

documenta
naturae no. **101**
Band I

München 1996

**Zur Symptomatologie
der gesunden und der
walderkrankten Tanne**

von Walter Damsohn

DOCUMENTA NATURAE

No.101	1996
ISSN	0732-8428
Bibl.-no.	D-100

Herausgeber:

Dr. Hans-Joachim Gregor, Palsweiserstr. 5m, D-82140 Olching

Dr. Heinz J. Unger, Nußbaumstraße 13, D-85435 Altenerding

Die Zeitschriftenreihe erscheint in zwangloser Folge mit Themen aus den Gebieten Geologie, Paläontologie, Botanik, Anthropologie, Domestikationsforschung, Vor- und Frühgeschichte, Stratigraphie, Lagerstättenkunde usw.

Die Sonderbände behandeln unterschiedliche Themen aus den Gebieten Kunst, Kochen, Reiseführer oder alte wissenschaftliche Werke usw.

Die Zeitschriftenreihe ist auch Mitteilungsorgan der Paläobotanisch-Biostratigraphischen Arbeitsgruppe (PBA).

Für die einzelnen Beiträge zeichnen die Autoren verantwortlich, für die Gesamtgestaltung die Herausgeber.

Überweisung des Heftpreises erbeten auf das Konto 1548460 bei der Sparkasse FFB (BLZ 700 530 70) - Inh. H.-J. Gregor.

Bestellungen bei Buchhandlungen und den Herausgebern.

Copyright: bei Verlag und Autoren.

Umschlagbild: Der Autor Walter Damsohn und Hans-Joachim Gregor

Documenta naturae 101 S.1-491 127 Abb. Anhang München 1996

Zur Symptomatologie der gesunden und der walderkrankten Tanne

Band I

von Walter Damsohn

Adresse des Autors:
Dr. Walter Damsohn
Universität Hohenheim
Institut für Botanik 210
Garbenstr.30
D-70599 Stuttgart

Privatadresse:
Erbachstr. 29
D-71106 Magstadt

Inhaltsverzeichnis

Seite

BAND I

ABSCHNITT A: EINLEITUNG

E/1. Ziel.	1
E/2. Gesichtspunkte und Fragen, die es zu berücksichtigen galt.	1

ABSCHNITT B: MATERIAL UND METHODEN

M/1. Die Probebäume und ihre Standorte.	5
M/2. Methoden und Parameter.	9

ABSCHNITT C: ERGEBNISSE

Kapitel I. Überblick über die Ergebnisse.

Jener Weg wird skizziert, auf dem in der vorliegenden Arbeit Antworten zu den gestellten Fragen gefunden wurden.

I/1. Zusammenfassung	17
I/2. Die wichtigsten Untersuchungs- und Erkenntnisschritte der vorliegenden Arbeit.	17

Kapitel II. Die vier wichtigsten Symptome der Walderkrankung im Vergleich.

Ausgegangen wird von einer gesicherten Erkenntnis, nämlich dem charakteristischen Bild einer stark geschädigten Tanne.

II/1. Vorbemerkungen.	23
II/2. Das Ausmaß der Kronenschäden (prozentualer Nadelverlust) und das Auftreten von drei weiteren Symptomen der Walderkrankung.	25
II/3. Treten diese vier Symptome an einer Tanne immer gleichzeitig auf?	27
II/4. Zusammenfassung.	28

Kapitel III. Die Walderkrankung der Tanne und das Wachstum des Stamms

Es wird versucht, eine Trennlinie zu ziehen zwischen den vielen Möglichkeiten "gesunden Wachstums" und jenem Wuchsverhalten, das eindeutig als walderkrankt bezeichnet werden kann..

Teil A. Dickenwachstum des Stamms.

III/1. Vorbemerkungen.	29
III/2. Das Baumalter als im Stamm zum ersten Mal eine "Phase mit schmalen Jahrringen" begann.	31
III/3. Verschiedene Zuwachsverläufe und ihre geographische Verbreitung.	33
III/4. Jene Jahreszahl, ab der eine "Phase mit schmalen Jahrringen" begann.	37
III/5. Der Zusammenhang zwischen dem Jahrgang, in dem eine Tanne plötzlich weniger wuchs und dem Schädigungsgrad der Krone zum Zeitpunkt der Fällung (1984).	37
III/6. Zeitpunkt und Dauer der Wuchsstockungen im Stamm und die Schädigung der Krone (%Nvl.) zum Zeitpunkt der Fällung.	39

III/7. "Phasen mit schmalen Jahrringen" im Bauholz von alten Fachwerkhäusern. (Diese Daten stellte freundlicherweise Herr BLEYER zur Verfügung).	41
III/8. Fällungsprogramm BW 1984/5. Unter den sechs Tannen eines Standorts wird verglichen, wie sich ihr Stammdurchmesser entwickelt hat.	43
III/9. Der Zuwachstrend in den letzten Jahren vor der Fällung und die Schädigung der Krone (%Nvl.).	45

Teil B. Höhenwachstum des Stamms.

III/10. Vorbemerkungen.	47
III/11. Die Höhenwachstumskurven von den sechs Tannen eines Standorts.	47
III/12. Die Quirlabstände im oberen Stammbereich.	49

Teil C. Vergleich von Höhenwachstum und Dickenwachstum

III/13. Vorbemerkungen.	51
III/14. Die Ausmaße, in denen sich Dicken- und Höhenwachstum ändern.	51
III/15. Höhen- und Dickenwachstum ändern sich z.T. gleichläufig, z.T. gegenläufig.	53
III/16. Kronenschäden und gegenläufige Wachstumsänderungen.	54
III/17. Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse von Kapitel III.	55

Kapitel IV. Die Symptome der Walderkrankung und zusätzliche Parameter von Stamm und Krone.

Das Bild einer walderkrankten Tanne soll differenzierter herausgestellt werden.. Es wird versucht, Wechselbeziehungen zwischen den bekannten vier Symptomen der Walderkrankung und weiteren Baumparametern herauszufinden.

Teil A. Der prozentuale Nadelverlust der Krone im Vergleich mit weiteren Baumparametern.

IV/1. Kronenschäden (%Nvl.) und die Länge der Krone.	56
IV/2. Kronenschäden (%Nvl.) und die relative Kronenlänge.	57
IV/3. Kronenschäden (% Nvl.) und die Abweichungen von der mittleren Baumhöhe.	60
IV/4. Kronenschäden und die Form des Stamms (h/d-Werte).	62
/4a. Kronenschäden (%Nvl.) und die Abweichungen des h/d-Wertes vom Mittel der sechs Tannen eines Standorts.	62
/4b. Kronenschäden (%Nvl.) und h/d-Werte.	62
/4c. Kronenschäden (%Nvl.) und die h/d-Werte der Tannen, aufgeschlüsselt nach Standorten.	64

Teil B. Verschiedene Baumparameter werden - ohne das Kriterium des prozentualen Nadelverlusts - untereinander verglichen.

IV/5. Die Beziehung von Stammform (h/d-Wert) zur Kronenlänge.	66
IV/6. h/ä-Wert, Kronenlänge und Zuwachsverlauf der Jahrringe im Stamm (1,3m).	68

Teil C. Es werden immer zwei Gruppen von Tannen mit gegensätzlichen Merkmalen ausgewählt und in weiteren zwei oder drei Parametern miteinander verglichen

IV/8. Die Abweichung der Baumhöhe von der mittleren Bestandeshöhe wird in Beziehung gesetzt zur Länge und dem Alter der Krone und zum Zuwachs- verlauf der Jahrringe.	70
---	----

IV/9. Vergleich der Abweichung der h/d-Werte mit der Abweichung von der mittleren Bestandeshöhe und die Qualität der Astbenadelung.	72
IV/10. Die Benadelung der Astperipherie, h/d-Werte und Kronenlängen.	72
IV/11. Zusammenfassung: Merkmale der walderkrankten Tanne.	74

Kapitel V. Konkurrenzdruck oder Walderkrankung ?

Nicht alle Tannen ließen sich als eindeutig gesund oder walderkrankt beschreiben. Die zentrale Schwierigkeit ist, ein verringertes Stammwachstum weiter zu differenzieren: Liegt der eingeschränkten Vitalität Lichtmangel (als Folge von Konkurrenzdruck) oder die eigentliche Walderkrankung zugrunde?

V/1. Vorbemerkungen.	75
V/2. Bisherige Hinweise.	75
V/3. Die Entwicklung der h/d-Werte über mehrere Jahrzehnte.	75
V/4. Schlußfolgerungen.	78

Kapitel VI. Die Wurzeln der Tanne.

Die Kenntnisse über die Biologie der Tannenwurzel, gewonnen durch das Ausgraben und Vermessen von 10 Wurzelsystemen, werden in diesem Kapitel beschrieben und quantifiziert.

Teil A. Beobachtungen und Überlegungen.

VI/1. Vorbemerkungen.	80
VI/2. Beobachtungen beim Ausgraben.	81
VI/3. Überlegungen zu den Wechselbeziehungen zwischen Wurzel und Krone.	81
VI/4. Die morphologische Gliederung des Wurzelsystems.	82
VI/5. Wuchsverhalten der Tannenwurzeln.	84

Teil B. Struktur und Größe der Wurzeln.

VI/6. Wurzelbilder von neun Tannen aus Besenfeld.	87
VI/7. Das Stützsystem der Wurzel.	88
VI/8. Ausbreitung des Wurzelsystems.	89
VI/9. Verschiedene Parameter eines Wurzelsystems.	90
VI/10. Das Wurzelnetz von Tanne GWB Ta 43 und die Lage der umgebenden Bäume und Baumstümpfe (Stubben).	92
VI/11. Wechselwirkungen zwischen zwei Wurzelsystemen.	93

Teil C. Verfahren zum Bestimmen von Form und Größe eines Wurzeltellers mit Hilfe von oberirdischen Merkmalen.

VI/12. Herleitung eines Verfahrens zur Bestimmung der Größe eines Wurzeltellers.	96
VI/13. Anwendung und Überprüfung des Verfahrens.	98
VI/14. Zusammenfassung.	100

Kapitel VII. Über Wechselbeziehungen zwischen Wurzel, Stamm und Krone einer Tanne.

Neben den Einblicken in die Ausmaße und das Wuchsverhalten von ober- und unterirdischen Baumteilen sind jene spezifischen Veränderungen gesucht, die charakteristisch für die Walderkrankung sind.

Teil A. Größe von Wurzel, Stamm und Krone.

VII/1. Vorbemerkungen.	101
VII/2. Verankerungsfläche des Wurzeltellers und die Baumhöhe.	101
VII/3. Wechselbeziehung zwischen dem Stammdurchmesser und der Fläche des Wurzeltellers.	102
VII/4. Die Form des Wurzeltellers und die Form der Kronenschirmfläche.	103
VII/5. Vergleich der Größe des Wurzeltellers und Kronenschirmfläche.	106
VII/6. Beziehungen zwischen der Fläche der Feinwurzelbezirke und der Fläche der "benadelten Astflächen".	107
VII/7. Ein Kronen-Wurzel-Quotient in Bezug zum h/d-Wert.	109

Teil B. Das jährliche Wachstum der Wurzeläste.

VII/8. GWB Tanne 2. Höhenwachstum und Breite der Jahrringe in Stamm und Wurzel während der letzten fünf Jahrzehnte.	112
VII/9. GWB Tanne 35. Höhenwachstum und Breite der Jahrringe in Stamm und Wurzel während der letzten drei Jahrzehnte.	114
VII/10. Lokalisation der Ringausfälle in den Wurzelästen.	116
VII/11. Wurzelkonkurrenz und das Auftreten von Ringausfällen.	118
VII/12. Jährliches Längenwachstum einer gut wachsenden Wurzel.	120
VII/13. Jährliche Längenwachstum einer schlechtwüchsigen Wurzel.	121
VII/14. Zusammenfassung	123

Kapitel VIII. Die Tannenkronen und ihre auffälligen Strukturelemente. Beobachtungen zur Autökologie und Morphologie.

Um die Schäden in einer walderkrankten Tannenkronen genauer lokalisieren und einordnen zu können, wird die Tannenkronen in Strukturelemente untergliedert und mit Beobachtungen zur Autökologie verknüpft.

VIII/1. Vorbemerkungen.	124
VIII/2. Zum Kleinklima und zur Autökologie der Tannenkronen.	124
VIII/3. Strukturelemente einer Tannenkronen.	125
VIII/4. Anwendung der morphologisch-ökologischen Gesetzmäßigkeiten im Gelände.	131
VIII/5. Zusammenfassung: Die Struktur der Tannenkronen.	125

Kapitel IX. Quantitative und halbquantitative morphologische Untersuchungen von Stamm und Krone.

Die Biologie der "gesunden" Krone und des "gesunden" Stamms werden dargestellt und reicht von sehr gutem bis hin zu einem sehr eingeschränkten Wachstum, z.B. auf Grund von Lichtmangel. Im Vergleich dazu sollen jene spezifischen Veränderungen in der Tannenkronen deutlich werden, die man eindeutig der Walderkrankung zuschreiben kann.

Teil A. Die Strukturelemente der Tannenkrone im Vergleich.

IX/1. Höhenwachstum und die Anzahl der Quirläste.	133
IX/2. Die Walderkrankung der Tanne und das Mindestalter der Quirläste, bei der ersten Astreiser-Bildung.	136
IX/3. Das gemeinsame Auftreten von Astreisern, von Harzkernen in den Ansatzstellen der Äste und das Vergrauen des Stammholzes.	138
IX/4. Das Austreiben von Astreisern und Klebästen als eine zeitlich verzögerte Reaktion der Tanne auf ein größeres Lichtangebot in der unteren und mittleren Krone.	139
IX/5. Das Höhenwachstum während der letzten 10 Jahre und die Nadelmenge der Quirlastkrone.	141
IX/6. Das Höhenwachstum der letzten 10 Jahre und die Gesamtmenge der Nadeln einer Tanne.	142

Teil B. Die Bedeutung der Primär- und Folgebenaedelung für das Stammwachstum.

IX/7. Astreiser bzw. Klebäste und Jahrringbreiten im Stamm.	144
IX/8. Der Zeitpunkt, ab dem neue Astreiser und Klebäste austreiben, die Schädigung der Krone und die Veränderungen des Höhen- und Dickenwachstums des Stammes.	148
IX/9. Vergleich von Habitusbildern geschädigter und ungeschädigter Tannen.	149
IX/10. Lokalisierung derjenigen Äste, die zwischenzeitlich ihre Nadeln verloren haben.	150
IX/11. Zusammenfassung: Aufbau einer ungeschädigten und einer walderkrankten Tanne.	151
IX/12. Lokalisierung jener Stellen, an denen die Primärtriebe vorne an den Ästen Nadelverluste haben und kümmern bzw. abgestorben sind (Walderkrankung).	151
IX/13. Die Verteilung der "benadelten Astflächen" entlang der Krone.	155
IX/14. Zusammenfassung der bisherigen Ergebnisse zum Thema "Benadelung der Tannenkrone".	156

Kapitel X. Der Wechsel von Primär- zu Folgebenaedelung und das Auftreten von Symptomen der Walderkrankung.

Die Tannenkrone paßt sich mit ihrer Folgebenaedelung an veränderte Wuchsbedingungen an. Bei diesem Umstrukturierungsprozeß von der ursprünglichen Primärbenadelung hin zu mehr Folgebenaedelung können u. U. auch die spezifischen Symptome der Walderkrankung auftreten.

X/1. Der prozentuale Anteil an Primär- und Folgebenaedelung und die Schadstufe der Kronen.	157
X/2. Die Bedeutung der soziologischen Stellung im Bestand, der Wechsel der Benadelungsart und die Gesamtschädigung der Krone (%Nadelverlust).	159
X/3. Die Entwicklung der Jahrringbreiten und das Austreiben neuer Astreiser und Klebäste in Abhängigkeit verschiedener Faktoren.	161

Kapitel XI. Der zeitliche Vergleich von Wachstumsänderungen in den verschiedenen Baumteilen.

Nach einer Zwischenbilanz der bisherigen Ergebnisse wird versucht, die Wachstumsvorgänge und die charakteristischen Veränderungen durch die Walderkrankung im zeitlich-räumlichen Zusammenhang besser zu verstehen.

XI/1. Zwischenbilanz und neue Fragestellungen.	168
XI/2. Der zeitlich-räumliche Wechsel von Primär- zu Folgebenadelung.	170
XI/3. Zur Struktur der Tannenkronen. Die Länge der Jahrestriebe und ihre Benadelung.	174
XI/4. Zur Struktur der Tannenkronen. Von der Gleichzeitigkeit der Wachstumsänderungen.	181
XI/5. Überlegungen zum Assimilattransport. Vergleich der Triebblängen bei Stamm und Ästen.	186
XI/6. Der jährliche Stammzuwachs in verschiedenen Höhen. Überlegungen zum Assimilattransport.	192
XI/7. Wachstum und Wachstumsänderungen in den verschiedenen Baumteilen.	197
XI/8. Zusammenfassung. Das Wuchsverhalten von "gesunden" und walderkrankten Tannen.	203

Kapitel XII. Zur Biologie und Symptomatologie der Tannenäste.

Im vorliegenden Kapitel werden die spezifischen Merkmale walderkrankter Äste herausgearbeitet. Reguläre und pathologische Entwicklungen an Tannenästen und deren Benadelung werden aufgezeigt.

XII/1. Vorbemerkungen.	204
XII/2. Zur Morphologie der Tannenäste (Zsf.)	205
XII/3. Die Größe der Astachsen "gesunder" und walderkrankter Äste.	206
XII/4. Zur Wuchsleistung "gesunder" und walderkrankter Äste während der letzten acht Jahre.	209
XII/5. Weiterführende Überlegungen zu spezifischen Walderkrankungssymptomen am Ast.	211
XII/6. Wuchsstockungen an den Durchmessern einer Astachse und vorzeitige Nadelverluste am selben Ast.	212
XII/7. Das Wachstum an einer walderkrankten Astspitze: Bast, Holz und Mark.	214
XII/8. Wuchsstockungen in den Jahrringbreiten am Astansatz und die vorzeitigen Nadelverluste am selben Ast.	216
XII/9. Zur Verzweigungsstruktur der Tannenäste. Eine Übersicht.	218
XII/10. Zur Namengebung der Zweige eines Tannenastes.	218
XII/11. Die Verzweigungsstrukturen eines Tannenastes bei viel und bei wenig Licht.	220
XII/12. Allmähliche Beschattung von Quirlästen.	223
XII/13. Die Verzweigungsstruktur von walderkrankten Ästen.	225
XII/14. Überprüfung der Äste auf Wuchsstockungen und vorzeitige Nadelverluste (Auswertung von Astfotos).	228
XII/15. Überlegungen und Beobachtungen zu der Frage: Welche Anteile eines geschädigten Baumes sind als "gesund" und welche als "walderkrankt" zu bezeichnen?	229
XII/16. "Zonierte Nadelverluste" (Beobachtungen).	232

XII/17. Verschiedene Entwicklungen an Tannenästen mit vorzeitigem Nadelfall (Beobachtungen).	234
XII/18. Nadelfall der Tanne (Beobachtungen).	236
XII/19. Zusammenfassung Astsymptomatologie.	240

Kapitel XIII. Morphologische Veränderungen an Tannen auf Grund eines plötzlichen Klimawechsels.

Im vorliegenden Kapitel wird eine auffallende Beobachtung erörtert: Verändert man an einer Tanne sehr stark das umgebende Kleinklima, z.B. indem man eine unterständige Tanne freistellt und sie damit von einem Klima im Schatten auf das einer Freifläche wechselt, so entstehen nach einigen Jahren charakteristische Walderkrankungssymptome. Die untersuchten Tannen waren zuvor symptomatologisch "gesund".

XIII/1. Vorbemerkungen.	241
XIII/2. Der Geländebefund.	242
XIII/3. Die Reaktion der Bäume. Verringertes Höhenwachstum und neue Astreiser in Abhängigkeit von den kleinklimatischen Änderungen.	244
XIII/4. Zeitpunkt der Nadelverluste an freigestellten Ästen.	246
XIII/5. Veränderte Verzweigungsstrukturen nach einem plötzlichen Klimawechsel.	248
XIII/6. Verschiedene Arten von vorzeitigem Nadelverlust 3 1/2 Jahre nach einer Freistellung.	250
XIII/7. Beschreibung der morphologischen Veränderungen nach einer Freistellung.	252
XIII/8. Das Ausmaß der Nadelverluste nach einer totalen Freistellung.	254
XIII/9. Höhenwachstum bei den Altbäumen am Rand des Kahlschlags.	256
XIII/10. Zusammenfassung.	258

Kapitel XIV. Zum Wasserhaushalt von Tannenästen.

Die Symptome der Walderkrankung wiesen immer wieder auf die Bedeutung eines einschneidenden Wechsels im Bestandesklima hin. Dabei scheint der Wasserhaushalt in der Tannenkronen zum begrenzenden Faktor zu werden. Um diesen Verdacht weiter zu überprüfen, werden die verschiedenen morphologischen Ergebnisse unter dem Gesichtspunkt des Wasserhaushalts nochmals betrachtet, miteinander verglichen, ergänzt und durch einfache ökophysiologische Versuche erweitert.

XIV/1. Hinweise aus den morphologischen Untersuchungen.	260
XIV/2. Splintfläche im Stamm, der h/d-Wert und die Benadelungsqualität der schlechtesten Äste.	261
XIV/3. Splint, Stärkespeicherung und lebende Markstrahlzellen.	262
XIV/4. Einfache ökophysiologische Versuche zum Klimawechsel.	264
XIV/5. Zusammenfassender Interpretationsversuch.	270
XIV/6. Schlußfolgerungen.	271

Kapitel XV. Ergänzungen.

Teil A. Das frühere Tannensterben im Vergleich zur Walderkrankung der Tanne.

XV/1. Vorbemerkungen.	272
XV/2. Zur Beurteilung von Tannen auf Fotografien.	274
XV/3. Zur Überlebensdauer von walderkrankten Tannen.	277

XV/4. Vergleich einer stark geschädigten Tannenkronen aus dem Jahre 1927 und aus dem Jahre 1983.	280
XV/5. Zur langfristigen Regeneration walderkrankter Tannen.	282
XV/6. Zusammenfassung: Das frühere Tannensterben und die heutige Walderkrankung der Tanne.	282
XV/7. Die Jahrringbreiten in den Tannenbalken alter Fachwerkhäuser und vergleichbare Stammentwicklungen heute.	284
Teil B. Zum Blühen der Tanne.	
XV/8. Allgemeines.	286
XV/9. Die räumliche Verteilung der weiblichen und männlichen Blüten in der Tannenkronen.	287
XV/10. Der Übergang zur reproduktiven Phase: spitze Tannennadel und Zapfenbildung (Beschreibung).	290
Teil C. Morphologische Besonderheiten.	
XV/12. Das Wenden der Nadelunterseite nach oben.	290
Kapitel XVI. Merkmale zur symptomatologischen Beurteilung einer Tanne (Kriterienkataloge).	
Teil A. Grundlagen.	
XVI/1. Vorbemerkungen.	291
XVI/2. Hintergründe zu diesem Vorgehen.	291
XVI/3. Katalog I: Merkmale zur Symptomatologie der Tanne.	292
XVI/4. Zur Biologie der oberirdischen Teile einer Tanne.	299
XVI/5. Zur Biologie der unterirdischen Teile einer Tanne.	301
XVI/6. Zum Gleichgewicht zwischen Wurzel und Krone.	303
XVI/7. Reduzierung der bisherigen Kenntnisse zu Regeln.	303
Teil B. Praktische Anwendung.	
XVI/8. Indizien zur Beurteilung der Konstitution, der Wuchsraumänderungen und der Walderkrankung.	306
 ABSCHNITT D: DISKUSSION	
D/1. Zum Thema.	314
D/2. Liegt der Walderkrankung ein symptomatologisch einheitliches Erkrankungsbild zugrunde?	314
D/3. Verlauf und Dauer der Walderkrankung und der Absterbevorgänge.	318
D/4. Zur Unterscheidung zwischen gesund und walderkrankt.	321
D/5. Vermutete Ursachen.	322
D/6. Zur Bedeutung der Konstitution einer Tanne.	325
D/7. Wasserhaushalt, Konstitution und Walderkrankung.	329
D/8. Wurzeln.	332

D/9. Zu einer physiologischen Definition der Walderkrankung. Vergleiche und Ausblick.	333
D/10. Zur Erkenntnisgeschichte.	335
Literatur	336
Nachwort	346
Erklärung	349
 BAND II:	
Anhang A: Diagramme	352
Anhang B: Zitatesammlungen aus der Fachliteratur zu mehreren Themen	480
-Die Symptome einer stark geschädigten Tanne	480
-Rauchschäden und Tannenerkrankung	483
-Walderkrankung der Tanne und die soziologische Stellung im Bestand bzw. die Kronengröße. Beobachtungen und Untersuchungen.	485
-Veränderungen des Kleinklimas und das Gedeihen der Tanne.	488
-Veränderungen des Kleinklimas und das Wachstum von Tannenästen.	490
-Veränderungen im Wasserhaushalt des Bodens und das Auftreten von Schadsymptomen bei der Tanne.	491

ABSCHNITT A: EINLEITUNG

E/1. Ziel.

Mit dieser Arbeit sollen charakteristische Merkmale und Parameter herausgefunden werden, durch die sich eine gesunde Tanne von einer walderkrankten unterscheidet. Dazu wurden zahlreiche Merkmale und Parameter des Stamms, der Krone, der Äste und der Wurzel erfaßt, geordnet und miteinander verglichen. Aus praktischen Gründen war es wichtig, daß diese Größen immer gut erkennbar oder leicht zu messen sind. Veränderungen in der Ultrastruktur der Tanne und umfangreiche ökophysiologische Untersuchungen konnten aus Zeitgründen nicht einbezogen werden. Somit wurde in der vorliegenden Arbeit nicht der eigentliche Erkrankungsvorgang, also ein pathologisch veränderter Stoffwechsel untersucht, sondern nur dessen manifeste Folgen: Die visuell erkennbaren Symptome der Walderkrankung wie vorzeitiger Nadelverlust und verändertes Wachstum.

