

Die Fichtenkernfäule in der Nordschweiz : Schadenausmass, ökologische Zusammenhänge und waldbauliche Massnahmen

Autor(en): **Graber, Dominik**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **145 (1994)**

Heft 11

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-766636>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Die Fichtenkernfäule in der Nordschweiz: Schadenausmass, ökologische Zusammenhänge und waldbauliche Massnahmen¹

Von *Dominik Graber*

FDK 172: 174.7 Picea: 2: 443

1. Einleitung

Fäulnis ist ein natürlicher Prozess. In den Stoffkreisläufen des Ökosystems Wald kommt fäulnisverursachenden Pilzen als Reduzenten von totem organischem Material eine bedeutende Rolle zu: Organische «Abfälle» tierischen und pflanzlichen Lebens wie Laubstreu, Äste oder Wurzelstöcke werden abgebaut und den Pflanzen als Nahrungsgrundlage wieder zur Verfügung gestellt.

Im forstlichen Alltag treten Pilze jedoch oft als «Schädlinge» in Erscheinung. Viele von ihnen sind in der Lage, das Holz lebender Bäume zu befallen. Als Erreger von Kernfäulen im Wurzel- und Stammholz der Fichte zählen sie zu den wichtigsten, dauernd wirksamen Beeinträchtigungen dieser für die Schweiz bedeutendsten Baumart. Die Folgen können in massiven Entwertungen der Nutzholzstämmen und somit in betriebswirtschaftlich beachtlichen Einbussen spürbar werden.

Der Befall durch Kernfäuleerreger stellt für jeden Waldbestand mit Fichten ein Risiko dar. Einer Untersuchung von *Dimitri, Zycha* und *Kliefoth* (1971) zufolge verfügen holzzerstörende Pilze über eine enorme Reproduktionskraft: Jede Stunde werden auf jedem Quadratmeter mehrere hundert bis einige tausend Sporen abgelagert! Trotz diesem allgegenwärtigen und hohen Infektionsdruck variiert das Schadenausmass je nach Standortbedingungen und Bestandesverhältnissen beträchtlich. Basierend auf dieser grundsätzlichen Erkenntnis wurden die folgenden Fragestellungen untersucht:

1) Waldbauliches Umfeld:

- Welche waldbaulichen Faktoren beeinflussen die Häufigkeit und das Ausmass (Schadegrad) eines Kernfäulebefalls von Bäumen und Beständen und wie stark sind diese Einflüsse?

¹ Überarbeitete Fassung eines Referats, gehalten am 22. November 1993 im Rahmen der Montagskolloquien der Abteilung für Forstwirtschaft der ETH Zürich. Die Ausführungen beziehen sich auf Teilaspekte einer grösseren Untersuchung, welche später publiziert wird.

- Wie lassen sich diese Faktoren hinsichtlich Verminderung der Fäuleschäden waldbaulich günstig beeinflussen?
- 2) Erreger:
- Welche Pilzarten sind in welchen Fäulnisstufen der Kernfäule zu finden?
 - Wo kommen diese Pilzarten vor? Gibt es Zusammenhänge zwischen dem Pilzartenspektrum und bestimmten Standortfaktoren?
 - Welche Faktoren beeinflussen die Fäulnishöhe (vertikale Ausdehnung der Kernfäule in einem Stamm)? Gibt es Zusammenhänge zwischen Pilzarten und Fäulnishöhe?
- 3) Wertverluste:
- Wie gross sind die massen- und wertmässigen Mindererträge in einem Bestand?
 - In welchem Verhältnis steht der Ertrag aus einem geschädigten Bestand zum Ertrag aus einem potentiell schadenfreien Bestand, zur Ertragsfähigkeit des Standorts sowie zur möglichen Wertleistung eines weitgehend «natürlichen» Bestandes?

2. Material und Methode

2.1 Forschungsansatz und Charakteristik der Probeflächen

Zur Erfassung der Schadensituation und der mutmasslichen ökologischen Einflussfaktoren wurde eine Erhebung in verschiedenen Waldbeständen mit mindestens 30 % Fichtenanteil durchgeführt. Dabei wurden Holzschläge im Rahmen ordentlicher Nutzungen in den Regionen Jura, Mittelland und Vor-alpen untersucht. Die Probeflächen können wie folgt charakterisiert werden:

- Beobachtungsumfang: 30 bis 40 Bäume pro Standort bzw. Bestand;
- möglichst repräsentative Stichprobe aus den für den Holzschlag angezeichneten Bäumen im Vergleich zum Gesamtbestand;
- möglichst einheitliche Standortbedingungen hinsichtlich Relief, Waldgesellschaft und Bodentyp.

2.2 Quantitative Erfassung eines Fäulebefalls

Kernfäulen beginnen in der Wurzelregion und breiten sich im Innern des Stammes nach oben aus. Eine frische, das heisst von der natürlichen Verwitterung unbeeinflusste Stockoberfläche ermöglicht daher einen aussagekräftigen Einblick in das Schadbild eines Stammes. Daneben können weitere Kriterien

in Betracht gezogen werden, um den Fäulnisbefall eines Baumes bzw. eines Bestandes zu charakterisieren. In der vorliegenden Untersuchung wurden die folgenden Merkmale als Zielgrößen erfasst:

1. Häufigkeit kernfauler Bäume in einem Bestand.
2. Biologischer Schaden: Quantifizierung eines gegebenen Fäulebildes auf einer Stockoberfläche aufgrund der Flächenausdehnung der vorhandenen Verfärbungs- bzw. Zersetzungserscheinungen.
3. Wirtschaftlicher Schaden: Länge des von den Holzhauern entsprechend ihrer lokalen Erfahrung und ihrer Sortiergewohnheiten vorgenommenen fäulebedingten Abschnittes.
4. Pilzarten.

Hinsichtlich der Untersuchung verschiedener Einflussfaktoren war es wünschenswert, den biologischen Schaden möglichst differenziert zu betrachten. Hierzu wurde wie folgt verfahren: Nach Ansprache der maximalen Zersetzungsintensität auf dem Stock wurden ab Fotografie «Fäulnisstufen» unterschiedlicher Verfärbung bzw. Zersetzung nach *Kató* (1967) ausgeschieden (vgl. Berechnungsbeispiel in *Tabelle 1*). Die Flächenanteile der einzelnen Fäulnisstufen wurden photogrammetrisch ermittelt und in Relation zur gesamten Stockoberfläche gesetzt. Entsprechend der noch möglichen Verwendung verfärbten oder faulen Holzes wurde dieser Flächenanteil mit einem Faktor

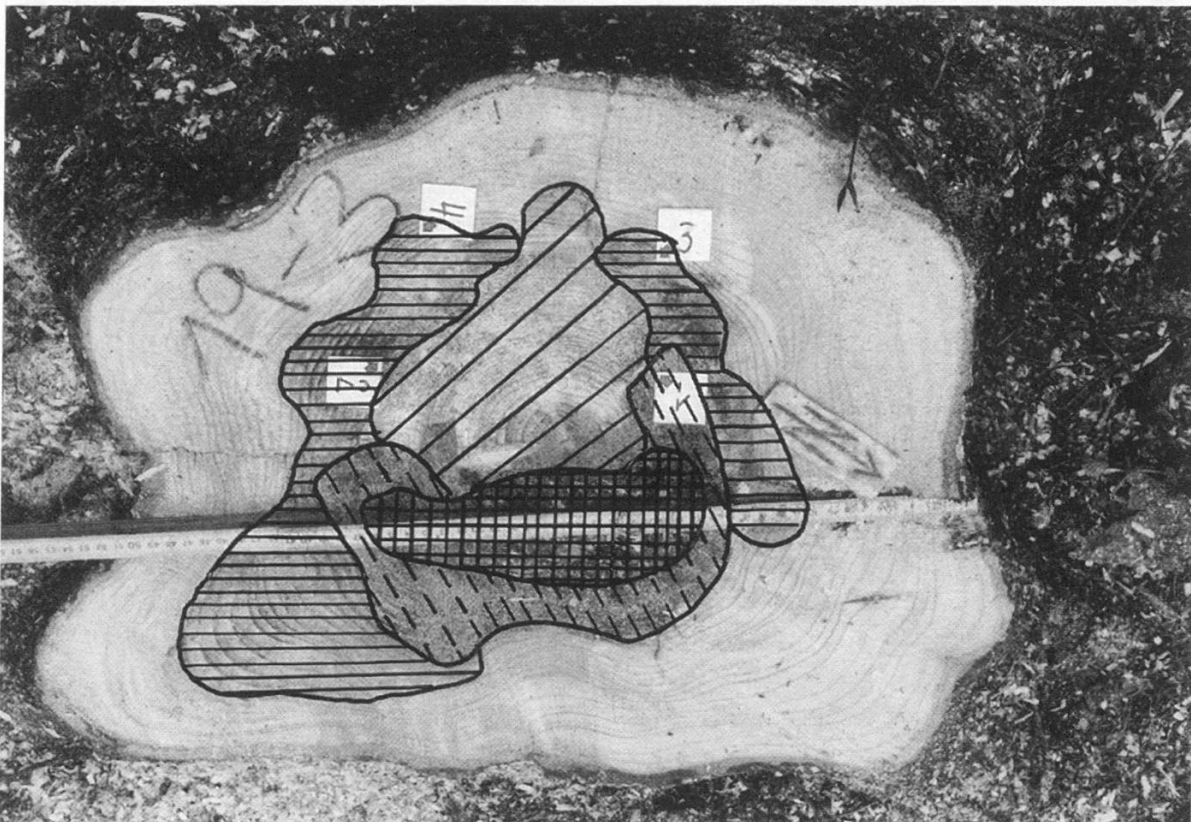






Abbildung 1. Ausscheidung der Fäulnisstufen auf einer Fotografie.

zwischen 1 und 10 gewichtet. Dieser berücksichtigt insbesondere, dass Holz der Fäulnisstufe II für gewisse Zwecke noch brauchbar ist, während stärker zersetztes Holz (Stufen III und IV) nur noch als minderwertiges Industrie- oder Brennholz in Betracht kommt (vgl. *Tabelle 1*). Die so ermittelten und gewichteten Fäuleanteile wurden zu einem Gesamtschadengrad aufaddiert. Anhand eines Berechnungsbeispiels (*Abbildung 1* und *Tabelle 1*) wird dieses Vorgehen illustriert.

