

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

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 132 (1981)

Heft: 5

Rubrik: Mitteilungen = Communications

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: 09.01.2026

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

Die Mykorrhiza und ihre vertikale Verteilung in Eichenbeständen¹

Von S. Egli

Oxf.: 181.351

Institut für Wald- und Holzforschung der ETH, Fachbereich Waldbau, Zürich,
und Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen,
CH-8903 Birmensdorf

Anmerkung der Redaktion: Diplomarbeiten enthalten öfter bemerkenswerte Ergebnisse für die forstliche Praxis. Solche Erkenntnisse stellen in manchen Fällen eine wertvolle Bereicherung des aktuellen Wissens dar, und wir publizieren deshalb gerne erneut eine solche Arbeit in Form einer kurzen Mitteilung.

1. Einleitung

Die folgenden Ausführungen sollen dem Forstpraktiker das Wesen und die Bedeutung der Mykorrhiza etwas näherbringen und wichtige Ergebnisse einer neueren Mykorrhizauntersuchung bekanntmachen, welche anlässlich einer Diplomarbeit mit dem Thema «Vertikale Verteilung der Mykorrhiza in Eichenbeständen, Zusammenhang mit der Bewurzelung und einzelnen edaphischen Merkmalen» gemacht wurden.

2. Allgemeines

Mykorrhiza müssen nach Funden in ältesten Fossilien (400 Mio. Jahre) schon sehr lange in der Natur vorhanden gewesen sein. Geprägt wurde der Begriff «Mykorrhiza» jedoch erst Ende des letzten Jahrhunderts vom deutschen Pflanzenphysiologen B. Frank. Seine Veröffentlichung «Über die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze» (1885), in welcher er seine Entdeckungen ausführlich beschreibt, hat noch heute Gültigkeit und ist als eigentlicher Ausgangspunkt der modernen Mykorrhizaforschung zu betrachten.

«Mykorrhiza» heisst, ins Deutsche übersetzt, «Pilzwurzel», und man versteht darunter die Symbiose zwischen einem Pilzmycel und der Wurzel einer höheren Pflanze. Bei unsren Waldbäumen kommen als Pilzpartner die verschiedensten Pilze in Frage. Die meisten in unsren Wäldern vorkommenden Hutpilze, aber

¹ Zusammenfassung einer Diplomarbeit, die am Institut für Wald- und Holzforschung, Fachbereich Waldbau, unter Leitung von Professor J.-Ph. Schütz sowie Dr. L. Froidevaux, EAFV, entstanden ist.

auch unterirdische Bauchpilze (Basidiomyceten) und Trüffeln (Ascomyceten) sind Fruchtkörper von Mykorrhizapilzen. Gewisse Pilze sind streng an einzelne Baumarten gebunden (z. B. Lärchenröhrling [*Ixocomus viscidus*] an Lärche, Butterröhrling [*Ixocomus luteus*] an Föhre, Kaiserling [*Amanita Caesarea*] an Eiche).

Der Pilz umgibt die Wurzelspitze mit einer Hülle von Pilzhypfen, welche eng miteinander verflochten sind und oft eine gewebeähnliche Struktur aufweisen. Die Wurzel nimmt dabei ganz charakteristische Merkmale an (Abb. 1, 2):

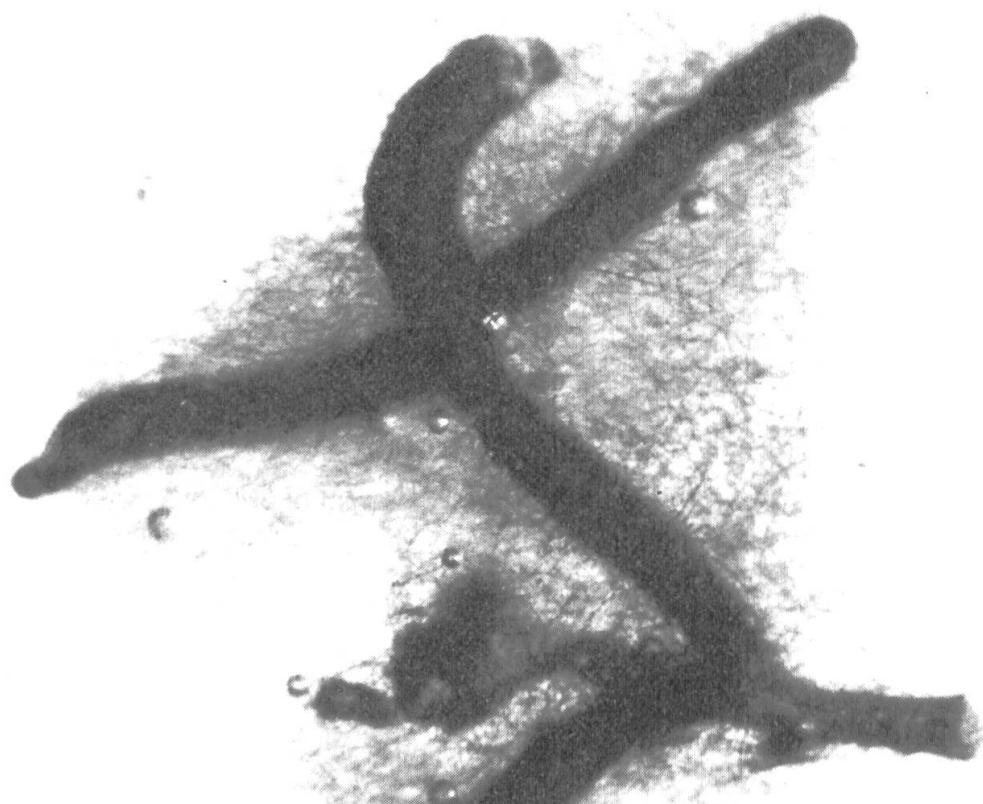


Abbildung 1. Ektomykorrhiza bei Eiche, Aufsicht. Die Saugwurzel ist völlig eingehüllt von einem watteartigen Hyphengeflecht (32×).

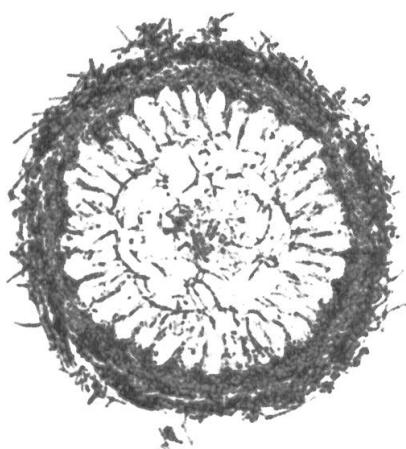


Abbildung 2. Ektomykorrhiza bei Eiche, Querschnitt. Der Pilzmantel (dunkel) umgibt die Saugwurzel mit einer kompakten Hülle. Charakteristisch ist das Pilznetz (Hartig-Netz) zwischen den äussersten, radial stark verlängerten Wurzelzellen (128×).

- verstärkte, oft regelmässige Verzweigung der Saugwurzeln,
- wurst- oder keulenförmige Verdickung der Wurzelspitze,
- zum Teil auffällige Verfärbungen (rotbraun, schwarz, weiss, gelb usw.),
- eventuell Bildung einer sogenannten Palisadenschicht (radiale Verlängerung der äussersten Zellen der primären Rinde),
- eventuell Bildung eines Hartig-Netzes (interzelluläres Hyphengeflecht in der primären Rinde, meist im Bereich der Palisadenschicht).

Die meisten dieser Merkmale sind auch makroskopisch sichtbar, und Mykorrhiza sind deshalb mit etwas Übung auch von Auge relativ leicht zu erkennen. Alle oben erwähnten Merkmale können je nach Art der beiden Symbiosepartner stark variieren, und es lassen sich ganz typische Erscheinungsformen heraus-kristallisieren.

In der Literatur werden vor allem zwei Mykorrhizatypen erwähnt: die Ektomykorrhiza, bei welcher einzelne Hyphen zwischen die Zellen der primären Rinde eindringen, die Mittellamelle auflösen und ein Hartig-Netz bilden. Charakteristisch für diesen Typ sind auch mehr oder weniger stark radial verlängerte Rinden-zellen. Ein Pilzmantel ist immer ausgebildet. Die Ektomykorrhiza ist der bei un-seren Waldbäumen am meisten verbreitete Mykorrhizatyp.

Beim andern Typ, der Endomykorrhiza, dringen die Hyphen ins Innere der Wurzelzellen ein, ohne einen Pilzmantel auszubilden. Diese intrazellulären Hy-phen zeigen oft eigenartige Formen und werden mit der Zeit in der Zelle aufge-löst und «verdaut». Andere Typen, wie die Ektendomykorrhiza (ektotrophe und endotrophe Formen kommen auf derselben Wurzel vor) oder die Pseudomykorrhiza (parasitische Pilzinfektion der Wurzel) seien hier nur am Rande erwähnt.

Über den positiven Einfluss der Mykorrhiza auf den Baum bestehen heute keine Zweifel mehr. Verschiedene Versuche haben gezeigt, dass die Mykorrhiza das Wachstum des Baumes erheblich fördert. Der Pilz bezieht von der Wurzel Nährstoffe in Form von Photosyntheseprodukten und ermöglicht auf der andern Seite dem Baum eine verbesserte Mineralstoff- und Wasseraufnahme, nicht zu-letzt, weil eine zu einer Mykorrhiza umgebildete Wurzel aufgrund ihrer Mor-phologie ein viel grösseres Bodenvolumen zu erschliessen vermag als eine unver-pilzte, das heisst nichtmykorrhizierte Wurzel. Nach Blaschke (1980) ist auch die mit der Mykorrhiza vergesellschaftete Mikroflora beteiligt, indem sie eine erhöhte biologische Aktivität in der Rhizosphäre hervorruft.