E/2. Gesichtspunkte und Fragen, die es zu berücksichtigen galt.

In Süddeutschland gibt es seit einiger Zeit Tannen (*Abies alba*, MILL.), deren Kronen auffallend weniger Nadeln als üblich aufweisen und deren Stamm deutlich schlechter wächst als früher. Dieses Phänomen entspricht keinem der gängigen Schadbilder, verursacht durch pflanzliche oder tierische Parasiten, auch nicht dem der klassischen Rauchschäden. Diese Tannenschäden werden seit Beginn der 80er Jahre als "neuartige Waldschäden der Tanne" oder auch als "Walderkrankung der Tanne" bezeichnet.

1) Zum Erkrankungsbild.

Ungeklärt blieb zunächst: Handelt es sich bei diesem Schadbild

- um ein einheitliches Erkrankungsbild oder
- um mehrere, getrennt auftretende, verschiedenartige Erkrankungsbilder oder
- um die Überlagerung von verschiedenen Erkrankungsbildern (Komplexkrankheit) ?

2) Zum Verlaufsmuster der Erkrankung. Hat ein Waldstandort walderkrankte Tannen, so stehen dort fast immer Tannen mit verschiedenen starken Schädigungsgraden nebeneinander. Hieraus ergeben sich die folgenden zwei Fragen:

a) Stellen diese verschiedenen Schädigungsgrade nur unterschiedlich schwere Formen einer einzigen Erkrankung dar? In diesem Falle ist es denkbar, daß die meisten Tannen sich nach einer unterschiedlich langen Zeit wieder erholen könnten und daß u.U. nur ein kleiner Teil der Tannen abstirbt.

b) Oder handelt es sich bei den verschiedenen Schädigungsgraden der Tanne um einen zeitlich gestaffelten Absterbevorgang, ähnlich dem "Ulmensterben"? In diesem Falle wäre es nur eine Frage der Zeit, bis aus einer schwach geschädigten Tanne eine mittelstark und eine stark geschädigte Tanne wird, bevor sie dann endgültig abstirbt.

Diese Fragen lassen sich mit langfristigen Beobachtungen und dem Entwicklungsgang des Stammwachstums beantworten.

3) Latente Schäden? Neben den unterschiedlich stark geschädigten Tannen kommen an einem Standort immer auch ungeschädigte, äußerlich gesunde Tannen vor. Sind nun diese symptomlosen Tannen a) als ungeschädigt anzusehen oder b) sind sie bereits latent geschädigt, kann man aber mit den bisherigen Mitteln eine Schädigung nur noch nicht nachweisen?

In diesem Zusammenhang sind verschiedene Gesichtspunkte zu berücksichtigen. Da mit der hier angewandten Methodik aber keine latente Schäden beurteilt werden können, wird diese Frage hier insgesamt nicht weiter verfolgt. Vielmehr wurde von der Arbeitshypothese ausgegangen: **Jede Tanne, die vollständig benadelt ist und keine abnormen Wachstumsänderungen aufweist, wird als ungeschädigt, damit aber auch als "gesund" eingestuft.**

4) Die Grenze zwischen "gesund" und "krank". Im Gelände ist man mit Tannen konfrontiert, deren Kronen unterschiedliche Ausmaße an Nadelverlusten zeigen. Wo liegt hier die Grenze zwischen gesund und krank? Das Problem ist nicht einfacher zu lösen, falls auch das Stammwachstum in die Betrachtungen noch einbezogen wird; denn nicht jede deutliche Kronenschädigung (% Nadelverlust, Nvl.) geht auch mit einem verringerten Wachstum einher. Welche Kriterien sollte man daher für die Beurteilung der Walderkrankung heranziehen: das Aussehen der Krone oder den Holzzuwachs? (vgl. hierzu auch FRENZEL et al., 1987). In der politischen Diskussion über Waldschäden wird das Aussehen der Krone zur Beurteilung herangezogen. Dagegen interessieren für forstwirtschaftliche Ziele Stammzuwachs und dessen Nachhaltigkeit.

5) Die große Anpassungsfähigkeit der Tanne. Unerwartet war in diesem Zusammenhang die Tatsache, daß die Tannenkronen sehr verschiedenartig aussehen können. Dies ist in der großen Anpassungsfähigkeit der Tanne begründet. Sie kann nämlich ihre Wuchsform und ihren Stoffwechsel langfristig an sehr unterschiedliche Konkurrenz- und Standortssituationen anpassen (TAUBERT, 1926; MAYER-WEGELIN, 1936; ZEHNTGRAF, 1949, 1950; ZIMMERLE, 1951; MEYER, 1957; DIETRICH, 1973; vgl. auch Kapitel VIII). Doch extreme Anpassungen können nicht als krankhaft angesehen werden. Dies gilt auch dann, wenn z.B. bei extremem Lichtmangel der Zuwachs einer unterständigen Tanne über viele Jahrzehnte hinweg nur äußerst gering ist.

6) Forstliteratur. Verschiedene Gründe führten aber in der Vergangenheit dazu, die Tanne als eine "verlorene Baumart" zu bezeichnen. Hierfür sprachen:

a) Die Tanne ist in den vergangenen Jahrhunderten aus den Forsten ihres nördlichen Verbreitungsgebiets nach und nach verschwunden (SCHAAL, 1898; GRASER, 1931; OHLBERG und RÖHRIG, 1955; MEYER, 1957; BLANCKMEISTER und HENGST, 1971).

b) In den ersten drei Jahrzehnten unseres Jahrhunderts wurde schon einmal ein "Tannensterben" beschrieben, mit Symptomen, ähnlich denen der "neuartigen Waldschäden" unserer Tage.

Die Erkenntnisse über die Ursachen des damaligen "Tannensterbens" blieben lückenhaft und kamen unvollendet auf dem Niveau einer kontrovers geführten Diskussion zum Stillstand (NEGER, 1908; SCHEIDTER, 1919; WIEDEMANN, 1927; WITZGALL, 1928; GRASER, 1931). Dieses Dilemma erwies sich als ein großes Hindernis bei der Beurteilung der heutigen Waldschäden.

c) Die Diskussion, wie eine geeignete waldbauliche Pflege der Tanne auszusehen hat, zieht sich als ein nicht enden wollendes Thema durch die gesamte Forstliteratur.

Diese Frage wurde schon in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts aufgeworfen (PFEIL, 1842; GREBE, 1857), aber erst Ende der 70er Jahre dieses Jahrhunderts von der Diskussion über das "Waldsterben" verdrängt (ARETIN, 1971; GAYLER, 1971; FREI-PONT, 1973; LEIBUNDGUT, 1974; WACHTER, 1977; EVERS et al., 1979).

7) Neue Anforderungen an eine differenziertere Symptomatologie. Es ist verständlich, daß sich sowohl physiologische wie auch feinstrukturelle Untersuchungen zwangsläufig auf kleine Teile eines Baumes beschränken müssen, auf einzelne Äste, Astteile oder auch nur auf einzelne Nadeln. Geht man davon aus, daß die "neuartigen Waldschäden der Tanne" einen ganzen Baum **gleichmäßig und gleichartig** schädigen, ist es unerheblich, aus welchem Kronenteil man die Untersuchungsproben entnimmt.

Doch der Aufbau einer geschädigten Tannenkrone widerspricht dieser Annahme. Selbst eine stark geschädigte Tanne hat nicht nur kümmernde und absterbende Äste, sondern auch wüchsige oder zumindest besser benadelte Äste. Diese verschiedenen Asttypen eines Baumes können daher **nicht als gleichwertig** angesehen werden. Hier wäre hilfreich, man wüßte, wie die Struktur einer gesunden Tanne ist und durch welche spezifischen Änderungen sie sich von einer walderkrankten Tanne unterscheidet.

Die vorliegenden Untersuchungen versuchen, diese spezifischen Unterschiede auf der Ebene der einzelnen Baumorgane herauszufinden (Stamm, Wurzel, Krone, Äste, Benadelung). Dazu werden die einzelnen Baumorgane in ihren verschiedenen Merkmalen erfaßt und untereinander verglichen. Nach und nach entwickelt sich so ein differenzierteres Verständnis der Tannenschäden.

8) Begriffsbestimmung zu den Tannenschäden. In der Literatur wurden Schäden an der Tanne nach unterschiedlichen Kriterien beschrieben. Für die vorliegende Arbeit wurden daher folgende Begriffe verwendet:

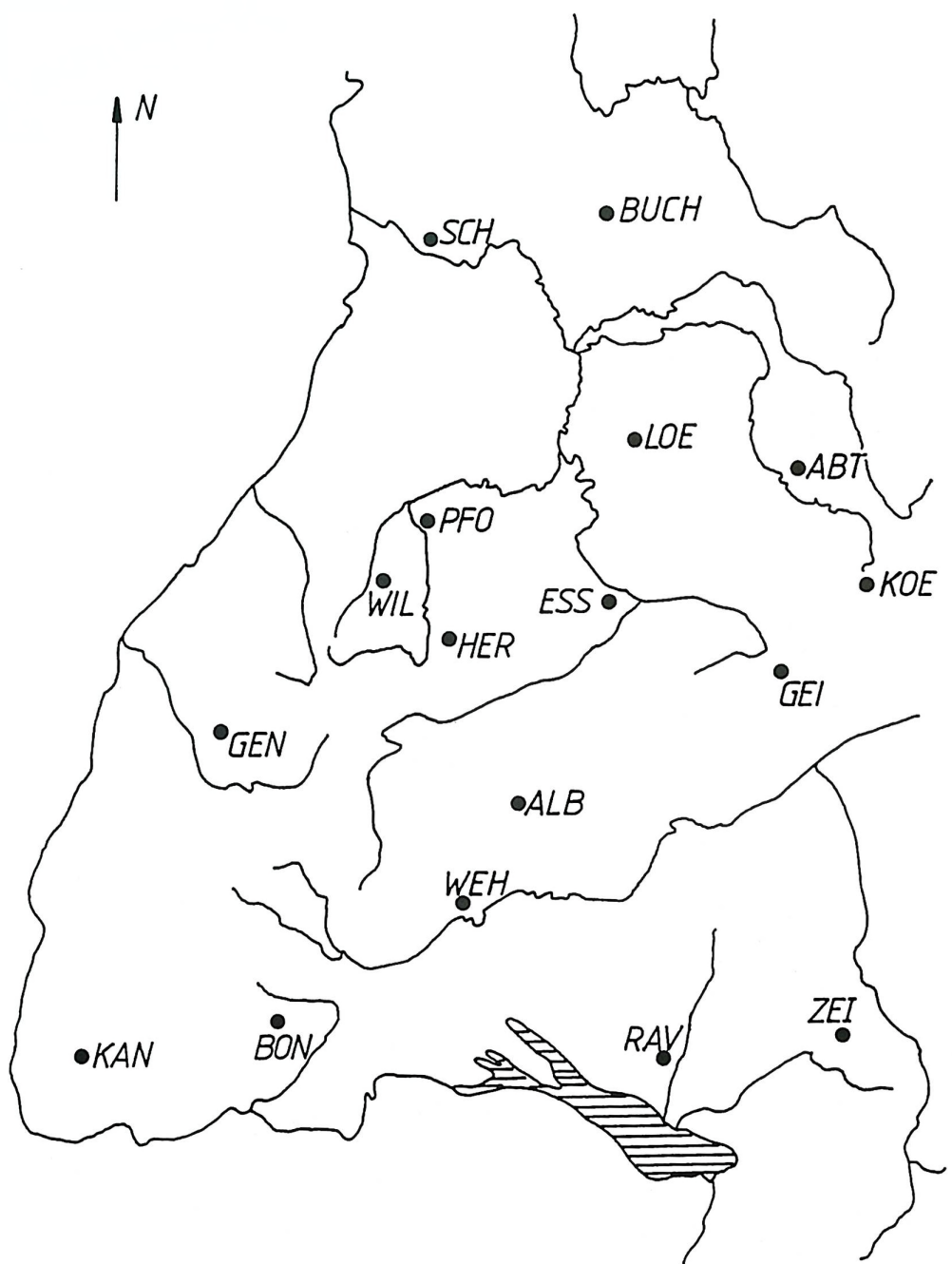
a) **"Tannensterben"**: Dem liegen die Beschreibungen von NEGER (1908) und WIEDEMANN (1927) zugrunde. Mit Ausnahme der "klassischen" Rauchschäden werden im vorliegenden Zusammenhang alle ähnlichen Phänomene bis 1970 so bezeichnet.

b) Die **"neuartigen Waldschäden"** der Tanne, auch als "Waldsterben" bezeichnet, wurden ab 1978 mehrfach symptomatologisch beschrieben (FREI-PONT, 1973; LEIBUNDGUT, 1974; WACHTER, 1977; EVERS et al., 1979; SCHUCK et al., 1980; SCHÜTT et al., 1983).

Die Forstlichen Versuchsanstalten entwickelten ein Beurteilungsverfahren, um den prozentualen Nadelverlust der Tannenkronen einzuschätzen und damit das Ausmaß der Schäden zu beschreiben. Dieses Verfahren bildet bis heute das wichtigste Beurteilungskriterium für die "neuartigen Waldschäden". Trotz seiner methodischen Grenzen gibt es bislang kein anderes Verfahren, das ebenso rasch das Ausmaß von Kronenschäden beschreibt.

c) Die **"Walderkrankung der Tanne"**: In der vorliegenden Arbeit wird dieser Begriff für die untersuchten Schäden an der Tanne verwendet. Anfänglich wird dieser Begriff nur für die Symptome und Symptomkombinationen stark geschädigter Tannen gebraucht, später dann auf die Äste mit vorzeitigem Nadelverlust ausgedehnt.

Dies ermöglicht auch jene Tannen einzubeziehen, die zwar nur geringe oder mittlere Nadelverlustschäden haben, ansonsten aber sehr spezifische Symptome der Walderkrankung aufweisen.



ABT	- Abtsgmünd	GEN	- Gengenbach	RAV	- Ravensburg
ALB	- Albstadt	HER	- Herrenberg	SCH	- Schönauf/Odw.
BON	- Bonndorf	KAN	- Kandern	WEH	- Wehingen
BUCH	- Buchen/Odw.	KOE	- Königsbronn	WIL	- Wildbad/Schww.
ESS	- Esslingen	LOE	- Löwenstein	ZEI	- Leutkirch-Zeil
GEI	- Geislingen	PFO	- Pforzheim		

Abb. 1: Standorte des "Fällungsprogramms Baden-Württemberg, 1984/85".

Abschnitt B: Material und Methoden

Diese Arbeit gründet auf drei größere Untersuchungsreihen und mehrere kleinere Ergänzungen. Mit vergleichsweise einfachen Verfahren werden die Strukturen der Krone, des Stamms und der Wurzel untersucht.

M/1. Die Probestämme und ihre Standorte.

1) Das "Fällungsprogramm Baden-Württemberg 1984/85" grenzte die Wechselbeziehung zwischen den Symptomen der Walderkrankung und einigen anderen Stamm- und Kronenmerkmalen ein. Dabei wurde deutlich, daß eine ungünstige soziologische Stellung im Bestand erst die Voraussetzungen schafft, in deren Folge später evtl. stark geschädigte Tannen entstehen können (Kapitel II bis V und VIII bis X).

Das "Fällungsprogramm Baden-Württemberg 1984/85" ging vom Institut für Forstbenutzung, Freiburg, aus. Die Mitarbeiter des Botanischen Instituts in Hohenheim konnten sich mit ihren Fragestellungen diesem Projekt anschließen.

Bei diesem Fällungsprogramm wurden an 17 Standorten in Baden-Württemberg jeweils sechs Tannen ausgewählt, beurteilt und gefällt: Zwei Tannen waren nicht oder nur wenig geschädigt, zwei Tannen hatten mittlere Kronenschäden, zwei Tannen waren stark geschädigt. Alle Tannen standen zusammen mit Fichten (und z.T. Buchen) in erntereifen, einschichtigen Altersklassenwäldern und hatten mindestens 40 cm Stammdurchmesser. Die Standorte lagen in den wichtigsten Tannenwuchsgebieten Baden-Württembergs zwischen ca. 330m und 950m Meereshöhe. Die Gesteinsarten reichten von Granit über Buntsandstein, Muschelkalk, Keupersandstein, Jurakalk bis hin zu Süßwassermolasse. Auch das Spektrum an Böden war reichhaltig, von flach- bis mittel- und tiefgründigen Böden, von sandigen bis zu lehmigen Böden mit mittlerer bis guter Nährstoffversorgung.

Die Abb. 1 zeigt die Lage der 17 Standorte in Baden-Württemberg. Abb. 2. (Anhang) gibt eine tabellarische Übersicht über die jeweiligen Standortsbedingungen. Die Daten wurden von der Forstlichen Versuchsanstalt Freiburg erhoben und mir freundlicherweise überlassen. In Abb. 3 (Anhang) sind schließlich die einzelnen Tannen, ihre wichtigsten Baummerkmale und Schadsymptome dargestellt. Die Daten über Baumlänge, Kronenlänge und den prozentualen Nadelverlust wurden mir freundlicherweise von Dr. HOEWECHE überlassen.

2) Fällungen im Gemeindewald Besenfeld, Nordschwarzwald, 1988/89. Diese Untersuchungen (Tanne 1-47) befaßten sich mit den Astsymptomen, dem Aufbau der Tannenkronen, den Entwicklungsgängen von Wurzel und Krone und den Wechselbeziehungen zwischen beiden (Kapitel VI bis VII und XI bis XII). Dabei deutete sich an, daß anscheinend die Leistungsfähigkeit von Wurzel und Krone eng aufeinander abgestimmt sind. Diese Tannen in Besenfeld standen in einem Ta-Fi-(Bu)-Plenterwald auf der Hochfläche des Nordschwarzwalds im Buntsandstein. Ursprünglich war dieser Waldstandort in mehrere schmale Parzellen Privatwald aufgeteilt und ging erst vor wenigen Jahren in Gemeindebesitz über. Der sehr heterogene Bestandesaufbau läßt sich auf die unterschiedliche Nutzung dieser Parzellen zurückführen. Der Standort

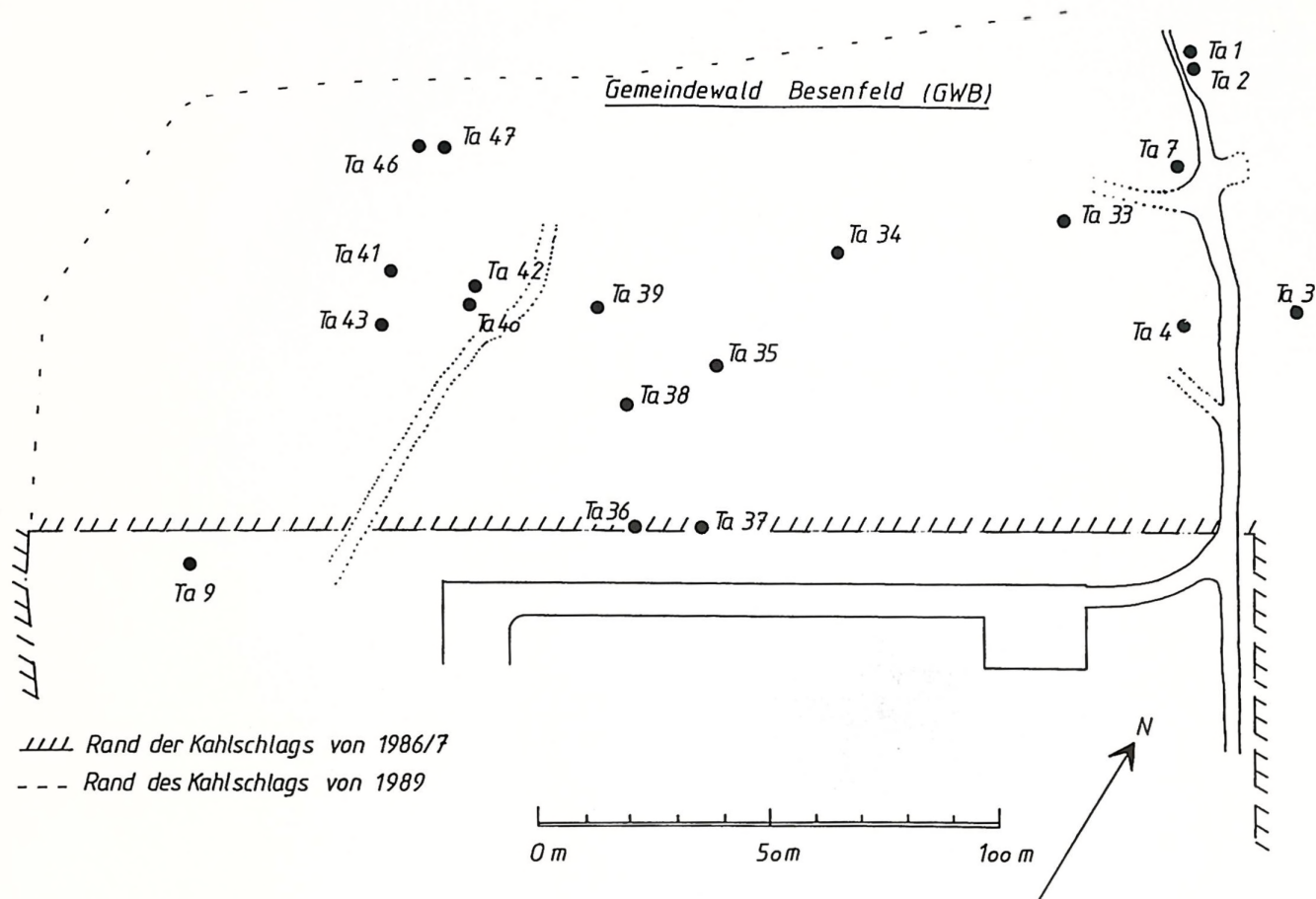


Abb. 4: Lageplan der gefällten Tannen in Besenfeld, 1988/ 89.

ist tiefgründig, skelettarm, an wenigen Stellen vernäht, teilweise von alten Entwässerungsgräben durchzogen. Der Boden setzte sich aus sandigem Schluff zusammen; an einer Vernässungsstelle bei GWB Ta 1 u.2 war toniger Sand und Staunässe mit Marmorierungen in 80 cm Tiefe; pH-Wert im Oberboden: etwa 5,5.

Abb. 4 zeigt die Lage der bearbeiteten, mittelhohen Tannen in Besenfeld. **Abb. 5** (Anhang) enthält die wichtigsten Merkmale und Schäden der untersuchten Tannen.

3) Dauerbeobachtungen an Bäumen im Forstbezirk Klosterreichenbach, 1989.

Um die Entwicklung des Gesundheitszustands von Fichten und Tannen langfristig zu verfolgen, wurden auf mehreren Standorten im Forstbezirk Klosterreichenbach zur Analyse des Jahrringwachstums Stämme von Tannen und Fichten angebohrt, die Kronen differenziert beschrieben und mehrfach im Laufe der 5 Jahre fotografiert. Die Bäume waren unterschiedlich alt und gehörten verschiedenen soziologischen Klassen an.

Bei diesen Bäumen bestätigte sich in größerem Umfang, daß eine Tanne sich auf verschiedene Weise umstrukturiert, wenn ihr Wuchsraum größer wird. Dies ist offensichtlich ein ganz natürlicher Vorgang. Nur in gravierenden Fällen führen diese Anpassungsvorgänge zu vorzeitigen Nadelverlusten und den anderen Symptomen der Walderkrankung. Die Standorte liegen alle im Bereich des Buntsandsteins, überwiegend in Kammlage oder im Bereich des Oberhangs zwischen 700m und 900m über dem Meerespiegel, also genau in jenem Gebiet des Nordschwarzwalds, wo seit Jahren die stärksten Tannenschäden beobachtet werden (ANONYMUS, 1986; ANONYMUS, 1991). Die Böden sind bei einigen Standorten tiefgründig mit z.T. großem Lehmannteil (Hartmannsteige, Hardtwald, Schönegründer Wald, Königswart), bei anderen ist der Sandanteil deutlich größer und deutlich flachgründiger, Hanglagen mit früheren Devationen (Stöcker Kopf, Rauwäldle).

Abb.6 zeigt die Lage der Standorte im Forstbezirk Klosterreichenbach. **Abb.7** (Anhang) ist eine Auflistung der verschiedenen Standortsbedingungen. Aus **Abb.8** (Anhang) gehen Baummerkmale und Kronenschäden der Dauerbeobachtungstannen hervor. Zusätzlich zu diesen drei größeren Untersuchungsreihen wurden noch weitere Analysen durchgeführt:

4) Fällung Hartmannsteige/Klosterreichenbach, 1988. Im Dezember 1988 wurden am Standort Hartmannsteige 12 Tannen gefällt; diese waren teils gesund, teils walderkrankt. Dabei wurde von uns am Stammfuß und in der Krone jeweils eine Stammscheibe entnommen und der Zusammenhang zwischen Größe des Splints, Stärkespeicherung und lebenden Markstrahlzellen (TTC-Test) überprüft (Kapitel XIV/3).

5) Freistellung unterständiger Tannen. Besenfeld, 1991. Ab Sommer 1991 gelang in Besenfeld eine Gegenprobe zu den bis dahin gewonnenen Ergebnissen. Am Rande des unter 2) aufgeführten Kahlschlags traten nämlich mit einer zeitlichen Verzögerung von einigen Jahren die charakteristischen Symptome der Walderkrankung auf. Dabei wurde deutlich, daß das Austreiben der neuen Astreiser nicht zwangsläufig an ein verringertes Höhenwachstum gekoppelt ist. Damit wurde auf andere Weise offenkundig, daß bei der Walderkrankung sich sowohl normale Vorgänge wie auch eindeutig pathologische Prozesse überlagern (Kapitel XIII).

