2 Ergebnisse

In stark befallenen wie in relativ gesunden Beständen konnten bei allen entnommenen Tannen zwei charakteristische Bewurzelungsverhältnisse im Ober- und Unterboden unterschieden werden.

Die Unterschiede hinsichtlich der strukturellen Merkmale, wie sie an den Wurzelsilhouetten deutlich werden, sind auf den Abbildungen 1a und 1b dargestellt.

An dem Teilwurzelsystem aus dem Oberboden (OWS) sind Langwurzeln und mykorrhizierte Kurzwurzeln meist in Form verzweigter Kurzwurzelkomplexe zu erkennen. Ein Kurzwurzelkomplex bildet mit den mehrfach verzweigten Ektomykorrhizen, Pilzmycelien, Bodenpartikeln und zersetzten organischen Bestandteilen ein Aggregat – den sogenannten Mykoplasten (WILDE et al. 1980) – das eine hochwirksame funktionelle Einheit darstellt.

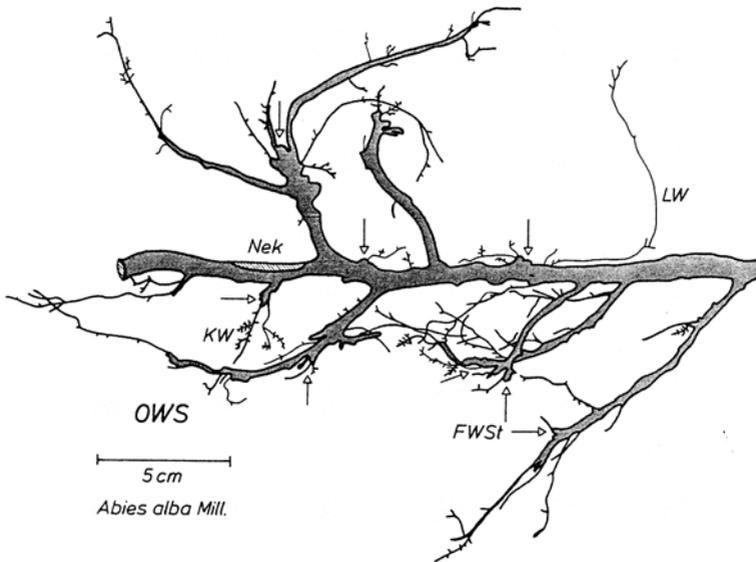


Abb. 1a. Teil des Oberbodenwurzelsystems (OWS) → Wurzelstörpunkte, FWSt Feinwurzelstümpfe, KW Kurzurzeln, LW Langurzeln

Fig. 1a. Part of the topsoil root system (OWS) → points of root disturbance, FWSt fine-root stumps. KW short roots, LW long roots

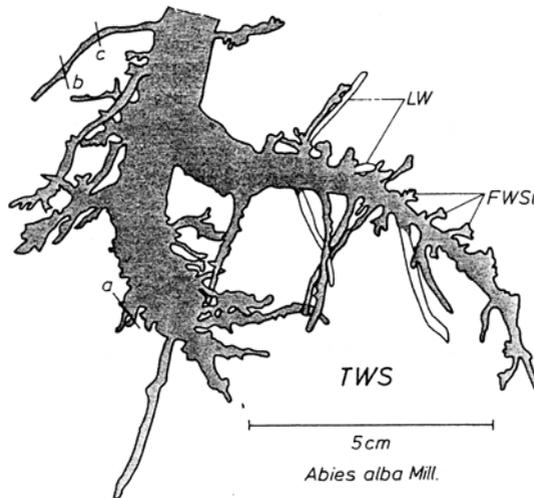


Abb. 1b. Teil des Tiefenwurzelsystems (TWS). LW Langwurzel (Neubildung!) FWSt Feinwurzelstümpfe a–c abortierte Kurzurzeln

Fig. 1b. Part of the subsoil root system (TWS), LW long root (regeneration!), FWSt fine-root stumps a–c aborted short roots

Die Kurzurzeln sind mykorrhizierete, nicht kambiale ephemere Organe, die im Rahmen der Feinwurzelentwicklung einem zyklischen Prozeß; dem „turn-over“ von Feinwurzeln unterworfen sind. Dieser Prozeß ist für die Feinwurzelentwicklung kennzeichnend.