Tabelle 1. Ermittlung des gesamten Kernfäuleschadengrades. Berechnungsbeispiel Stock Nr. 19-3 (Umschreibung der Fäulnisstufen nach *Kató*, 1967).

Fäulnis- stufe	Signatur	Umschreibung der Holzeigenschaften	Relative Fläche (%)	Gewich- tungsfaktor	Schadengrad «Punkte»
I		Holz verfärbt, sonstige Eigen- schaften nur geringfügig verändert	8	1	8
II		Holz verfärbt, mechanische Eigen- schaften beeinträchtigt, doch ist das Holz noch schnittfest	14	3	42
III		Holz verfärbt, mechanische Eigen- schaften stark beeinträchtigt, jedoch Gefüge erhalten	9	7	63
IV		Holz weich und faserig aufgelöst, Struktur völlig verloren, so dass im Stamm meist eine Höhlung entsteht	6	10	60
Gesamter Kernfäuleschadengrad:					173

2.3 Erfassung der waldbaulichen Parameter

In den Probeflächen wurden 30 bis 40 Bäume zufällig ausgewählt, markiert und situiert. Die Datenerhebung zur Erfassung der waldbaulichen Parameter erfolgte am Untersuchungsbaum selbst, an seinen direkten Konkurrenten (gegenseitige Berührung oder Bedrängung sichtbar) sowie im Gesamtbestand.

Am Untersuchungsbaum wurden der Brusthöhendurchmesser, der Ansatz der grünen Krone und vier Kronenradien (Haupt-Himmelsrichtungen) gemessen sowie die soziale Stellung des Baumes, die Kronenbeeinträchtigung (keine, schwach, stark), die Kronentransparenz (Nadelverlustschätzung gemäss Instruktion Waldschadeninventur) und der Verzweigungstyp angesprochen. Die beiden letzteren Merkmale wurden erfasst, soweit der Kronenschluss Einsicht in die gesamte Kronenpartie gewährte. Die Baumhöhe wurde bei der anschliessenden Nutzung durch die Holzhauer gemessen. Vorhandene Verletzungen im stammfuss- und stammnahen Wurzelbereich wurden eingehend nach Lage, Ausdehnung, Tiefe und Ursache beschrieben. Diese Aufnahmen dienten vorab der Überprüfung der korrekten Ansprache eines

Fäulebildes auf dem Stock. Nebst den Verletzungen wurden weitere aussergewöhnliche Erscheinungen im Stammfussbereich wie Stammverdickungen, Eindellungen, verdickte Wurzelanläufe, hohe oder weit ausgreifende Wurzelanläufe, Harzfluss, Verkrustungen, Verwachsungen oder auch das sichtbare Überwachsen von grossen Steinen notiert. Nach erfolgtem Fällen der Bäume wurde das Alter durch Auszählen der Jahrringe ermittelt. Das Jahrringbild sowie die Altersstreuung innerhalb eines Bestandes liessen nun auch definitive Rückschlüsse auf die Verjüngungsart zu.

Konkurrenten wurden nach Baumart, Brusthöhendurchmesser, Höhenunterschied und Lage in bezug auf den Untersuchungsbaum beschrieben.

Zur Charakterisierung des Gesamtbestandes wurde eine Bestandesbeschreibung gemäss Waldbaulehre an der ETH (Schütz, 1990) vorgenommen sowie eine Probefläche von 15 oder 20 Aren kluppiert.

Die Kronenmantelfläche als Mass der Baumvitalität wurde als Paraboloidmantelfläche (Kramer und Akça, 1987) errechnet. Die Quantifizierung der Konkurrenzverhältnisse, das heisst die Bestimmung eines baumspezifischen Konkurrenzfaktors erfolgte nach einem relativ komplexen rechnerischen Algorithmus (noch nicht publiziert), welcher die Konkurrenzverhältnisse im Kronenbereich sowie die unterschiedlichen Dimensionen (Durchmesser und Höhen) von Untersuchungsbaum und Konkurrenten berücksichtigt.

2.4 Erfassung der Pilzarten

Von jedem Stock mit Kernfäule-Erscheinungen wurden mit der Motorsäge vier Proben (kubische Holzklötzchen mit rund 5 bis 8 cm Kantenlänge) entnommen. Diese Proben deckten den Bereich der auf dem Stock vorhandenen Fäulnisstufen ab. Im Labor wurden sie unter sterilen Bedingungen gespalten und aus ihrem Zentrum sodann jeweils vier kleine Stücke (rund 100 mm³ Volumen) entnommen und auf Malzagar (20 g/l Agar und 10 g/l Malzextrakt) in Petrischalen aufgelegt. Die auswachsenden Pilzmycelien wurden zur Bestimmung in Reinkulturen abgeimpft.

2.5 Übersicht über die untersuchten Holzschläge

Im Interesse weiträumig gültiger Erkenntnisse wurde ein breites Spektrum möglicher Bestandes- und Standortsverhältnisse untersucht. Von den 60 Probeflächen (insgesamt 2050 gültige Bäume) entfallen 16 (535 Bäume) auf die Region Jura, 29 (1058 Bäume) auf das Mittelland und 15 (457 Bäume) auf das Voralpengebiet. Die Verjüngungsart der Bestände war in diesem Zusammenhang ein wichtiges Auswahlkriterium. 19 Bestände mit etwa 30 % der Bäume entstammen natürlicher, 41 Bestände mit rund 70 % der Bäume da-

gegen künstlicher Verjüngung. Die *Abbildungen 2 bis 6* zeigen weitere wichtige Charakteristika der Untersuchungsobjekte.

Tabelle 2. Lokalisierung der Probeflächen nach Kantonen und Forstverwaltungen.

<i>Kanton</i>	<i>Probe- fläche</i>	<i>Kreisforstamt (Kfa) bzw. Stadtforstverwaltung (Stfv)</i>	<i>Kanton</i>	<i>Probe- fläche</i>	<i>Kreisforstamt (Kfa) bzw. Stadtforstverwaltung (Stfv)</i>
AG	01 02 03 17	Kfa III, Baden	NW	56	Oberforstamt Nidwalden
	10	Stfv Lenzburg	SH	28 29 30	Kfa III Randen/Reiat
	11	Stfv Brugg	SZ	39	Kfa III, Rothenturm
	24 35 37 38 57	Kfa II, Aarau		50	Kfa I, Muotathal
	25	Stfv Baden	SO	12 18 20	Kfa I, Lebern
	27 53	Stfv Zofingen		26	Kfa II, Bucheggberg
	31 32	Stfv Rheinfelden		33 34	Stfv Solothurn
	54	Stfv Bremgarten	ZG	13	Kantonsforstamt Zug
BE	36	Stfv Langenthal	ZH	04 09	Stfv Winterthur
	40	Fv Gde Sigriswil		05 06 07 08 19	Kfa V
	48 49 51	Kfa 6, Emmental		14 52	Lehrrevier ETHZ
JU	44 45 46	Arr. for. 1, Franches-Mont.		15	Kfa I
LU	21 22 23	Kfa VI, Schüpfheim		16 55	Stfv Zürich
NE	41	Arr. for. III		42 43	Kfa III
	47	Arr. for. VI			

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Waldbauliches Umfeld

3.1.1 Der «Naturzustand»

Drei der untersuchten Bestände wiesen annähernd «natürliche» Verhältnisse auf. Im einen Fall (Nr. 56, Emmetten, 1250 bis 1300 m ü. M.) sorgte eine Lawine vor rund 90 Jahren für eine ausgedehnte «Erneuerung» des Bestandes, in welchem im Winter 1992/93 der *erste* Eingriff durchgeführt wurde. In den beiden anderen Fällen (Nr. 40, Sigriswil, 1400 m ü. M. und Nr. 50, Muotathal, 1350 m ü. M.) handelt es sich um entlegene Wälder, welche erst vor kurzem erschlossen und in welchen zuvor lediglich vereinzelt Zwangsnutzungen ent-