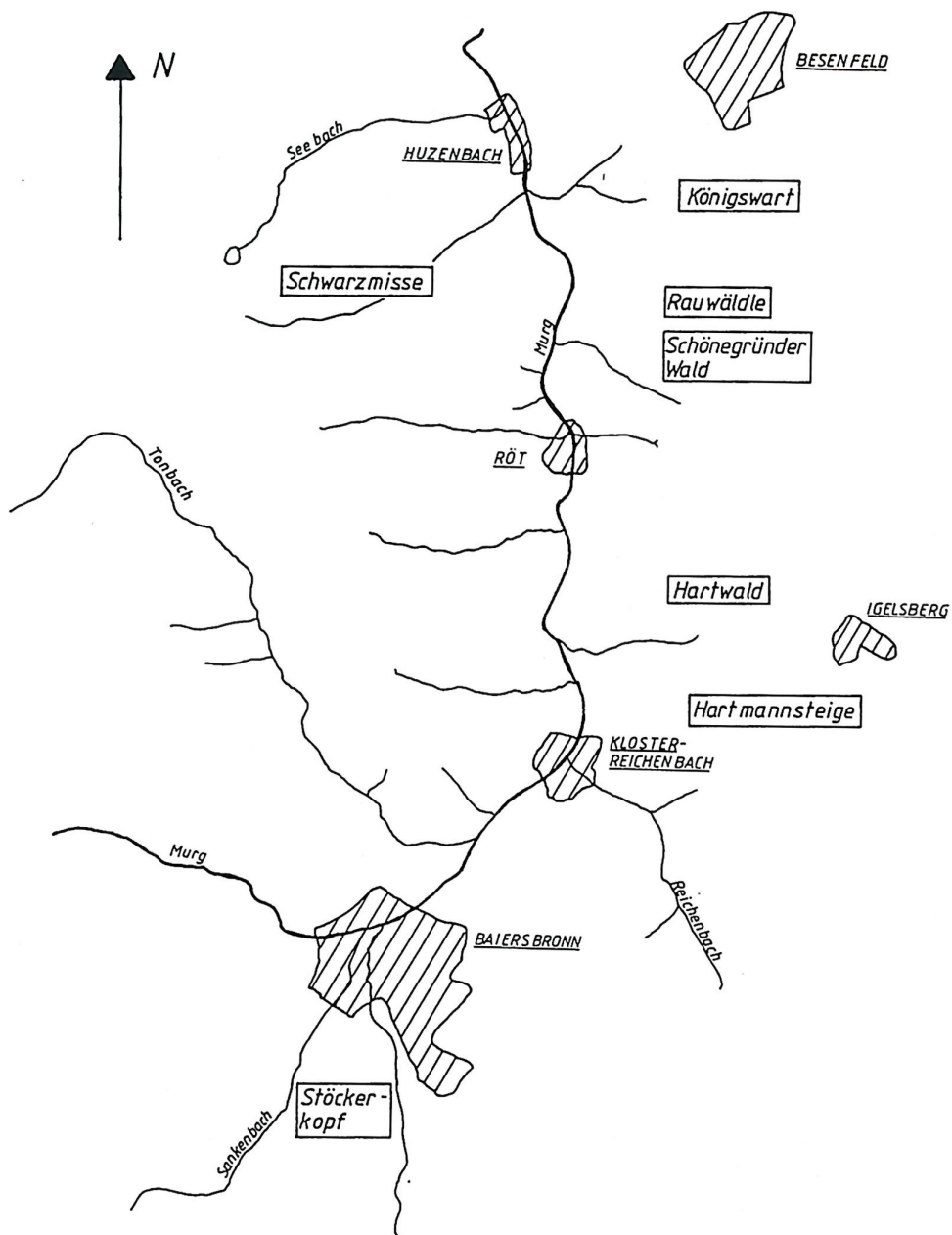


Abb. 6: Standorte der Dauerbeobachtungsbäume im Forstbezirk Klosterreichenbach.

Dies änderte die Ausgangsposition für die Überlegungen zu den hormonellen Steuerungsvorgängen (FRENZEL et al., 1987; CHRISTMANN, 1994; vgl. Diskussion: 8. Zu einer physiologischen Definition der Walderkrankung). **Abb.9** (Anhang) listet die Baumdaten der untersuchten, unterständigen Tanne auf.

6) Einfache, ökophysiologische Untersuchungen. Standort Hardtwald, Forstbezirk Klosterreichenbach, 1991. Schon geraume Zeit war ein veränderter Wasserhaushalt als Ursache für vorzeitige Nadelverluste in Verdacht geraten, z.B. in der zeitlichen Abfolge des Todesdatums der angrenzenden Baumstümpfe, des Auftretens neuer Folgetriebe, des veränderten Stammwachstums und der vorzeitigen Nadelverluste an den Ästen. Da die Nadeln walderkrankter Tannen in ihrem Wasserhaushalt aber keine besonders hohen Extremwerte zeigen (KETTNAKER, 1986), entstand die Frage, ob durch zu kleine Leitflächen nur zeitweilige Engpässe bei der Wasserversorgung der Äste auftreten können (Kapitel XIV). Dies wurde im Sommer 1991 mit Potometern am Standort Hardtwald, Forstbezirk Klosterreichenbach, untersucht (Abb.6).

7) Beobachtungen zu Nadelverfärbungen und Nadelfall. Hier galt es zwischen regulären und pathologischen Veränderungen zu unterscheiden. Diese Beobachtungen wurden überwiegend im Forstbezirk Klosterreichenbach an den Dauerbeobachtungstannen (vgl. oben) und zusätzlich auf den Standorten Kleemisse, Königswart und Stöckerkopf gemacht (Kapitel XII/19).

8) Weitere Ergänzungen. Erwähnt werden weitere Beobachtungen und Einzeluntersuchungen am Standort Schrofel, Forstbezirk Klosterreichenbach, z.B. Röt Tanne 7/5 und eine Fällaktion unter Leitung von Prof. Dr. ABETZ und Dr. GERECKE vom Institut für Waldwachstum, Universität Freiburg. Hier wurden nur gut bekronte, vorherrschende Tannen aus Baden-Württemberg untersucht (GERECKE, 1988).

M/ 2. Methoden und Parameter.

1) Übersicht der angewandten Methoden. Im Laufe der Untersuchungsarbeiten änderten sich mehrfach die Vorgehensweisen: Um spezifische pathologische Veränderungen herauszufiltern, galt es zunächst, möglichst viele, verschiedene Parameter zu sammeln und miteinander zu vergleichen. Anschließend zeichnete sich ab, daß man bei verringertem Wachstum zwischen den Wirkungen von Lichtmangel und Walderkrankung zu unterscheiden hat. Es wurden auch Größe und Wachstum der Wurzeln und die Symptome an den Ästen in das Bild über die Walderkrankung miteinbezogen. Schließlich gelang es immer mehr, zwischen regulären Wechselbeziehungen und den pathologischen Veränderungen zu unterscheiden.

Eines der Kennzeichen für eine stark geschädigte Tanne ist ein verringertes Wachstum (NEGER, 1908; WIEDEMANN, 1927; EVERS et al., 1979; SCHUCK et al., 1980; u.v.a.). Als ideal erschien zunächst, die Biomasse einer Tanne jahrgangsweise zu erfassen, um dieses geringere Wachstum quantitativ zu erfassen und die besonders betroffenen Organe zu lokalisieren. Über die Länge der Jahrestriebe und die Breite der Jahrringe

von Wurzel, Stamm und Ästen wäre dies vom Prinzip her möglich. Doch der Aufwand dafür ist unermesslich groß. Außerdem ließen sich für die Biomasse der Nadeln nur etwa 8 Jahrgängen erfassen. So wurde als erste Näherung für die Größe der Wachstumsvorgänge wie in der Vergangenheit begonnen, die Jahrringe im Stamm zu vermessen und dann das Höhenwachstum einzubeziehen. Ergänzt wurde dies durch Messungen zum Dicken- und Längenwachstum der Wurzel (zwei Tannen, Kapitel VII/8 und 9) und zum Längenwachstum der Astachsen (neun Kronen, Kapitel XI/3 bis 7).

Alle diese verschiedenen Wachstumsvorgänge sind von der Assimilatmenge abhängig und diese wieder von der Photosyntheseleistung der Nadeln. Rätselhaft war nun, ob das verringerte Wachstum verursacht wurde durch eine geringere Leistungsfähigkeit der einzelnen Nadeln, oder durch den Verlust an Nadeln, oder durch Blockaden im Assimilattransport, oder durch eine mangelhafte Umsetzung der Assimilate zu Zellstrukturen. In der vorliegenden Arbeit wurde mit morphologischen Methoden versucht, näherungsweise die Größe des Assimilationsorgans (die Nadelmenge) zu erfassen, und dies dann mit verschiedenen Wachstumsvorgängen zu vergleichen. Im Laufe der Untersuchungen wurden die verschiedenen Größen differenzierter erfaßt und hinsichtlich der Fragestellungen ergänzt.

2) Dickenwachstum des Stamms. Der jährliche Stammzuwachs wurde an Bohrkernen oder an Stammscheiben mit dem Jahrringmeßgerät des Instituts für Botanik, Hohenheim, gemessen, gemittelt und aufgezeichnet (LAIBLE, 1987; WEISS, 1991).

- Beim Fällungsprogramm Baden-Württemberg 1984/85 wurden dazu in 1,3m Stammhöhe zwei gleichförmig gewachsene Radien ausgewählt (ohne sog. "Verziehungen"; Kapitel III bis V).

- Bei den Dauerbeobachtungstannen im Forstbezirk Klosterreichenbach (1989) wurden jeweils zwei oder drei Bohrkern aus ca. 2m Stammhöhe vermessen.

- Im Wipfelbereich der Tannen aus Besenfeld (1988/89) wurden die Jahrringe quantitativ ausgewertet: Vier Radien wurden kreuzweise gemessen und anschließend gemittelt (Kapitel XII).

Möchte man die Jahrringbreiten unter dem Gesichtspunkt des Wachstumsverlaufs beurteilen, so gilt es zu bedenken, daß bei einer jährlich gleich großen Kreisfläche die Jahrringe aus geometrischen Gründen immer schmaler werden (NÖRLINGER, 1871; NEGER, 1908; RUBNER, 1910; ASSMANN, 1961; SCHWEINGRUBER, 1993; GERECKE, 1988).

Um nun bei den stark geschädigten Tannen die extremen Zuwachsrückgänge als Merkmal günstig handhaben zu können, wurden "Phasen mit schmalen Jahrringen" definiert: Die Jahrringe werden plötzlich um mehr als 50% schmaler als zuvor und sind dann dünner als 1mm. Dies entspricht auch einer visuell deutlich abgrenzbaren Bande mit schmalen Jahrringen.

Bei Ringausfällen wird zwischen den "Totalausfällen" und sog. "auskeilenden Jahrringen" unterschieden. Totalausfälle lassen sich durch Vergleich mit anderen Stammscheiben desselben Baums, anderer Bäume derselben Gegend oder einer zuverlässigen Jahrringmittelkurve ausfindig machen. "Auskeilende" Jahrringe erkennt man auf einer

Stammscheibe, wenn man einen Ring ringsherum verfolgt (vgl. auch SCHWEINGRUBER, 1993).

Weiterhin ist zu berücksichtigen, daß die Jahrringe innerhalb eines Baumes auf verschiedenen Stammhöhen unterschiedlich breit sind (Kapitel XI). Es wurde nach Möglichkeit 1,3m bis 2,5m Stammhöhe ausgewählt.

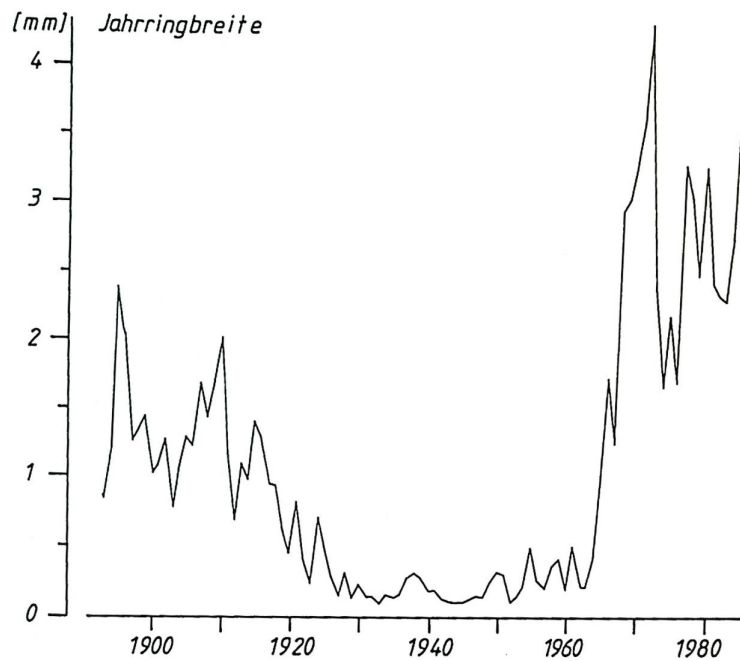
Die Breite der Jahrringe wird in der Regel als Einzelwert auf einer Zeitachse abgetragen. (**Abb 10a**). Die Ringbreite kann dabei entweder linear oder logarithmisch aufgetragen sein. Diese Zickzackkurven haben sich bei dendrochronologischen Fragestellungen sehr gut bewährt, doch eignen sie sich weniger, wenn man von mehreren Bäumen sehr unterschiedliche Entwicklungsverläufe gleichzeitig vergleichen möchte. Im Hinblick auf eine überschaubare Auswertung der Jahrringentwicklungen wurde daher eine Besonderheit der Tanne ausgenutzt, nämlich ihr **epochenweises, gleichmäßiges Wachstum**. Dieses vergleichsweise konstante Wachstum der Tanne wird deutlich, wenn man auf einer Stammscheibe die Ringe über die Jahre hinweg visuell verfolgt oder wenn man die Jahrringbreiten in der summierten Form darstellt (**Abb.10b**): Die Steigung der Kurve ist über viele Jahre hinweg fast gleichmäßig und wechselt dann in wenigen Jahren zu einer neuen Steigung, einer neuen Zuwachsrate. Diese summierte Form der Jahrringkurven läßt sich noch weiter vereinfachen. Dazu wird aus der Grafik die Steigung dieser Kurvenabschnitte bestimmt, als mittlere Jahrringbreite umgerechnet und dann als waagerechte Linie in einem Diagramm abgetragen (**Abb.10c**). Damit lassen sich - zwar in vereinfachter Form, aber übersichtlich - die langfristigen Entwicklungen des Stammwachstums mehrerer Bäume eines Standorts darstellen (Kapitel III/8).

3) Dickenwachstum der Wurzel. Ursprünglich war bei der Untersuchung geplant, über die Anzahl der Jahrringe das Alter und die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wurzeläste zu bestimmen. Dies mißlang, da bei schlechtem Stammwachstum die Tannenwurzeln sehr viele Ringausfälle aufweisen (Kapitel VI/5). Daher mußte eine andere Vorgehensweise für die Altersbestimmung der Wurzeln entwickelt werden. Die Wurzeläste wurden dazu jeweils im Abstand von 10cm zerschnitten und die Jahrringe gemessen. Da die Wurzeln unregelmäßig und sehr exzentrisch wachsen, wurde jeweils nur an der breitesten Stelle eines Jahrrings gemessen. Die Jahrringkurven dieser 10cm-Wurzelabschnitte wurden miteinander verglichen. Vom Stammfuß ausgehend, wurden so nach und nach die Ringausfälle (Totalausfälle) entlang der Wurzeläste lokalisiert.

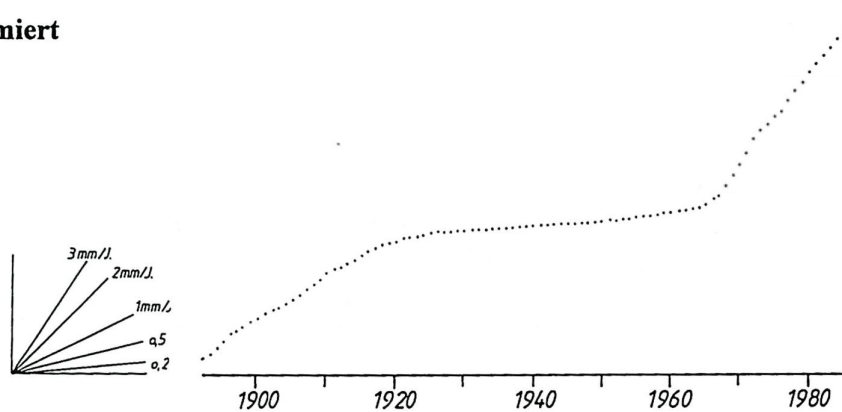
4) Datierungen von Baumstubben. Um das Fälljahr der angrenzenden Bäume zu rekonstruieren, wurden die Baumstubben nochmals abgesägt, um Proben zu erhalten und über die Jahrringe das Fälljahr bestimmt. Dies machte z.T. enorme Schwierigkeiten, da der Stammfuß durch die Wurzelanläufe sehr ungleichmäßig wächst und gerade in diesem Stammbereich bevorzugt Ringausfälle auftreten. In Extremfällen gelang es außerdem über die Ansatzstellen der großen Wurzeläste, das Fälljahr doch noch sicher zu datieren.

5) Dickenwachstum der Astachsen. Um hier eine gesicherte Aussage zu erhalten, muß man sehr viele Äste beurteilen. Daher wurde folgende Vereinfachung angewandt:

a) linear



b) summiert



c) vereinfacht.

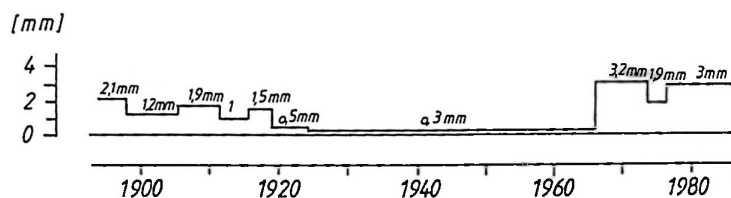


Abb. 10: Zur Darstellung von Jahrringbreiten; a) linear b) summiert c) vereinfacht.
Vgl. Text. Beispiel: Tanne 7/5, Röt, Forstbezirk Klosterreichenbach

Mit der Lupe wurde am Astansatz nur der Zeitpunkt bestimmt, ab welchem Jahrring das Wachstum deutlich besser oder schlechter wurde.

6) Durchmesser von Stamm- und Astachsen. Setzt an einer Tanne eine Wuchstockung ein, so wird der äußere Durchmesser entlang eines Stamms oder einer Astachse u.U. stellenweise plötzlich kleiner als üblich. Um diese Beobachtungen zu objektivieren und zu quantifizieren, wurden die äußeren Durchmesser der Astachsen 1. Ordnung vom Astansatz bis zur Astspitze mit der Schieblehre vermessen: Immer in der Mitte der Jahrestriebe wurde der Durchmesser bestimmt. Ebenfalls in der Mitte der Jahrestriebe wurde auch der Durchmesser der Stammachse bestimmt. Dazu wurde mit einer Kluppe mit mm-Skalierung kreuzweise vermessen.

7) Das jährliche Höhenwachstum des Stamms. Die Quirlabstände wurden mit dem Maßband bestimmt. Beim Messen gab es z.T. Schwierigkeiten durch Zwischenquirltriebe, Wipfelbrüche, Verwachsungen, Klebäste, enge Quirlabstände oder wenn pro Quirl nur ein Ast ausgebildet wurde. Mit zusätzlichen Stammscheiben aus verschiedenen Stammbereichen wurde das Höhenwachstum überprüft bzw. mit der Anzahl der Jahrringe korrigiert. Die Genauigkeit der Höhenwachstumskurven schwankt etwa um +/- ein Jahr.

8) Die Länge der Ast-Jahrestriebe wurde ebenfalls mit dem Maßband erfaßt. Da die Äste zum Messen abgeschnitten wurden, ist die Länge des 1. Jahrestriebs eines Astes jeweils ungenau angegeben.

10) Das Längenwachstum der Wurzel wurde nur exemplarisch bestimmt, da der Datierungsaufwand für die Jahrringe enorm aufwendig ist (vgl. oben). Aus den regelmäßigen Abständen der Wurzelscheiben und dem jeweiligen Altersunterschied war es näherungsweise möglich, das Längenwachstum zu rekonstruieren. Dies eröffnete einen ersten Einblick in die Wachstumsprozesse der dickeren Tannenwurzeln.

11) h/d-Wert und die h/d-Wert-Entwicklungen des Stamms. Das Verhältnis von Baumhöhe (h) zu Stammdurchmesser (d) wird als h/d-Wert bezeichnet. Dazu wurde die Länge des Stamms und sein Durchmesser in 1,3m Höhe (mit Rinde) vermessen. Die h/d-Wert-Entwicklungen, also die h/d-Werte eines Baumes in den einzelnen Lebensjahrzehnten, wurden aber aus den datierten Jahrringen der Stammscheiben (ohne Rinde) und aus der entsprechenden Stammhöhe (Höhenkurve) rekonstruiert. Bei der Interpretation der h/d-Werte ist allerdings Umsicht gefordert. Im Altersklassenwald sind alle Bäume etwa gleich hoch, doch die Stämme je nach Konkurrenzdruck unterschiedlich dick. Vergleicht man die Tannen eines solchen Bestandes untereinander, so lassen sich mit den h/d-Werten die Unterschiede im Konkurrenzdruck aufzeigen.

An die Grenzen der Interpretation stößt man jedoch, wenn man Bestände unterschiedlicher Höhe oder sehr unterschiedliche Standorte miteinander vergleicht. Daher wurden beim Fällungsprogramm Baden-Württemberg 1984/85 die Diagramme sehr verschiedenartig aufgebaut und nur im Zusammenhang miteinander interpretiert. Das Günstige war dabei, daß alle Tannen aus ähnlich hohen und ähnlich strukturierten

Altersklassenwäldern stammten (BADOUX, 1935; LEIBUNDGUT, 1945; ZIMMERLE, 1951; ABETZ, 1976, 1979, 1983; ERTELD, 1979; ROZSNYAY, 1979; GERECKE, 1988, 1991).

Ausgesprochen schwierig wird die Interpretation von h/d-Werten in Plenterwäldern und bei Tannen mit großem Klebastmantel. Unterständige Tannen sind allseits von Lichtmangel umgeben. Sie haben merkwürdigerweise wie vorherrschende Tannen einen relativ kleinen h/d-Wert (eigene Untersuchungen; ZIMMERLE, 1951). Im Gegensatz dazu haben mitherrschende Tannen einen vergleichsweise großen h/d-Wert. Sie hatten den Lichtmangel nur von der Seite zu spüren bekommen. Tannen mit großem Klebastmantel, schließlich, waren meist zuvor mitherrschend. Dies erkennt man rasch an ihrer kurzen Quirlastkrone. Ein Klebastmantel verkleinert anscheinend den h/d-Wert (mündliche Mitteilungen Prof. ABETZ; vgl. Kapitel IX/5 und 6).

12) l/d-Wert der Äste. Dieser Quotient wird aus dem Verhältnis von Astlänge zu Astdurchmesser (ca. 10cm vom Astansatz entfernt) bestimmt. Innerhalb einer Krone lassen sich mit diesen l/d-Werten Sonnen- und Schattenäste von einander unterscheiden (MAYER-WEDELIN, 1936; DIETRICH, 1963). Dies gilt aber vermutlich nur für jene Tannenäste, die überwiegend Primärbenadelung haben. Wenn die Primärbenadelung abgestorben ist, z.B. dadurch, daß die Astspitze in eine andere Krone hineingewachsen ist, so verlängern solche alten Quirläste nicht mehr ihre Gesamtlänge. Hat dieser Ast aber noch vitale Astreiser, so wächst er noch gut in die Dicke.

13) Zu den Ausmaßen der assimilierenden Flächen. (BADOUX, 1935; BURGER, 1939, 1942; KÖSTLER, 1955; ASSMANN, 1956; SOMMER, 1961).

Kronenlänge. In einer ersten Annäherung läßt sich die Größe der Assimilationsfläche durch die Kronenlänge beschreiben. Ist eine Krone einseitig länger, oder hatte eine Tanne viele Klebäste, so wurde dies in den Diagrammen immer zusätzlich vermerkt.

Kronenschirmfläche. Genauer erfassen läßt sich die Größe des Assimilationsorgans der Tanne, wenn man die seitliche Ausformung der Krone mitberücksichtigt, z.B. mit Hilfe der Kronenschirmfläche. Hierzu wird die senkrechte Projektionsfläche der Krone in 8 Himmelsrichtungen vermessen, jeweils vom Stammzentrum bis zum Rand der Krone.

Sonnen- und Schattenäste. Um auch die Leistungsfähigkeit der Äste berücksichtigen zu können, ließe sich der Anteil der Sonnen- und Schattenäste bestimmen. In der vorliegenden Arbeit wurde diese Gewichtung indirekt durch die Länge der Sonnenkrone erreicht (Kapitel XV).

"Benadelte Astflächen". Dieser Parameter wurde eingeführt, um zwischen der Nadelmenge ähnlich großer Tannen zu unterscheiden. Mit dem Meterstab wurden Länge und Breite jenes Abschnitts eines Ast vermessen, der benadelt ist. Mit einem Formfaktor (1/2 für Dreieck, 1 für Rechteck) und dem Deckungsgrad des benadelten Astes wurde dann der erhaltende Wert multipliziert. Auf diese Weise wurde die benadelte Astfläche aller Äste einer Tannenkronen vermessen; Dieses Vermessen wurde vereinfacht, indem nur ein repräsentativer Ast pro Quirl vermessen und anschließend mit der Anzahl der Äste dieses Quirls multipliziert wurde.

14) Der prozentuale Nadelverlust der Tannenkronen wurde nach den Kriterien und gemäß den Schulungen durch die Forstliche Versuchsanstalt Freiburg eingeschätzt. Im Wesentlichen wird dabei die Benadelungsdichte einer geschädigten Krone mit der einer vollständig benadelten Krone (100%) verglichen.

Beim Fällungsprogramm Baden-Württemberg 1984/85 bestimmte Herr Dr. HOEWECHE den Nadelverlust der Tannen, bei den Dauerbeobachtungsbäumen im Forstbezirk Klosterreichenbach Frau Dr. GLIEMEROTH. Bei den Tannen in Besenfeld nahm der Autor eine vereinfachte Beurteilung nach Schadstufen selbst vor. Zu den Grenzen und der Aussagekraft des offiziellen Beurteilungsverfahrens wird in der Diskussion Stellung genommen.