Wie sich die Stoffwechselvorgänge zwischen Pilz und Wurzeln im einzelnen abspielen, ist jedoch bis heute noch nicht genau geklärt. Der Pilzmantel wirkt im weiteren als Schutz gegen mechanische Einflüsse und schützt die Wurzel gegen Einwirkungen parasitischer Pilze oder anderer Mikroorganismen. Einige Mykorrhizapilze sind sogar fähig, spezifische Antibiotika aufzubauen, um sich und die Wurzel vor Krankheitserregern zu schützen.

3. Untersuchungsergebnisse

Die Mykorrhizauntersuchung wurde in drei verschiedenen Stieleichenbeständen gemacht, die sich in Bestandesalter, Vegetation und einigen edaphischen Merkmalen unterscheiden:

- Probefläche «Aegerten», Dietlikon (ZH):
zirka 100jährig.
Aro-Fagetum (ohne *Allium ursinum*).
Basenreiche Braunerde mit leichter Pseudovergleyung, Kalkgrenze in 60 cm Tiefe.
pH 6,5—8.
- Probefläche «Boll», Maschwanden (ZH):
zirka 30jährig.
Aro-Fagetum (ohne *Allium ursinum*).
Saure Braunerde mit leichter Pseudovergleyung, Kalkgrenze in 100 cm Tiefe.
pH 4,9—7,3.
- Probefläche «Buchberg», Mellingen (AG):
zirka 60jährig.
Galio-odorati-Fagetum luzuletosum.
Sehr saure Braunerde, kein Kalk.
pH durchgehend 4,0.

Die gefundenen Mykorrhiza wurden in insgesamt acht verschiedene Mykorrhizaerscheinungsformen eingeteilt, und zwar nach makroskopischen (Farbe und Form von Pilzmantel und Hyphen, Verzweigungsart) und mikroskopischen Merkmalen (Bildung von Palisadenschicht und Hartig-Netz, eventuell Stoffeinlagerungen in den Zellen).

Die Ergebnisse dieser Untersuchung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Alle lebenden Wurzelspitzen sind im gesamten vertikalen Wurzelbereich, also unabhängig von der Bodentiefe, zu 100 % zu Mykorrhiza umgebildet. Diese Tatsache stellte schon Frank (1885) fest, doch verschiedene Mykorrhizaforscher wie Lobanov (1960), Wehrlich/Lyr (1957), Blaschke (1980) vertreten die Meinung, dass die Mykorrhizafrequenz mit zunehmender Bodentiefe abnimmt.

Folgende Faktoren könnten unter anderem als Erklärung für diese auseinandergehenden Ansichten gelten:

- Der Zeitpunkt der Wurzelprobenentnahme. Es ist absolut möglich, dass eine Wurzel, die unmittelbar nach dem Austreiben entnommen wird, noch unverpilzt ist, da die Mykorrhizabildung vielleicht erst eine bestimmte Zeit nach dem Austrieb einsetzt. Untersuchungen von Götsche (1972) zeigten auf jeden Fall, dass die Mykorrhiza innerhalb einer Vegetationsperiode starken Veränderungen unterworfen ist.

- Schwierigkeiten im Erkennen von Mykorrhiza. Einzelne Mykorrhizaerscheinungsformen sind nur schwer und mit Hilfe von Dünn schnitten

von nichtinfizierten Wurzeln zu unterscheiden. Zum Beispiel Erscheinungsform 8 (Abb. 3, 4), die zwar nur sehr selten auftrat, aber mit ihren spitz auslaufenden, starr radial ausstrahlenden Hyphen einer nichtinfizierten Saugwurzel mit Wurzelhaaren sehr ähnlich sieht.

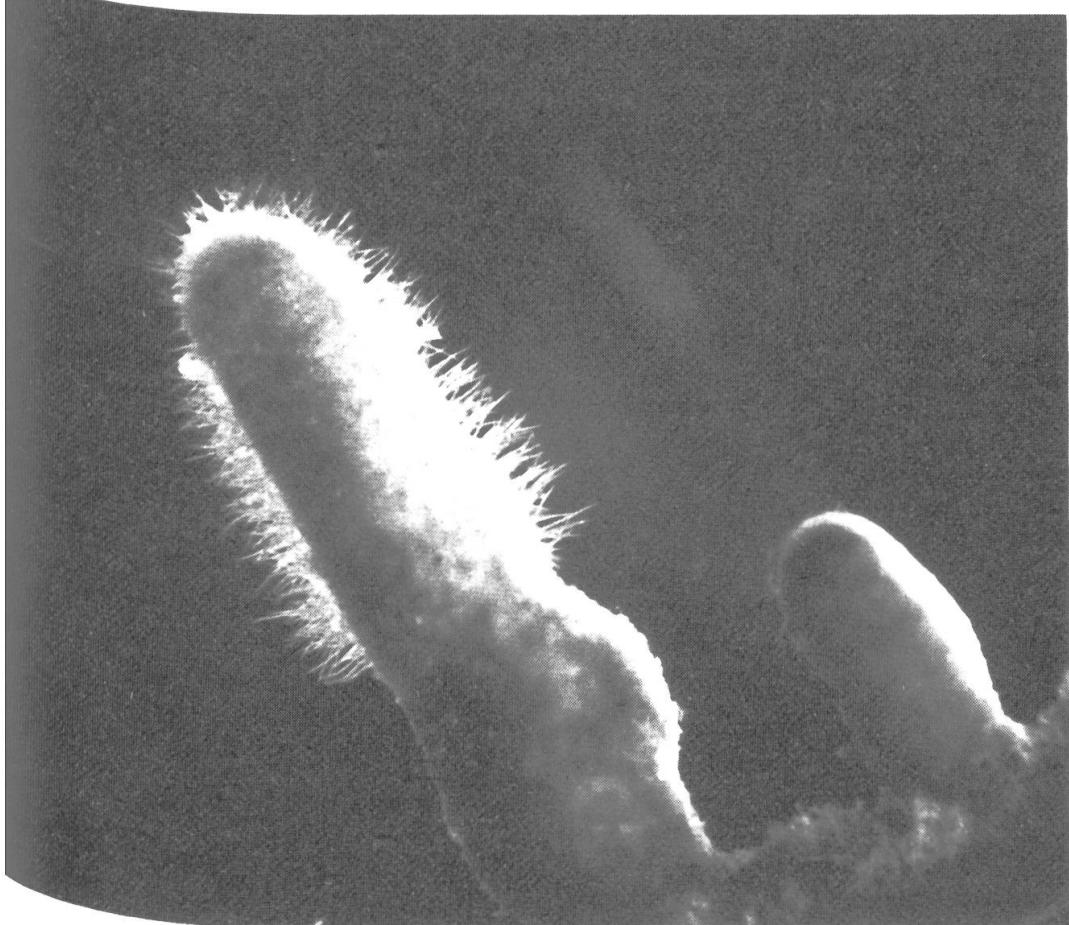


Abbildung 3. Ektomykorrhiza
bei Eiche. Erscheinungsform 8.
Aufsicht (64 \times).

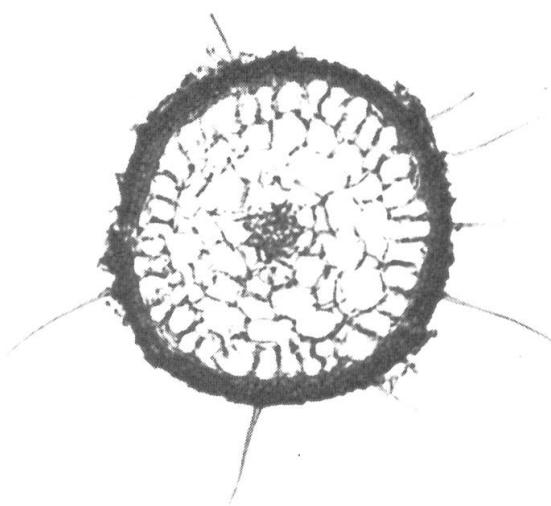


Abbildung 4. Ektomycorrhiza
bei Eiche. Erscheinungsform 8.
Querschnitt (128 \times).

- Problem der Unterscheidung zwischen sogenannten echten Mykorrhiza (Symbioseverhältnis zwischen Pilz und Wurzel) und Pseudomykorrhiza (Parasitismus des Pilzes). In manchen Untersuchungen werden Pseudomykorrhiza überhaupt nicht erwähnt. Es ist daher möglich, dass diese Erscheinung aufgrund fehlender, für echte Mykorrhiza typischer Merkmale den nichtinfizierten Wurzeln zugeordnet wurde.
2. Die einzelnen Mykorrhizaerscheinungsformen sind zum Teil an bestimmte vertikale Bodenregionen gebunden (Abb. 5).