Die Langwurzeln hingegen können verholzen und Teil des perennierenden Wurzelsystems werden. Sie übernehmen dann im wesentlichen Transport- und Speicherfunktionen. Die verschiedenen Entwicklungsstadien und die Veränderungen im Feinwurzelbereich

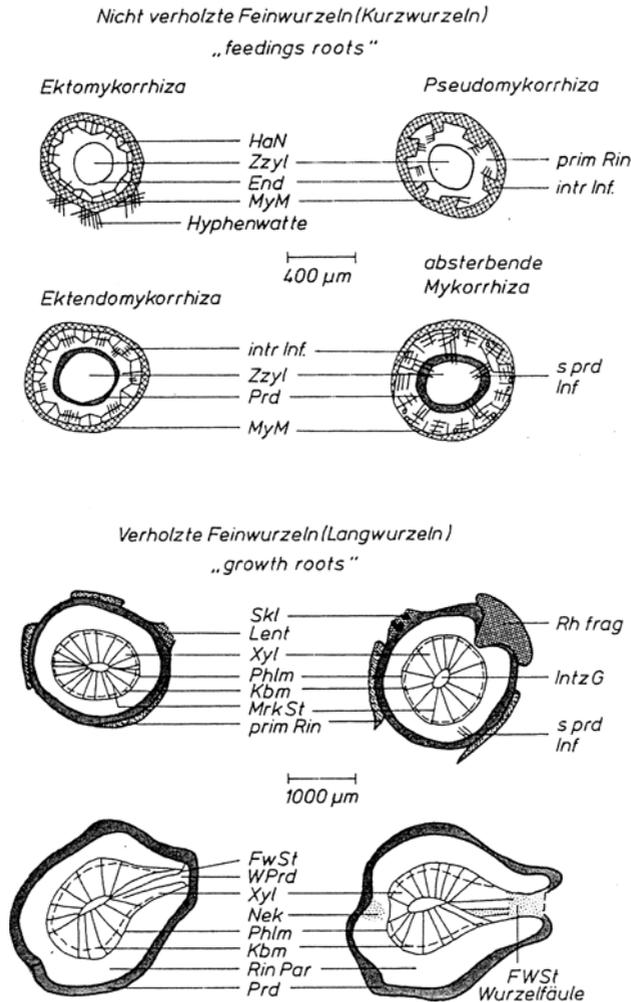


Abb. 2. Übersicht über die Entwicklungsstadien von Feinwurzeln und die Veränderungen nach symbiontischen und parasitischen Pilzinfektionen (halbschematisierte Wurzelquerschnitte). HaN Hartig'sches Netz, MyM Mykorrhiza Mantel, Zzyl Zentralzylinder, End Endodermis, prim Rind primäre Rinde, Prd Periderm, intr Inf intrazelluläre Infektion, s prd Inf subepidermale Infektion, Skl Sklerotien, Len Lentizellen, Xyl Xylem, Phl Phloem, Kbm Kambium, MrkSt Markstrahl, Intz G Interzellularer Gang, Rh frag Rhizomorpha fragilis, FwSt Feinwurzelstumpf, WPrd Wundperiderm, Nek Nekrose, RinPar Rindenparenchym

Fig. 2. General view of stages of fine-root development and the changes after symbiotic and parasitic fungal infections (semi-schematic diagram of cross sections). HaN, Hartig net; MyM, fungal sheath; Zzyl, central stele; End, Endodermis; prim Rind, primary cortex; Prd, Periderm; intr Inf, intracellular infection; s prd Inf, subepidermal infection; Skl, sclerotia; Len, lenticells; Xyl, xylem; Phl, phloem; Kbm, cambium; MrkSt, pith ray; Intz G, intercellular cavity; Rh frag, Rhizomorpha fragilis; FwSt, fine-root stump; WPrd, wound periderm; Nek, necrosis; Rin Par, cortical parenchymatous tissue

an Lang- und Kurzwurzeln sowie die dort auftretenden Pilzinfektionen sind auf den schematisierten Wurzelquerschnitten dargestellt (Abb. 2). Aktive Kurzwurzeln sind vom Typ der Ektomykorrhiza und besitzen turgeszente mykorrhizierte Spitzen. Der Symbiont bildet hier einen Mykorrhiza-Mantel (MyM) sowie interzellulär das sogenannte Hartig'sche Netz (HaN). An Feinwurzeln sind ferner intrazelluläre Infektionen zu beobachten, die für die Übergangsform vom Typ der Ektomykorrhiza charakteristisch sind.

Inaktive Mykorrhizen waren an dem kollabierten Parenchym der primären Wurzelrinde zu erkennen; die distalen Kurzwurzel-Spitzen waren farblich mit dem proximalen Ende gleich. Auf Wurzeldünnanschnitten erscheinen die Wurzelringengewebe dunkelbraun und bröcklig. Daneben finden sich an geschwächten Kurzwurzeln der Tanne Pseudomykorrhizen, die mit intrazellulären Infektionen einhergingen und lokal zur Auflösung des parenchymatischen Rindengewebes von Feinwurzeln führten (Abb. 3).