15) Vitalitätstest mit TTC (Triphenyltetrazolium Chlorid). Im Zusammenhang mit den Fragen zum Naßkern walderkrankter Tannen war der Verdacht aufgekommen, daß die eingeschränkte Wüchsigkeit des Stamms und der Nadelverluste durch ein Absterben des Stammholzes verursacht sein könnte. Um nun nachzuweisen, ob die Markstrahlzellen des Holzes noch leben, wurden aus frischen Stammscheiben ca. 3 cm dicke und etwa 5 cm breite Riegel herausgesägt und 4-5 Tage in eine 1%ige wässrige TTC-Lösung gelegt. Dieses Verfahren ist eine Abwandlung des Schnelltests, mit dem man die Keimfähigkeit von Saatgut überprüft. Da der gebildete rote Farbstoff sauerstoff- und lichtempfindlich ist, braucht man für die Beurteilung Stellen aus dem Inneren des Holzes. Die Holzriegel wurden daher anschließend mit dem Beil gespalten und mit einer Stereolupe sofort beurteilt. Waren die Markstrahlzellen deutlich rot gefärbt, so war dies der Nachweis, daß in diesen Zellen noch Stoffwechselvorgänge funktionierten (REISS, 1968).

16) Potometerversuche. Hinter diesen Versuchen in Kapitel XIV/4 stand die Frage, ob die Nadeln eines Schattenastes ihre Stomata vorzeitig schließen, wenn dieser Ast den klimatischen Bedingungen einer besonnten Freifläche ausgesetzt wird. Damit sollte näherungsweise überprüft werden, ob die vermuteten Engpässe im Wasserhaushalt der unteren Primärbenadelung einer Tanne überhaupt zu erwarten sind.

Zu den Potometern: Ein abgeschnittener Tannenast wird über einen Silikonschlauch mit einer Pipette verbunden. Dabei ist zu beachten, daß weder beim Abschneiden noch hinterher Luft in das Leitungssystem des Astes eindringt. Dann läßt man die Äste über Nacht in einer Plastiktüte mit Wasser sich aufsättigen. Am nächsten Morgen werden die Äste am Standort natürlichen Bedingungen ausgesetzt. Der Wasserverbrauch der Äste wird stündlich an der Pipette abgelesen. Um die einzelnen Äste miteinander vergleichen zu können, wird der Wasserverbrauch auf die Länge der benadelten Zweige eines Astes bezogen. Um die Ungenauigkeiten mit der Bezugsgröße zu umgehen und sich nicht in langen Diskussionen zu verlieren, wurde bei einigen Diagrammen der gesamte Wasserverbrauch des betreffenden Schattenastes tagsüber als 100% angesetzt und die stündlichen Werte darauf bezogen.

Diese Meßanordnung ist sehr einfach. Ihre Vorteile sind,

- daß man den Wasserverbrauch eines Astes bei maximal günstiger Wasserversorgung messen kann (evtl. Störungen aus Wurzel und Stamm lassen sich ausschalten),
- daß man damit den Wasserverbrauch aller Nadeljahrgänge eines großen Astes gleichzeitig erfassen kann,

- daß die Transportvorgänge des ganzen Xylems vom Astansatz über die Zweige bis hin zu den Nadeln miteinbezogen sind,
- daß man am Standort unter ganz regulären Bedingungen messen kann, ohne künstliche Klimatisierung und zusätzliche Ventilation.

Diese Versuchsanordnung reichte aus, um die gestellten Fragen zu beantworten.

Abschnitt C: ERGEBNISSE

Kapitel I

Überblick über die Ergebnisse.

Jener Weg wird skizziert, auf dem in der vorliegenden Arbeit Antworten zu den gestellten Fragen gefunden wurden.

I/1. Zusammenfassung.

Diese symptomatologische Arbeit unterscheidet gesunde, gefährdete und walderkrankte Tannenäste. Damit kann man das übliche Beurteilungsverfahren nach dem prozentualen Nadelverlust der Krone ergänzen und weiter differenzieren. Zusätzlich werden die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Baumorganen deutlich.

In der Hauptsache sind es zwei Faktoren, die erst im Zusammenwirken zu den Extremformen dieser Schäden führen: langwährender Konkurrenzdruck (d.h. Lichtmangel in der Krone) und das plötzliche Auftreten der Walderkrankungssymptome.

Dauer und Stärke der Wuchsstockungen und Ausmaß der vorzeitigen Nadelverluste werden im Wesentlichen von dem kleinklimatischen Wechsel in der Krone bzw. am jeweiligen Ast bestimmt. Durch das Entfernen angrenzender Bäume wechseln diese Äste von einer feuchten in eine trockenere Umgebung, oder durch einen klimatologischen Parameter ausgedrückt, die ehemaligen Schattenäste wechseln von einer Umgebung mit geringer Evaporation zu einer Umgebung mit großer Evaporation.

Als physiologischer Auslöser für die Walderkrankung läßt sich ein veränderter, aber noch nicht ganz angepaßter Wasserhaushalt am jeweiligen Ast eingrenzen.

Das eindeutigste Symptom der Walderkrankung ist vorzeitiger Nadelverlust. Ihm geht immer eine plötzliche Wuchsstockung am Ast voraus. Da nun aber nicht jeder Wuchsstockung an einem Ast auch ein vorzeitiger Nadelverlust folgt, kann man die Walderkrankung als Sonderform eines kleinklimatischen Anpassungs- und Optimierungsvorgangs ansehen.

I/2. Die wichtigsten Untersuchungs- und Erkenntnisschritte der vorliegenden Arbeit.

1) **Ausgangspunkt** dieser Arbeit über die Walderkrankung waren jene auffälligen Beurteilungskriterien, die eine stark geschädigte Tanne kennzeichnen: große Nadelverluste in der Krone, stark entnadelte "Kümmeräste", eine abgeflachte Krone und "Phasen mit schmalen Jahrringen" im Stamm. Diese Kriterien werden auch in der Fachliteratur immer wieder als charakteristische Symptome der Walderkrankung gewertet (WACHTER, 1977; EVERS et al., 1979; SCHÜTT, 1983, 1984). Sie kommen bei fast allen stark geschädigten Tannen vor. Doch versagen sie bei der Beurteilung von Tannen mit mittleren oder geringen Schäden.

In einem weiteren Schritt wurden langfristige Entwicklungen einbezogen und zwar mit der Zielsetzung, reguläres Wachstum von pathologischen Veränderungen zu

unterscheiden. Ausgewählt wurden die Parameter Höhenwachstum, Dickenwachstum und das Auftreten von Folgetrieben (Kapitel III, V und X).

Das vorläufige Endprodukt dieser Entwicklungen sind die aktuellen Ausmaße von Stamm und Krone. Diese Ausmaße wurden untereinander verglichen (Kapitel IV, IX und X).

2) Konkurrenzdruck und Walderkrankung. Durch diese verschiedenen Untersuchungsansätze kristallisierte sich eine einfache Erkenntnis heraus: Sowohl Lichtmangel als auch die Walderkrankung können das Wachstum einer Tanne deutlich beeinträchtigen. Die größte Schwierigkeit war nun, diese beiden Einflußgrößen sauber voneinander zu trennen. Doch wie soll dies geschehen, wenn man Ausmaß und Verlauf der Walderkrankung nur unzureichend kennt? Dies gelang durch ein schrittweises, vorsichtiges Vorantasten und umsichtiges Überprüfen.

Es ergab sich nämlich das Folgende: Werden die Jahrringe **allmählich** schmaler, so kann dies als ein Hinweis auf Lichtmangel gewertet werden (SCHWEINGRUBER, 1993). Denn Lichtmangel ist gleichbedeutend mit Konkurrenzdruck in der Krone und verursacht ein langsames Kleinerwerden der Jahrringbreiten. Dieser Lichtmangel entsteht, wenn die Bäume eines geschlossenen Bestandes größer werden, während die Anzahl der Bäume gleich bleibt.

Dagegen ist die Walderkrankungen durch **plötzliche**, mehrjährige Wachstumsänderungen, meist plötzliche Wuchsstockungen gekennzeichnet. Aus dem Entwicklungsgang der Jahrringbreiten im Stamm wurde deutlich:

- Eine solche Erkrankungsphase kann bei schweren Formen der Walderkrankung unterschiedlich lange andauern.
- Viele Tannen erholen sich wieder von diesen starken Wuchsstockungen ("Phasen mit schmalen Jahrringen").

Doch über den Gang der Jahrring-Entwicklung gelang es nur, die ausgeprägten Formen der Walderkrankung herauszufiltern. Der Gesundheitszustand zahlreicher anderer Tannen konnte damit aber nicht sicher beurteilt werden. Zudem war es nicht möglich, den aktuellen Zustand der Wuchsstockungen im Stamm mit dem Ausmaß der Nadelverluste in der Krone zu korrelieren (Kapitel III und IV). Diese Zusammenhänge erklärten sich erst durch die Astsymptomatologie (Kapitel XII).

Die beiden wichtigen, beeinträchtigenden Faktoren Lichtmangel bzw. Konkurrenzdruck in der Krone und die Schädigungen durch die Walderkrankungssymptome ließen sich aber mit der Entwicklung der h/d-Werte im Stamm endgültig voneinander trennen. Denn die h/d-Werte bleiben über lange Zeit fast konstant und werden durch die Wuchsstockungen der Walderkrankung selten und dann nur unwesentlich verändert (Kapitel V). In einem einschichtigen Altersklassenwald spiegeln damit die aktuellen h/d-Werte ungefähr den Konkurrenzdruck der vergangenen Jahrzehnte wider. Unterständige Tannen sind von dieser Beurteilung durch h/d-Werte ausgeschlossen (Abschnitt "Material und Methoden").

Wie bereits die Jahrring-Entwicklungen vermuten ließen, entstehen stark geschädigte Tannen nur durch das Zusammentreffen von langwährendem Konkurrenzdruck und dem plötzlichen Auftreten von Walderkrankungssymptomen. Fehlt einer dieser beiden Faktoren, so fehlen auch die Extremformen der stark geschädigten Tannen. Im

Vergleich dazu lassen sich vorherrschende Tannen fast nie der Schadstufe 3 zuordnen. Auch zeigen sie im Stamm keine "Phasen mit schmalen Jahrringen". Bestätigt wurde dies durch die Auswertungen in den folgenden Kapiteln und umfangreiche Beobachtungen.

Bei der Beurteilung einer walderkrankten Tanne hat es sich nun bewährt, die Wachstumsentwicklungen zeitlich zu unterteilen: die Entwicklung bis zum Auftreten der ersten Walderkrankungssymptome und die Entwicklung danach. Der erste Entwicklungsabschnitt zeigt die "Konstitution" einer Tanne an. Im Wesentlichen spiegelt sie den Wuchsraum in der Krone wider, ausdrückbar auch mit der soziologischen Stellung im Bestand (vorherrschend, herrschend, mitherrschend, zwischenständig, unterständig). Diese Konstitution einer älteren Tanne hat sich über viele Jahrzehnte hinweg entwickelt.

3) Dauer der Walderkrankung. Zieht man das Dickenwachstum des Stamms als Beurteilungsparameter heran, so dauert die Walderkrankung in den meisten Fällen nur etwa 10 bis 20 Jahre. Danach ist das Dickenwachstum wieder besser. Nur in wenigen Fällen dauert die Wuchsstockung länger oder führt zum Absterben.

Beurteilt man dagegen eine Tanne nach dem Schädigungsgrad der Krone (prozentualer Nadelverlust), so zeitigt dies andere Ergebnisse. Die Ursache ist in verschiedenen methodischen Schwierigkeiten zu suchen, z.B. in der Tatsache, daß sogar wüchsige Astreiser lange Zeit brauchen, um das Bild einer geschädigten Krone in ein ungeschädigtes zurückzuverwandeln.

4) Konstitution und Walderkrankung. Die Wuchsstockungen der Walderkrankung können i.d.R. nicht über die ursprüngliche Konstitution hinwegtäuschen (z.B. Form der Kronenschirmfläche, relative Kronenlänge, Kronendurchmesser, h/d-Wert des Stamms, u.a.).

Treten bei einer Tanne irgendwann die Symptome der Walderkrankung auf, so läßt sich verallgemeinern: **Je weniger Konkurrenzdruck (bzw. Lichtmangel) eine solche Tanne zuvor hatte, desto günstiger sind die Voraussetzungen für ihre weitere Entwicklung.**

5) Wichtiges Teilergebnis. Unabhängig davon, welche Ursachen der Walderkrankung zu Grunde liegen mögen, so ist dieser Zusammenhang zwischen Konstitution und Walderkrankung doch sehr ermutigend. Denn die Erziehung von vorherrschenden und herrschenden Bäumen ist das Bewirtschaftungsziel im Forst. Daher besteht die Hoffnung, daß sich mit geeigneten waldbaulichen Maßnahmen die stark geschädigten Tannenkronen und die gravierenden Wuchsstockungen des Stammholzes evtl. vermeiden lassen.

6) Astsymptomatologie (Kapitel XII). Dieses Zusammenspiel von Lichtmangel (bzw. Konkurrenzdruck) und das Auftreten von Symptomen der Walderkrankung bestätigt sich durch die Astsymptomatologie: Von vorzeitigen Nadelverlusten sind bevorzugt jene Äste betroffen, die auf Grund ihrer Stellung innerhalb der Krone (z.B. alte Seitenzweige) oder auf Grund ihrer Stellung zu angrenzenden Bäumen (z.B. die längsten

Quirläste der Krone) zuvor schon im Schatten (Lichtmangel) waren und dann durch Baumentnahme einen enormen kleinklimatischen Wechsel mitmachten.

Ein sicheres, pathologisches Merkmal sind vorzeitige Nadelverluste: Trotz genügend Licht fallen die Nadeln an einem Tannenast ab.

Mit zwei Nachweisen gelang der wesentliche Durchbruch in der Astsymptomatologie und damit auch in der gesamten morphologischen Symptomatologie der Walderkrankung:

- Ein walderkrankter Ast hat zuerst Wuchsstockungen, dann erst folgen vorzeitige Nadelverluste.
- Verändert man das Kleinklima um eine Tanne, so können walderkrankte Tannenäste und die anderen Symptome der Walderkrankung entstehen.

7) Zeitliche Abfolge der Symptome. Hierbei gibt es folgende Sequenz: Zuerst tritt eine Wuchsstockung an einem Teil der Äste auf. Zur selben Zeit wird an der Stammachse der neue Höhentrieb nicht mehr so lang wie vorher, weniger Zwischenquirltriebe und weniger Quirläste werden angelegt, die Jahrringe im Stamm werden in vielen Fällen ebenfalls schmaler. Zwei bis drei Jahre später treiben neue Astreiser und Klebäste aus.

An jenen Quirlästen, die von Wuchsstockungen betroffen worden waren, kann mit einer zeitlichen Verzögerung von etwa 4 bis 6 Jahren ein vorzeitiger Nadelfall einsetzen. Von diesen Wuchsstockungen und vorzeitigen Nadelverlusten sind bevorzugt die peripheren Astteile der langen Quirläste (Primärtriebe) betroffen.

8) Auslöser dieser plötzlichen Wuchsstockungen, des vorzeitigen Nadelfalls und des Austreibens neuer Folgetriebe sind, wie bereits erwähnt, kleinklimatische Änderungen von einem schattig-feuchten zu einem sonnig-trockenen Bestandesklima. Dieser Nachweis gelang:

- durch das etwa gleichzeitige Auftreten von Folgetrieben und dem Entfernen angrenzender Bäume, wie aus der Datierung der umgebenden Stubben erschlossen werden konnte (Kapitel IX/4 und 5);
- durch das etwa gleichzeitige Auftreten von Folgetrieben und Wuchsstockungen an Ästen und am Stamm (Kapitel IX/7, 8 und Kapitel XII);
- durch den Zusammenhang zwischen dem Auftreten neuer Astreiser und längerlebiger Nadeln der neuen Quirläste. Sie sind vermutlich besser angepaßt (Kapitel XI/2);
- mit einer eng gekoppelten Gruppe von drei Merkmalen: Stark geschädigte Tannen haben deutliche Wuchsstockungen am Stamm, große Nadelverluste und mehr Folgeals Primärbenadelung. Dagegen fehlt bei ungeschädigten Tannen weitgehend diese Gruppe von Merkmalen (Kapitel X/3).

Die Gegenprobe für diesen Auslöser der Walderkrankung lieferte der Rand einer großen Rodungsfläche. Dort, wo die kleinklimatischen Veränderungen am größten waren, traten an den Tannen die Symptome der Walderkrankung auf (Kapitel XIII).

9) Nadelfall. Ob an einem Tannenast die Nadeln trotz genügend Licht vorzeitig abfallen oder nicht, hängt von der "Konstitution" der jeweiligen Astspitze und vom Ausmaß des kleinklimatischen Wechsels ab.

Vergleichbar mit dem gesamten Baum ist auch der einzelne Ast: Je mehr die benadelte Astspitze an die feuchte Luft im Schatten angepaßt war, und je trockener das neue Bestandesklima wurde, desto umfangreicher sind die Wuchsstockungen und desto eher fallen die Nadeln vorzeitig ab.

Zwei wichtige Ergänzungen: Nicht jeder Wuchsstockung an einem Tannenast muß auch ein vorzeitiger Nadelverlust folgen und an vergleichsweise dicken Zweigachsen überleben die Nadeln länger.

10) Arbeitshypothese. Sowohl morphologische Untersuchungen als auch einfache ökophysiologische Untersuchungen führen nun den eigentlichen Auslöser der Walderkrankung auf den Wasserhaushalt der ehemaligen Schattenäste zurück.

Für den Wirkungsmechanismus wird von folgenden theoretischen Überlegungen ausgegangen: Ist die Wasserversorgung dieser Äste bei sonnigem, windigem Wetter zeitweilig schlecht, so ist auch die Bilanz, wieviel Assimilate übrig bleiben, schlecht; diese Zweige "hungern". Ist nach einigen Jahren alle Stärke in den Markstrahlen des Zweigholzes aufgebraucht, so fallen die Nadeln ab.

Diese Arbeitshypothese ist eine Schlußfolgerung aus morphologischen Untersuchungen, einfachen Stärkenachweisen und einfachen ökophysiologischen Versuchen. Sie ist von einer abgesicherten wissenschaftlichen Aussage weit entfernt. Allerdings gibt es zu dieser Arbeitshypothese keinerlei widersprechende Fakten und alle bisherigen Beobachtungen und Untersuchungen ließen sich bisher einordnen. Doch erst ausgiebige ökophysiologische Untersuchungen können diese Arbeitshypothese erhärten, weiter differenzieren oder zu Fall bringen.

11) Walderkrankung als ein Anpassungs- und Optimierungsprozeß. Zu den unerfreulichen Veränderungen durch die Walderkrankung kommt es anscheinend nur dadurch, daß die Tanne Wachstum, Assimilathaushalt und Wasserhaushalt sehr exakt und sehr ökonomisch an die äußeren Bedingungen anpaßt. Ein klimatischer Wechsel kann sowohl für den einzelnen Ast als auch für den gesamten Baum schwierig werden. Die Walderkrankung kann daher als ein Anpassungsvorgang an ein trockeneres Kleinklima angesehen werden. Wird dieser Anpassungsvorgang von der Tanne insgesamt gut verkraftet und folgt keine weitere Wuchsstockung, z.B. auch nicht durch einen trockenen Sommer, so kann sich eine solche Tanne irgendwann erholen und gut weiterwachsen.

Die Chancen, die ein größerer Wuchsraum der Krone bietet, kann aber nur dann von der Tanne gut genutzt werden, wenn sie zusätzlich im Wurzelbereich genügend Expansionsmöglichkeiten hat. Eine größere Krone verbraucht mehr Wasser. Wird das Wurzelsystem einer Tanne von den Wurzelsystemen angrenzender Bäume, von Jungwuchs oder von alten Baumstubben allseits eingegrenzt, so kann dies eine Regeneration der Krone verzögern oder gar vereiteln (z.B. KW Tanne 2).

Gleichgültig, wie eine Tanne aussieht, nur in den seltensten Fällen stirbt sie ab. Vertrocknet die obere Krone, so besteht immer noch die Chance, aus den Klebästen eine neue Baumspitze und eine neue Tannenkrone aufzubauen. Die Tanne wurde schon früher als die "Mimose unter den Waldbäumen" bezeichnet, doch ist sie auf lange Sicht eine große Überlebenskünstlerin.

12) Möglichkeiten zur Überprüfung. Tatsächlich spiegelt sich die Struktur des Wuchsrums in der Struktur der Krone und des Stammes wider. Besonders wichtig ist dabei, wie eine Tanne reagiert, wenn sich ihr Licht- und Wasserhaushalt verändert. Der Entwicklungsverlauf der Umgebung kann als ein Prüfverfahren herangezogen werden, um die morphologische Symptomatologie einer Tanne zu überprüfen. Sollten Abweichungen von den dargelegten Vorstellungen, z.B. auch von dem ökophysiologischen Erklärungsmodell auftreten, so müßte dies spätestens hier mit diesem Prüfverfahren offenbar werden.

Kapitel II

Die vier wichtigsten Symptome der Walderkrankung im Vergleich.

Ausgegangen wird von einer gesicherten Erkenntnis, nämlich dem charakteristischen Bild einer stark geschädigten Tanne.

II/1. Vorbemerkungen.

In der Literatur (LEIBUNDGUT, 1974; WACHTER 1977; EVERS et al., 1979; SCHUCK et al., 1980; SCHÜTT et al. 1983) werden die nachfolgenden vier Symptome als Kennzeichen einer stark geschädigten Tanne aufgeführt.

1) Großer Nadelverlust der Krone. Die Krone hat Nadeln verloren. Das Ausmaß dieses vorzeitigen Nadelfalls läßt sich nach dem Beurteilungsverfahren der Forstlichen Versuchsanstalten als **prozentualer Nadelverlust** angeben und einer von fünf Schadstufen zuordnen.

2) Die größten Astschäden innerhalb der Krone. Da bei einer geschädigten Tanne nicht gleichmäßig alle Äste weniger Nadeljahrgänge aufweisen und schlecht wachsen, interessieren speziell jene Äste der Krone, die am stärksten kümmern. Sie befinden sich regelmäßig in einer Zone etwa 1m bis 5m unterhalb des Wipfels. Die Äste dieser Zone können in drei Qualitätsstufen unterteilt werden:

- sog. "**Kümmeräste**" (große Astschäden) mit drei oder weniger Nadeljahrgängen gegenüber 8 und mehr Nadeljahrgängen im Normalzustand;
- **nicht voll benadelte Äste** mit 4 bis 6 Nadeljahrgängen;
- **voll benadelte Äste** mit etwa 8 Nadeljahrgängen oder mehr (keine Schäden am Ast)

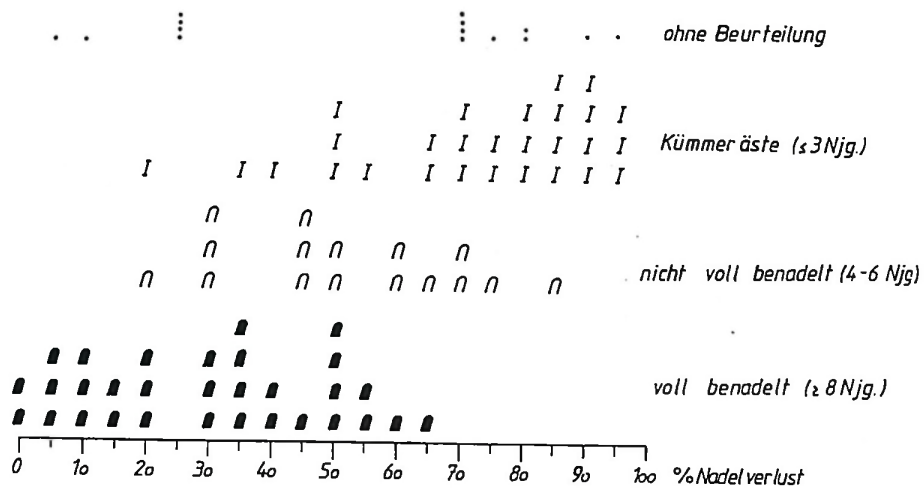
3) Abflachen des Wipfels ("Storchennest"). Die obere Krone einer geschädigten Tanne ist nicht wie sonst spitzkegelig oder paraboloid, sondern abgeflacht und stumpfkegelig.

Diese Form des Wipfels läßt sich mit zwei gegenläufigen Entwicklungen erklären: Die jährlichen Höhentriebe der Stammachse sind im Vergleich zu früher wesentlich kleiner, während jene Äste, die in diesem Stagnationsbereich des Stamms ansetzen, offensichtlich unverändert gut wachsen. Dadurch können nach einigen Jahren die äußeren Astspitzen höher sein als die oberste Stammspitze: Die Krone flacht ab. Man spricht von einem "Storchennest".

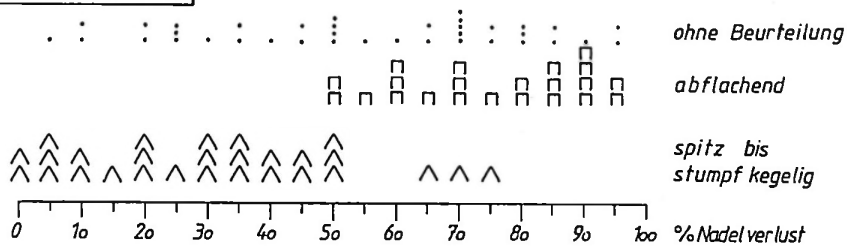
Ein einfaches, meßbares Kriterium für diese Wipelform ließ sich bei den hier untersuchten Tannen nicht finden, denn die Bäume waren gefällt und erst dann protokolliert worden. Daher wurde beim Protokollieren der gefällten Bäume auf eine subjektive Einschätzung zurückgegriffen: Ist die Krone eher spitzkegelig oder abgeflacht?