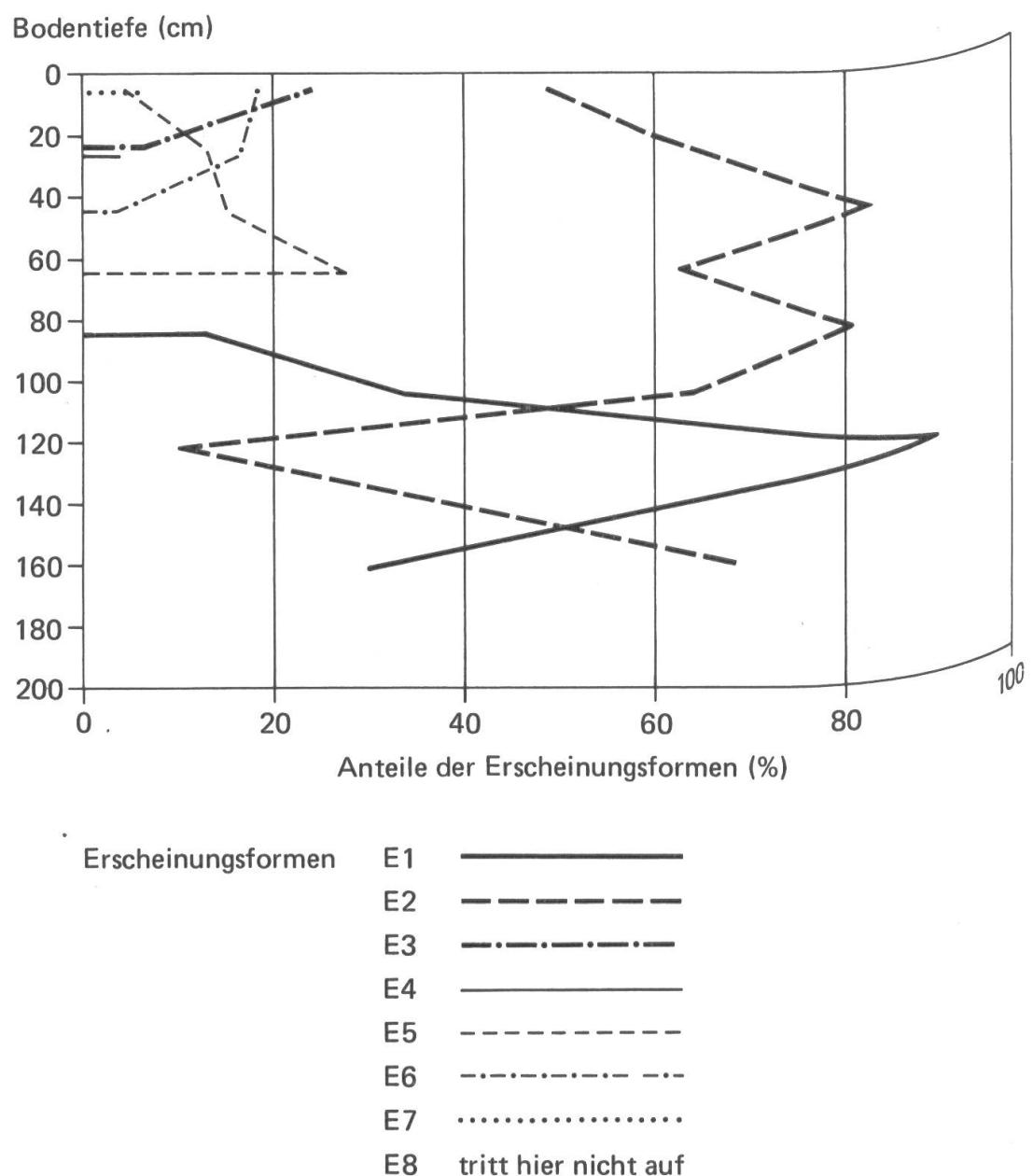


Abbildung 5. Prozentuale Anteile der Erscheinungsformen in den verschiedenen Tiefenstufen. Profil «Aegerten», Dietlikon (ZH).

Zwei Erscheinungsformen sind praktisch im ganzen vertikalen Wurzelraum zu finden (E1, E2). Die übrigen halten sich an die oberen Bodenhorizonte und dringen nur bis maximal 70 cm Tiefe ein.

3. Saugwurzeln, die zu Mykorrhiza umgebildet sind, zeigen nie Wurzelhaare. In keiner einzigen Probe wurde eine Saugwurzel mit Wurzelhaaren gefunden. (Diese Beobachtung wird auch in der Literatur einstimmig bestätigt.)
4. Die Art der Bewurzelung (Wurzeldichte) hat keinen Einfluss auf die Mykorrhizabildung.

Zum Zusammenhang zwischen der Morphologie der Wurzel und der Mykorrhiza ist zu sagen, dass nicht etwa eine bestimmte Wurzelmorphologie eine Mykorrhizabildung verursacht, sondern dass umgekehrt die Mykorrhizabildung die Fein- und Feinstwurzeln in charakteristischer Weise morphologisch und anatomisch verändert.
5. Wichtige edaphische Faktoren (pH, Kalk, Bodendurchlüftung und Sauerstoffversorgung, Bodenfeuchtigkeit, Nährstoffangebot) haben im wesentlichen keinen Einfluss auf die Mykorrhizabildung. Sie sind höchstens mitverantwortlich für das Auftreten der verschiedenen Mykorrhizaerscheinungsformen. Es ist hier aber darauf hinzuweisen, dass die untersuchten Standorte keine extremen Bodenmerkmale zeigen und deshalb als normal zu bezeichnen sind. Ich kann mir aber sehr gut vorstellen, dass in extremeren Waldstandorten andere Mykorrhizaverhältnisse vorliegen können. Trotzdem glaube ich, dass die Mykorrhizapilze im allgemeinen den Wurzeln in all jene Böden folgen können, in welchen auch für die Wurzeln noch lebensgünstige edaphische Verhältnisse herrschen.
6. Der Anteil an totem Wurzelmaterial nimmt mit zunehmender Bodentiefe stark zu.
7. Das Alter des Bestandes hat keinen Einfluss auf die Bewurzelung (im Rahmen der untersuchten 30—100jährigen Bestände).
8. Die echten Mykorrhiza sind relativ kurzlebig, das heisst der Pilzmantel ist nur im ersten Jahr funktionsfähig (nämlich solange die Wurzel sorptionsfähig ist). An mehr als einjährigen Wurzeln (Skelettwurzeln) beginnt sich der Pilzmantel von der Wurzel abzulösen oder zeigt gewisse Zerfallserscheinungen.
9. Alle gefundenen Erscheinungsformen sind den Ektomykorrhiza zuzuordnen. Endomykorrhiza wurden in der ganzen Untersuchung keine gefunden. Bei einigen Erscheinungsformen wurden jedoch ektendotrophe Stadien beobachtet, die aber nur sporadisch auftraten.
10. Im Profil «Aegerten», Dietlikon (ZH), wurde an den Mykorrhiza in den Tonhorizonten Kalkanlagerungen beobachtet, welche die ganze Wurzelspitze mit einer harten, bis 0,5 mm dicken Kruste überziehen. Diese Erscheinung dürfte mit dem Stoffwechsel austausch zwischen Pilz und Wurzel im Zusammenhang stehen.

Aufgrund verschiedener Tatsachen, nämlich dass die Mykorrhizafrequenz bei allen als lebend taxierten Wurzeln 100 % ist, dass keine Wurzelhaare beobachtet wurden, dass einzelne ektendotrophe Stadien auftraten und relativ viel totes Wurzelmaterial in grösseren Bodentiefen gefunden wurde, können folgende Hypothesen aufgestellt werden:

- Eine Saugwurzel mit Wurzelhaaren, das heisst, eine Wurzel ohne Mykorrhizabildung, ist kaum längere Zeit lebensfähig, da sie verschiedene Vorteile der echten Mykorrhiza nicht besitzt (chemischer [antibiotischer] Schutz gegenüber pathogenen Einflüssen, mechanische Widerstandsfähigkeit usw.) und deshalb mit grösster Wahrscheinlichkeit in kürzester Zeit durch parasitische Pilze infiziert wird und zugrunde geht.
- Mit zunehmender Bodentiefe werden die Bedingungen für eine Infektion der Wurzel mit echten Mykorrhizapilzen schlechter (sei es, dass echte Mykorrhizapilze aus gewissen Gründen vermehrt in den oberflächennahen Bodenschichten vorkommen oder dass gewisse in grösseren Bodentiefen ungünstiger werdende edaphische Bedingungen [zum Beispiel CO₂-Partialdruck] den Pilz oder die Wurzel schwächen). Mit zunehmender Bodentiefe wächst die Gefahr einer Infektion durch parasitische Pilze.

Zum Schluss möchte ich betonen, dass die hier gemachten Aussagen keinen Anspruch auf Allgemeingültigkeit haben. Sie beziehen sich nur auf diese drei hier untersuchten Standorte und die genau und nur an dieser Stelle untersuchten Mykorrhizaverhältnisse.

4. Ausblick

Leider weiss man heute in der Praxis allgemein sehr wenig über die Mykorrhiza und ihre Bedeutung für den einzelnen Baum und unsern Wald. Der Grund ist wahrscheinlich darin zu suchen, dass wir noch nie mit grösseren Problemen wegen mangelnder Mykorrhiza konfrontiert wurden. Es ist aber durchaus möglich, dass dieses Symbiosegleichgewicht zwischen Pilz und Wurzel durch grobe Eingriffe in die Ökologie des Waldbodens, wie unsachgemässer Düngung, Einsatz von Fungiziden oder Herbiziden, Bodenverdichtungen usw. empfindlich gestört werden könnte.

Hinweise in dieser Richtung können uns die Schwierigkeiten geben, die sich bei Aufforstungen auf waldfremdem Ackerboden oder in Hochlagen ergeben, wo infolge einer mangelnden oder ungünstigen Mykorrhizapilzflora das Aufkommen von Forstpflanzen erheblich erschwert ist.

Vermehrte Beachtung sollte in Zukunft auch dem Einsatz der Mykorrhiza im Pflanzgarten geschenkt werden. Durch künstliche Impfung der Erde mit Mykorrhizapilzen wird es möglich sein, das Jugendwachstum zu beschleunigen und die Ausfallquote infolge Wurzelparasitenbefall erheblich zu senken.

Literatur

- Björkman, E. (1942): Über die Bedingungen der Mykorrhizabildung bei Kiefer und Fichte. *Symbolae Botanicae Upsaliensis*, VI:2, Uppsala.
- Blaschke, H. (1980): Zur Mykorrhizaforschung bei Waldbäumen. *Forstw. Cbl.*, 99. Jhg. (1980): 1, S. 6—12.
- Frank, B. (1885): Über die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze. *Ber. der Deutsch. Bot. Gesellschaft*, 3, S. 128—145.
- Göttsche, D. (1972): Verteilung von Feinwurzeln und Mykorrhizen im Bodenprofil eines Buchen- und Fichtenbestandes im Solling. Mitt. der Bundesforschungsanst. f. Forst- und Holzwirtschaft, Nr. 88.
- Internationales Mykorrhizasymposium in Weimar 1960, Thema «Mykorrhiza». Fischer-Verlag, Jena (1963). Verschiedene Autoren.
- Lobanov, N. W. (1960): Mykotrophie der Holzpflanzen. Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin.
- Wehrlich I. / Lyr H. (1957): Über die Mykorrhizaausbildung von Kiefer und Buche auf verschiedenen Standorten. *Archiv f. Forstwesen* Bd. 6, Heft 1, S. 1—23.