Abb. 3. Tangentialer Längsschnitt durch eine mykorrhizierte Kurzwurzel aus dem TWS. Vergrößerter Ausschnitt aus dem Wurzelringengewebe mit Hyphen, Sporen und Vesikel von Endophyten (Zygomyceten)

Fig. 3. Tangential longitudinal section of a mycorrhizal short root of the subsoil system; details of the outer cortex with hyphae, spores and vesicles of endophytes (Zygomycotina)

In älteren Entwicklungsstadien traten subperidermale Infektionen auf, die zum Absterben von ganzen Kurzwurzel-Komplexen führten. Diese nicht notwendigerweise pathologischen Veränderungen am OWS und TWS sind das Ergebnis der Feinwurzelentwicklung, wie sie uns sowohl in relativ gesunden als auch in stark befallenen Beständen, jedoch in unterschiedlicher Intensität entgegentreten. Bei orientierenden Untersuchungen an Feinwurzel-systemen befallener Tannen wurden auf einer Länge von 1 m mehr als 120 Feinwurzelstümpfe bzw. abortierte Kurzwurzeln gezählt. Bei relativ gesunden Tannen wurden Werte < 100 ermittelt.

Nicht nur die Kurzwurzeln, auch die verholzten perennierenden Langwurzeln sind dem Angriff von parasitischen Wurzelpilzen ausgesetzt. So können virulente Wurzelpilze über Feinwurzelstümpfe eindringen, Nekrosen (Nek) hervorrufen und partiell zu Wurzelfäule führen.

An geschwächten Feinwurzel-systemen wurde mehrfach das Eindringen von Hallimaschrizomorphen beobachtet. Ausgangspunkte für weitere Wurzelinfektionen können auch die Lentizellen sein.

Das Bild, das wir aufgrund der bisherigen Befunde an Tannenfeinwurzeln aus den von uns untersuchten Beständen bekommen, läßt sich zusammengefaßt wie folgt beschreiben: Es besteht eine enge wechselseitige Beziehung zwischen dem Gesundheitszustand von Tannen und deren Feinwurzelentwicklung. Das Verhältnis zwischen parasitischen wie saprophytischen Wurzelinfektionen und der Produktion neuer Feinwurzeln im Zusammenhang mit der Wurzelregeneration kann mitbestimmend für den Krankheitsverlauf bzw. die Restitution der Tanne sein. Die Dekompositionerscheinungen beschränkten sich bei den un-

tersuchten, stark geschädigten Tannen nicht nur auf das „turn-over“ im Feinwurzelbereich. Auch weite Teile des Grobwurzelsystems begannen Dekompositionserscheinungen zu zeigen.

3 Zusammenfassung und Ausblick

Zahlreiche vergleichende Beobachtungen bestätigen die Vermutung, daß Teile des Tannenwurzelsystems, insbesondere die Wurzel-Pilz Symbiose unter bestimmten, noch nicht in allen Einzelheiten bekannten Bedingungen in ihrer Funktionsfähigkeit mehr oder weniger stark beeinträchtigt werden. Dies gilt insbesondere für Tannen mit stark geschädigtem Pfahlwurzelssystem und verminderter Feinwurzelregeneration. Die durch bestimmte Wurzelpilze und Rhizosphärenbakterien hervorgerufene Dekomposition und die nachfolgende Fäule breiten sich im Xylem befallener Wurzelteile aus. Der Beginn der Wurzeldekomposition an Feinwurzelstümpfen kann Ausgangspunkt für den im Wurzelstock an Derb- und Grobwurzeln auftretenden pathologischen Naßkern sein. Bei einem Ausfall der Feinwurzelfunktion in weiten Teilen des Tannenwurzelsystems ist schließlich mit möglichen Folgeerscheinungen zu rechnen.

So z. B. in längeranhaltenden Wassermangelsituationen, wenn durch andauernde Transpiration die verfügbaren Wasserreserven im Wurzelstock erschöpft sind, ehe die Regeneration im Feinwurzelbereich einsetzt, um das Wurzel-Sproß Gleichgewicht wiederherzustellen. Es ist nicht auszuschließen, daß neben dem Ausmaß der Pilzinfektion und der Virulenz parasitischer Pilze im Feinwurzelbereich auch ungünstige bodenchemische Faktoren limitierend auf die Wurzelfunktion wirken. Wurzeldeformationen, Wurzelstörpunkte und Wurzelnekrosen, die im Feinwurzelbereich der Tannenwurzelsysteme gefunden wurden, könnten ebenfalls die Wurzelfunktion behindern. Die vorläufigen Daten der rhizographischen Untersuchungen reichen bisher nicht aus, um einen Einfluß der Mykorrhizaverteilung auf die unterschiedliche Vitalität von Alttannen zu dokumentieren. Jedoch lassen sich aus den Qualitätsunterschieden der Mykorrhizaassoziationen – basierend auf der Häufigkeit bestimmter aktiver Ektomykorrhizen und der Verschiebung des Gleichgewichtes auf symbiontischer Ebene – erhebliche biologische Konsequenzen für die Wurzelfunktion und das stark mykotrophe Wachstum der Tanne ableiten.