4) Schmale Jahrringbreiten im Stamm (1,3m Höhe). Wie bereits im Teil "Material und Methoden" erörtert, wurden im vorliegenden Falle bei den Jahrringen als Walderkrankungssymptom nur sogenannte "**Phasen mit schmalen Jahrringen**" berücksichtigt. Diese Phasen sind folgendermaßen definiert: **Innerhalb von wenigen Jahren verringert sich enorm das Wachstum. Die Jahrringe sind dann nur noch halb so**

**Die Äste mit den stärksten Schäden
1-5m unterhalb des Wipfels.**



Form des Wipfels



Die Jahrringbreiten im Stamm

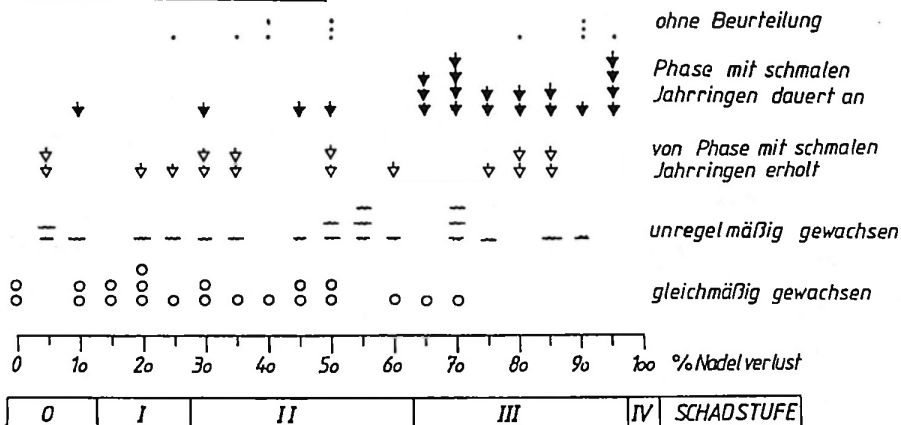


Abb. 11: Auftreten von Symptomen der Walderkrankung in Abhängigkeit vom prozentualen Nadelverlust der Krone (vgl. Text).

breit wie zuvor und enger als 1 mm. Dieser Rückgang des Stammwachstums dauert zumindest mehrere Jahre.

Im Gegensatz dazu ist eine Tanne nicht in einer "Phase mit schmalen Jahrringen", wenn die Jahrringe allmählich schmaler werden, evtl. auch kleiner als 1mm. Nach dieser Festlegung liegt auch dann keine "Phase mit schmalen Jahrringen" vor, wenn die Jahrringe zwar plötzlich nur noch halb so breit sind wie zuvor, dabei aber nicht die kritische Marke von 1mm unterschreiten.

Auch **Weiserjahre** zählen nicht zu den "Phasen mit schmalen Jahrringen". Bei einem Weiserjahr sind auf Grund von klimatischen Besonderheiten die Tannen einer Region alle gleichermaßen betroffen. Dieses verringerte Wachstum dauert meist nur ein Jahr an.

II/2. Das Ausmaß der Kronenschäden (prozentualer Nadelverlust) und das Auftreten von drei weiteren Symptomen der Walderkrankung.

Tannen aus dem Fällungsprogramm BW 1984/85 unterrichten über die Befunde: Damals wurden an 17 Standorten in Baden-Württemberg jeweils sechs erntereife Tannen gefällt: zwei hatten geringe oder keine Schäden, zwei mittlere und zwei starke Schäden. Die Diagramme in **Abb. 11** erlauben einen raschen Überblick über viele Tannen. Eventuelle Trendschwerpunkte lassen sich leicht lokalisieren. Hierbei wird das Ausmaß der Kronenschädigung (% Nvl.) verglichen mit

- a) der Qualität der Benadelung an jenen Ästen einer Tanne, die am stärksten geschädigt sind, (drei Qualitätsstufen);
- b) der Form des Wipfels, (spitz oder abgeflacht);
- c) den Jahrringbreiten im Stamm (vier verschiedene Entwicklungsmuster). Die jeweiligen Symbole sind seitlich vermerkt (Kapitel II/3).

Befund (Abb.11):

1. Die Schadsymptome wie Kümmeräste, abgeflachte Wipfel und noch andauernde "Phasen mit schmalen Jahrringen" kommen **überwiegend in Schadstufe III** der offiziellen Waldschadenserhebung vor (starke Schäden).
2. Dagegen kommen Merkmale guten Gedeihens wie voll benadelte Äste, eine spitzkegelige Krone und gleichmäßig gewachsene Jahrringe hauptsächlich in den Schadstufen 0, I u. II vor.
3. Beide Symptomgruppen lassen sich nicht scharf voneinander trennen. So kommen Kümmeräste, und nicht voll benadelte Äste und auch Wuchsstockungen ("Phasen mit schmalen Jahrringen") vereinzelt noch bis zu Schadstufe I vor (geringe Schäden).
4. Interessant ist, daß es in allen Schadstufen Tannen gibt, die schon einmal diese plötzliche Wuchsstockung hatten ("Phase mit schmalen Jahrringen"). Doch oft hat sich der Stammzuwachs in der Zwischenzeit wieder erholt.

Dies wirft folgende Fragen auf: Ging mit dem verringerten Dickenwachstum jeweils auch immer ein Abflachen der Krone und ein vorzeitiger Nadelfall einher? Ist die Walderkrankung insgesamt überwunden, wenn die Jahrringe wieder breiter werden?

0 bis 60 %

NADEL VER LUST

DICKEN WACHSTUM
Die Jahrringbreiten im Stamm

HÖHENWACHSTUM
Form des Wipfels

	○	~	▽	▼
^	••••• •••••	••••• •	••••• •	•••••
□	•	••	•	

65% bis 95%

NADEL VERLUST

DICKEN WACHSTUM
Die Jahrringbreiten im Stamm

HÖHENWACHSTUM
Form des Wipfels

	○	~	▽	▼
^	•		•	•
□	•	•••	•	••••• •••••

DICKEN WACHSTUM
Die Jahrringbreiten im Stamm

BENADELUNG
Die Äste mit den stärksten Schäden
1-5m unterhalb des Wipfels

	○	~	▽	▼
■	••••• •••••	•••••	•••••	•••••
∩	••	•••••	•••	
I	•	•••	••	

DICKEN WACHSTUM
Die Jahrringbreiten im Stamm

BENADELUNG
Die Äste mit den stärksten Schäden
1-5m unterhalb des Wipfels

	○	~	▽	▼
■			•	•
∩		•	•	••
I	••	•••••	•••	••••• •••••

BENADELUNG
Die Äste mit den stärksten Schäden
1-5m unterhalb des Wipfels

HÖHENWACHSTUM
Form des Wipfels

	■	∩	I
^	••••• •••••	•••	••
□	•	•••	•

BENADELUNG
Die Äste mit den stärksten Schäden
1-5m unterhalb des Wipfels

HÖHENWACHSTUM
Form des Wipfels

	■	∩	I
^		••	•
□		•	•••••

Abb. 12: Das gemeinsame Auftreten zweier Walderkrankungssymptome bei stark geschädigten Tannen (Schadstufe III) und bei weniger oder nicht geschädigten Tannen (Schadstufe 0, I, II); Symbole wie in Abb.11.

II/3. Treten diese vier Symptome an einer Tanne immer gleichzeitig auf ?

Die folgenden Aussagen beruhen auf den bereits erwähnten Tannen. Da in dem vorherigen Diagramm beim Übergang von Schadstufe II zu III vermehrt Schadsymptome auftraten, werden in den **Abb. 12** die Tannen von 0 bis 60% Nvl. und die Tannen von 65% bis 95% Nvl. jeweils zu einer Gruppe zusammengefaßt. Zusätzlich werden die drei weiteren Symptome in Zweiergruppen miteinander verglichen. Die Stammentwicklungen wurden wie bei Abb.11 vier Kategorien zugeordnet.

▼ Ein Stamm hat eine (oder mehrere) solcher "Phasen mit schmalen Jahrringen". Diese Wuchsstockung dauert zum Zeitpunkt der Fällung noch an.

▽ Ein Stamm hatte zwar irgendwann einmal eine (oder mehrere) "Phasen mit schmalen Jahrringen". Aber zum Zeitpunkt der Fällung wuchsen die Jahrringe wieder deutlich besser.

∞ Die Jahrringe eines Stamms sind insgesamt sehr unregelmäßig gewachsen, zeitweise breiter, zeitweise schmaler. Das Wachstum hat sich aber nie so plötzlich verändert wie in den "Phasen mit schmalen Jahrringen".

○ Der Tannenstamm wuchs insgesamt gleichmäßig, die Jahrringe sind alle ungefähr gleich breit.

Dabei sind in Abb. 12 nur die Felder links oben und rechts unten wirklich eindeutig. Alle Tannen im linken oberen Feld zeigen an, daß sie keine der beiden Schadsymptome haben, sondern regulär gewachsen und gut benadelt sind. Bei den Tannen rechts unten treten jeweils beide Schadsymptome gleichzeitig auf. Nicht zu klären sind die übrigen Kombinationen in jenen Feldern, die mit einer dicken Linie umrandet sind. Diese Tannen sind weder als eindeutig geschädigt noch als ungeschädigt einzustufen.

Befund (Abb.12):

Wie z.T. schon in Abb. 11 erkannt: **In Schadstufe III (65%-95% Nvl.) zeigen fast alle Tannen Kümmeräste und einen abgeflachten Wipfel. Auch dauert die "Phase mit schmalen Jahrringen" noch an.** Dagegen finden sich Tannen mit gut benadelten Ästen, einem spitzkegeligen Wipfel und gleichmäßig breiten Jahrringen nur in den Schadstufen 0,I u.II (0% bis 60% Nadelverlust).

Die vielen Fälle, die nur einzelne Schadsymptome aufweisen, geben zu denken: Laufen an den Ästen andere Einzelprozesse ab als im Stamm? Oder sind die pathologischen Prozesse nur zeitlich verschoben? Oder reichen für solche Betrachtungen qualitative Merkmale prinzipiell nicht aus? Könnten hier evtl. quantitative Größen weiter differenzieren?

II/4. Zusammenfassung.

1) Die bisher genutzten Symptome sind Merkmale, die zwar auf pathologische Veränderungen hinweisen; mit ihrem Vorhandensein oder ihrem Fehlen lassen sich aber bis jetzt nur die Extremfälle "gesund" und "walderkrankt" eindeutig beschreiben.

2) **Eine Tanne kann dann als sicher walderkrankt bezeichnet werden, wenn** ihre Krone abgeflacht ist **und gleichzeitig** ihr Stamm sich in einer plötzlichen Wuchstockung befindet ("Phase mit schmalen Jahrringen") **und gleichzeitig** ein Teil der Äste deutlich kümmernd (max. 3 Nadeljahrgänge, verringertes Längenwachstum der Triebe) **und gleichzeitig** der Gesamtnadelverlust zwischen 65% und 95% liegt (Schadstufe III).

3) **Als "gesund" kann aber eine Tanne dann bezeichnet werden,** wenn ihre Krone spitz ist und zuvor nie abgeflacht war **und** wenn der Stamm immer gleichmäßig in die Dicke wuchs **und** wenn ihre Äste vollständig benadelt sind (etwa 8 Nadeljahrgänge; dabei ist von Nadelverlusten durch Lichtmangel abzusehen).

Es bleibt die Frage offen, wie groß der prozentuale Anteil der Nadelverluste in der Krone sein darf, damit man eine Tanne als walderkrankt bezeichnen darf (vgl. auch SCHWEINGRUBER et al. 1986; FRENZEL et al., 1987; Teil D, Diskussion).

4) **Die restlichen Tannen, bei denen ein oder zwei Symptome der Walderkrankung fehlen, lassen sich zunächst nicht beurteilen.** In diesen Fällen wird es nötig, schärfer differenzierende Kriterien zu erarbeiten.

Kapitel III

Die Walderkrankung der Tanne und das Wachstum des Stamms.

Es wird versucht, eine Trennlinie zu ziehen zwischen den vielen Möglichkeiten "gesunden Wachstums" und jenem Wuchsverhalten, das eindeutig als walderkrankt bezeichnet werden kann.

Teil A

Dickenwachstum des Stamms

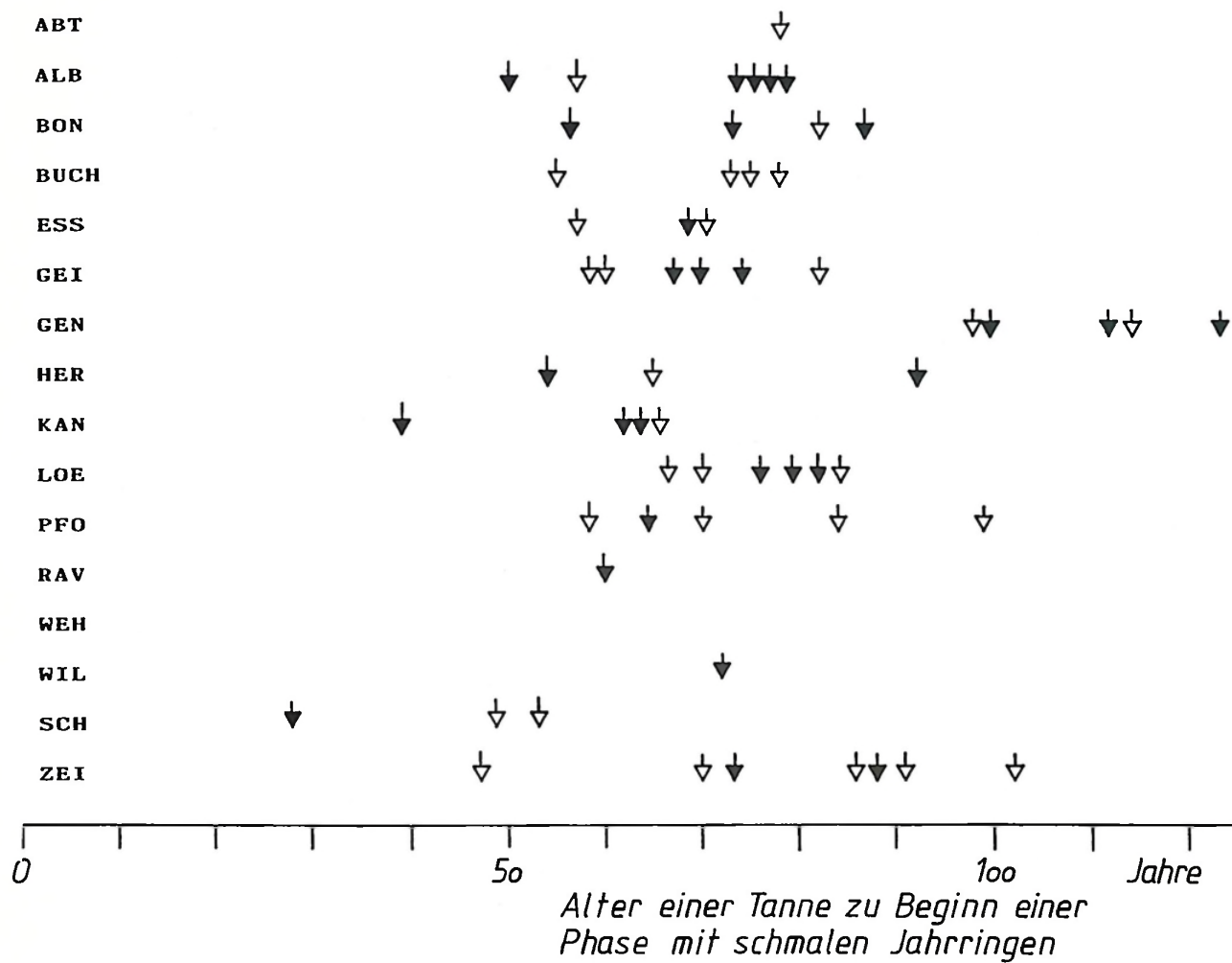
III/1. Vorbemerkungen.

Mit den Jahrringbreiten eröffnet sich der Blick zurück in die Vergangenheit. Über viele Jahrzehnte hinweg läßt sich verfolgen, wie sich der Stammdurchmesser entwickelt hat.

Ein plötzlich verringertes Stammwachstum wird häufig in der Literatur als ein charakteristisches Merkmal der Walderkrankung angesehen (WACHTER, 1977; EVERS et al., 1979; SCHUCK et al., 1980; SCHÜTT et al., 1983; SCHMID-HAAS et al., 1986; ELLING, W., 1987). Auf Stammscheiben walderkrankter Tannen sind diese plötzlichen Wuchsstockungen gut zu erkennen.

In Kapitel II wurden schon die "Phasen mit schmalen Jahrringen" als ein objektivierbares Kriterium für plötzliche Stockungen im Dickenwachstum vorgestellt: "Die Jahrringe sind nur noch halb so breit wie zuvor und gleichzeitig auch kleiner als 1mm. Dieser Rückgang des Stammwachstums dauert zumindest mehrere Jahre." Doch sollte nicht verkannt werden, daß mit dieser Festlegung eine willkürliche Grenze gezogen wurde, die sich aus dem Extremfall einer stark geschädigten Tanne ableitet. Dies ist zwar praktisch, doch auch fragwürdig. Denn die Grenzen dieser Definition lassen sich anderweitig nicht begründen.

Obgleich etwas problematisch, so lassen sich mit Hilfe dieser Definition doch die ersten Wechselbeziehungen zu jenen Merkmalen herstellen, die sich möglicherweise als Symptome der Walderkrankung erweisen könnten. Wie zuvor, werden in diesem und dem folgenden Kapitel wieder die Tannen aus dem Fällungsprogramm BW 1984/85 verwendet.



III/2. Das Baumalter, als im Stamm zum ersten Mal eine "Phase mit schmalem Jahrringen" begann.

In **Abb. 13** sind die Tannen nach Forstbezirken geordnet (Ordinate). Das Baumalter ist auf der Abszisse aufgetragen. Jeder der Pfeile, ob dunkel oder hell, markiert in einer Tanne jenes Baumalter, bei dem zum ersten Mal eine "Phase mit schmalen Jahrringen" auftrat. Die hellen Pfeile kennzeichnen jene Tannen, die sich zum Zeitpunkt der Fällung schon erholt hatten. Ihre Jahrringe waren wieder deutlich breiter als vorher. Mit den dunklen Pfeilen wird angezeigt, daß diese Tannen zum Zeitpunkt der Fällung sich noch in einer "Phase mit schmalen Jahrringen" befanden; ihr Dickenzuwachs stagnierte.

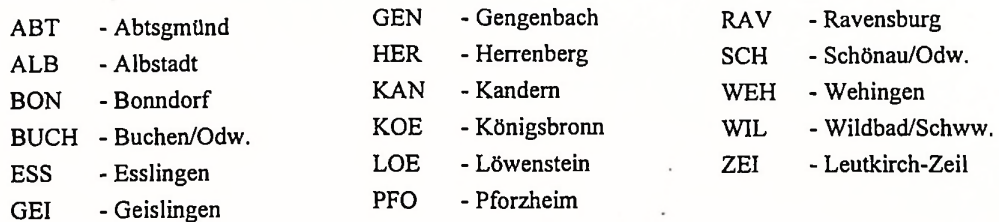
Befund (Abb.13):

Offenbar begannen die plötzlichen Wuchsstockungen bei den betroffenen Tannen, als sie zwischen 50 und 80 Jahre alt waren.

Einen wichtigen Einfluß scheint hierbei auch die Bestandesstruktur auszuüben. In Plenterwäldern und bei vormals unterständigen Tannen fand der Autor z.T. andere Baumalter, so in Klosterreichenbach und Besenfeld. Dagegen stammten die Tannen aus dem Fällungsprogramm BW 1984/85 alle jeweils aus einem einschichtigen Fi-Ta-Altersklassenwald.



Abb. 13: Das Alter der untersuchten Tannen zu Beginn der ersten "Phasen mit schmalen Jahrringen" (Fällungsprogramm Baden-Württemberg, 1984/85); helle Pfeile: schon erholt; dunkle Pfeile: stagniert noch.



III/3. Verschiedene Zuwachsverläufe und ihre geographische Verbreitung.

Die Abb. 14 zeigt die Lage der 17 Orte aus dem Fällungsprogramm Baden-Württemberg 1984/85. Für jede untersuchte Tanne ist ein Kästchen eingetragen. Die Zeichen darin symbolisieren die Stammentwicklungen. Die vielen unterschiedlichen Stammentwicklungen wurden, ähnlich wie in Kapitel II/2, 3, auf folgende vier Zuwachsverläufe reduziert:

○ Die Jahrringe waren immer gleichmäßig breit.

⌒ Die Jahrringe sind unregelmäßig gewachsen, mal breiter, mal schmaler. Ihre Änderungen waren aber nie so plötzlich und tiefgreifend, wie bei den "Phasen mit schmalen Jahrringen".

▼ Die Tannen steckten in einer "Phase mit schmalen Jahrringen". Im Gegensatz zu den vorherigen Tannen hatten sich diese Bäume zum Zeitpunkt der Fällung noch **nicht erholt**.

▽ Tannen, die mit einem hellen Pfeil gekennzeichnet sind, hatten irgendwann einmal eine "Phase mit schmalen Jahrringen", wuchsen aber zum Zeitpunkt der Fällung schon wieder deutlich besser.

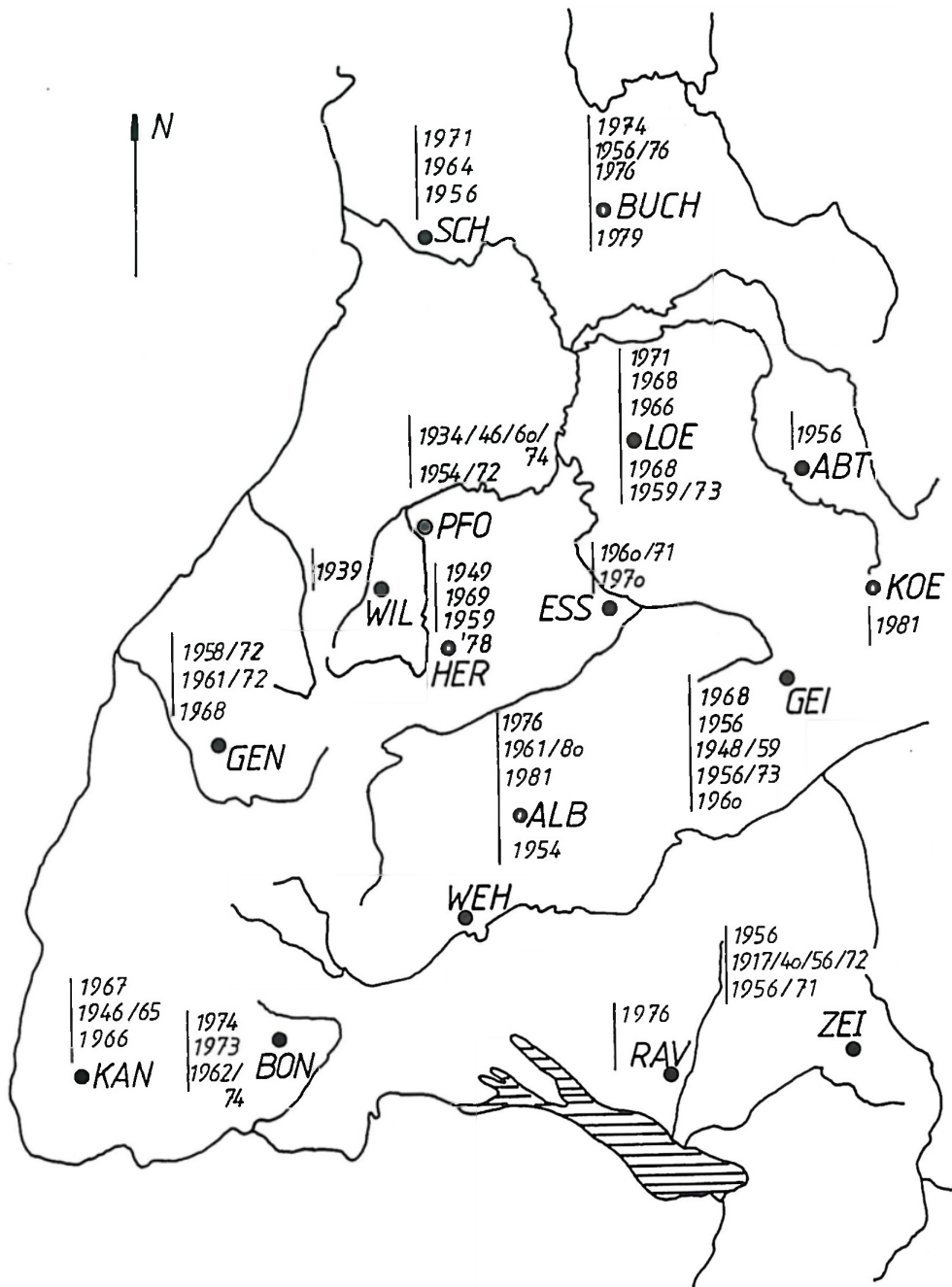
/ keine Beurteilung, Holzscheibe fehlte.

Befund (Abb.14):

Alle vier Zuwachsverläufe kamen auf fast allen Standorten vor. Etwas gehäuft traten die "Phasen mit schmalen Jahrringen" in Albstadt, Geislingen und Löwenstein auf. Auffallend ist, daß nur wenige Tannen insgesamt gleichmäßig wuchsen.



Abb. 14: Standorte des Fällungsprogramms Baden-Württemberg 1984/85. Das Stammwachstum der untersuchten Tannen wird vier verschiedenen Entwicklungsmustern zugeordnet; siehe Text.



ABT	- Abtsgmünd	GEN	- Gengenbach	RAV	- Ravensburg
ALB	- Albstadt	HER	- Herrenberg	SCH	- Schönau/Odw.
BON	- Bonndorf	KAN	- Kandern	WEH	- Wehingen
BUCH	- Buchen/Odw.	KOE	- Königsbronn	WIL	- Wildbad/Schw.
ESS	- Esslingen	LOE	- Löwenstein	ZEI	- Leutkirch-Zeil
GEI	- Geislingen	PFO	- Pforzheim		

III/4. Jene Jahreszahl, ab der eine "Phase mit schmalen Jahrringen" begann.