Erfahrungen aus neuen Waldaufnahmen im Berner Oberland

Von H. Langenegger, Spiez

Oxf.: 524.63

Die öffentlichen Waldungen im Berner Oberland werden seit 1970 grundsätzlich mit permanenten Stichproben eingerichtet. Die ersten Testaufnahmen gehen auf 1965 zurück. Zur Anwendung gelangen Kontrollstichproben nach der Instruktion der Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, mit einigen Anpassungen an die Gebirgsverhältnisse. Bis Ende 1980 lagen in öffentlichen und vereinzelten privaten Waldungen 22 700 ha Erstaufnahmen vor. Das entspricht 92 % der definitiven Stichprobenwaldfläche.

1977 setzten die Zweitaufnahmen ein, bis Ende 1980 waren insgesamt 980 ha aufgenommen.

Die vorliegenden Erfahrungen aus der Praxis wollen zum Gedankenaustausch anregen. Sie werden bewusst in knapper Form dargestellt.

1. Waldflächenermittlung auf Bestandeskarten

Ott (2) hat, seither verschiedentlich zitiert, für die Schweiz eine wesentlich grössere Waldfläche ermittelt als die bisher statistisch nachgewiesene. Aufgrund neuer Bestandeskarten, welche mit Hilfe aktueller Luftbilder (aus eigenen Flügen) und Feldverifikation erstellt wurden, konnten in unserer Gebirgsregion, namentlich in Gebieten ohne Grundbuchvermessung, deutlich grössere Waldflächen lokal bestätigt werden. Für folgende Gemeinden liegen Bestandeskarten über den Gesamtwald vor (erarbeitet im Rahmen von Forschungs- oder Sanierungsprojekten):

Tabelle 1. Waldflächenvergleich.

Gemeinde	Gesamtwaldfläche in ha (%) nach				
	Bestandeskarte		Areal- statistik (1)	Schweiz. Forststatistik (= 100 %)	
	inkl.	exkl. Gebüschwald		ha	(%)
Frutigen					
Adelboden	1772	(147)	1692	1560	1202
Kandergrund	1519	(163)	1458	1381	932
Kandersteg	1148	(143)	1096	1106	802
Grindelwald	1415	(192)	1291	1063	738
Habkern	2242	(141)	2287	2263	1727
	2162	(125)	2144	1827	1736

Es wurden Waldflächen ermittelt, die 25 bis 92 % (!) über den bisher bekannten liegen. Wird der erstmals miterfasste Gebüschwald (Alpenerle, Legföhre) nicht berücksichtigt, betragen die Mehrflächen noch 24 bis 75 %.

In Gebieten mit Grundbuchvermessung wurden gegenüber bisherigen, auf Vollkluppierung ohne Bestandeskarten beruhenden Wirtschaftsplänen um 4 bis 14 % grössere Waldflächen ermittelt.

Es wird einerseits angenommen, dass in Gebieten ohne Grundbuchvermessung seit Jahrzehnten zu kleine Waldflächen unüberprüft weiterverwendet wurden. Andererseits erfassen die neuen Bestandeskarten Wald in der Kampfzone, isolierte Wälchen, Weidebestockungen usw. relativ vollständig. Schliesslich ist ein Teil der Flächenvermehrung auf tatsächliche Waldausdehnung zurückzuführen (obwohl lokal z. B. infolge Lawinenschäden auch Waldflächenabnahme festzustellen ist).

Die Arealstatistik der Schweiz (1), basierend auf der Auswertung der 1970 vorliegenden neuesten Landeskarten 1 : 25 000, gibt im Vergleich zur Forststatistik beträchtlich höhere, im oberländischen Mittel 20 % grössere Waldflächen.

Aus dem Inventar Ott (2) wurde für das Berner Oberland ohne Gebüsch und Hecken im Vergleich zur Forststatistik eine Waldfläche von 162 % ermittelt. Nach bisherigen Erfahrungen wird diese Fläche als zu hoch erachtet. Die tatsächliche Waldfläche dürfte mindestens jener nach der Arealstatistik (1) entsprechen, vermutlich aber höher liegen, näherungsweise 30 bis 40 % über den bisherigen Angaben.

2. Tarife und Holzvorräte

Die bisherigen Stichprobenaufnahmen ergaben im Mittel deutlich bis massiv höhere Holzvorräte als frühere, 15 bis 25 Jahre zurückliegende Vollkluppierungen. Dies ist, neben tatsächlicher Vorratsvermehrung, zum Teil auf genauere und vollständigere Aufnahme, teils auf die neu ermittelten Tarife zurückzuführen. Frühere Vorratsberechnungen basierten auf in den dreissiger bis vierziger Jahren aufgestellten Lokaltarifen (meist Bayerische Massentafeln, Einpassung durch Höhenmessungen) oder dem Berner Tarif von 1934. Die neuen Tarife, welche auf den bei der Stichproben-Erstaufnahme durchgeführten Höhen- und d₇-Messungen basieren, lagen in einzelnen gutwüchsigen Betrieben bis 20 bis 29 % über dem früher verwendeten (Berner) Tarif. Solche massiven Tarifdifferenzen machten Vergleiche mit Richtwerten oder Modellen fraglich. Die neuen, nach bisherigen Beobachtungen gut brauchbaren Tarife ermöglichen ein rechtzeitiges Feststellen von Übervorräten und damit zeitgerechte Korrekturmassnahmen.

Tabelle 2. Holzvorräte aus regionalen Stichprobenaufnahmen.

Jahr	Region	ha*	Anzahl Forst- betriebe	Mittlerer Holzvorrat ab 8 cm	
				Tfm/ha	Anteil Nadelholz %
1975	Niedersimmental, rechte Talseite	712	6	509	99 %
1976	Niedersimmental, linke Talseite	1027	10	432	92 %
1976	Meiringen-Rosenlau	1167	7	391	73 %
1979	Stockental-Niesen	811	7	376	61 %

* nur Waldfläche mit Stichproben, ohne extreme, unzugängliche, felsige Waldpartien.

Es ergaben sich bisweilen durch neue Tarife, vollständige Aufnahme und lang aufgeschobene Revisionen unglaubliche Vorratsvermehrungen, wobei nicht in allen Fällen feststellbar ist, wieviel davon echte und wieviel nur scheinbare Zunahme ist.

Die stratifizierten Stichprobeaufnahmen liefern zusammen mit der Bestandeskarte eine Fülle von Zusatzinformationen über die räumliche Vorratsverteilung, über die Nachwuchsdurchmesser (8 bis 16 cm), auf die hier nicht näher eingegangen wird. Es wird vermutet, dass diese Führungsinformationen gegenwärtig vom Betriebsleiter noch nicht in allen Fällen als Entscheidungsgrundlagen voll ausgeschöpft werden.

3. Zuwachs

Die bisher vorliegenden Zweitaufnahmen ergaben wesentlich höhere Holzzuwachse als früher errechnet und bisher angenommen.

Tabelle 3. Holzzuwachs in einigen Wäldern mit Zweitaufnahmen.

Wald	Fläche ha	Höhenlage m ü. M.	Zuwachs (inkl. Einwuchs) aus Kontrollstichpro- ben ab 8 cm BHD		Früher ermittelte Zuwachswerte	
			Periode 1967—77	J. 4,6*	Periode 1934—56	J. 3,2
Bergschaft Bach (Grindelwald)	232*	1200—1900	1967—77	4,6*	1934—56	3,2
Bergschaft Holzmatten (Grindelwald)	85	1600—2000	1967—77	5,6	1935—56	ca. 5
Einwohnergemeinde Saanen	122	1300—1700	1968—79	7,6	1922—48	3,8
Staatswald Wimmis	68	600—1000	1970—80	7,4	1935—47	4,7
					1947—57	4,3

* beträchtlicher Anteil aufgelöster Bestände.

Es erstaunt, dass in geeigneten Lagen bis in die subalpine Stufe hohe laufende Zuwachse festgestellt werden können. Die früheren Zuwachszahlen wurden bisher in allen Fällen übertroffen, was auf verschiedene Ursachen zurückgeführt wird:

- Die Bestockung ist geschlossener als in früheren Jahrzehnten.
- Der Boden hat sich von Einflüssen schädlicher Nebennutzungen (Ziegenweide, Streunutzung) weitgehend erholt (tatsächliche Zuwachsvermehrung).
- Die Nutzungen als Grundlage der Zuwachsbestimmung mit der Kontrollmethode wurden namentlich in Berglagen unvollständig verbucht (Versehen, Vergessen, Zwangsnutzungen, Absicht).
- Ungenauigkeiten in der Kongruenz zweier aufeinanderfolgender Vollklappierungen (z. B. Flächen, Aufnahmegrenzen) in extremen Verhältnissen.
- Tarifdifferenzen.

Es mag sein, dass in einzelnen Betrieben gegenwärtig durch unnachhaltigen Waldaufbau (viele Baumhölzer, wenig Jungwuchsflächen) der laufende Zuwachs etwas über dem langfristig Möglichen liegt. Dies wird die Zuwachsentwicklung über mehrere Perioden weisen müssen. Weitere Zuwachsauswertungen aus Folgeaufnahmen werden mit Spannung erwartet.

4. Nutzungen

Durch Vergleich zweier aufeinanderfolgender Aufnahmen in festen permanenten Probeflächen lassen sich die in der Zwischenzeit getätigten Holznutzungen annähernd berechnen (identifizierte Stöcke). Deren Übereinstimmung mit der aufsummierten betrieblichen Nutzungskontrolle kann namentlich dort nicht erwartet werden, wo in relativ wenigen Probeflächen genutzt wurde, wo die Probeflächen für die Nutzungen nicht repräsentativ sind oder wo die betriebliche Nutzungskontrolle ungenau ist.