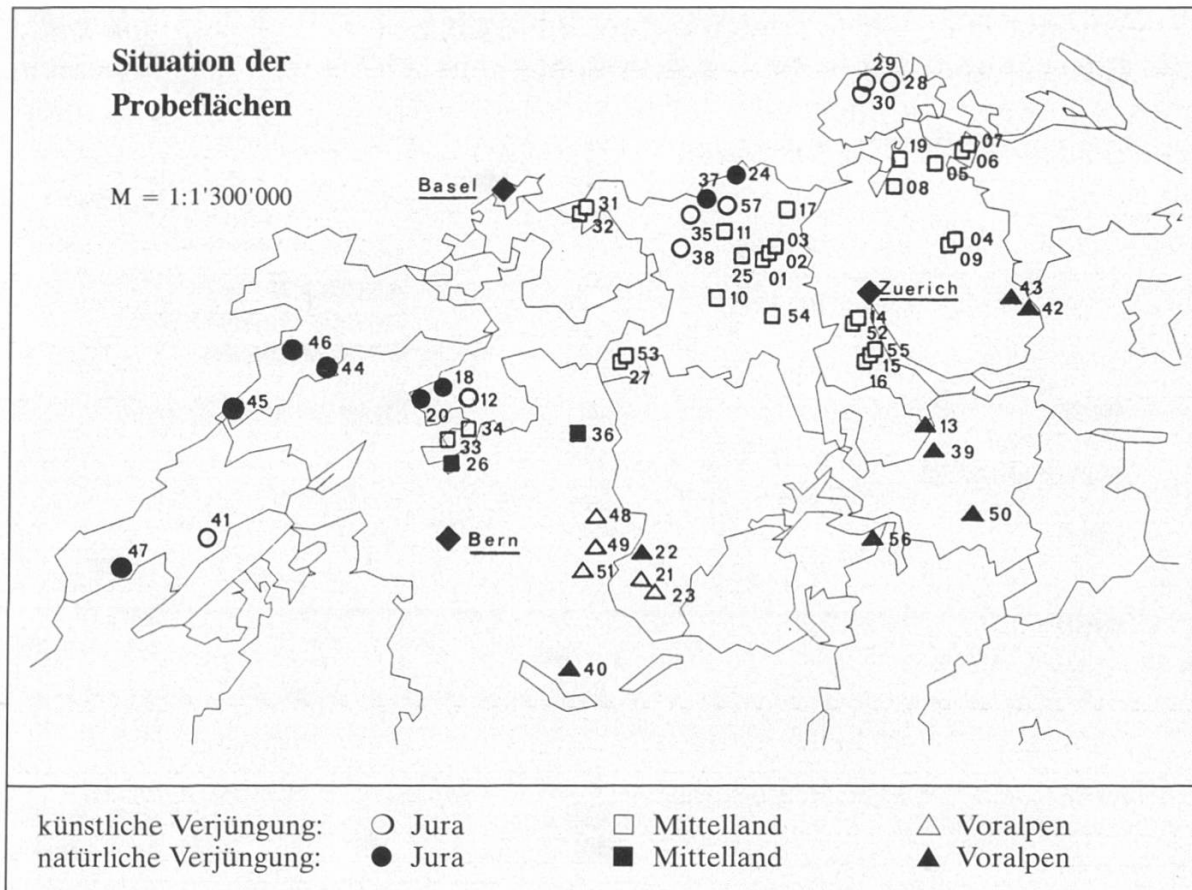


Abbildung 2. Situation der Probeflächen.

nommen wurden. Zudem lassen die topographischen Gegebenheiten auf weitgehende Unversehrtheit durch Steinschlag schliessen. Die Aufnahmen in diesen drei Beständen zeigen, dass trotz weitgehend auszuklammernder Beeinflussung eine «Grundbelastung» von rund 15 bis 20 % Kernfäulebefall vorliegt.

3.1.2 Bedeutung der Verjüngungsart

Der Kernfäuleanteil der natürlich verjüngten Untersuchungsbäume ist gegenüber den künstlich verjüngten Bäumen deutlich geringer. Der Häufigkeitsvergleich (Tabelle 3) weist einen hochgesicherten Zusammenhang zwischen Verjüngungsart und Kernfäulebefall aus (Chi-Quadrat-Test, $p < 0,001$).

Tabelle 3. Häufigkeit kernfauler Bäume nach Verjüngungsart.

Verjüngungsart	ohne Kernfäule		mit Kernfäule		Total	
künstl. Verjüngung	685	47,2 %	767	52,8 %	1452	100 %
natürl. Verjüngung	407	65,4 %	215	34,6 %	622	100 %
Total	1092	52,7 %	982	47,3 %	2074	100 %

Wird der Altersstruktur der Untersuchungsbestände (vgl. *Abbildungen 3 und 4*) Rechnung getragen und werden somit lediglich die Bestände mit einem mittleren Alter von mehr als 120 Jahren berücksichtigt, so fällt der Unterschied noch klarer aus (*Tabelle 4*).

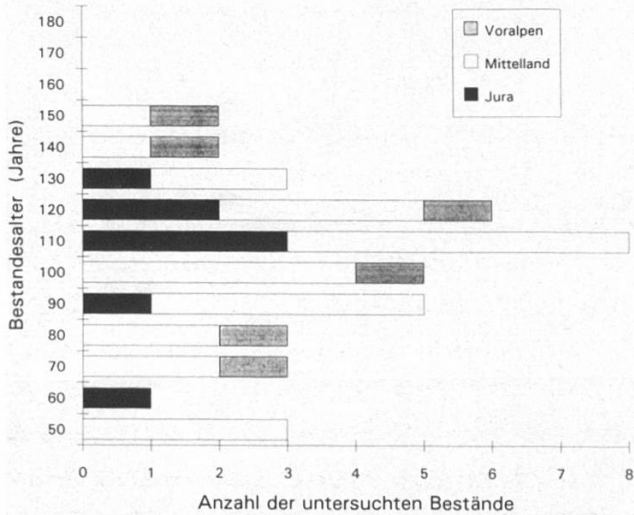


Abbildung 3. Altersstruktur der künstlich verjüngten Bestände.

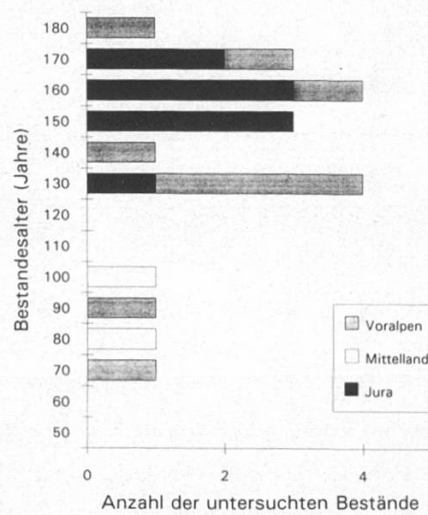


Abbildung 4. Altersstruktur der natürlich verjüngten Bestände.

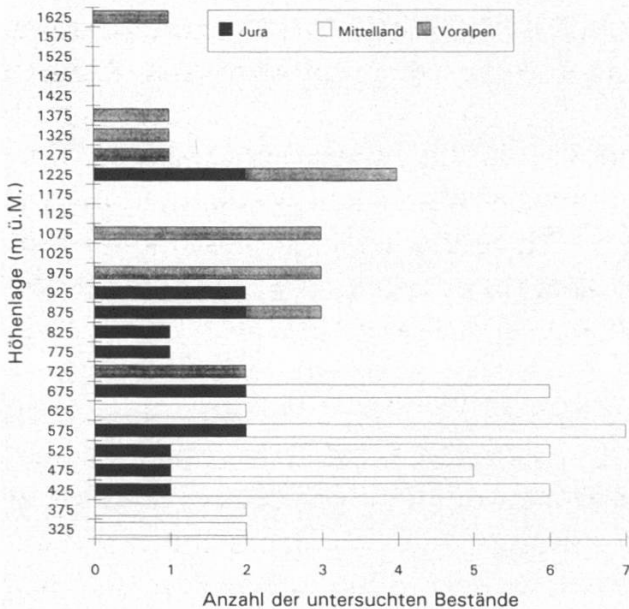


Abbildung 5. Höhenlage der untersuchten Bestände.

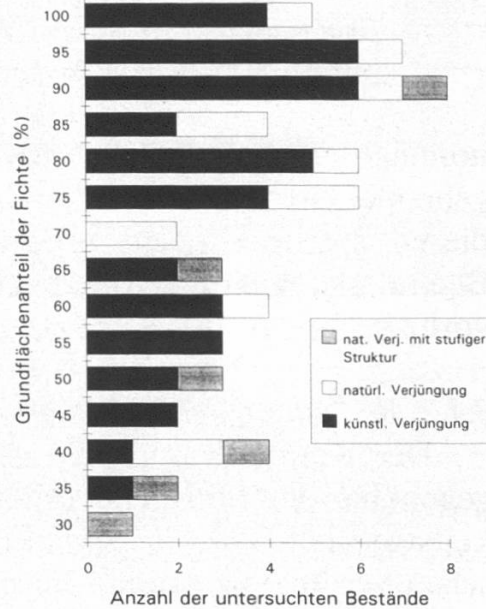


Abbildung 6. Fichtenanteil an der Bestandesgrundfläche (Mischungsart).

Diese Ergebnisse werden auch durch Erfahrungen aus Schweizer Plenterwaldgebieten bestätigt (Schütz, 1989).

Tabelle 4. Häufigkeit kernfauler Bäume nach Verjüngungsart; mittleres Baumalter grösser als 120 Jahre.