Hinter dieser zeitlichen Analyse stehen folgende Fragen:

- 1) Treten an einem Standort die Zuwachsrückgänge zeitlich gedrängt oder über längere Zeiträume verteilt auf?
- 2) Geben die geographische Lage der Standorte und der Beginn der Zuwachsrückgänge evtl. Auskunft über eine mögliche Schädigungswelle, vergleichbar einer Epidemie?
- 3) Lassen sich Zusammenhänge zu Ballungsgebieten mit ihren größeren Schadstoffbelastungen herstellen?

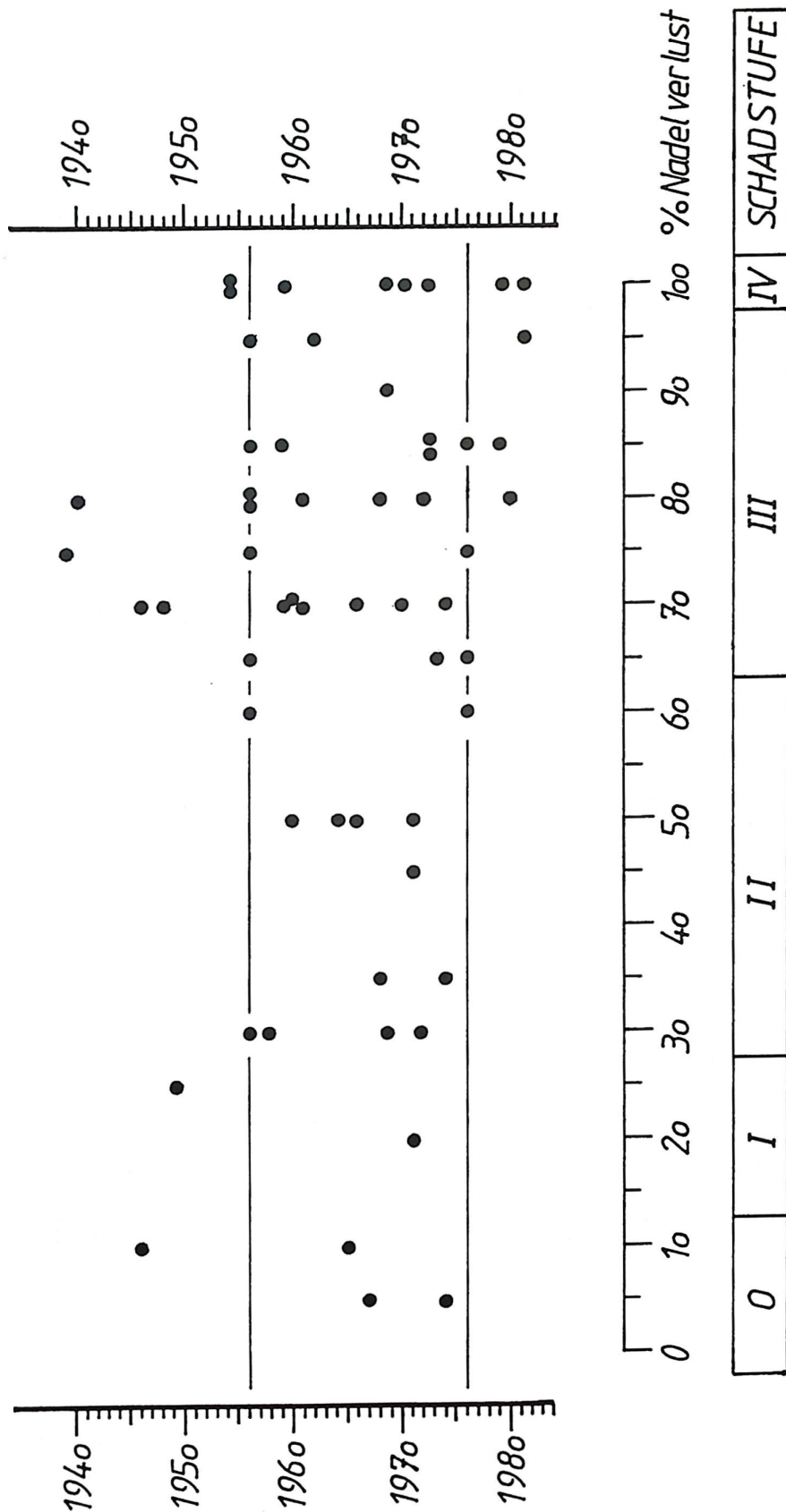
Die Jahreszahlen in **Abb. 15** geben den Beginn der plötzlichen Wuchsstockungen an ("Phasen mit schmalen Jahrringen"). Wurde eine Tanne mehrfach von einer solchen Wuchsstockung heimgesucht, sind die Anfangsjahre hintereinander aufgeführt.

Befund (Abb.15):

1. Es fällt auf, daß eine Tanne mehrfach von diesen plötzlichen Wuchsstockungen betroffen werden kann.
2. An manchen Standorten scheinen bestimmte Zeiträume etwas bevorzugt "Phasen mit schmalen Jahrringen" aufzuweisen: Bonndorf, Löwenstein, Kandern, Leutkirch-Zeil.
3. Eine Schädigungswelle läßt sich aber in Baden-Württemberg **nicht ableiten**, und zwar weder aus den Jahreszahlen, noch aus den Intervallen zwischen den einzelnen Jahren, noch aus der geographischen Lage. Dies steht z.T. im Gegensatz zu dem von FRENZEL (1985) für Mitteleuropa entworfenen Bild.
4. Ein zeitlich-räumlicher Zusammenhang zu Ballungsräumen ist nicht festzustellen. Auch in den Gebieten fern der Ballungsräume sind Tannen von Wuchsstockungen betroffen.



Abb. 15: Standorte des Fällungsprogramms Baden-Württemberg 1984/85. Zusätzlich vermerkt sind jene Jahreszahlen, als die "Phasen mit schmalen Jahrringen" einsetzten.



III/5. Der Zusammenhang zwischen dem Jahrgang, in dem eine Tanne plötzlich weniger wuchs und dem Schädigungsgrad der Krone zum Zeitpunkt der Fällung (1984).

Offensichtlich kann sich ein Tannenstamm von solchen Wuchsstockungen wieder erholen. Spiegelt sich dabei ein entsprechendes Geschehen auch immer in der Benadelung der Krone wider? Treten die plötzlichen, mehrjährigen Wuchsstockungen gehäuft in bestimmten Jahren auf, z.B. bei Sommertrockenheit? Diese Frage ist wichtig, denn nach den Berichten der Waldschadensinventur sollen trockene Sommer den Nadelverlust fördern (vgl. CRAMER et al., 1984).

Auf der Abszisse von **Abb. 16** ist der Schädigungszustand der Krone zum Zeitpunkt der Fällung angegeben. Die Ordinate zeigt die Zeitachse. Sie schreitet im Diagramm von oben nach unten fort; dazu seitlich die Skala. Jeder Punkt im Diagramm stellt den Beginn einer "Phase mit schmalen Jahrringen" dar.

Befund (Abb. 16):

1. Bei den untersuchten, erntereifen Tannen setzten die plötzlichen Wuchsstockungen schon **vor 1950** ein. Dies ist wichtig für die Diskussion über Schadstoffbelastungen als mögliche Ursache der Wuchsstockungen.

2. Der Beginn der plötzlichen Zuwachsrückgänge fällt nur bei wenigen Tannen auf eines der Weiserjahre 1956 (Frost) und 1976 (Trockenheit).

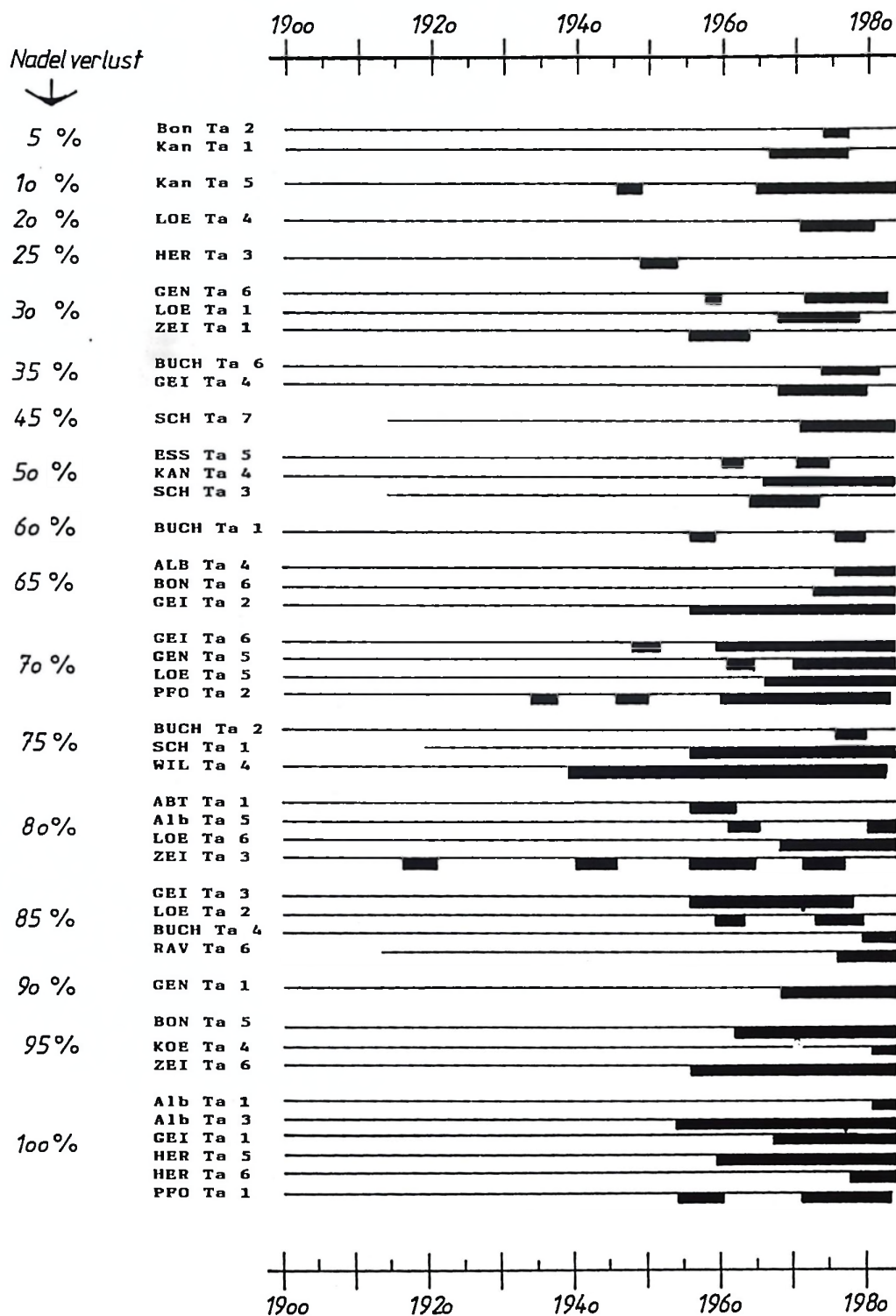
Dagegen schrieb WIEDEMANN (1927), das Tannensterben beginne häufig in Trockenjahren. Damit verhält sich die Walderkrankung anscheinend heute in Baden-Württemberg etwas anders als früher das Tannensterben in Sachsen.

3. Treten die plötzlichen Zuwachsrückgänge in den letzten acht Jahren auf, so sind auch die Tannenkronen stark geschädigt. Liegt der Beginn weiter zurück, ist aber ein Teil der Kronen besser benadelt.

Allerdings fehlt die Information, wie sich die Schädigung der Krone entwickelte. Hier stellt sich die Frage, ob die Krone das Stammwachstum widerspiegelt und wie lange die schädigende Wirkung der Walderkrankung im Stamm und in der Krone andauert? Hierauf wird später zurückzukommen sein.



Abb. 16: Plötzliche Wuchsstockungen im Stamm und der Zustand der Krone zum Zeitpunkt der Fällung im Herbst und Winter 1984/ 85; siehe Text.



III/6. Zeitpunkt und Dauer der Wuchsstockungen im Stamm und die Schädigung der Krone (%Nvl.) zum Zeitpunkt der Fällung.

In Abb. 17 verläuft die Zeitachse von links nach rechts. Als dünne Linie ist die Lebensspanne der Tanne aufgetragen. Die Zeit vor 1900 ist nicht berücksichtigt. Dicke schwarze Balken markieren die Zeiten mit "schmalen Jahrringen".

Befund (Abb.17):

1. Die "Phasen mit schmalen Jahrringen" können unterschiedlich lange andauern: von 4 bis 5 Jahren bis zu mehreren Jahrzehnten.

2. Auch bei einer einzelnen Tanne, die mehrere "Phasen mit schmalen Jahrringen" hatte, dauerten sie immer unterschiedlich lange.

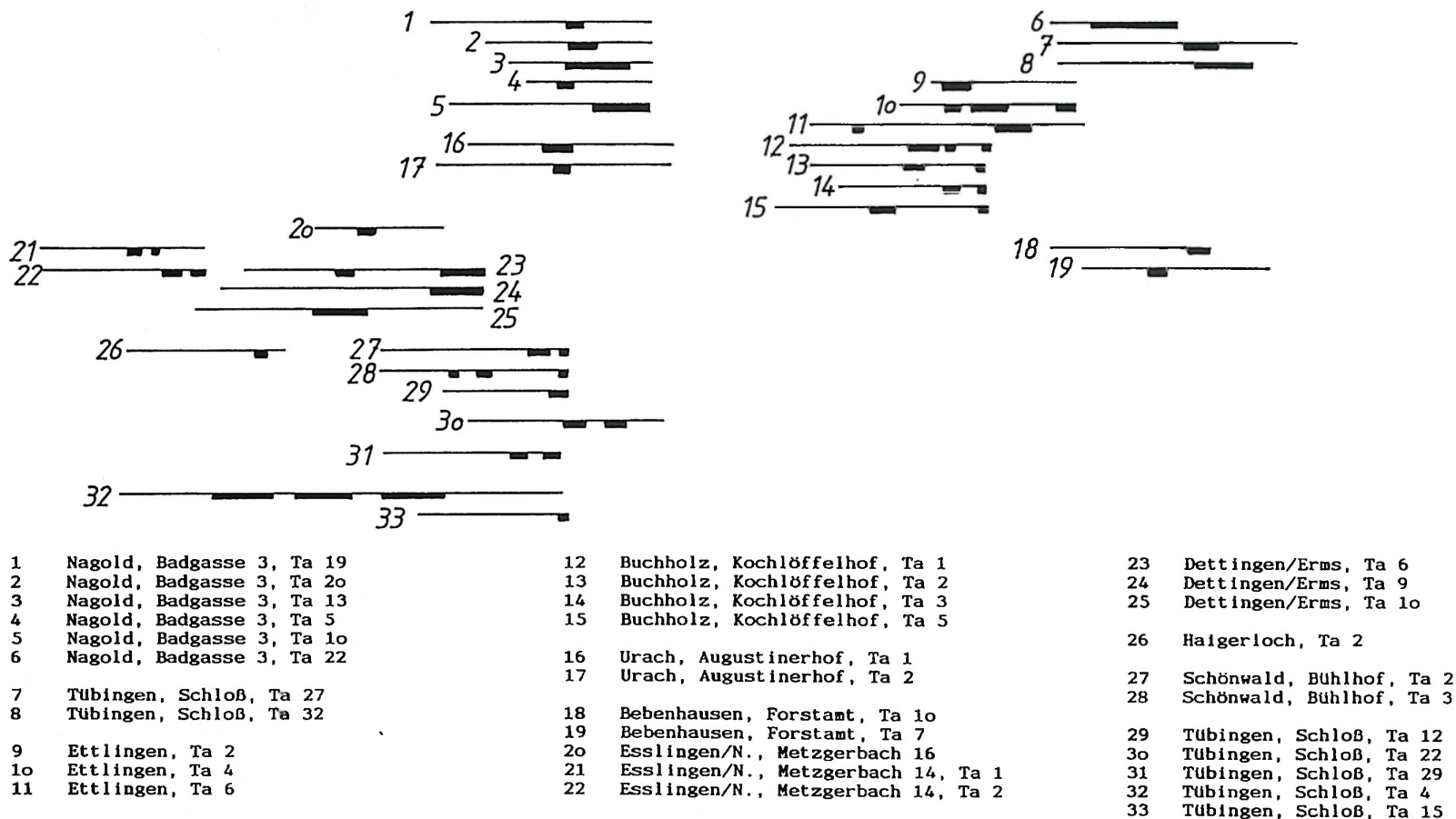
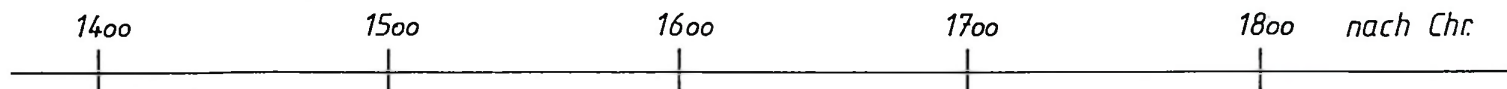
Nach FRENZEL (1985) besteht der Verdacht, daß der Walderkrankung eine Virusinfektion zugrunde liegen könnte. Die wiederholten Wuchsstockungen ließen dann eine wiederkehrende oder wieder ausbrechende Infektion verstehen und wären ein wichtiger Hinweis für die Epidemiologie.

3. Befindet sich eine Tanne noch in einer "Phase mit schmalen Jahrringen", so hat sie auch häufig eine stark geschädigte Krone mit mehr als 60% Nadelverlust. Hat sich dagegen der Stammzuwachs von einer "Phase mit schmalen Jahrringen" bereits erholt, so ist die Krone besser benadelt und hat weniger als 65% Nadelverlust.

Es bleibt aber die Frage offen, ob der jetzige Zustand dieser Kronen mit weniger als 65% Nadelverlust wirklich als "rekonvaleszent" anzusehen ist.



Abb. 17: Zeitpunkt und Dauer der plötzlichen Wuchsstockungen des Stamms, aufsteigend geordnet nach dem Schadbild der Krone (% Nadelverlust) im Fälljahr 1984/85; siehe Text.



III/7. "Phasen mit schmalen Jahrringen" im Bauholz von alten Fachwerkhäusern.

(Diese Daten stellte freundlicherweise Herr BLEYER zur Verfügung).

"Phasen mit schmalen Jahrringen" wurden bislang in dieser Arbeit als ein wichtiges Symptom der Walderkrankung gewertet. Doch findet man auch in den Balken alter Fachwerkhäuser diese plötzlichen Wuchsstockungen. Da aber keine anderen Symptome nachgewiesen sind, sollte man vorsichtig sein, diese Tannen aus früheren Zeiten als walderkrankt zu bezeichnen.

In **Abb. 18** erstreckt sich die Zeitachse wieder von links nach rechts. Die Legende unten verzeichnet die Herkunft der Balken. Die dünnen Linien geben die Jahreszahl der Ringe in den alten Balken an. Die dicken Balken markieren die "Phasen mit schmalen Jahrringen". Vermutlich sind viele dieser Tannen im Schwarzwald gewachsen und anschließend geflößt worden.

Befund (Abb.18):

Die "Phasen mit schmalen Jahrringen" dauerten unterschiedlich lange an, z.T. erholten sich die Tannen davon. Z.T. traten mehrfach bei einer Tanne diese Phasen auf. Es ist nicht zu erkennen, daß sich der Beginn dieser Wuchsstockungen auf eine bestimmte Zeit konzentriert. Anscheinend gab es solche Wuchsstockungen recht häufig. Dies sind alles Stammentwicklungen, die auch bei den Tannen unserer Tage auftreten (Kapitel XV/8).



Abb. 18: "Phasen mit schmalen Jahrringen" im Bauholz vergangener Jahrhunderte. Die Originaldaten stellte freundlicherweise Herr BLEYER aus Metzingen zur Verfügung.

ZUWACHSRATE (graphisch gemittelt): TANNE

Stammradius in 1,3 m Höhe

BONNDORF

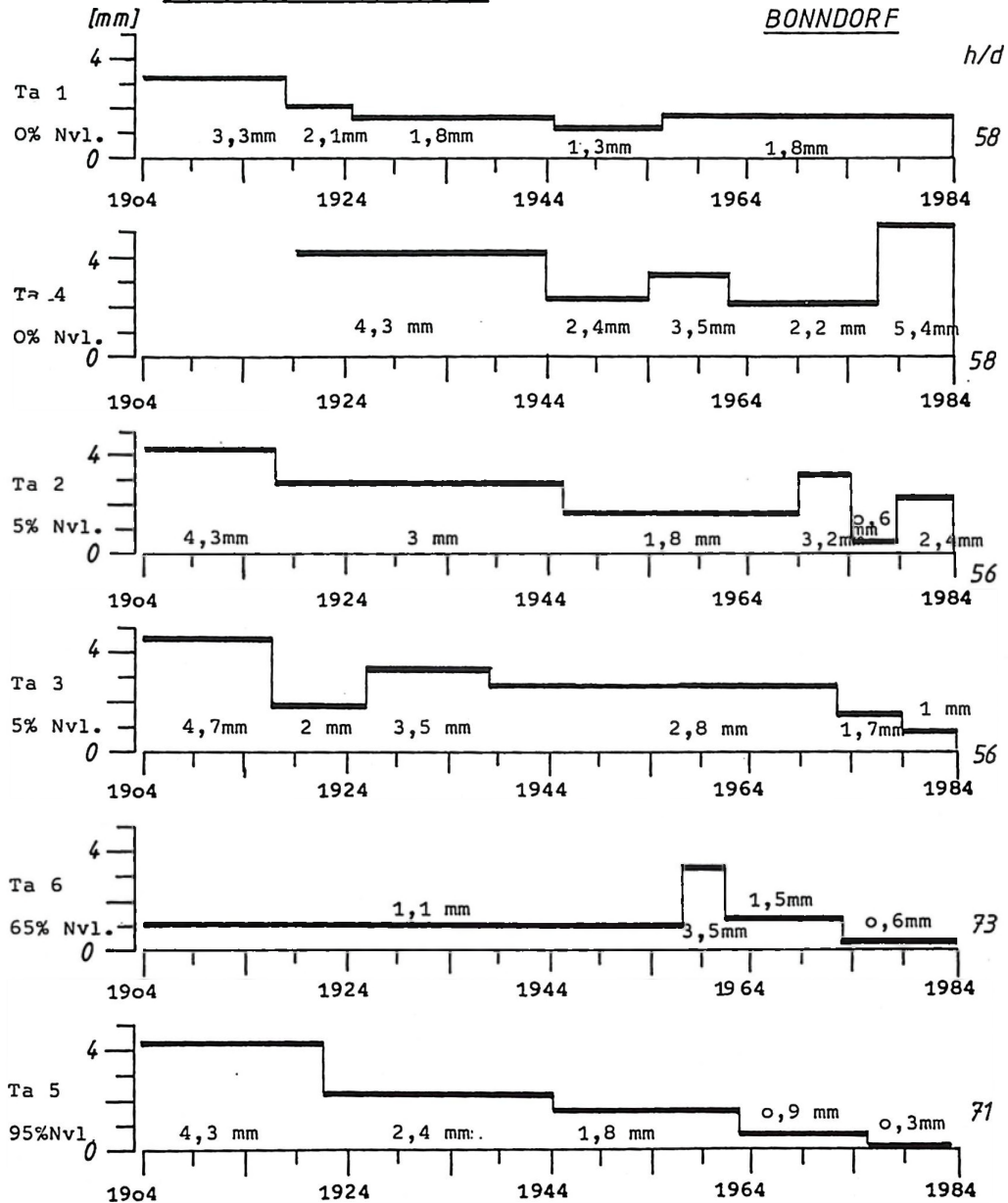


Abb. 19 a: Stammentwicklungen der untersuchten Tannen, getrennt nach Standorten, in vereinfachter Form dargestellt; Fällungsprogramm Baden-Württemberg, 1984/85. Standort Bonndorf/ Schwarzwald. Weitere Beispiele im Anhang.

III/8. Fällungsprogramm BW 1984/5. Unter den sechs Tannen eines Standorts wird verglichen, wie sich ihr Stammdurchmesser entwickelt hat.

In den Abb. 19 a-q sind die Tannen eines Standorts nach ihrem Nadelverlust geordnet. Am rechten Rand ist der h/d-Wert (Quotient aus Baumhöhe zu Stammdurchmesser) vermerkt.

Jeder der 6 Diagrammteile gibt die Jahrringkurve einer Tanne wieder. Um einer besseren Übersicht willen wurden die Jahrringkurven vereinfacht, "graphisch gemittelt" (vgl. "Material und Methoden"): Die summierten Jahrringkurven werden in Abschnitte mit gleichem Zuwachs unterteilt und mit Hilfe der Kurvensteigung die mittlere Zuwachsrate bestimmt. Sie wird in der vorliegenden Form dargestellt. Nachteilig ist dabei, daß dadurch die Übergänge zwischen zwei Wachstumsphasen abrupter dargestellt werden, als sie tatsächlich sind.

Befund (Abb.19 a-q):

1. Es fällt zuerst auf, daß eine Tanne **phasenweise** wächst: Über lange Zeit sind die Jahrringe ungefähr gleich breit. Während dieser Zeit ist die Rate des Dickenwachstums annähernd konstant.
2. Der Übergang zwischen zwei unterschiedlichen Wachstumsphasen beschränkt sich auf wenige Jahre. Dies gilt sowohl für Änderungen hin zu breiteren wie auch zu schmalen Jahrringen (vgl. auch Frenzel et al., 1987).
3. Es ist keine langfristige Stammentwicklung zu erkennen, die zwangsläufig, d.h. unausweichlich, auf starke Kronenschäden hinführt.