Tabelle 4. Nutzungsvergleich Stichprobenaufnahme — Nutzungskontrolle

Wald	Zeit- raum	Anzahl Stichproben		Holznutzung aus: Stichprobenaufnahmen Tfm	Nutzungs- kontrolle m³
		Total	mit Nutzung		
Gemeinde Saanen	1968—79	63	40	6563	5625
Staatswald Wimmis	1970—79	30	16	1195	2136
Staatswald Adelboden und Kandersteg	1969—78	35	19	2871	871
Grindelwald, Bergschaft Bach	1967—77	112	50	6502	3011

Erfahrungsgemäss ist die Ermittlung der Nutzungsmenge vor allem bei kleinen Stichprobezahlen mehr als Vorrat, Stammzahl und Zuwachs mit Fehlern behaftet.

5. Technische Probleme mit permanenten Probeflächen

Probeflächengrösse

Für unsere Gebirgsverhältnisse ist eine Probeflächengrösse von 3 Aren üblich bei einem Dreiecksverband von 150 x 150 m (= 1 Probefläche pro 2 ha). Die kleinflächige Inhomogenität vieler Bestände bewirkt bei dieser eher (zu) kleinen Probeflächengrösse relativ hohe Streuungen. Verschiedene Überprüfungen haben indes ergeben, dass die Resultate besser sind als ihr statistischer «Ruf».

Betriebsgrösse und Stichproben

Kleine Betriebe lassen sich nicht problemlos mit Stichprobenverfahren (jeder Art) einrichten. Je nach Einheitlichkeit der vorhandenen Bestände liegt bei einem Raster von 1 Probefläche pro 2 ha die untere Grenze bei etwa 30 bis 80 ha, falls einzelbetrieblich ausgewertet werden soll. Sofern vergleichbare Wälder regional

nal koordiniert aufgenommen werden, bestehen Möglichkeiten der überbetrieblichen Auswertung, die aber mit Vorsicht anzuwenden sind. Wo der Waldeigentümer die Kosten der Aufnahme trägt, will er in der Regel auch eigene Betriebsergebnisse erhalten. In Zweifelsfällen sollten kleinflächige Stichprobenauswertungen über regional gruppierte Auswertungen überprüft werden. Vor allein «regionaler Auswertung» mit flächenweiser Rückrechnung auf kleinere Einheiten wird gewarnt, wenn wesentliche Standorts- oder Bestandesunterschiede vorhanden sind.

Leistung / Kosten

Die Erstaufnahmen in Gebirgsverhältnissen erlauben eine mittlere Tagesleistung von 5 bis 8 Probeflächen pro Tag. Die Leistung hängt neben der Erschließung stark von den Gehilfen ab, die normalerweise durch den Waldeigentümer gestellt werden. Erstaufnahmen mit festen Stichproben (3-Mann-Gruppe, inkl. Tarifmessungen) kosten einschliesslich Verbrauchsmaterial in unseren Verhältnissen gegenwärtig Fr. 35.— bis 45.— pro ha. Zweitaufnahmen (2-Mann-Gruppe, ohne Höhenmessungen) dürften nach ersten Erfahrungen etwa 30 bis 50 % billiger sein. Die Aufnahmeleistung unserer Gruppen betrug bisher bei Zweitaufnahmen im Mittel 5 bis 7 Probeflächen pro Tag.

Die Kosten für EDV-Auswertung liegen nach letzten Kalkulationen bei Fr. 3,60/ha, inkl. regionale Tarif- und Vorratsberechnung. Bei Betriebsgrössen über etwa 40 bis 50 ha ist damit unter vergleichbaren Verhältnissen die Stichprobenaufnahme im Vergleich mit Vollkluppierungen wesentlich (20 bis 40 %) billiger. Kleine, überblickbare Wälder werden im Kanton Bern gelegentlich noch kluppiert.

Das Wiederauffinden der Probeflächen bei Folgeaufnahmen bereitet in der Regel keine Schwierigkeiten, braucht aber hin und wieder in kupiertem Gelände oder in Flächen mit starken Veränderungen etwas Zeit. Wo am Hang Probeflächen mit Bodenhöhenmesser eingemessen werden, können infolge kurzfristiger Luftdruckschwankungen Einmessfehler bis etwa 15 Höhenmeter auftreten (das Einmessen mit Bussole und Messband ist an Steilhängen undurchführbar). Von annähernd 500 Probeflächen konnte bisher eine einzige nicht mehr gefunden werden.

In Zweitaufnahmen von 3-a-Probeflächen 1979 und 1980 wurden aufgewendet:

<i>Wald</i>	<i>Anzahl Probe- flächen</i>	<i>Mittlere Anzahl Bäume pro Probefläche</i>	<i>Durchschnittliche Zeit für: Aufsuchen Einmessen Min.</i>	<i>Röhrchen suchen Min.</i>	<i>Aufnahme neue BHD Min.</i>
Gemeinde Saanen	63	20,1	25,9	10,8	27,1
Gemeinde Hof- stetten	27	31,7	35,8	6,0	41,5
Staatswald Wimmis	30	16,6	19,8	11,5	23,8

In der Regel ist der Zeitbedarf pro Probefläche kleiner. Die Durchschnittszeiten werden indessen durch Regenwetterverluste und durch vereinzelte schwierige Probeflächen angehoben (Windwurfflächen mit deplazierten Stöcken, Terrainveränderungen durch Wegebau, verschwundene Röhrchen usw.).

Ein rasches Wiederauffinden der Probeflächen setzt seriöses Einmessen und einen sauberen Einmessplan (wenn möglich mit Kroki) voraus. Die Markierung mit einigen blauen Punkten auf der Einmessroute und in der Probefläche hat sich in unseren Verhältnissen (Bodenhöhenmesser!) bewährt. Erfahrungsaustausch und Vergleiche mit der Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen haben ergeben, dass noch Zeiteinsparungen möglich sind, kann doch beispielsweise bei Wiedererkennen von 2 bis 3 markanten Bäumen der Probefläche auf das Suchen des Versicherungsröhrchens sowie meist auf das Nachmessen der Polarkoordinaten verzichtet werden (Ausnahme: Einwüchse).

Datenverarbeitung und -verwendung

Die rekonstruierbare und über grössere Gebiete vergleichbare Datenfülle aus festen Stichprobenaufnahmen ergibt unseres Erachtens neben den Primärangaben über Stammzahl, Holzvorrat, Zuwachs und Nutzung Möglichkeiten der Auswertung, Prognose und Erfolgskontrolle, die selten voll ausgeschöpft werden. Es lohnt sich, aus den Aufnahmen etwas mehr «herauszuholen», beispielsweise über regionale Tarifauswertungen.

Kontrollführung

Durch Bestandeskarten und permanente Probeflächen sind gute Voraussetzungen für eine einfache effiziente Kontrolle gegeben. Holzschläge und Pflegemassnahmen können in den Bestandeskarten eingetragen, Nutzungen nach Verkaufsmass verbucht werden. Auf eine minuziöse Stehendkontrolle jeglicher Ausbiebe kann verzichtet werden. Es ist zweckmäßig, die Hiebsätze direkt in Erntefestmetern Liegendlmass anzugeben. Damit wird die Kontrollführung einfach, rekonstruierbar und praktisch.

Effekt regional koordinierter Aufnahmen

Die im Berner Oberland seit 1975 übliche regionsweise koordinierte Aufnahme und Revision der Wirtschaftspläne bringt nicht allein Vorteile für die Stichprobenaufnahmen und deren Auswertung. Es hat sich gezeigt, dass der Regionalisierung der Forsteinrichtung, die auch weitgehend ohne Informationsverlust für den Einzelbetrieb eingeführt werden kann, ein erheblicher Rationalisierungseffekt für die Forsteinrichtungsarbeiten innewohnt (Flugaufnahmen, Perimeter für Bestandeskarten-Bearbeitung, Information der Waldeigentümer, Vergleichbarkeit und Kombinierbarkeit der Daten, allgemeine Grundlagenbeschaffung usw.). Darüber hinaus zeichnet sich ab, dass mit der Ausarbeitung von regionalen Forstrichtplänen die Wirtschaftspläne der einzelnen Betriebe sinnvoll entlastet und unterstützt werden können.

6. Folgerungen und Ausblick

Die neuen Waldaufnahmen brachten teilweise unerwartete Resultate. Es besteht kein Anlass zum Zweifel an deren grundsätzlicher Richtigkeit (auch wenn in einzelnen Fällen und bei geringen Probeflächenzahlen lokal Unsicherheiten auftreten). Die Konsequenzen aus den neuen Erkenntnissen zu ziehen ist Aufgabe der Waldeigentümer und des Forstdienstes. Wenn trotzdem keine schroffen, «überkonsequenten» Kehrtwendungen in der Bewirtschaftungs- und Nutzungs- politik ausgeführt werden, ist dies verständlich. Aus forstpolitischen und betrieblichen Gründen werden etwa massive Hiebsatzerhöhungen wohl nicht in einem einzigen, plötzlichen Schritt vollzogen; die Anpassung der Nutzungspraxis und der betrieblichen Kapazitäten muss vorbereitet und eventuell schrittweise eingeführt werden. Die Projektion und «Einpassung» der Folgerungen aus Grundlagen und Inventurdaten in die Verhältnisse des Einzelbetriebes mit Sinn für das Machbare ist ein wesentliches Element einer zweckmässigen Forsteinrichtung.