Verjüngungsart	ohne Kernfäule		mit Kernfäule		Total	
	Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent
künstl. Verjüngung	198	39,8 %	300	60,2 %	498	100 %
natürl. Verjüngung	293	65,0 %	158	35,0 %	451	100 %
Total	491	51,7 %	458	48,3 %	949	100 %

Inwieweit ist dieses Resultat auch biologisch plausibel erklärbar? Eine Clusteranalyse der Untersuchungsobjekte (numerische Klassifikation nach der «complete linkage» Methode) bestätigt die «Ähnlichkeit» der Bestände aus Naturverjüngung und ihre Unterschiede gegenüber den Beständen aus künstlicher Verjüngung hinsichtlich ihrer Strukturmerkmale (Erscheinungsbild der Bäume) sowie ihrer Befallscharakteristika (Häufigkeit, Schadegrad) gut. Insbesondere weisen die als «stufig» taxierten Bestände (plenterartige Struktur) eine sehr hohe Ähnlichkeit auf. Dies bedeutet, dass die für die Naturverjüngung charakteristischen Entwicklungsverhältnisse wie relativ langsames Jugendwachstum, verbunden mit der Bildung eines «engringigen» Kerns, und die in der Regel nach Freistellung stark reduzierte Konkurrenz in der Kronenentwicklung sich mindernd auf die Fäulnishäufigkeit auszuwirken vermögen. Ferner ist zu berücksichtigen, dass die Erhebung des Fäulnis-schadens im Augenblick des Fällzeitpunktes eine «Momentaufnahme» darstellt, welche die langjährige Geschichte eines Baumes nicht berücksichtigen kann. Durch die derart erwiesene Bedeutsamkeit der Verjüngungsart können zwei bezüglich ihrer Bestandesgeschichte relativ homogene Kategorien gebildet werden. Diese Homogenität betrifft die Jugendentwicklung, die Entwicklung der Konkurrenzverhältnisse und der Kronenausformung sowie die Wurzelverletzungen bei der Pflanzung. Dadurch wird eine relativ gute Vergleichbarkeit der Probestflächen innerhalb derselben Kategorie erreicht, welche eine zuverlässigere Beurteilung statistisch bedeutsamer Einflussfaktoren erlaubt.

Auch aufgrund der Analyse der Schadegradwerte in den einzelnen Probestflächen (Abbildung 7) lässt sich dieser Einfluss der Verjüngungsart recht gut erkennen: Künstlich verjüngte Bestände zeigen normalerweise eine recht grosse Spannweite hinsichtlich ihrer Schadegradverteilung und allgemein ein hohes Schadensniveau. Werte um 200 «Schadenpunkte» liegen oftmals noch im Interquartilbereich (Bereich von 25 bis 75 % der Daten), während dieser Wert in Beständen aus Naturverjüngung oft schon ein Maximum darstellt oder gar nicht vorkommt.

Ein nochmals günstigeres Gesamtbild zeigt die Untergruppe der stufigen Bestände innerhalb der Kategorie der natürlich verjüngten Bestände (Probestflächen Nrn. 20, 22, 39, 42, 45 und 47). Die Verteilung der Schadegradwerte in diesen sechs Beständen zeigen geringe Spannweiten und Maxima unter 150

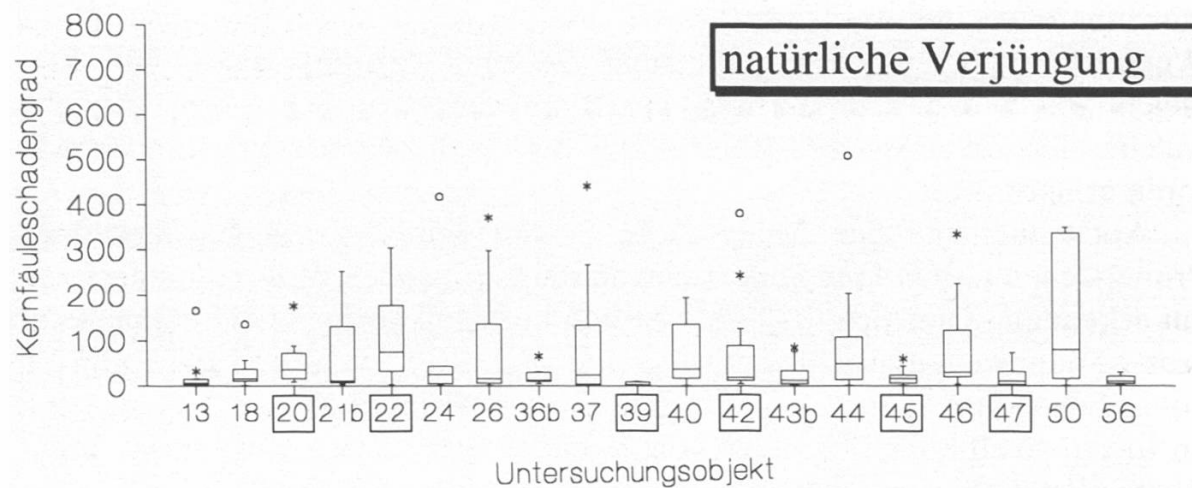
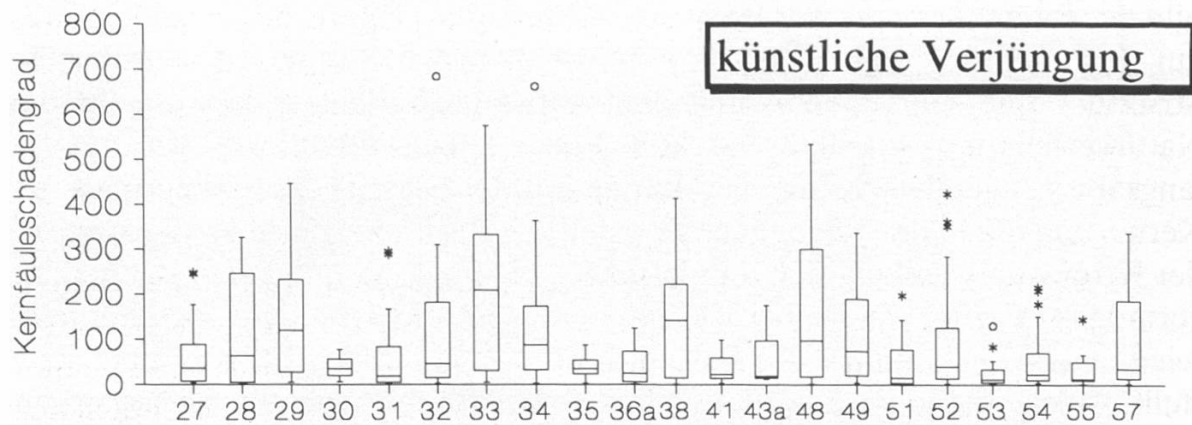
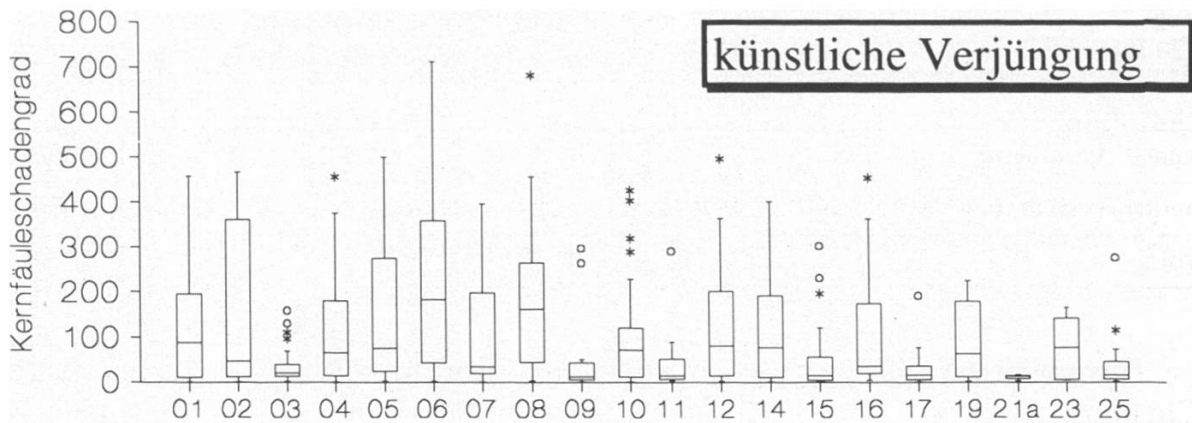


Abbildung 7. «Box and Whisker-Plots» der Schadengradwerte für die einzelnen Probestellen. Die umrahmten Bestandesnummern bedeuten «stufige Bestandesstruktur».

Bedeutung der Extremwertsymbole:

* Wert, der zwischen 1,5 bis 3 «Box-Höhen» vom oberen Rand der Box entfernt ist

○ Wert, der mehr als 3 «Box-Höhen» vom oberen Rand der Box entfernt ist

Die «Box-Höhe» entspricht dem Interquartilbereich (25 bis 75 % der Daten).

Punkten. Die Ausnahme bildet Nr. 22 (Voralpengebiet bei Escholzmatt), wobei hier der Einfluss einer Aufforstung (möglicherweise einige Bäume aus Pflanzung in der Stichprobe mitefasst) nicht ganz ausgeschlossen werden kann.

Ein interessanter Spezialfall ist die Probefläche Nr. 17, Staatswald «Althau». Es handelt sich dabei um einen 130 Jahre alten, aus Pflanzung entstandenen Bestand, der in Anbetracht von Jahrringbau und Wuchsleistung der ersten Jahrzehnte eher einem natürlich verjüngten Bestand vergleichbar ist. Besagter Wald stockt auf einer Anhöhe im Wehntal bei Lengnau (Aargauisches «Studenland»). Diese Wälder wurden, wie der Lokalbezeichnung zu entnehmen ist, vormals ausserordentlich stark geplündert (*Wanger*, 1925). Nach dem Übergang in den Besitz des Kantons Aargau wurden die unproduktiven «Staudenwälder» umgewandelt, wobei vor allem mit Fichte aufgeforstet wurde. Recherchen in alten Wirtschaftsplänen brachten einige interessante Hinweise zutage, aufgrund derer die Existenz eines Altholzschirmes im Zeitpunkt der Bestandesbegründung angenommen werden darf. Die hier vorgefundenen Schadengradwerte sind ausserordentlich niedrig und vergleichbar mit denjenigen von 50 bis 60jährigen Beständen (vgl. dazu die Nummern 09, 11, 15 und 35 in *Abbildung 7*).