Trendmuster Der Zuwachs ist	A gering	B gut	C besser	D wechselhaft
Schadstufe				
0 und I	6% (1)	38% (6)	31% (5)	25% (4)
II	10% (3)	47% (14)	13% (4)	30% (9)
III	71% (22)	10% (3)	6,5% (2)	13% (4)
IV	78% (7)	22% (2)	0%	0%

Abb. 20. Fällungsprogramm Baden-Württemberg 1984/85. Das Stammwachstum in den letzten Jahren vor der Fällung ist vier verschiedenen Entwicklungen (Trendmustern) zugeordnet (vgl. Text). Dieser Zuwachstrend wird mit der Schadstufe der Krone verglichen. Die untersuchten Tannen einer Schadstufe bilden zusammen 100%; in Klammern die absolute Anzahl.

III/9. Der Zuwachstrend in den letzten Jahren vor der Fällung und die Schädigung der Krone (%Nvl.).

Über den zeitlichen Verlauf der Walderkrankung wurde in der vorliegenden Arbeit bisher herausgefunden, daß die Walderkrankung das Stammwachstum nur für begrenzte Zeit schädigt. Demgegenüber vertraten SCHUCK et al. (1980) und SCHÜTT et al. (1983) die Auffassung, daß die Tannenschäden zum Absterben der Bäume führen ("Waldsterben").

Um nun den schädigenden Einfluß der Walderkrankung auf die Wechselwirkungen von Krone und Stamm genauer kennenzulernen, wurde das Schadbild der Krone mit dem Zuwachstrend des Stamms in den letzten Jahren vor der Fällung verglichen. Für den Zuwachstrend wurden die "graphisch gemittelten" Jahrringkurven weiter ausgewertet.

Zu Abb. 20: Der Wachstumsverlauf in den letzten 5 bis 7 Jahren bis hin zur Fällung läßt sich in verschiedene Trendmuster einteilen:

Trendmuster A, "gering": Der Zuwachs des Stammes ist schon lange Zeit gering oder er hat sich über lange Zeit hinweg verringert (Jahrringe etwa 1 mm breit).

Trendmuster B, "gut": Die Jahrringe sind deutlich breiter als 1 mm. Der Zuwachs ist mehr oder wenig gleichbleibend und gut.

Trendmuster C, "besser": Die Tannen wachsen deutlich besser als während der Jahre zuvor.

Trendmuster D, "wechselhaft": Der Zuwachsverlauf ist insgesamt ungleichmäßig. Einem Zuwachsrückgang, z.T. unter 1 mm, folgte in den letzten Jahren eine "Erholung" mit breiteren Jahrringen.

Befund (Abb. 20):

- 1. Viele Tannen mit starken Kronenschäden (Schadstufe III) hatten zuvor schon lange Zeit abnehmende Zuwachsraten oder wuchsen insgesamt schlecht (71%).** (Beim Standort Leutkirch-Zeil sind die Jahrringe allerdings insgesamt schmal.)
2. Dagegen wuchs der größte Teil der Tannen mit mittleren und geringen Kronenschäden (Schadstufe 0,I,II) meist unverändert gut (38% u.47%).
3. Jene Tannen, die besser als zuvor wuchsen, sind hauptsächlich in Schadstufe 0 und I (keine oder geringe Schäden: 31%) zu finden.
4. Das Trendmuster "wechselhaft" (vermindertes Wachstum mit nachfolgender Erholung) findet sich vermehrt in den Schadstufen 0,I,II. (25% bzw. 30%).
5. Für eine Wechselbeziehung zwischen den Schäden von Krone und Stamm ließ sich kein direkter, gesetzmäßiger Zusammenhang ableiten.

Daher genügt es offensichtlich nicht, nur nach augenblicklich bestehenden Symptomen und ihren Wechselbeziehungen zu suchen. Vielleicht lassen sich diese Zusammenhänge zwischen Stammwachstum und Krone bzw. Nadelverlust besser verstehen, wenn man langfristige Entwicklungen und die Pathogenese einbezieht ?

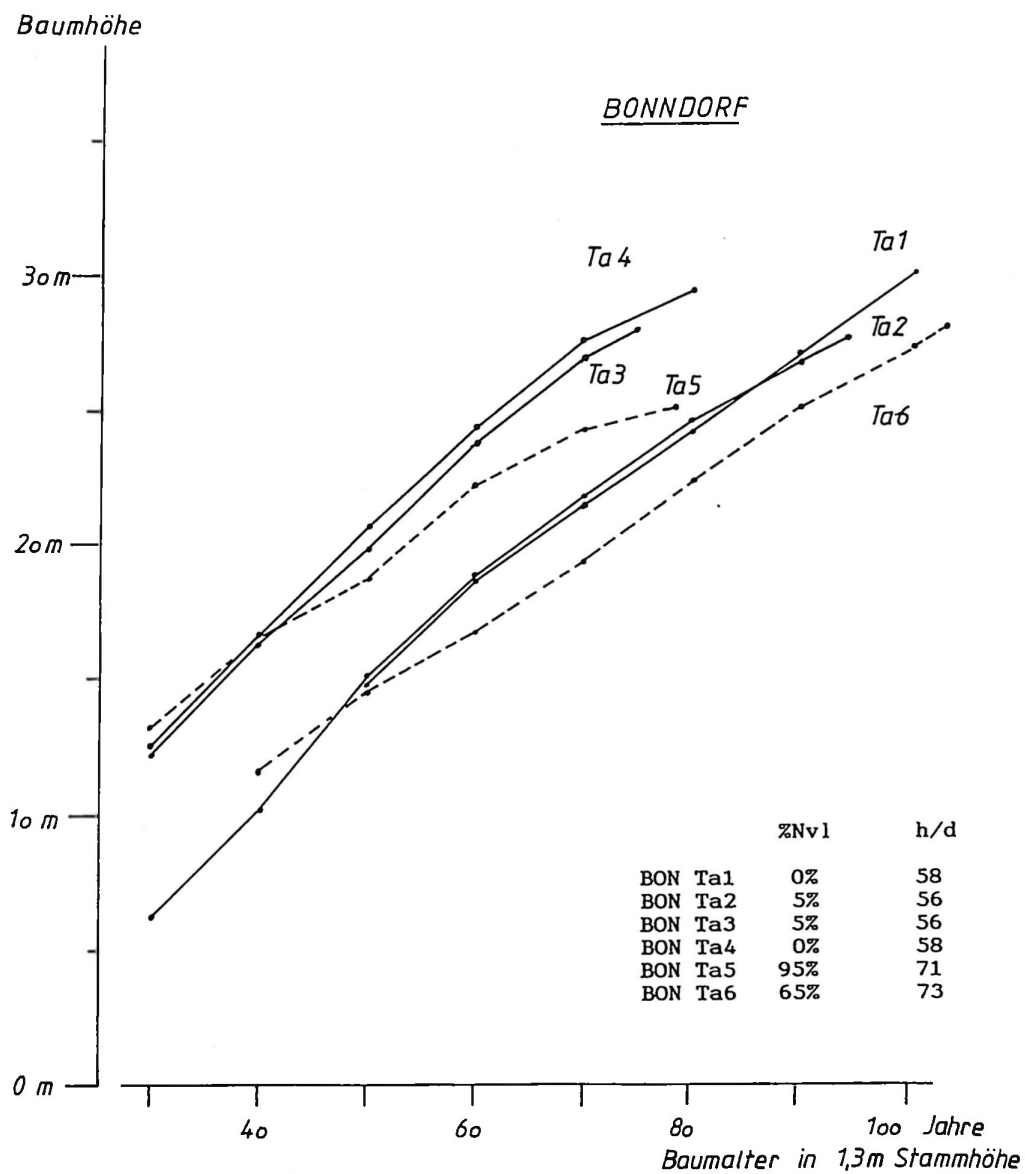


Abb. 21 a: Höhenwachstumskurven der untersuchten Tannen vom Standort **Bonndorf**; Fällungsprogramm Baden-Württemberg, 1984/85; gestrichelte Linie: stark geschädigte Bäume. Weitere Beispiele im Anhang.

Teil B

Höhenwachstum des Stamms

III/10. Vorbemerkungen

Bei einem Teil der Tannen aus dem Fällungsprogramm BW, 1984/5, wurden die Quirlabstände gemessen. Mit Hilfe von Stammscheiben aus diesen Kronen ließ sich das Höhenwachstum dieser Tannen rekonstruieren (Genauigkeit etwa ± 1 Jahr). Wieviel eine Tanne jährlich in die Höhe wächst, hängt u.a. von den Qualitäten des Standorts ab. In Hinblick auf die Symptomatologie der Walderkrankung interessieren aber weniger die absoluten Werte, als vielmehr die **Änderungen des Höhenwachstums**, insbesondere jene, durch die eine spitzkegelige Kronenform in eine abgeflachte übergehen (sog. "Storchennest").

III/11. Die Höhenwachstumskurven von den sechs Tannen eines Standorts.

Insgesamt wurden sechs Standorte untersucht.

Das Abflachen der Tannenkronen ist ein Hauptsymptom der Walderkrankung (Kapitel II/2 und 3). Im Hinblick auf die Pathogenese stellt sich die Frage, ob eine kurzfristige oder eine langfristige Entwicklung die Krone abflachen läßt.

Befund (Abb. 21 a-e):

1. Zwischen dem Schadbild der Krone (%Nvl.) und dem Höhenwachstum (dargestellt in 10-Jahres Intervallen) ist **kein gesetzmäßiger Zusammenhang** festzustellen.
2. Nur vereinzelt kommt es vor, daß eine Tanne mit starken Kronenschäden (%Nvl.) schon vor vielen Jahren anfang, weniger gut in die Höhe zu wachsen. Doch gilt dies nicht allgemein.
3. Aus den Höhenwachstumskurven mit 10-Jahres-Intervallen und den Schadbildern der Krone läßt sich **keine extrem langfristige und keine chronisch-schleichende Störung** im Höhenwachstum ableiten.

Dieser Gesichtspunkt ist wichtig für Überlegungen, wie sich die hormonelle Steuerung bei der Walderkrankung ändert, z.B. im Rahmen der "Virus-Hypothese" (vgl. Frenzel, 1985).

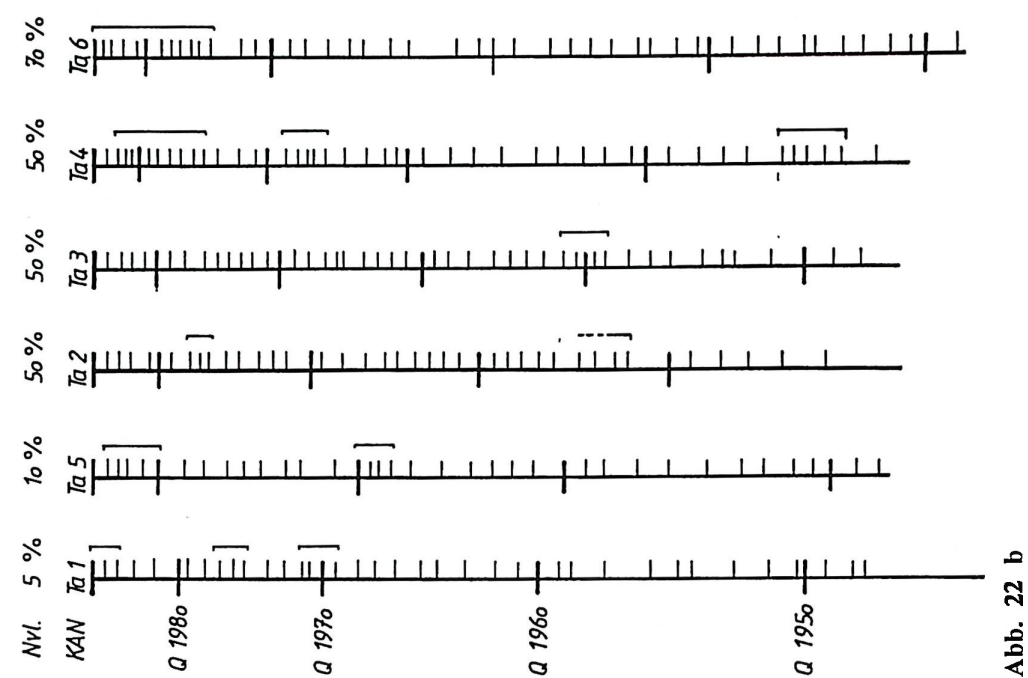


Abb. 22 b

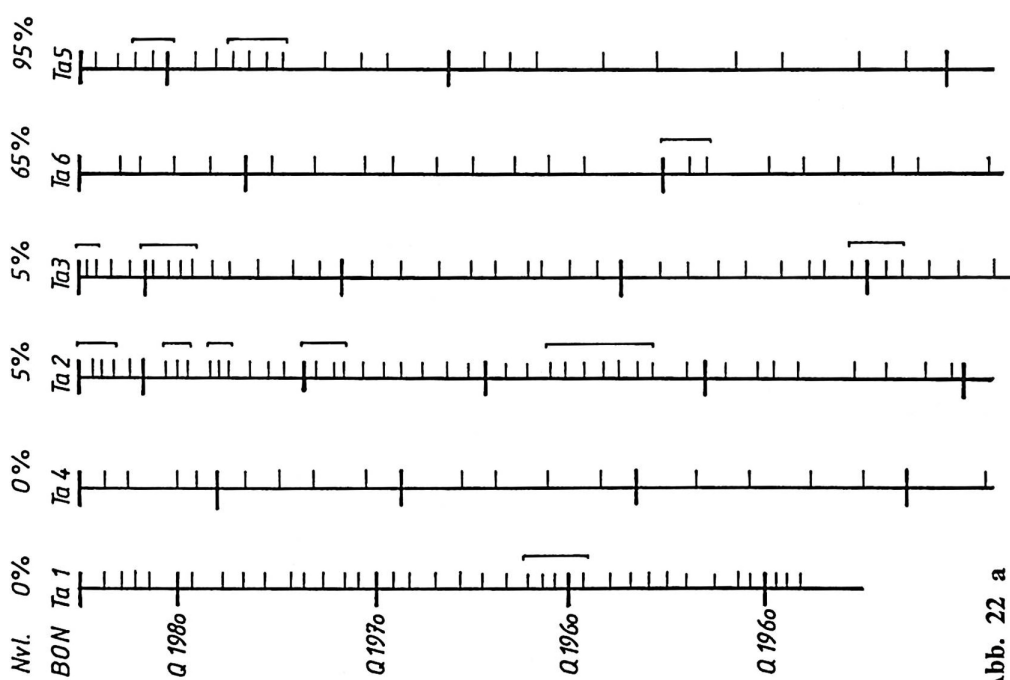


Abb. 22 a

III/12. Die Quirlabstände im oberen Stammbereich.

Mit Jahresschritten wird das Höhenwachstum nun wesentlich feiner aufgelöst als zuvor mit den 10-Jahres-Intervallen. Von denselben Tannen wie zuvor sind die Quirlabstände dargestellt (**Abb. 22 a-d**). Ähnlich dem Tannenstamm ist oben der jüngste, unten der älteste Höhentrieb.

Befund (Abb. 22 a-d):

1. Das jährliche Höhenwachstum ist nicht kontinuierlich, sondern unterliegt **kurzfristigen, z.T. starken Schwankungen**.
2. Zeiten mit engen Quirlabständen, kommen bei allen Tannen vor. Sie dauern von 2-3 Jahren bis zu mehr als 10 Jahren.
3. Der Übergang zu engeren Quirlästen vollzieht sich oft sehr plötzlich.
4. Eine "Erholung" aber, der Übergang von engen zu weiten Quirlabständen, ist meist allmählich, findet aber auch sehr plötzlich statt.
5. Vereinzelt kommt es vor, daß eine Tanne auch nur in einem einzelnen Jahr weniger in die Höhe wächst.

Die Ursachen für diese sprunghaften Änderungen des Höhenwachstums konnten in der vorliegenden Arbeit nur teilweise erklärt werden (vgl. unten).



Abb. 22 a: Jährliches Höhenwachstum, dargestellt als Quirlabstände. Sechs untersuchte Tannen des Standorts **Bonndorf**; Fällungsprogramm Baden-Württemberg, 1984/ 85. Seitliche Klammern kennzeichnen Epochen mit deutlich verringertem Höhenwachstum.

Abb. 22 b: Jährliches Höhenwachstum, dargestellt als Quirlabstände. Sechs untersuchte Tannen des Standorts **Kandern**; Fällungsprogramm Baden-Württemberg, 1984/ 85. Seitliche Klammern kennzeichnen Epochen mit deutlich verringertem Höhenwachstum.

BONNDORF

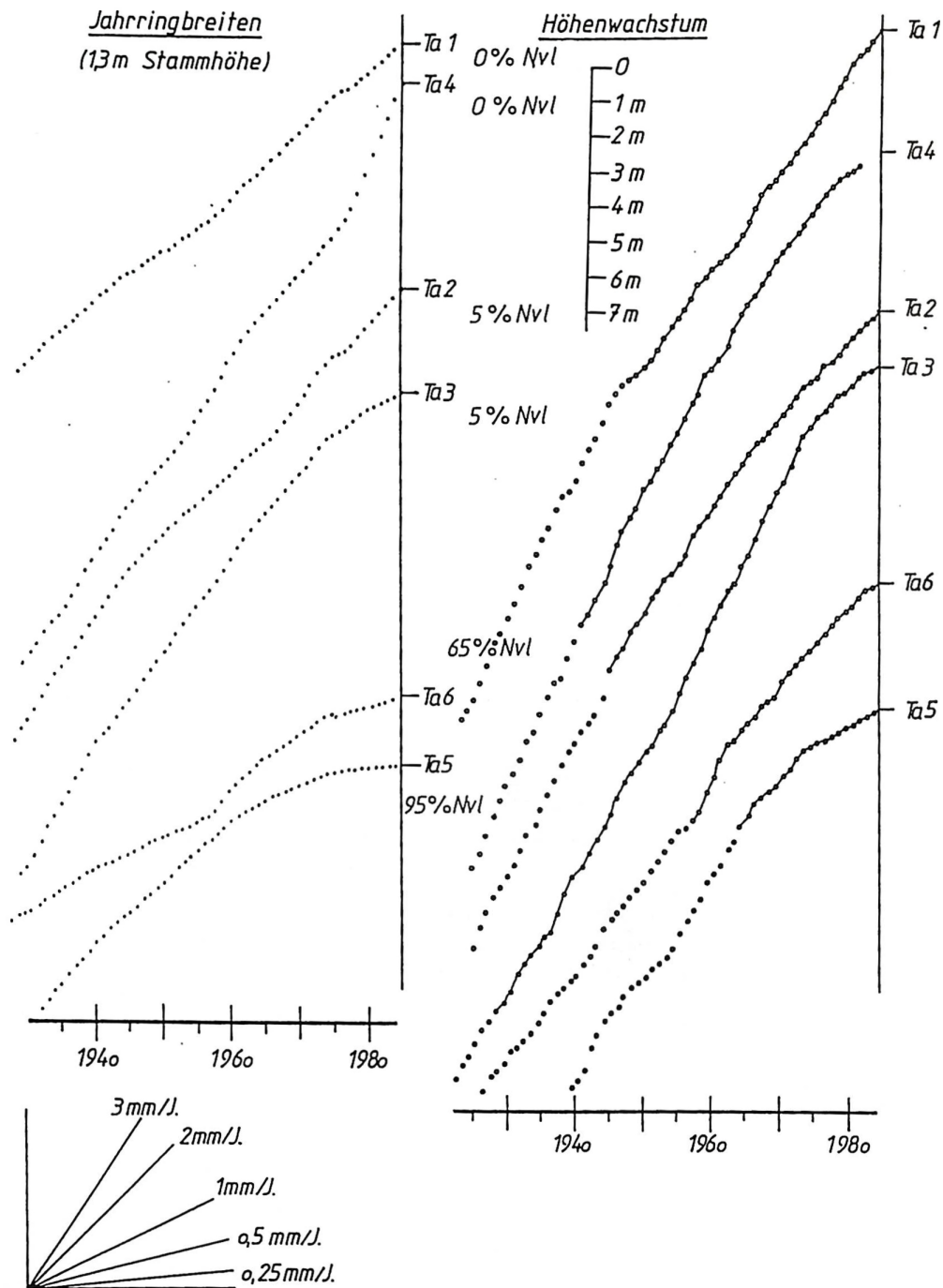


Abb. 23 a: Jährliches Dicken- und Höhenwachstum in summierter Darstellungsform; Fällungsprogramm Baden-Württemberg, 1984/85; Standort **Bonndorf/Schw.** Weitere Beispiele im Anhang.

Teil C

Vergleich von Höhen- und Dickenwachstum

III/13. Vorbemerkungen

Höhen- und Dickenwachstum haben für den Baum sehr unterschiedliche Bedeutung. Das **Höhenwachstum** entscheidet langfristig darüber, ob der Baum genügend Licht bekommt. Das **Dickenwachstum** des Stamms sichert aber die mechanische Stabilität und den Wasser-Nährsalztransport im Baum.

III/14. Die Ausmaße, in denen sich Dicken- und Höhenwachstum ändern.

In den **Abb. 23 a-f** werden wieder dieselben Tannen wie zuvor miteinander verglichen. Im rechten Diagramm sind die Höhenkurven der untersuchten Tannen, links die entsprechenden Jahrringbreiten aus 1,3m Stammhöhe, diesmal in der summierten Darstellungsweise, angegeben. Die Legende unten zeigt die Umrechnung von Kurvensteigung in Jahrringbreiten. In der rechten Bildhälfte oben befindet die Skala für die Höhenkurven.

Befund (Abb. 23 a-f):

Merkwürdigerweise ist das Höhenwachstum bei allen Tannen eines Standorts ähnlich groß, d.h. die Steigungen der Wachstumskurven sind ungefähr gleich. Im Vergleich dazu ändern sich die Breiten der **Jahrringe stärker und längerfristig**. Offensichtlich wird das Dickenwachstum stärker und nachhaltiger eingeschränkt als das Höhenwachstum.

Dies entspricht auch den Beobachtungen in jedem einschichtigen Fi-Ta-Wald. Bei gleichem Alter variieren die Stammdurchmesser sehr beträchtlich, die Baumhöhen aber nur geringfügig.

Trendänderungen im Stammwachstum

		<u>Höhenwachstum</u>						
		↓	↓	↓	=	↑	↑	↑
<u>Dickenwachstum</u>	↓	3 %	2,5 %	2,5 %	3,5 %	1 %		
	↓	2 %	9 %	4 %	6 %	1 %	1,5 %	
	↓	2,5 %	3 %	7,5 %	3,5 %	1 %		
	=	1 %	6 %	5,5 %			5,5 %	
	↑		3 %	3 %	2 %	3 %	0,5 %	
	↑		3 %	3 %	4 %	1,5 %	1,5 %	
	↑		1 %		1 %		0,5 %	

Abb. 24 a

mehrjährige Trendänderungen im Stammzuwachs

34 Tannen

197 Trendänderungen

gleichläufig

HW / DW

↑ / ↑	7 %	} 43 %
↓ / ↓	36 %	

~ 2/5

einseitig geändert

= / ↓↑	20 %	} 38 %
↓↑ / =	18 %	

~ 2/5

gegenläufig

↑ / ↓	4,5 %	} 17,5 %
↓ / ↑	13 %	

~ 1/5

Abb. 24 b

III/15. Höhen- und Dickenwachstum ändern sich z.T. gleichläufig, z.T. gegenläufig.

Mit den **Abb. 24 a und b** wurden die Diagramme von zuvor (Abb. 23 a-f) weiter ausgewertet. Die Änderungen des Höhen- und des Dickenwachstums wurden in jeweils drei Stufen eingeteilt: stark, mittel und gering. Weist der Pfeil nach oben, ist das Wachstum der Jahrringe bzw. des Höhentriebs größer als zuvor. Weist der Pfeil nach unten, ist das Wachstum kleiner als die Jahre zuvor. Insgesamt wurden 197 mehrjährige Zuwachsänderungen bei 34 Tannen erfaßt.

Befund (Abb.24 a und b):

1. Das Höhen- und das Dickenwachstum ändert sich meist etwa zur selben Zeit. Wegen der kleinen Ungenauigkeit der Höhenkurve von 1 bis 2 Jahren bleibt hier jedoch noch unklar, ob beide Änderungen im selben Jahr erfolgen oder nicht.
2. In 43% der Fälle änderten sich Höhen- und Dickenwachstum gleichläufig: Beide wuchsen entweder gleichzeitig mehr oder gleichzeitig weniger.
3. In etwa 38% der Fälle änderte sich entweder nur das Höhenwachstum oder nur das Dickenwachstum.
4. In etwa 18 % der Fälle änderten sich zwar die Zuwachsraten von Höhe und Dicke, doch die eine wurde größer, die andere aber kleiner. Das Wachstum änderte sich also gegenläufig. Bei diesen gegenläufigen Änderungen war aber das Ausmaß der Wachstumsänderungen nie extrem, sondern nur gering oder mittelstark.

Hier kann abgeleitet werden, daß das Höhen- und das Dickenwachstum bei der Tanne offensichtlich separaten Steuerungsvorgängen unterliegt. Welche Parameter steuern aber diese Wachstumsvorgänge so unterschiedlich ?

Zusätzlich ist das Folgende zu bedenken: Ob ein Höhentrieb groß oder klein ist, in beiden Fällen muß eine Tanne relativ wenig Biomasse investieren. Anders dagegen beim Dickenwachstum. Mit jedem neuen Jahrring wird entlang des Stamms ein großer, neuer Zylindermantel um den Stamm herum angelegt. Dies erfordert sehr viel Assimilate. Weitere Hinweise dazu ergeben sich noch in Kapitel XI: Das Höhenwachstum scheint eng an die Größe der Primärbenadelung gebunden zu sein.



Abb. 24 a: Zeitgleiche Änderungen vom Höhen- und Dickenwachstum des Stamms; dicker Pfeil: starke Änderungen; heller Pfeil: mittelgroße Änderung; einfacher Pfeil: geringe Änderung.



Abb. 24 b: Zusammenfassende Übersicht von Abb. 24a. Gleichlaufende, einseitige und gegenläufige Änderungen des Höhen- und Dickenwachstums.

III/16. Kronenschäden und gegenläufige Wachstumsänderungen.

Ein Einzelbeispiel aus dem Forstbezirk Klosterreichenbach, Nordschwarzwald: Tanne RW Ta 2 mag die Zusammenhänge erhellen.