- Aus den bisherigen Erfahrungen ist zu folgern, dass:
 - die Wirtschaftsplanrevisionen aufgrund von einfachen, nicht mit systematischen Fehlern behafteten Zustanderhebungen durchgeführt werden sollen. Für Wälder mit wichtigen Ertragsfunktionen sind dabei Entwicklungsgrössen (Zuwachs) unentbehrlich, besonders im Gebirgswald, wo der Anwendung von Ertragstafeln und Wachstumsmodellen Grenzen gesetzt und die heutigen Erkenntnisse über das Bestandeswachstum noch lückenhaft sind.
 - die Revisionen pünktlich und in nicht zu langen Abständen erfolgen sollen. Zu langes Hinausschieben der Revisionen führte in der Vergangenheit dazu, dass unerwünschte Entwicklungen zu spät erkannt wurden und waldgerechte Korrekturmaßnahmen verspätet, wenn überhaupt, einsetzen konnten.

Eingangs wurde erwähnt, dass im Berner Oberland in öffentlichen Wäldern grundsätzlich Stichproben aufgenommen würden. Diese Regel wird beweglich gehandhabt. Massgebend sind die örtlichen Verhältnisse sowie übergeordnete Interessen. In Wäldern mit weniger wichtiger Ertragsfunktion, aber vorwiegender Schutzfunktion spielen z. B. quantitative Erhebungen eine untergeordnete Rolle. Die Einrichtung kann sich hier auf die nachhaltige Sicherstellung der Waldfläche und der Waldfunktionen beschränken. Mittel dazu sind Bestandeskarten mit Flächenermittlung (evtl. Orthofotos) sowie gestützt darauf Beschreibung der Be stände hinsichtlich Stabilität/Funktionserfüllung mit örtlicher Präzisierung der für die Funktionserhaltung erforderlichen Minimalmaßnahmen.

Damit sei auch gesagt, dass es kein überall gültiges Standardverfahren für Waldaufnahmen gibt, sondern dass, je nach den massgeblichen Waldfunktionen, verschiedene Möglichkeiten der Zustandserfassung, Planung und Kontrolle bestehen, wobei eine gewisse Standardisierung aus technischen und organisatorischen Gründen sinnvoll ist.

Literatur

- (1) Arealstatistik der Schweiz 1972, statistische Quellenwerke der Schweiz, Heft 488, Eidg. Statist. Amt, Bern 1972.
- (2) Ott, E.: Erhebungen über den gegenwärtigen Zustand des Schweizer Waldes als Grundlage waldbaulicher Zielsetzungen, Teil A, Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Vers' wes. 48/Heft 1, Zürich 1972.

Grenzen des Fahrzeugeinsatzes im Wald

(Bericht von der 1. europäischen Tagung über Boden- und Fahrzeug-Systeme
vom 25. bis 27. März 1980 in Rottach-Egern, BRD)

Von F. Nipkow

Oxf.: 377

Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, CH-8903 Birmensdorf ZH

In der «International Society for Terrain-Vehicle Systems» (ISTVS) sind Forschung, Industrie und Anwender der Fachrichtungen Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Militärwesen, Geländetransport und Erdbau zusammengeschlossen, die sich im weitesten Sinne mit der Befahrbarkeit von Böden und der Bodenbearbeitung befassen. Eine wichtige Zielsetzung der Gesellschaft ist die Kontaktpflege aller an Boden- und Fahrzeug-Systemen interessierten Kreise. Es geht ihr dabei hauptsächlich um den Gedankenaustausch über Erkenntnisse der Vorgänge, die sich bei der Befahrung und Bearbeitung von Böden abspielen und um die gegenseitige Abstimmung der Anforderungen an Fahrzeuge, die sich daraus ergeben.

Die erste europäische Tagung der ISTVS diente denn auch einer ersten Kontaktnahme der europäischen Mitglieder. Der Teilnehmerkreis von 63 Personen aus 13 europäischen Ländern und den USA mit 22 Vertretern aus Industrie und Verkauf, 18 aus der landwirtschaftlichen, 10 aus der gelände- und erdbaumaschinen-technischen und 4 aus der forstlichen Forschung sowie 9 Armeeangehörigen liess intensive Diskussionen zu. Gearbeitet wurde in vier Gruppen, ausgehend von Referaten aus den vier obenerwähnten Fachrichtungen. Den Abschluss der Tagung machte eine Besichtigung der Lastwagenfabrik MAN in München, wo ein Einblick in die Fahrgestellfertigung und die Montage der Lastwagen geboten wurde. Sehr interessant war dann der Besuch des Testgeländes, auf dem eine Demonstration der harten Anforderungen an Militärfahrzeuge durchgeführt wurde.

Die Teilnahme an der Konferenz gab dem Verfasser Gelegenheit, sich auch einmal mit den Problemen landwirtschaftlicher Böden und der Bodenbearbeitung im Erdbau intensiver zu befassen. Hauptziel der Teilnahme war aber die Möglichkeit des Gedankenaustausches auf dem Gebiet der Befahrbarkeit schlecht tragfähiger Waldböden. Die EAFV befasst sich seit Jahren mit diesen Problemen unserer ausgedehnten Flyschgebiete. Deshalb war es von besonderem Interesse zu hören, wie andere Länder den Problemkreis Fahrzeug — Reifen — Boden bearbeiten. Leider war die Teilnahme forstlicher Spezialisten an der Tagung unerwartet klein, was den rein «forstlichen» Gedankenaustausch praktisch auf skandinavische und schweizerische Verhältnisse beschränkte. Das scheinbare Desinteresse der Forstleute an der Tagung hing nach Ansicht der Organisatoren auch damit zusammen, dass das Tätigkeitsgebiet der ISTVS in europäischen Forstkreisen zu wenig bekannt ist.

Die Arbeitsgruppe Forstwirtschaft befasste sich mit dem Thema: «Grenzen in der Konstruktion von Forstgeräten». In einem finnischen Film wurde die Tendenz der skandinavischen Holzernte aufgezeigt, die zur Vollmechanisierung durch noch stärkere und schwerere Maschinen führt. Es gelangen immer mehr Vollerntemaschinen und Rückezüge zum Einsatz. Diese können in Kahlschlägen bis zu 30 Tonnen Gesamtgewicht (15 t Lastkapazität) und 130 kW Leistung erreichen. In Durchforstungen werden mittlere bis leichte Maschinen mit 15 bis 20 t Gesamtgewicht und 50 bis 80 kW Leistung verwendet. Die Leistung wird durch möglichst grosse Lastkapazität dank Erhöhung der Achszahlen und Gewichtverlagerung auf die Vorderachse vergrössert. Die Auslastung der teuren Maschinen muss sehr hoch sein. Deshalb werden auf ein Grundfahrzeug mehrere Spezialaggregate montiert. Service und Unterhalt werden auf ein Minimum reduziert. Die Entwicklung im Maschinenbau lässt die natürliche Lebensdauer dieser Maschinen in den Hintergrund treten. Grosse Beachtung wird der Ergonomie geschenkt. Sämtliche Fahrzeuge verfügen über vollklimatisierte lärm- und schwingungsdämpfende Kabinen. Der Film verdeutlichte sehr anschaulich die ungeheuren Beanspruchungen an Boden, Wurzelwerk und Restbestand durch diese Maschinen. Die Bodenoberfläche ist nach einem Einsatz bis zu 50 cm tief vollständig zerstört. Die Diskussion zeigte, dass in Schweden der Widerstand gegen diese Verwüstungen zunimmt. Vor allem in Durchforstungen müssen zudem bedeutende Ertragseinbußen in Kauf genommen werden. Auch die Leistung der Grossmaschinen beginnt zu sinken, sobald die Räder im Morast durchdrehen und damit ein hoher Kraftverlust entsteht. Der Widerstand aus Umweltschutzkreisen hat bereits dazu geführt, dass die zulässigen Spurtiefen auf Rückegassen in Durchforstungen gesetzlich auf maximal 10 cm festgelegt wurden.

Als neueste Konstruktion zur Verhinderung von Bestandesschäden wurde eine Fällmaschine entwickelt mit auf Rädern fahrendem Kranausleger, der tiefer in den Bestand greifen kann als ein konventioneller und der die Bäume aufrecht an die Gasse bringt. Diese Maschine erlaubt einen grösseren Rückgassenabstand.

Der Verfasser konnte die schweizerischen Verhältnisse darlegen, wo die Fällarbeiten von Hand mit der Motorsäge und das Rücken grösstenteils mit Traktoren oder allenfalls mit Knickschleppern vollzogen werden. Waldbauliche Aspekte, Besitzesstruktur, Schutz- und Erholungsfunktionen sowie die Geländebeziehungen in den Alpen verhindern den Einsatz von Grossmaschinen. Beim Rücken wird auch darauf geachtet, dass in empfindlichen Böden keine tiefen Spuren entstehen, die das Bodengefüge und den Wurzelraum der Pflanzen zerstören. Die Ausführungen lösten aber zum Teil Kopfschütteln aus, denn die Skandinavier konnten nicht begreifen, dass ein Land mit einem so hohen Lebensstandard wie die Schweiz eine derart «rückständige» Holzernte betreibt . . .

Als wichtigste Ergebnisse der Diskussionsgruppe Forstwirtschaft können festgehalten werden:

- Die Leistung bei der Holzernte muss gesteigert, die Kosten müssen gesenkt werden. In Skandinavien zeichnen sich dabei bereits gewisse Grenzen ab. Die Maschinen haben Grössen und Preise erreicht, bei denen praktisch nur noch mit Schichtarbeit Leistungssteigerungen und Kostensenkungen erzielt werden können.