Dieser Einzelfall kann die Hypothese stark erhärten, wonach nicht einfach die Verjüngungsart als solche, sondern der für Naturverjüngung typische Entwicklungsgang (langsames Wachstum, eventuell «Unterdrückungszeit», Bildung enger Jahrringe in der Jugend) von hoher Bedeutung hinsichtlich der Ausbreitungsresistenz gegenüber Kernfäule ist. Wird tatsächlich mit einer Überschildung von gepflanzten Bäumchen, sei es durch einen Altholzschirm, sei es durch das spätere Entfernen des Unterwuchses oder gar durch einen Vorbau, ein derart positiver Effekt erzielt, so wäre dies eine vielversprechende Feststellung, welche bei der Neubegründung von Fichtenkulturen mit geringem Aufwand umgesetzt werden kann.

3.1.3 Alterseinfluss

Fäuleerregern stehen verschiedene Infektionswege offen. Die Pilze können teilweise durch die intakte Wurzelrinde (*Braun* und *Lulev*, 1969 und 1970; *Dimitri*, 1969), bestimmt aber über Verletzungen oder Wurzelverwachsungen (*Rishbeth* [zit. nach *Dimitri*, *Zycha* und *Kliefoth*, 1971]) eindringen. Betrachtet man die im Zuge von Durchforstungen entstehenden Stöcke als «Bäume mit sehr grosser Wunde», so erscheint eine Zunahme der kernfaulen Bäume im Verlaufe des Bestandesalters als sehr wahrscheinlich. *Abbildung 8* zeigt für die untersuchten Bestände aus künstlicher Verjüngung sowohl bei der Häufigkeit als auch beim Anteil der Bäume mit Fäulnisstufe IV einen deutlichen Alterstrend, welcher auch rechnerisch bestätigt werden kann.

Das Risiko einer stetigen Zunahme des Faulstammprozents mit steigendem Alter bis in den Bereich der Umtriebszeit (110 bis 140 Jahre) scheint also

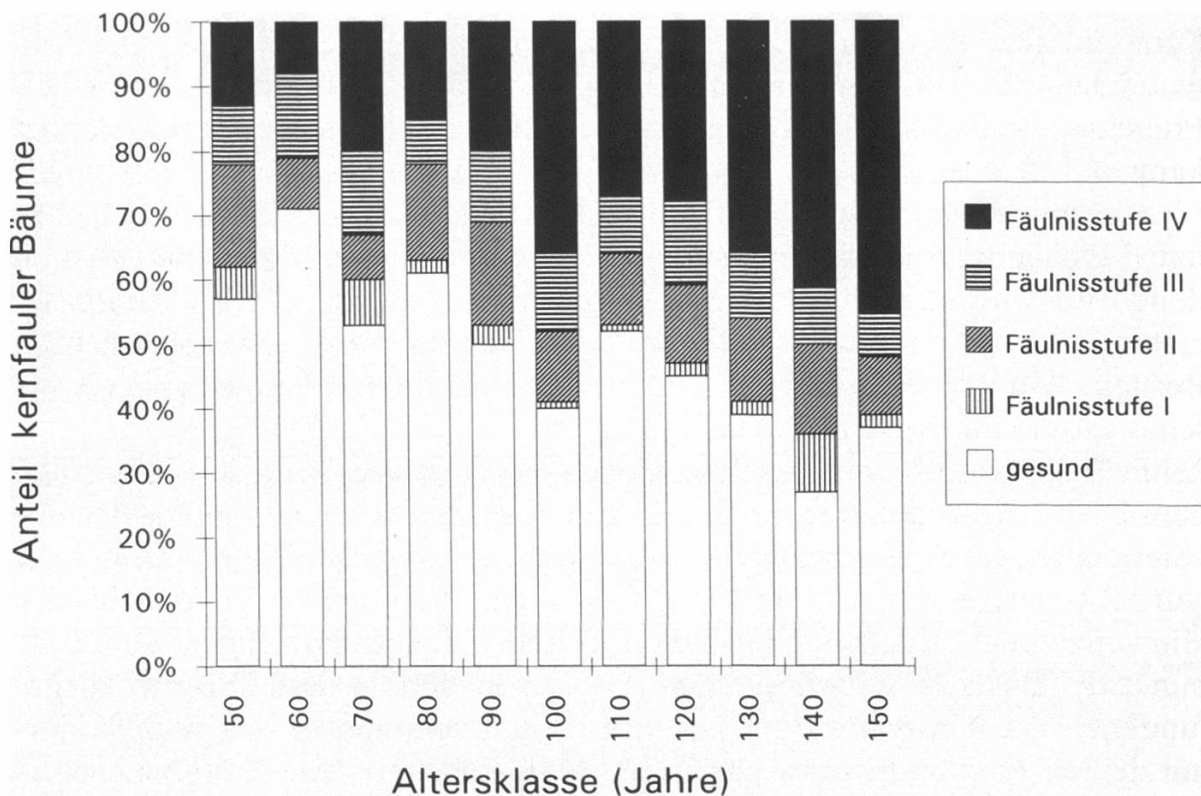


Abbildung 8. Anteil der kernfaulen Bäume sowie der maximal erreichten Fäulnisstufe pro Baum in Abhängigkeit der Altersklasse.

gegeben und kann die Beurteilung betreffend Verjüngungsdringlichkeit der Bestände wesentlich beeinflussen (vgl. Kapitel 3.3).

3.1.4 Möglichkeiten der Diagnose anhand äußerer Baummerkmale

Für den Förster wäre es höchst wünschenswert, konkrete Indizien zu kennen, anhand welcher er im Rahmen der Auslesedurchforstung eine «treffsichere» Auswahl bezüglich Kernfäulebefall vornehmen könnte. Das vorhandene Datenmaterial über das allgemeine Erscheinungsbild der Bäume (BHD, Höhe, Kronenparameter, Konkurrenzfaktor, Nadelverlust usw.) wurde deshalb in drei verschiedenen Altersklassen (50, 90 und 120 Jahre) diskriminanzanalytisch (Lineare Diskriminanzanalyse für den Zweigruppenfall, nach Flury und Riedwyl, 1983) auf aussagekräftige «Trennkriterien» hin untersucht. Leider konnten daraus keine geeigneten Unterscheidungsmerkmale zur Verbesserung der Diagnose erkannt werden.

Etwas anders verhält es sich mit Merkmalen im Bereich des Stammfusses. In sogenannten Mehrfeldertafeln wurden die Häufigkeiten dieser Merkmale analysiert und in bezug auf fortgeschrittenen Kernfäulebefall (ab Fäulnisstufe III) mit Bäumen ohne diese Merkmale verglichen (Chi-Quadrat-Test, Signifikanzschranke $p = 0,05$). Diesen Vergleichen zufolge kommt den

Stammfussverdickungen («Flaschenform»), faustgrossen «Buckeln und Eindellungen», Verdickungen an einzelnen Wurzelanläufen sowie harzigen Verkrustungen (vermutlich aus früheren Verletzungen) ein Indikatorwert zu, der jedoch lokal unterschiedlich sein kann. Das Vorhandensein solcher Merkmale deutet nun nicht zwingend auf einen starken Kernfäulebefall hin. Es bedeutet lediglich, dass die Wahrscheinlichkeit eines Befalls gegenüber einem Baum ohne dieses Merkmal höher ist. Das Vorhandensein solcher Erscheinungen kann somit als Auslesekriterium bei der Durchforstung mitberücksichtigt werden.

3.1.5 Einfluss der Baumartenzusammensetzung

Bei der Untersuchung der Kernfäuleproblematik können immer wieder erstaunliche, nicht den gängigen Erwartungen entsprechende Beobachtungen gemacht werden. So zeigten drei Untersuchungsbestände im Gebiet des «Schaffhauser Randen» mit vergleichbaren Standortsbedingungen einen augenfälligen Befund: Während zwei reine Fichtenbestände erwartungsgemässe Anteile befallener Bäume in der Grössenordnung von 50 bis 60 % aufwiesen, lieferte der dritte Bestand, eine *Einzelmischung mit Tanne*, das insgesamt beste Resultat der Untersuchung: lediglich 8 % der Bäume zeigten Kernfäuleschäden! Diese Beobachtung führt zur Frage der Auswirkung unterschiedlicher Baumartenzusammensetzungen und der Mischung mit Tanne im speziellen. In *Tabelle 5* werden tannenreiche Mischbestände mit fichtenreichen hinsichtlich ihrer Fäulnishäufigkeit verglichen.

Tabelle 5. Häufigkeit kernfauler Fichten in tannenreichen Mischbeständen; tannenreich: Basalfläche $g_{1,3} > 30\%$; fichtenreich: $g_{1,3} > 80\%$.

Mischung	ohne Kernfäule		mit Kernfäule		Total	
tannenreich	121	60 %	80	40 %	201	100 %
fichtenreich	298	48 %	327	52 %	625	100 %

Aufgrund dieses Vergleichs, der auf der Basis von sechs tannenreichen Beständen mit weitgespanntem Altersspektrum erfolgte, resultiert ein statistisch gesicherter Unterschied (Chi-Quadrat-Test, $p < 0,01$). Ein günstiger Einfluss von Tannenbeimischungen erscheint daher wahrscheinlich.