Inwieweit noch zu identifizierende obligat biotrophe und parasitische Wurzelpilze am Ursachengefüge des Tannensterbens beteiligt sind, bleibt weiteren Untersuchungen vorbehalten. Abschließend sollte eines hervorgehoben werden: „Das Zustandekommen einer von Wurzeln ausgehenden Krankheit ist stets besonders schwer zu beurteilen, weil hier neben der Disposition des Baumes und der Virulenz des Erregers, der Boden eine ausschlaggebende Rolle spielt. Die Kompliziertheit des Zusammenwirkens aller Faktoren, ist die Ursache dafür, daß die Bedingungen für das Auftreten einer Wurzelinfektion bei Waldbäumen erst ungenügend bekannt sind“ (BUTIN u. ŽYCHA 1973).

Zusammenfassung

Das Feinwurzelssystem der Weißtanne wurde systematisch untersucht, um festzustellen, ob in Verbindung mit dem Krankheitsgeschehen Veränderungen an den Nährwurzeln auftreten. An den mykorrhizierten Wurzeln zeigten sich: aktive ektotrophe Mykorrhizaassoziationen, ektendotrophe Mykorrhizen und Pseudomykorrhizen. Das Feinwurzelssystem der stark befallenen Bäume war nur spärlich entwickelt und lokal von pathogenen Wurzelpilzen befallen. Im Vergleich zu gesunden Bäumen war die Zahl der lebenden Ektomykorrhizen und die Feinwurzelregeneration erheblich gemindert.

Ausgehend von Nekrosen an den nicht verholzten Feinwurzeln setzten sich die Wurzelschäden auch an den sekundär verdickten Langwurzeln fort.

Summary

Alterations to the fine root development in silver fir stands

The fine root systems of silver fir were systematically investigated to determine whether feeder root condition was correlated with the disease. The different types of mycorrhizal rootlets encountered were described: active ectotrophic mycorrhizal associations, ectendomycorrhiza and pseudomycorrhiza. Most rootlets in affected trees were poorly developed showing symptoms caused by pathogenic root-infecting fungi.

The abundance of living mycorrhizal short-roots and the fine-root regeneration was less than on healthy trees. Root damage due to extensive necrosis occurred both in non-woody fine-roots and secondary thickened long-roots.

Literatur

- BLASCHKE, H., 1980: Zur Mykorrhizaforschung bei Waidbäumen. *Forstw. Cbl.* 99, 6 – 12.
BUTIN, H.; ZYCHA, H. 1973: *Forstpathologie für Studium und Praxis*, Stuttgart: Thieme.
LAMBERS, H., 1979: *Energy metabolism in higher plants in different environments*. Diss. Groningen.
TORREY, J. G.; CLARKSON, D. T., 1975: *The Development and Function of Roots*, New York and London: Academic Press.
ULRICH, B., 1980: Die Wälder in Mitteleuropa: Meßergebnisse ihrer Umweltbelastung. Theorie ihrer Gefährdung. Prognose ihrer Entwicklung. Vortrag Dt. Forstverein 24. 9. 80.
WILDE, S. A.; IYER, J. G.; COREY, R. B., 1980: Terminal mycelial clusters of tree roots. Their nutritional importance. *Plant and Soil* 54, 137 – 141.

Anschrift des Verfassers: Dr. H. BLASCHKE, Lehrstuhl für Forstbotanik, Universität München, Amalienstraße 52, 8000 München 40

Über die Bedeutung von Mikroorganismen im Holz von *Abies alba* Mill. für das Tannensterben

Von H. BRILL; E. BOCK und J. BAUCH

1 Einleitung und Problemstellung

In den siebziger Jahren hat sich das Tannensterben im natürlichen Verbreitungsgebiet von *Abies alba* Mill. stark ausgebreitet und ein bedrohliches Ausmaß für den Fortbestand dieser Baumart erreicht. Nach dem derzeitigen Wissensstand (SCHÜTT 1981a) handelt es sich um eine Komplexkrankheit, deren Ursache und Verlauf noch weitgehend unbekannt sind.

Um den Ursachen des Tannensterbens näher zu kommen, wurde von verschiedenen forst- und holzwissenschaftlichen Institutionen in Zusammenarbeit mit der Praxis ein Ver-