- In der Schweiz bestehen aus den obenerwähnten Gründen kaum Einsatzmöglichkeiten für Vollerntemaschinen und schwere Rückezüge. Deshalb braucht aber unsere Holzerntetechnik noch lange nicht «rückständig» zu sein. Auch ein Zusammenhang mit unserem Lebensstandard besteht wohl kaum ... Leistungssteigerungen und Kosteneinsparungen sind mit weniger aufwendigen Massnahmen als durch eine Vollmechanisierung möglich. Sie können durch eine optimale Erschliessung der Wälder und eine gute Planung und Durchführung der Holzernte vorwiegend mit unseren traditionellen Mitteln erreicht werden. Auch eine angepasste Sortimentsbildung — z. B. Industrie-Langholz anstelle von 1-Meter-Sterholz — und eine bessere Vor- und Nachkalkulation (Verwendung der Richtwerttabellen der EAFV) wirken leistungssteigernd und kostensparend. Die Verhältnisse sind bei uns auch insofern anders, als grössere Holzdimensionen anfallen als im Norden. Ob leichte Rückezüge, Entrindungsmaschinen oder Kippmast-Seilkrananlagen in der Schweiz einen Markt finden, wäre zu prüfen. In dieser Richtung hat die EAFV im Frühling 1980 einen Versuch mit einer mobilen Stammholz-Entrindungsanlage durchgeführt.
- Traditionen spielen bei der Anpassung der Holzerntetechnik eine grosse Rolle und sind schwierig zu überwinden. Von einer einmal angewandten Methode wird nur langsam Abstand genommen.
- Beim Rücken von Langholz entstehen die grössten Rückeschäden. Der Langholzanteil in der Schweiz könnte vermutlich reduziert werden, wenn feststände, wer wirklich Langholz benötigt. — In Skandinavien wird praktisch nur Kurzholz bereitgestellt. Ist die Tradition bei uns verantwortlich für die Langholzbereitstellung, die Entrindung von Hand und das Aufrüsten von 1-Meter-Schichtholz?
- Der Entrindungsversuch und eine damit im Zusammenhang stehende Umfrage bei den Forstbetrieben zeigte, dass eine Maschinentrindung in jenen Betrieben in Frage kommt, die über wenig Personal verfügen, dass aber dort, wo genügend Arbeitskräfte vorhanden sind, meistens wie bisher von Hand entrindet wird. Ein Artikel über die Bereitstellung von Industrieholz (Schweizer Förster Nr. 9, 1980) deutet die Tradition an: Es werden in der Schweiz nur rund 20 % Industrieholz in langer Form ausgehalten, obwohl es nach der Kalkulation mindestens 50 % sein müssten.
- Im Norden wird die Kritik der Erholungssuchenden und Umweltschützer an den angewandten Holzerntemethoden langsam ernst genommen.
- Die Trends gehen deshalb auch in Skandinavien in Richtung einer sorgfältigen bestandes- und bodenschonenderen Nutzung. Schäden müssen nach Möglichkeit reduziert werden. Das heutige know-how in der Technik muss zu angepassten Methoden bei der Holzernte führen. Beispielsweise muss der Bodendruck der Fahrzeuge verkleinert werden. Der Energieverbrauch muss reduziert werden. Es müssen Energiealternativen wie der Einsatz von Gasturbinen studiert werden. Das Problem der Ölverluste im Wald muss gelöst werden: In Schweden gehen durch Schmierung vor allem der Motorsägeketten jährlich riesige Mengen Öl verloren.
- Auch in der Schweiz muss bewusster auf eine bestandesschonende Holzernte geachtet werden. Die EAFV versucht, der Praxis Möglichkeiten zu zeigen, Fäll- und Rückeschäden an Bestand und Boden möglichst gering zu halten (Untersuchungen über Möglichkeiten zur Verhinderung von Rückeschäden und über die Befahrbarkeit natürlicher Waldböden). Mit ihren Rückeversuchen auf schlecht tragfähigen Böden scheint sie offenbar allein zu sein, vielleicht auch deshalb, weil die Ansprüche an ein geringes Schadenmass in der Schweiz höher sind als im Ausland.
- Schäden am verbleibenden Bestand treten in Schweden seltener auf als bei uns, weil alles Holz in kurzer Form aufgerüstet wird.

Über die wahren Schadenverhältnisse bei verschiedenen Sortimentslängen wird die Untersuchung über Rückeschäden an der EAFV Auskunft geben.

- In der heute angewandten hochentwickelten Technologie verdient der Mensch immer grössere Beachtung. Sicherheit, Ergonomie und Motivation stehen im Vordergrund. Kleine Maschinen bieten relativ wenig Sicherheit und Komfort. grosse Maschinen müssen extrem gut ausgelastet werden, was zu Arbeitsstress mit unsorgfältiger Ausführung oder zu Schichtarbeit führt. Technologisch hochentwickelte und automatisierte Maschinen bergen in sich die Gefahr von Monotonie für das Bedienungspersonal. Die Maschine darf dem Menschen das Denken nicht abnehmen. Der Arbeiter muss Verantwortung tragen.

Auf dem Gebiet der Arbeitssicherheit und der Ergonomie steht es in der Schweiz noch nicht zum Besten. Die intensiven Forschungen im Ausland und seit kurzer Zeit auch bei uns sollten zur Durchsetzung von entsprechenden Massnahmen führen.

Einige Ergebnisse aus den Diskussionen der anderen Arbeitsgruppen, die sich ebenfalls mit den Grenzen der Entwicklung von Maschinen in ihren Fachgebieten befassten, können wie folgt zusammengefasst werden:

- Bei der Feldbestellung mit Maschinen steht in der Landwirtschaft der Schutz von Boden und Pfanzen im Vordergrund. Breite Reifen und Doppelbereifung reduzieren die Spurbildung, grosse Räder steigern vor allem beim Zweiradantrieb die Leistung.
- Mittlere Traktoren verursachen weniger tiefe Bodenverdichtung als grosse. Die landwirtschaftliche Forschung stellte fest, dass die Verdichtung des Unterbodens nicht nur vom spezifischen Bodendruck, sondern auch vom absoluten Gewicht abhängt. Grössere Auflageflächen schonen deshalb vor allem den Oberboden. Daher sollten mittelstarke und damit leichtere Traktoren (etwa 80 kg/kW) mit maximalem Achsdruck von 6 t eingesetzt werden. Angetriebene Aggregate wie z. B. rotierende Messer zur Bodenbearbeitung erleichtern ihren Einsatz. Weniger Bodenverdichtung entsteht auch, wenn möglichst viele Arbeiten in einem Durchgang ausgeführt werden können und mit grösseren Geschwindigkeiten gefahren wird (7 bis 8 km/h).

Will man diese Erkenntnisse auf forstliche Verhältnisse in der Schweiz übertragen, dann müssen sie stark relativiert werden. Mittlere Traktoren haben bei uns ein Gewicht von 3 bis 4 t mit Achsdrücken von etwa 4 t bei aufgesattelter Last. Die Beanspruchung des Waldbodens ist auch wesentlich geringer als diejenige des landwirtschaftlichen Bodens. Das Rücken von Holz findet nur alle 5 bis 10 Jahre auf sogenannten Rückegassen statt, während die Felder alljährlich mehrmals und flächig bestellt werden.

- Die Verbraucher von Maschinen müssen ihre Bedürfnisse besser formulieren, um sie den Maschinenherstellern mitteilen zu können.
- Forschung und Maschinenhersteller müssen vermehrt zusammenarbeiten, damit die Maschinen funktionsgerecht, sicher und komfortabel, zuverlässig, servicefreundlich, den Vorschriften entsprechend und kostengünstig konstruiert werden.
- Anforderungsprofile müssen vom Forscher, Designer, Verkäufer und Verbraucher gemeinsam umschrieben werden. Dabei ist das Verständnis für das ganze System Fahrzeug — Fahrer — Umwelt unerlässlich.

Luftverunreinigung

(Bericht zur XI. internationalen Arbeitstagung forstlicher Rauchschadenssachverständiger
in Graz (A) vom 1. bis 6. September 1980)

Von *W. Landolt*
Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, CH-8903 Birmensdorf

Oxf.: 425.1

An der diesjährigen internationalen Arbeitstagung der IUFRO-Sektion «Luftverunreinigungen» nahmen 89 Wissenschaftler aus 12 meist europäischen Ländern teil, wobei das Gastgeberland erwartungsgemäss das grösste Kontingent stellte.

Die Vorträge vermittelten einen Überblick über den heutigen Stand der forstlichen Immissionsforschung. Dementsprechend breit war das Themenangebot gefächert: Es reichte von Beweissicherungsnetzen über physiologische Effekte von Luftverunreinigungen bis hin zu Immissionsgrenzwerten zum Schutze der Wälder.

Im folgenden soll eine kurze, als Information für den Forstpraktiker gedachte Zusammenfassung der viertägigen Exkursion gegeben werden, die in immissionsbelastete Gebiete der Steiermark und Kärntens geführt hatte. Als Grundlage dieses Berichtes diente der Exkursionsführer «Beiträge zur Rauchschadenssituation in Österreich», der von der forstlichen Bundesversuchsanstalt in Wien herausgegeben wurde.

Während das Umweltbewusstsein der breiten Öffentlichkeit erst seit ungefähr 10 bis 20 Jahren im Erwachen begriffen ist, kann die forstliche Bundesversuchsanstalt Österreichs bereits auf eine achtzigjährige Geschichte in Rauchschadensfragen zurückblicken. Dies ist nicht erstaunlich, reagieren doch Pflanzen auf die meisten Luftverunreinigungen viel empfindlicher als Mensch oder Tier. Zudem können sich wegen der langen Umtreibszeiten in der Forstwirtschaft negative Einflüsse auf Bäume über Jahre hinweg summieren und manifest werden, bevor sie mit Sicherheit beweisbar sind. Deshalb ist das Ökosystem Wald nicht nur eine wertvolle Hilfe, wenn es um den Nachweis von Immissionen geht, es bedarf auch zur Erhaltung seiner vielfältigen Schutz- und Wohlfahrtsfunktionen sowie seiner Rolle als Rohstoff- und Energielieferant unserer vollen Aufmerksamkeit.