Biologische Zusammenhänge zur Erklärung dieses Ergebnisses liegen möglicherweise im unterschiedlichen Wurzelverzweigungssystem dieser beiden Baumarten begründet. *Köstler, Brückner* und *Bibelriether* (1968) weisen für Fichte auf geringere Fäulnisgefährdung und vor allem auf bessere Durchwurzelung in Mischung mit pfahlwurzelträchtigen Baumarten hin. In Betracht fallen auch allelopathische Effekte. Einen diesbezüglichen Hinweis liefert *Laatsch* (1963) mit der Beobachtung, dass Kiefern in Vergesellschaftung mit Eiche nicht vom Wurzelschwamm befallen werden.

Ein analoger Vergleich wurde auch mit den laubholzreichen Beständen (vorwiegend Buche, auf trockeneren Standorten jedoch auch Eiche, Kirsche, Linde und Hagebuche) durchgeführt. Diese Mischbestände zeigen interessanterweise gegenüber fichtenreichen Beständen sogar ein höheres Faulstammprozent (Tabelle 6).

Tabelle 6. Häufigkeit kernfauler Fichten in tannenreichen Mischbeständen; laubholzreich: Basalfläche $g_{1,3} > 25\%$; fichtenreich: $g_{1,3} > 80\%$.

Mischung	ohne Kernfäule		mit Kernfäule		Total	
laubholzreich	98	41 %	141	59 %	239	100 %
fichtenreich	298	48 %	327	52 %	625	100 %

Auch diesem Vergleich liegen die Daten von sechs altersmässig günstig verteilten Beständen zugrunde. Das Resultat deckt sich mit den Beobachtungen von Kató (1967), steht jedoch interessanterweise in einem Widerspruch zu den Beobachtungen einiger Förster und Waldarbeiter (persönliche Mitteilungen).

Die Auswirkungen der Mischung verschiedener Baumarten sollten daher überprüft werden. Möglicherweise ergibt sich hier eine echte Chance, die Kernfäuleschäden zu reduzieren, auch wenn dieser Effekt noch nicht befriedigend erklärt werden kann.

3.2. Fäuleerreger

In vielen früheren Arbeiten wurde die «Rotfäule» (oft als Sammelbegriff für Stammfäulen jeglicher Art verwendet) vor allem dem Erreger *Heterobasidion annosum* (Syn.: *Fomes annosus*) zugeschrieben (zum Beispiel Hartig, 1877; Rennerfelt, 1946 und andere). Jüngeren Untersuchungen von Dimitri, 1969, Schönhar, 1969 und v. Pechmann und v. Aufsess (1971) zufolge ist jedoch das Erregerspektrum wesentlich breiter. Letztere nennen nebst rund 40 verschiedenen Basidiomyceten-Arten eine grosse Zahl weiterer Nicht-Basidiomyceten und Bakterien, welche an den komplexen Vorgängen bei der Entstehung und Ausbreitung von Kernfäulen beteiligt sind. Übereinstimmend werden vor allem der Wurzelschwamm (*Heterobasidion annosum*), aber auch Hallimasch-Arten (*Armillaria spp.*) als wichtige Fäuleerreger herausgestellt.

Heterobasidion annosum war in rund 14% der befallenen Bäume zu finden. Im Vergleich mit oben zitierten Untersuchungen ist dieser Anteil sehr gering. Es wurden zwar einige Bestände untersucht, in welchen dieser Pilz Häufigkeiten von 30 bis 50% erreichte, andernorts konnte er jedoch trotz Kernfäule überhaupt nicht isoliert werden. Dennoch scheinen seiner Verbreitung kaum standortskundlich erklärbare Grenzen gesetzt: Er wurde auf basi-

schen wie auch auf sauren Standorten und sogar in Lagen über 1300 m ü. M. gefunden. Anteile von mehr als 25 % konnten vor allem in den Probeflächen des Voralpengebietes (Nrn. 13, 40, 42, 43 und 50) nachgewiesen werden.

Hallimasch (*Armillaria spp.*) konnte in 28 % der befallenen Bäume gefunden werden. Diese Größenordnung liegt rund dreimal höher als im benachbarten Bundesland Bayern (v. Pechmann und v. Aufsess, 1971). Mit Ausnahme zweier generell nur geringfügig befallener Bestände ist er in sämtlichen der 37 mykologisch untersuchten Probeflächen vorzufinden, was seinen «ubiquitären Charakter» unterstreicht. Besonders häufiges Vorkommen dieses Pilzes konnte mit keinem der untersuchten Standortparameter in Zusammenhang gebracht werden.

Zonen unterschiedlicher Zersetzungsintensität in einem Fäulebild können ein Indiz für die Besiedelung durch verschiedene Erreger sein. Der in *Abbildung 9* dargestellte Vergleich der beiden Pilze zeigt, dass tendenziell *Heterobasidion annosum* (aus 128 Proben isoliert) eher in verfärbtem oder schwach zersetztem Holz (Fäulnisstufen I und II), *Armillaria spp.* (241 Proben) eher in stark zersetztem Holz (Fäulnisstufen III und IV) vorzufinden war. Interessant ist der hohe Anteil von 16 % *Heterobasidion annosum* in scheinbar «gesundem» Holz. Dies weist auf seine ökologische Eigenschaft als «Frühbesiedler» hin. Ferner wurden in den von ihm befallenen Stöcken meist flächig ausgehntere Schadbilder festgestellt. Stammabschnitte mit solchen Fäuleschäden werden in der Praxis oft als «Rotholz»-Sortimente ausgehalten.

Worin besteht nun die praktische Bedeutung einer detaillierten Kenntnis dieser Fäulniserreger? Wirtschaftlich betrachtet sind die Wertverluste vor allem von der entwerteten Abschnittslänge eines Stammes abhängig. Die

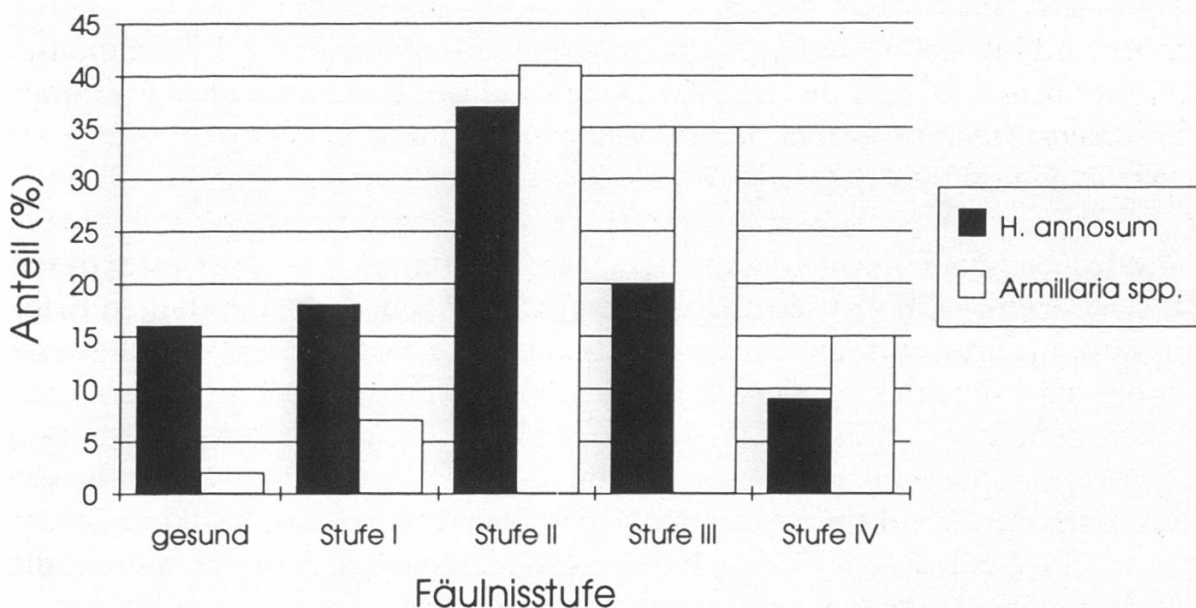


Abbildung 9. Vergleich von *Heterobasidion annosum* und *Armillaria spp.* hinsichtlich ihres Vorkommens in den verschiedenen Fäulnisstufen.

Gegenüberstellung der Abschnittslängen in *Tabelle 7* zeigt, dass die Einwirkung von *Heterobasidion annosum* im allgemeinen zu höheren Abschnittslängen und somit zu massiveren wirtschaftlichen Verlusten führt als Hallimaschbefall.

Tabelle 7. Einfluss der Pilzart auf die Abschnittslänge.

Erreger	befallene Bäume	mittlere Abschnittslänge	Anteil Abschnittslängen > 2,0 m	Anteil Abschnittslängen > 4,0 m
Hallimasch (<i>Armillaria spp.</i>)	152	1,31 m	20 %	11 %
Wurzelschwamm (<i>Heterobasidion annosum</i>)	74	2,54 m	43 %	31 %

Eine eindeutige Zuordnung eines Fäulebildes zu einer bestimmten Pilzart ist nicht möglich. Die beschriebenen Charakteristika des wirtschaftlich bedeutsameren *Heterobasidion*-Befalls ermöglichen jedoch eine fundiertere Beurteilung der Gefährdung eines nach Durchforstung verbleibenden Bestandes.

3.3 Wertverluste

Beeinträchtigungen durch Fäulnis führen zu Holzentwertungen und somit zu Ertragsverlusten. Diese für Forstbetriebe mit einem hohen Fichtenanteil bedeutenden wirtschaftlichen Einbussen setzen sich aus folgenden Komponenten zusammen:

1. Reine Holzwertverluste durch den Abschnitt minderwertiger Sortimente.
2. Mehrarbeit infolge zusätzlicher Trennschnitte, «Faulbaumschnitte», Spalten und Abtransport der minderwertigen Sortimente.
3. Deklassierungen des verbleibenden Nutzholzstammes.

Die Komponenten Holzwertverluste, Mehrarbeit und Verluste durch Deklassierung werden modellmässig errechnet, indem dem potentiellen Erlös aus «idealisierten», schadenfreien Stämmen die Erträge aus den effektiv erzielten Sortimenten gegenübergestellt werden. Diese Modelle basieren auf Arbeitszeituntersuchungen (*Pfeiffer et al.*, 1978), aktuellen Holzpreisen und Lohnkosten sowie den im Lehrrevier der ETH Zürich üblichen Regeln für die Deklassierung. Für die Hochrechnungen auf ha-Werte stehen Vollkluppierungen von Probeflächen (15 bzw. 20 a) aus den untersuchten Beständen sowie die Masslisten der Untersuchungsbäume zur Verfügung.

Nachstehend wird anhand von vier Fallbeispielen die Grössenordnung von kernfäulebedingten Ertragsverlusten aufgezeigt (*Tabelle 8*).

Tabelle 8. Grössenordnungen kernfäulebedingter Ertragsverluste.

U-Objekt Nr.	Alter (Jahre)	Beurteilung des Kernfäulebefalls	Industrieholz-Abschnitte		Rotholz-Abschnitte		Gesamtverlust pro ha
			Anteil:	Mittelwert:	Anteil:	Mittelwert:	
17	130	«schwach»	20 %	1,25 m	3 %	4,00 m	ca. 4 000.–
14	120	«mittel-stark»	45 %	2,00 m	15 %	6,00 m	ca. 20 000.–
05	150	«stark»	58 %	1,60 m	18 %	5,10 m	ca. 27 000.–
33	100 (!)	«extrem stark»	75 %	1,80 m	20 %	6,00 m	ca. 40 000.–

Überlegungen zur Wertberechnung von *Bachmann* (1968 und 1990) folgend, soll für diese erwähnten vier Fallbeispiele in *Abbildung 10* der durch die Fäulnis verminderte Produktivitätsverlauf aufgezeigt werden. Als Referenz dient ein als «schadenfrei» angenommener Fichtenbestand der Bonität 24 im Lehrrevier der ETH Zürich. Zum Vergleich wird der im jeweiligen Alter errechnete relative Gesamtverlust eingetragen und der Produktivitätsverlauf qualitativ dargestellt.

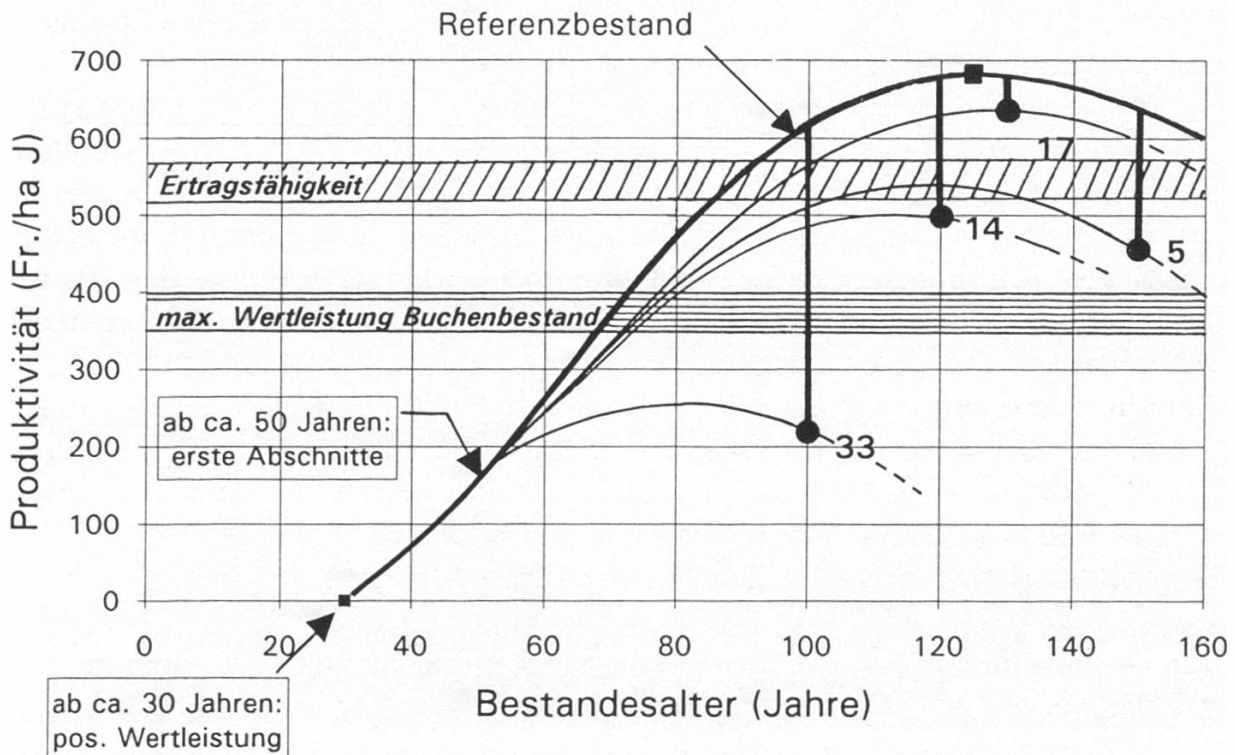


Abbildung 10. Durch Kernfäule reduzierte Wertleistung von Fichtenbeständen, dargestellt anhand eines Referenzbestandes und von vier Fallbeispielen. Relativer Produktivitätsverlust in bezug auf den Referenzbestand: Nr. 17: 5 %, Nr. 14: 25 %, Nr. 05: 28 %, Nr. 33: 65 %.

Erste ertragsmindernde Schäden sind erfahrungsgemäss bei Durchforstungen im Alter um 50 Jahre zu verzeichnen. Ab diesem Zeitpunkt können die fäulnisbedingten Abschnitte rasch zu einer massiven Entwertung führen,

die im Extremfall von Bestand Nr. 33 Verluste bis 40 000 Fr./ha bzw. 65 % der errechneten Produktivität des Referenzbestandes erreicht. Für durchschnittliche Bestände des Mittellandes dürften die Verhältnisse in Bestand Nr. 14 etwa repräsentativ sein. Aber auch die hier ermittelten Verluste in der Grössenordnung von 15 000 bis 20 000 Fr./ha sind, absolut betrachtet, recht hoch.

Nebst den absoluten Wertverlusten ist auch auf die frühere Kulmination des Produktivitätsverlaufes hinzuweisen. Je stärker der Fäulebefall, desto früher wäre der Bestand, vom ökonomischen Standpunkt aus betrachtet, zu nutzen. Das Wissen um diese Zusammenhänge kann Entscheidungen im Rahmen der Verjüngungsplanung beeinflussen.

Die modellmässig geschätzte Ertragsfähigkeit für den Standort des Referenzbestandes wird mit einer gewissen Bandbreite um 550 Fr./ha und Jahr angenommen. *Abbildung 10* zeigt, dass der fäulnisbedingte Verlust, wie er zum Beispiel für Bestand 14 gegeben ist, den Mehrertrag eines reinen Fichtenbestandes weitgehend abschöpft. Nebst den auf eher qualitativen Überlegungen basierenden Argumenten wie Bodenversauerung, Naturschutz usw. kann somit die Forderung nach Mischbeständen auch von den betriebswirtschaftlichen Fakten her unterstützt werden.

Schäden wie im Fall von Bestand Nr. 33 führen zu verlustbereinigten Erträgen, welche weit unter der Ertragsfähigkeit, hier sogar unter der maximalen Wertleistung eines reinen Buchenbestandes mittlerer Qualität (Referenzbestand aus dem Lehrrevier der ETH Zürich) liegen. In diesem Fall muss die rasche Umwandlung eines solchen Fichtenbestandes erwogen werden. Es ist jedoch festzuhalten, dass derartige Schadenintensitäten ausserordentlich hoch und dementsprechend relativ selten sind.

Eine Anreicherung «natürlicher Bestände» mit Fichten als Wertträgern ist somit durchaus berechtigt. Reinbestände zeichnen sich jedoch durch ein hohes Risiko an Wertverlusten aus.

4. Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse und Folgerungen für die Praxis

Auf der Grundlage dieser Ergebnisse sollen mögliche Folgerungen für die Praxis zur Diskussion gestellt werden, welche in die praktische Arbeit umgesetzt werden könnten:

Ergebnis:

1. Grundsätzliche Schadenbeurteilung

Auch im «Naturwald», das heisst im anthropogen wenig oder unbeeinflussten Wald ist ein geringer Kernfäulebefall festzustellen.

Folgerung:

Die Fäulnisschäden sind nicht nur absolut, sondern auch in bezug auf diese natürlichen Verhältnisse zu bewerten.

Ergebnis:

2. Verjüngungsart

Natürlich verjüngte Fichten weisen weniger oft und geringere Schäden auf als gepflanzte.

3. Jungwaldpflege

Eine Überschirmung junger Fichtenkulturen kann zu einer deutlichen Verminderung des Schadengrades führen.