Im «Bundesgesetz vom 3. Juli 1975» im Abschnitt C, «Forstschädliche Luftverunreinigungen», sind die nötigen gesetzlichen Grundlagen zum Schutze des Waldes im österreichischen Recht verankert. Leider fehlen bis heute die dazugehörigen Vollzugsverordnungen, weil die grundsätzlichen Interessengegensätze der beteiligten Bundesministerien eine Einigung verhindert haben. Trotzdem ist es der steirischen Forstbehörde gelungen, sich in gewerbliche und energierechtliche

Genehmigungsverfahren zu zwängen und Vereinbarungen auf Kosten des Geschäftstellers durchzubringen, die eine allfällige spätere Beweisführung erheblich erleichtern.

Solche Vorschriften bezüglich des Umweltschutzes können sein: Errichtung und Betrieb von stationären Luftüberwachungsgeräten, Einhaltung von Immisionsgrenzwerten und Meldung an die zuständige Behörde, wenn die Grenzwerte überschritten sind, Umstellung auf schwefelärmeren Brennstoff, Betriebseinschränkungen, Durchführung von Nadelanalysen oder Kostenbeteiligungen usw.

Breitenau

Das Breitenauer Tal ist ein tief eingeschnittener Seitengraben des Murtales zwischen dem kristallinen Bergstock des Rennfeldes im Norden und dem aus Kalk und Dolomit aufgebauten Hochlantsch im Süden. Letale Schädigungen entstanden bis vor drei Jahren nur in der unmittelbaren Umgebung eines Magnesitwerkes. Seit 1977 wurde ein verstärktes Absterben von Bäumen und Beständen im weiteren Umkreis, besonders aber am schattseitigen Hang, beobachtet. Frühere Bodenuntersuchungen ergaben in unmittelbarer Werksnähe eine massive Magnesiumanreicherung, die jedoch mit zunehmender Entfernung rasch abnahm. Nadeluntersuchungen zeigten eine geringe örtliche Schwefelbelastung. Das zeitliche Zusammentreffen der verstärkten Schäden mit der Umstellung der Feuerung des Betriebes von Öl auf Erdgas liess das Auftreten von NO_x-Schäden vermuten, weil Waldbestände auf Stickoxide empfindlicher reagieren, wenn sie vorher dem Schwefeldioxid ausgesetzt waren. Weitere Abklärungen sollen diese Vermutungen erhärten.

Die letzten Jahre enthielten jeweils im Frühjahr und Sommer kürzere Trockenperioden. Es ist möglich, dass diese auf die bereits früher geschädigten Bestände auf schlechteren Standorten letal, bzw. sehr schädigend wirkten. In diesem Falle müsste nach einem oder zwei Jahren normaler Witterung eine zumindest leichte Besserung in den weniger geschädigten Beständen eintreten.

Aufgrund der bis jetzt vorliegenden Ergebnisse muss angenommen werden, dass die ab 1976 verstärkt aufgetretenen Schädigungen ihre Ursache in den durch Magnesiumimmissionen bewirkten Bodenschäden haben und durch die extreme Niederschlagsarmut der Jahre 1976 und 1977 noch verstärkt wurden.

Donawitz / Leoben

In diesem Industriegebiet werden seit dem letzten Jahrhundert die Eisenerze aus Erzberg verhüttet, was zu einer erheblichen SO₂-Belastung dieser Gegend führte. Dies belegen auch die Daten der Luft- und Nadelanalysen der forstlichen Bundesversuchsanstalt, die bis in die fünfziger Jahre zurückreichen. Durch den Anschluss der Hütte ans Erdgasnetz ab 1960 haben sich die Immissionen verringert, führen aber nach wie vor zu Schädigungen.

Die Verhaldung der in der Hütte Donawitz anfallenden Abfallprodukte erfolgt auch heute noch auf land- und forstwirtschaftlichen Grundflächen. Auf Ersuchen der Stadt Leoben wurde 1949 mit der Begrünung der damals 40 ha grossen Halde begonnen, um Störungen des Landschaftsbildes zu mildern und die Staubplage und Rutschgefahr zu verringern. Nach erfolglosen Versuchen mit Birken- und Ahornsaaten gelangen erste Rekultivierungsmassnahmen mit Pappelstecklingen (*Populus simonii* und *robusta*). Untersuchungen ergaben, dass Laubhölzer nur wenige Wurzeln, meist nur eine einzige Hauptwurzel, ausbildeten. Aus diesem Grunde wurden Fichte und Lärche als Hauptbaumarten zur Begrünung der Halden eingesetzt, die diesbezüglich die besseren Resultate zeigten.

Leoben / Hinterberg

Einige Flechtenarten reagieren auf Luftverschmutzung noch empfindlicher als höhere Pflanzen, so dass der Flechtenartenreichtum eines Gebietes als Gradmesser seiner Immissionsbelastung angesehen werden kann. In Leoben / Hinterberg wurden Untersuchungen durchgeführt, die für einmal nicht das Ausbreiten einer Flechtenwüste, sondern deren Wiederbesiedelung verfolgten. Nachdem eine Zellulosefabrik Ende 1971 wegen finanzieller Schwierigkeiten ihre Tore schließen musste, konnten wieder 25 Arten epiphytischer Flechten im Untersuchungsgebiet gefunden werden. Aufgrund von Wachstumsraten aus der Literatur wurde der Besiedelungszeitpunkt mit 1975—1977 angegeben.

Knittelfelder Becken

Das Knittelfelder Becken ist ein seit Jahrzehnten durch Stahlwerke und Bergbau belastetes Industriegebiet. Im weiteren wurde 1963 ein thermisches Kraftwerk in Betrieb genommen, wodurch sich die Situation noch verschärfte. Dies führte zu einer ganzen Reihe von Studien, die die Folgen der grösseren Immisionsbelastung untersuchten: Zuwachsverluste an Holz, Leitfähigkeitswerte und Schwerelgehalte von Borken, Luftuntersuchungen, Auswirkung einer Düngung auf immisionsbelastete Pflanzen, Flechtenflora u. a.

Eine erhebliche Verbesserung der Situation trat ein, als im Sommer 1978 das alte Kraftwerk des Bergbaus eingestellt wurde und das neuere thermische Kraftwerk anstelle der stark schwefelhaltigen Kohle aus der Umgebung schwefelärmere aus Jugoslawien verfeuerte.

Im und um das Knittelfelder Becken wurden auch umfangreiche geländekundliche oder mesoklimatische Untersuchungen angestellt. Die Erfahrung zeigte, dass Untersuchungen auf der Basis von makroklimatischen Daten nicht mehr genügten, wenn es darum ging, Ausbreitungen von Immissionen und damit verbundene Schädigungen aufzuzeigen. Ferner wurde der Raumplanung Hilfe geleistet, insfern als potentielle Emittenten bereits im Planungsstadium mit besseren Prognosen versorgt werden können.

Arnoldstein

Eingebettet zwischen den Vorbergen der Karnischen Alpen im Süden und dem Dobratsch im Norden liegt das Rauchschadengebiet Arnoldstein. In den sich dort befindlichen Werken werden die vorwiegend sulfidischen Zink- und Bleierze aus Bleiberg aufgearbeitet. Trotz grossen technischen Fortschritten in der Verhüttungstechnik konnte nicht verhindert werden, dass grosse land- und forstwirtschaftliche Flächen in der Umgebung des Werkes beeinträchtigt wurden. Als Emissionen treten im Werk Arnoldstein an gasförmigen Substanzen Schwefel-dioxid und Fluoride auf, an partikel förmigen Substanzen in erster Linie Blei, Zink und Kadmium.

1980 läuft ein immissionsökologisches Forschungsprojekt aus, an dem während 4 Jahren 12 verschiedene Institutionen der öffentlichen und privaten Hand mitgearbeitet haben. Im Mittelpunkt der Untersuchungen standen Themen wie Emission—Transmission—Immission, indirekte und direkte Auswirkungen der Immissionen auf Pflanzen, Sekundärwirkungen und biologische Massnahmen zur Wirkungsminderung usw. Von forstlicher Seite her stehen insbesondere drei Vorschläge zur Diskussion, wie sich die Lage verbessern lassen könnte:

- a) Ersatz der immissionsempfindlichen Fichten durch weniger empfindliche Baumarten; Erstellen eines «Rauchriegels» mit Hilfe weitgehend resisterenter Baumarten aus dem Raum Arnoldstein.
- b) Förderung der optimalen Wuchsbedingungen durch Düngung und Pflege.
- c) Verminderung der Schadstoffaufnahme der Pflanzen aus dem Boden, z. B. durch Kalkung zur Fixierung von Zink und Kadmium und zur Kompensation der Bodenversauerung durch SO₂.

Diese Bestrebungen sollen aber nicht darüber hinweg täuschen, dass nach wie vor der nachhaltigste Immissionsschutz auf der Werksseite geleistet werden kann, der verhindert, dass toxische Substanzen an die Umwelt abgegeben werden.

Lavanttal

Im unteren Lavanttal kam es in den letzten 20 Jahren zu einem Tannensterben, dessen Umstände auf Immissionseinwirkungen schliessen liessen. Um diese Hypothesen zu stärken, wurden von der forstlichen Bundesversuchsanstalt Luft- und Nadelanalysen sowie ertragkundliche Erhebungen durchgeführt. Dabei ging es nicht nur darum, eine Immissionsbelastung der fraglichen Bestände nachzuweisen, sondern auch die Anteile der drei grössten Emittenten (thermisches Kraftwerk, Papierfabrik, Eisenhütte [JU]) mit Hilfe von Probennetzen an den Schäden abzuschätzen. Obwohl das Tannensterben vielfältige Ursachen haben kann, nahm im vorliegenden Fall das Gericht einen ursächlichen Zusammenhang zwischen dem Tannensterben und den Immissionen als gegeben an und verurteilte den Hauptemittenten zu Ersatzleistungen.

Die Tagung verlief für alle Teilnehmer ausserordentlich anregend und vermittelte reichen Anschauungsunterricht aus der Praxis. Den allzeit um unser Wohl besorgten Organisatoren sei auch an dieser Stelle bestens gedankt.