4. Auslesedurchforstung, Diagnose

Der diagnostische Wert von Verformungen an der Stammbasis ist in der Regel gering. Bei auffälliger Ausprägung können diese jedoch als Hinweis auf Kernfäule dienen.

5. Alterseinfluss

Das Faulstammprozent nimmt mit zunehmendem Alter stetig zu.

6. Mischungsart

Mischbestände mit Tanne zeigen ein geringeres Faulstammprozent.

7. Einfluss der Pilzarten auf die Höhe des wirtschaftlichen Schadens

Von *Heterobasidion annosum* verursachte Kernfäulen führen in der Regel zu höheren Abschnittslängen und somit zu grösseren Verlusten als von *Armillaria spp.* verursachte Fäulen.

8. Einfluss von Kernfäuleschäden auf die Entwicklung der Produktivität

Die kernfäulebedingten wirtschaftlichen Verluste können sich (bei normaler Umtriebszeit) in mittel- bis stark befallenen Endnutzungsbeständen auf 15 000 bis 25 000 Fr./ha belaufen.

In extremen Verhältnissen kann der Mehrertrag eines fichtenreichen Bestandes gegenüber einem standortgemässen («natürlichen») Buchenbestand durch die Fäulnisschäden vollständig kompensiert werden.

Folgerung:

Wo die natürlichen Bedingungen und die waldbaulichen Zielvorstellungen dies erlauben, soll die natürliche Verjüngung der Fichte gefördert werden.

Verjüngungstechniken, welche zu einer Überschirmung von Fichtenkulturen führen, sind zu prüfen (zum Beispiel Überhalt, Vorbau usw.).

Bäume mit auffälligen Deformationen an der Stammbasis sollten bei der Auslesedurchforstung entnommen werden.

Kernfäule ist ein wichtiges Kriterium in der Beurteilung der Verjüngungsdringlichkeit.

Kleinflächige Mischungen mit Tanne fördern.

Die Diagnose des Erregers bzw. des von ihm verursachten Schadbildtyps ermöglicht sichere Entscheidungen im Hinblick auf den Verjüngungszeitpunkt.

Die wirtschaftlichen Verluste beeinflussen die Verjüngungsdringlichkeit sehr stark. Die Kulmination des Wertzuwachses kann so 10 bis 20 Jahre früher sein. Dies ist im Rahmen einer gesamtbetrieblichen Verjüngungsplanung zu berücksichtigen.

Auf solchen Standortsverhältnissen bringt die Fichte keinen Mehrertrag. Es ist ratsam, für die neue Waldgeneration nur einen geringen Anteil Fichte vorzusehen.

Zum Schluss sei hier noch auf die Möglichkeit der betriebsinternen Beobachtung und Kontrolle der Fäuleschäden hingewiesen. Die laufende Kontrolle von Durchforstungsschlägen vermag Hinweise auf die Schadenentwicklung in

einem Bestand zu geben und ermöglicht so die rechtzeitige Planung einer verlustarmen Waldverjüngung.

Résumé

La pourriture de cœur dans le nord de la Suisse: ampleur des dégâts, connexions écologiques et mesures sylvicoles.

Dans les peuplements d'épicéas, la pourriture de cœur est l'une des entraves majeures et persistantes pouvant induire des pertes financières et des contraintes sylvicoles. Toutefois, l'ampleur des dégâts varie considérablement selon la station et le type de peuplement. L'ampleur des dégâts ainsi que de nombreux paramètres de station et sylvicoles ont été relevés dans 60 parterres de coupes situées dans le Jura, sur le Plateau et dans les Préalpes du nord de la Suisse. L'objectif de cette étude était de déterminer les facteurs sylvicoles, de station et pathogènes essentiels, de quantifier l'envergure des pertes en valeur, ainsi que d'indiquer les mesures sylvicoles praticables afin de réduire ces dégâts.

Le développement en jeunesse des arbres constitue clairement un élément décisif: les épicéas rajeunis naturellement ou sous un couvert sont moins fréquemment et moins intensivement touchés que les arbres issus de régénérations artificielles. La proportion d'arbres pourris augmente constamment dans les plantations jusqu'à l'âge d'exploitabilité. Quelques signes visibles à la base du tronc livrent des indices trahissant une pourriture sévère. Les arbres présentant de tels symptômes devraient être éliminés lors de l'éclaircie sélective.

Pour une même région et en comparaison avec les peuplements purs d'épicéas, les peuplements mélangés avec du sapin sont nettement moins fréquemment atteints par la pourriture, alors que les peuplements mélangés avec des feuillus le sont plus souvent.

Les arbres atteints par la pourriture rouge (*Heterobasidion annosum*) présentent en général un aspect de décomposition moins intensif, mais qui néanmoins déprécie de plus grandes parties du fût, que les tiges colonisées par l'armilliaire couleur de miel (*Armillaria mellea*). L'ordre de grandeur des pertes financières moyennes dans un peuplement pur d'épicéas oscille entre 15 000 et 20 000 Fr./ha, ce qui représente jusqu'à 25 % de la productivité d'un peuplement.

Les résultats démontrent que des mesures sylvicoles adéquates permettent de limiter l'ampleur des dégâts et de diminuer les pertes. Les efforts entrepris dans ce sens peuvent être efficacement soutenus par un système d'observation et de contrôle des dégâts interne à l'entreprise qui servira de base lors de la planification sylvicole.

Traduction: *Pascal Schneider*

Literatur

- Bachmann, P. (1968): Untersuchungen zur Wahl des Verjüngungszeitpunktes im Waldbau. Diss. Nr. 4171 ETH Zürich. Zürich, 112 S.
- Bachmann, P. (1990): Produktionssteigerung im Wald durch vermehrte Berücksichtigung des Wertzuwachses. Ber. Eidgenöss. Forsch.anst. Wald Schnee Landsch. Nr. 327.
- Braun, H., Lulev, J. (1969): Infektion unverletzter, fingerstarker Fichtenwurzeln durch den Wurzelschwamm *Fomes annosus* (Fr.) Cooke. Forstw. Cbl., 88: 327–338.
- Braun, H., Lulev, J. (1970): Infektion unverletzter, jüngerer Fichtenwurzeln durch den Wurzelschwamm *Fomes annosus* (Fr.) Cooke. Forstw. Cbl., 89: 269–275.
- Dimitri, L. (1969): Untersuchungen über die unterirdischen Eintrittspforten der wichtigsten Rotfäuleerreger bei der Fichte (*Picea abies* Karst.). Forstw. Cbl., 88: 281–308.
- Dimitri, L., Zycha, H., Kliefoth, R. (1971): Untersuchungen über die Bedeutung der Stubbeninfektion durch *Fomes annosus* für die Ausbreitung der Rotfäule der Fichte. Forstw. Cbl., 90: 104–117.
- Flury, B., Riedwyl, H. (1983): Angewandte multivariate Statistik: Computergestützte Analyse mehrdimensionaler Daten. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart und New York, 187 S.
- Hartig, R. (1877): Die Rotfäule der Fichte. Z. Forst-Jagdwes. 9: 97–113.
- Kató, F. (1967): Beitrag zur Beurteilung einzelner schwerwiegender Probleme der Fichtenrotfäule. Forstw. Cbl., 86: 348–369.
- Kramer, H., Akça, A. (1987): Leitfaden für Dendrometrie und Bestandesinventur. 2. erweiterte Auflage, J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M., 287 S.
- Köstler, J. N., Brückner, E., Bibelriether, H. (1968): Die Wurzeln der Waldbäume: Untersuchungen zur Morphologie der Waldbäume in Mitteleuropa. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 284 S.
- Laatsch, W. (1963): Bodenfruchtbarkeit und Nadelholzanbau. BLV Verlagsgesellschaft München Basel Wien, 75 S.
- v. Pechmann, H., v. Aufsess, H. (1971): Untersuchungen über die Erreger von Stammfäulen in Fichtenbeständen. Forstw. Cbl., 90: 259–284.
- Pfeiffer, K. et al. (1978): Richtwerttabellen für die Holzhauerei und das Schichtholzrücken. Anleitung Nr. 8. Schweizerische Interessengemeinschaft Industrieholz. 30 S.
- Rennerfelt, E. (1946): Om Rotrötan (*Polyporus annosus*) i Sverige. Dess utbredning och sätt uppträda [Über die Wurzelfäule (*Polyporus annosus* Fr.) in Schweden. Ihre Verbreitung und ihr Vorkommen unter verschiedenen Verhältnissen]. Meddelanden from Statens Skogsforskningsinstitut 35: 1–88 [deutsche Zusammenfassung S. 86–87].
- Schönhar, S. (1969): Untersuchungen über das Vorkommen von Rotfäulepilzen in Fichtenbeständen der Schwäbischen Alb. Mitteilungen des Vereins für Forstliche Standortskunde und Forstpflanzenzüchtung, 19: 20–28.
- Schütz, J.-Ph. (1989): Der Plenterbetrieb: Unterlage zur Vorlesung Waldbau III (Waldverjüngung) und zu Sanasilva-Fortbildungskursen. Deutsche Übersetzung von Ch. Diez. Fachbereich Waldbau, ETH Zürich, 54 S.
- Schütz, J.-Ph. (1990): Sylviculture 1: Principes d'éducation des forêts. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 243 S.
- Wanger, C. (1925): Forstliches aus dem «Studentland». Mitteilungen der Aargauischen Naturforschenden Gesellschaft, Heft 17: 44–49.
- Zycha, H. (1967): Die Beurteilung des Rotfäulebefalls in Fichtenbeständen. 22 S. In: Schriftenreihe der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und Mitteilungen der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 39. J. D. S. 9–31. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main.