Befund (Abb.25):

Diese Tanne bildete die charakteristischen Symptome der Walderkrankung aus: eine abgeflachte Krone, Nadelverluste an den Ästen, insgesamt eingestuft in Schadstufe II, mittelstarke Schäden. **Doch die Jahrringe in etwa 2m Stammhöhe sind seit dem Abflachen der Krone etwa viermal so breit wie zuvor. (!)**

Dieser Einzelfall zeigt, daß die äußerlich sichtbaren Symptome der Walderkrankung nicht immer zu einem geringeren Wachstum im Innern des Stamms führen müssen.

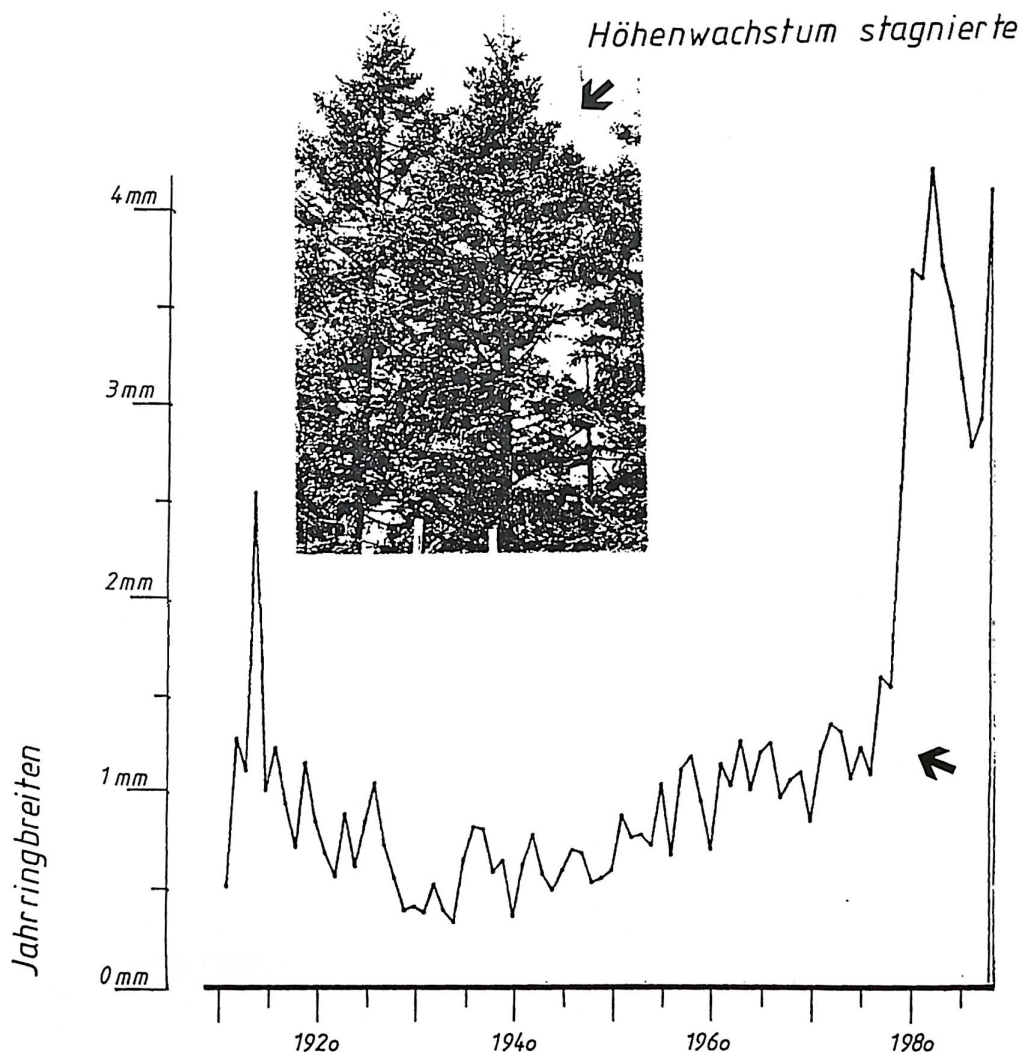


Abb. 25 zeigt die Jahrringkurve (1,3m Stammhöhe) aus dem Winter 1988/89 und das Habitusbild der oberen Krone von Tanne 2, Rauwäldle, Forstbezirk Klosterreichenbach.

III/17. Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse von Kapitel III.

- 1) Das Phänomen der plötzlichen Wuchsstockungen ("Phasen mit schmalen Jahrringen") gibt es anscheinend schon über Jahrhunderte. In vielen Fällen erholte sich das Dickenwachstum.
- 2) Auch das Höhenwachstum ist kurzfristigen Änderungen ausgesetzt. Das verringerte Höhenwachstum wirkt sich aber meist nicht so nachhaltig aus wie beim Dickenwachstum.
- 3) Das Höhenwachstum ändert sich offensichtlich sehr schnell, sowohl hin zu weniger Wachstum (Stagnation), wie auch zu mehr Wachstum, zu einer Erholung.
- 4) Sieht man sich den Verlauf der Jahrringbreiten an, entsteht der Eindruck, daß das Dickenwachstum konstanter ist, längerfristig bei einer bestimmten Zuwachsrate verharrt (evtl. spiegelt das Dickenwachstum die Assimilatmenge bzw. die Biomasseproduktion wider).
- 5) Höhen- und Dickenwachstum ändern sich meist etwa zur selben Zeit.
- 6) Diese Änderungen können gleichsinnig, gegenläufig oder aber nur einseitig sein.
- 7) Einige Wechselbeziehungen zwischen der Schädigung der Krone (%Nvl.) und dem Stammwachstum lassen sich aufzeigen:
 - a) Schwächliche Tannen, die schon lange Zeit nicht sehr breite Jahrringe hatten, zeigen bevorzugt Symptome der Walderkrankung.
 - b) Auffallend ist, daß die Tannen der Schadstufen 0,I,II häufig einen günstigen Zuwachstrend aufweisen.

Damit erhebt sich die wichtige Frage, ob man erst ab Schadstufe III (65%-95% Nvl.) eine Tanne als walderkrankt bezeichnen sollte.

 - c) Wie ein Einzelfall zeigt, genügen äußere Kennzeichen der Walderkrankung, wie das Abflachen der Krone und ein deutlicher Nadelverlust der Krone (Schadstufe II), nicht, um daraus auf engere Jahrringe schließen zu können.
- 8) **Das Stammwachstum in Höhe und Dicke spiegelt nur unzureichend den Nadelverlust der Krone wider. Daher reicht das Wachstum des Stamms allein nicht aus, um die Walderkrankung zu definieren.**

Kapitel IV

Die Symptome der Walderkrankung und zusätzliche Parameter von Stamm und Krone.

Das Bild einer walderkrankten Tanne soll differenzierter herausgestellt werden. Es wird versucht, Wechselbeziehungen zwischen den bekannten vier Symptomen der Walderkrankung und weiteren Bauparametern herauszufinden.

Teil A

Der prozentuale Nadelverlust der Krone im Vergleich mit weiteren Bauparametern.

IV/1. Kronenschäden (%Nvl.) und die Länge der Krone.

Die Größe des Wuchsraums entscheidet wesentlich darüber, wie lang eine Krone ist und wie gut der Stamm wächst (BADOUX, 1935; BURGER 1939, 1951; ASSMANN, 1957; ABETZ, 1976, 1979; WEIHE, 1978; ROZSNYAY, 1979; GERECKE, 1991). Hat eine Tanne genügend Wuchsraum, so ist ihre Krone lang und ihr Stamm vergleichsweise dick. Eine solche Tanne wird als "**vorherrschend**" bezeichnet.

Wird bei einer Tanne der Wuchsraum im Laufe der Zeit eingeschränkt, z.B. dadurch, daß Nachbarbäume zu sehr beschatten, so bekommt besonders der untere Kronenbereich weniger Licht. Die Folge davon ist: Die Äste sterben relativ bald ab, die Krone bleibt kurz, der Stamm schlank. Solch eine Tanne gedeiht nicht gut und wird als "**mitherrschend**" eingestuft. Der Wuchsraum einer Tanne wird dadurch eingeengt, daß die jungen Tannen in einem Bestand normalerweise dicht beisammen stehen, sei es natürlicherweise oder durch Pflanzung.

Möchte man nun die **Größe der assimilierenden Organe** (Nadeln) einer Tanne erfassen, um sie mit einer anderen Tanne vergleichen zu können, kann man näherungsweise die Kronenlänge als Vergleichsmaß heranziehen (Die Problematik hierzu wurde bereits schon im Abschnitt "Material und Methoden" erläutert.)

Befund (Abb. 26):

In Abb.26 zeichnet sich folgender Trend ab: **Je stärker die Tannenkronen geschädigt sind, desto kürzer sind sie.** (Form und Größe der Kronenschirmfläche wurden hier nicht berücksichtigt). Im Mittel gilt etwa:

Schadstufe	0+I	II	III
Kronenlänge etwa	13m	12m	10m

Ähnliches fanden auch SCHMID-HAAS et al (1986).

Der vorliegende Befund kann auf verschiedene Weise interpretiert werden:

(1) Aus der Literatur ist bekannt, daß walderkrankte Tannen von unten nach oben entnadeln. Sieht man eine kurze, geschädigte Krone nur als Folge der Walderkrankung an, so ist dieses Befund trivial.

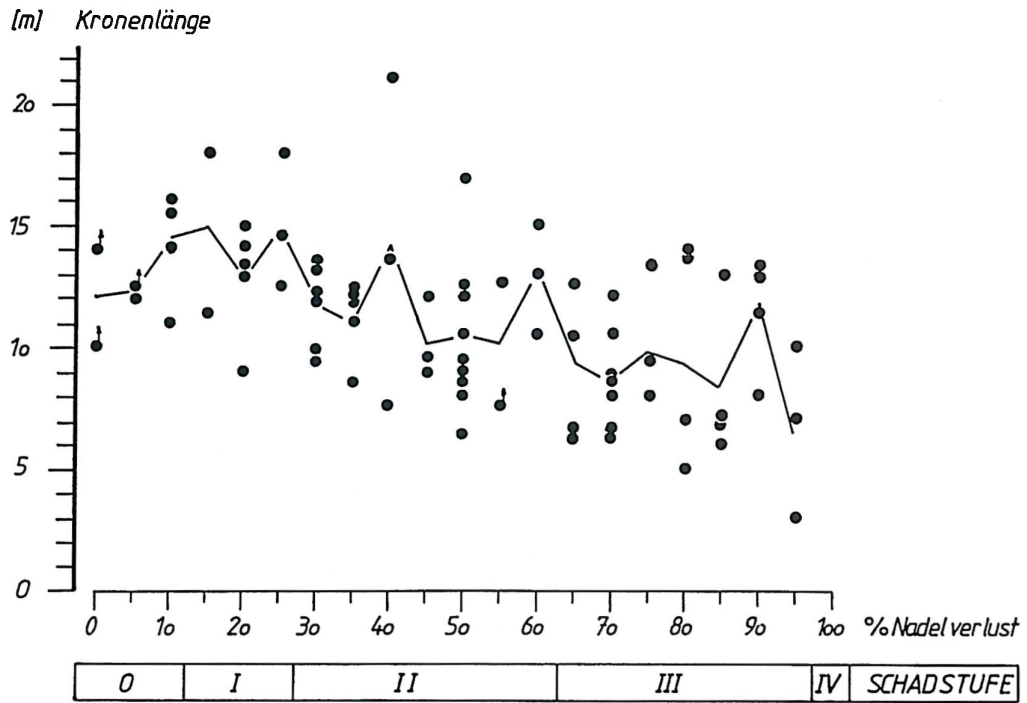


Abb. 26 zeigt den Zusammenhang zwischen der Kronenlänge und dem Schadbild der Krone (prozentualer Nadelverlust). Tannen, deren Krone einseitig länger sind, sind mit einem kleinen Pfeil markiert. Die durchgezogene Linie verbindet die Mittelwerte der einzelnen Prozentgruppen.

(2) Dieser Betrachtungsweise **widersprechen folgende Fakten**: Zwar entnadeln walderkrankte Tannen von unten nach oben, doch gilt dies fast nur für die Primärbenadelung. Die Astreiser an den unteren Altästen sind meist vital und entnadeln in der Regel nicht. Mit Ausnahme von sehr kurzen Kronen **verändert die Walderkrankung nicht die Kronenlänge**, nur die Benadelungsdichte der Krone. Dies ergibt sich sowohl aus Untersuchungen über die Benadelungsstruktur von geschädigten Tannen (Kapitel X bis XII) wie auch aus Vergleichsfotografien von Dauerbeobachtungsbäumen im Forstbezirk Klosterreichenbach (LINER et al., in Vorbereitung).

In der gängigen Lehrmeinung wird bei der Beurteilung der Walderkrankung nicht zwischen Primärtrieben und Astreisern unterschieden. Sollten sich die oben beschriebenen Beobachtungen anderweitig bestätigen, wäre es gut, die Walderkrankung der Tanne von Grund auf neu durchzudenken.

IV/2. Kronenschäden (%Nvl.) und die relative Kronenlänge.

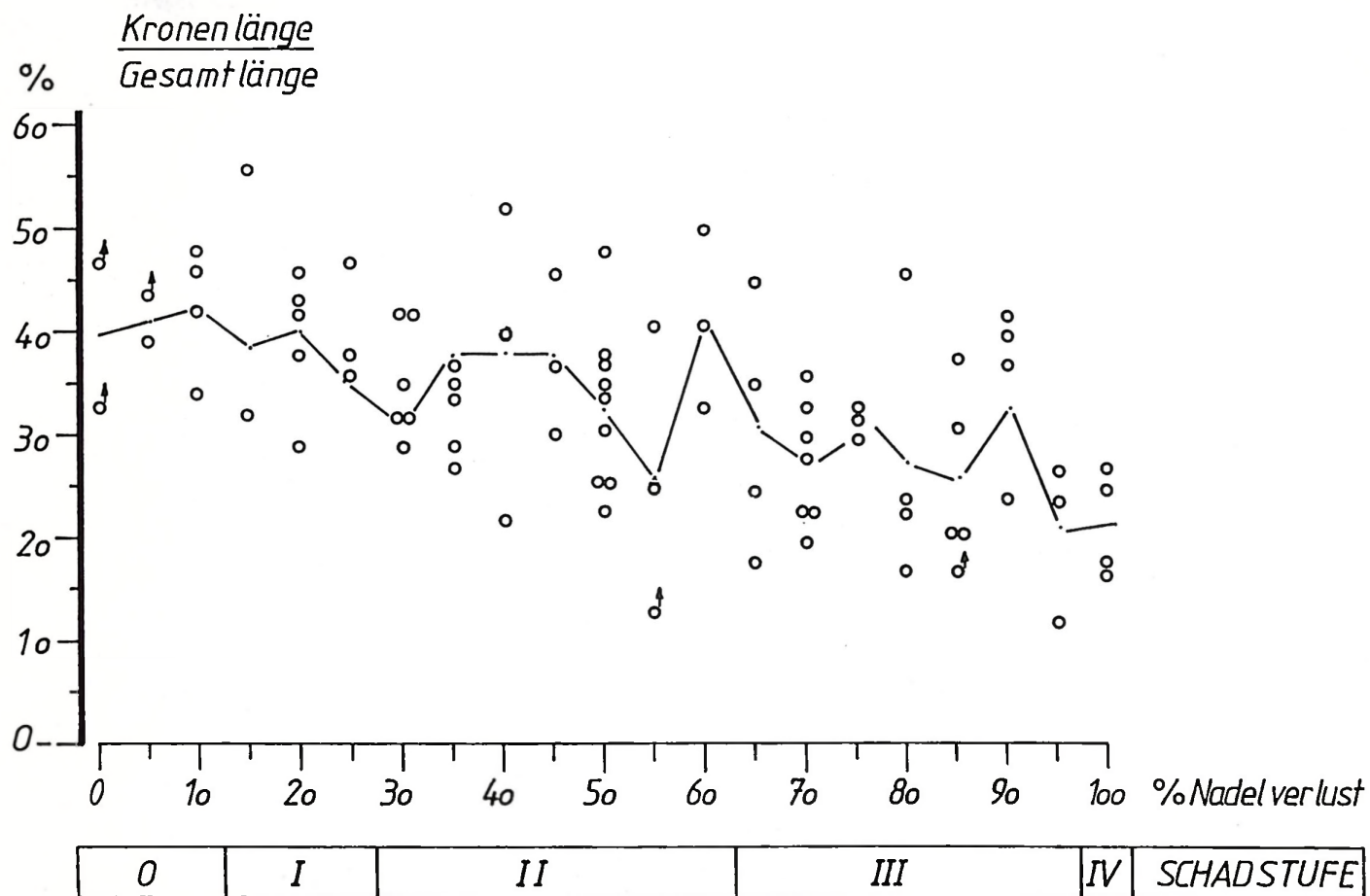
In der Literatur (OLBERG und RÖHRIG, 1955) werden Tannen mit kurzen Kronen als anfällig angesehen. Als kritisch gilt eine Krone dann, wenn sie kürzer ist als ein Drittel der Baumlänge. Um Tannen mit unterschiedlichen Baumlängen miteinander vergleichen zu können, wird hier die relative Kronenlänge eingeführt: der Quotient aus Kronenlänge zu Baumlänge.

Befund (Abb. 27):

Die Untersuchungen von OLBERG und RÖHRIG (1955), werden offenbar in Abb. 27 bestätigt: Tannen der Schadklasse III (starke Schäden, 65%-95%Nvl.) haben oft Kronen, die kleiner sind als 30% relative Kronenlänge. Sie unterschreiten damit diese kritische Marke. Die Kronen der weniger geschädigten Tannen sind dagegen meist länger (Schadstufe 0,I,II).



In **Abb. 27** sind jeweils der Nadelverlust einer Tannenkronen und ihre relative Kronenlänge einander zugeordnet. Durchgezogene Linie: Mittelwert der einzelnen Prozentgruppen.



IV/3. Kronenschäden (% Nvl.) und die Abweichungen von der mittleren Baumhöhe.

Die mittlere Baumhöhe wurde aus den sechs Probestämmen eines Standorts errechnet (Fällungsprogramm BW 1984/85).

Befund (Abb. 28):

Es zeigt sich, daß Tannen mit großen Nadelverlusten häufig nicht die mittlere Bestandeshöhe erreichen. Dagegen überragen die Tannen mit geringen oder mittleren Nadelverlusten meist den Bestand.

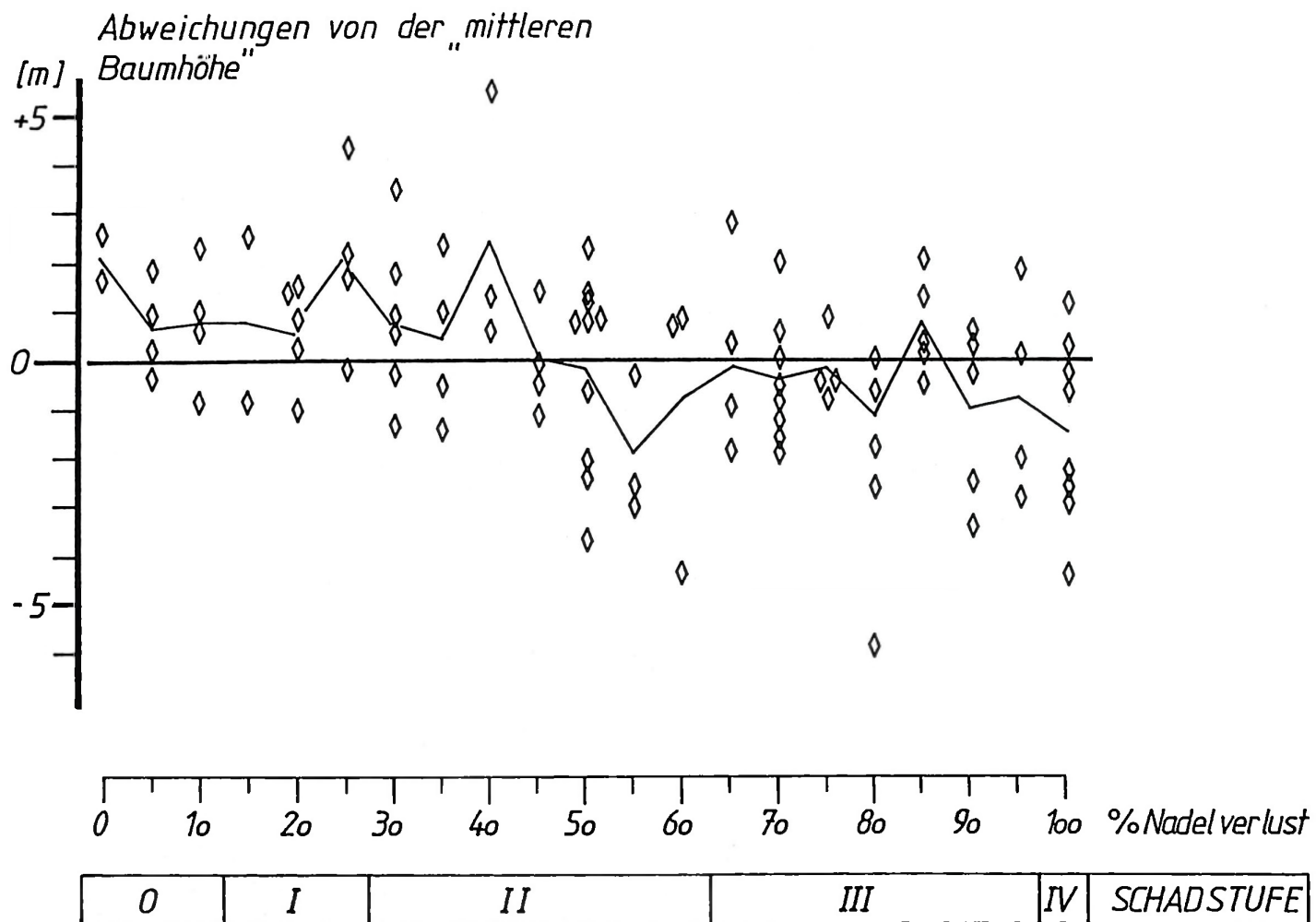
Dieser Sachverhalt läßt sich auf zwei gegensätzliche Weisen interpretieren, mit der Walderkrankung und mit der Konkurrenz im Bestand.

(1) Die Walderkrankung der Tanne vermindert das jährliche Höhenwachstum ("Storchennest").

(2) Vorherrschende Tannen, also jene, die zeitlebens genügend Wuchsraum, d.h. weniger Konkurrenzdruck hatten, haben nicht nur im unteren Kronenbereich eine besser ausgeformte Krone, sondern sie überragen auch mit dem Wipfel die anderen Bäume. Sie sind etwas höher als das mittlere Bestandesniveau. Der Höhenunterschied zwischen vor- und mitherrschenden Tannen ist gering, nur wenige Meter. Doch langfristig entscheiden diese wenigen Meter einer besser besonnten Krone über die soziologische Stellung im Bestand. Zunächst bleibt offen, welche der beiden Interpretationen zutrifft.



Abb. 28 zeigt, daß Tannen mit großen Nadelverlusten häufig nicht die mittlere Bestandeshöhe erreichen. Dagegen überragen die Tannen mit geringen oder mittleren Nadelverlusten meist den Bestand. Durchgezogene Linie: Mittelwert der einzelnen Prozentgruppen.



IV/4. Kronenschäden und Schlankheitsgrade des Stamms (h/d-Werte).

Der h/d-Wert ist der Quotient aus der Baumhöhe und dem Stammdurchmesser, gemessen in der Standardhöhe 1,3m. Relativ dicke Stämme haben einen kleinen h/d-Wert, schlanke Stämme einen großen. Auf den Zusammenhang zwischen Konkurrenzdruck und h/d-Wert und auf die Grenzen ihrer Aussagekraft wurde bereits im Abschnitt "Material und Methoden" hingewiesen. Sowohl die Walderkrankung wie auch der Konkurrenzdruck führen zu einer geringeren Wuchsleistung. Doch ist noch unklar, ob sich beide **gleichartig** auf das Wachstum von Krone und Stamm auswirken, bzw. worin sich ihre Wirkungen unterscheiden.

IV/4.a. Kronenschäden (%Nvl.) und die Abweichungen des h/d-Wertes vom Mittel der sechs Tannen eines Standorts.

Zu Abb. 29: Dieser Mittelwert wurde aus den sechs untersuchten Tannen eines Standorts gebildet. Damit hat man eine einheitliche Bezugsgröße, um unterschiedliche Standorte miteinander vergleichen zu können. Unabhängig vom Waldstandort sieht man in diesem Diagramm sofort, welches die schlanken Stämme eines Bestandes sind und welche zu den vergleichsweise dicken zählen (kleine h/d-Werte).

Befund (Abb. 29):

Zwar streuen die h/d-Werte, doch wird folgender Trend deutlich sichtbar: Die dicken Stämme eines Standorts (relativ kleine h/d-Werte) haben wenig oder keine Nadelverluste in der Krone. Dagegen zeigen Tannen mit schlanken Stämmen (vergleichsweise große h/d-Werte) oft eine stark geschädigte Krone.

IV/4.b. Kronenschäden (%Nvl.) und h/d-Werte.

Bei der relativen Kronenlänge in Kapitel IV/2 hatte sich die Aussage von OLBERG und RÖHRIG (1955) bestätigt, daß vermehrt Nadelverlustschäden auftreten, wenn die Krone kürzer ist als ein Drittel der Baumlänge.

Die h/d-Werte werden daher **ohne** den Bezug zum Mittelwert des Standorts verwendet. Im Gegensatz zur vorherigen Abbildung, werden hier die Veränderungen des h/d-Werts durch Standort und Bestandesstruktur ignoriert.

Befund (Abb. 30):

Wie nun Abb. 30 zeigt, gibt es vergleichbare Mindestgrößen anscheinend auch bei den h/d-Werten. **Tannen ohne oder mit nur geringen Schäden haben häufig h/d-Werte, die kleiner als 65 sind.** Dagegen liegt bei Tannen der Schadstufe III (starke Schäden) dieser Quotient (h/d-Wert) oft über 65.

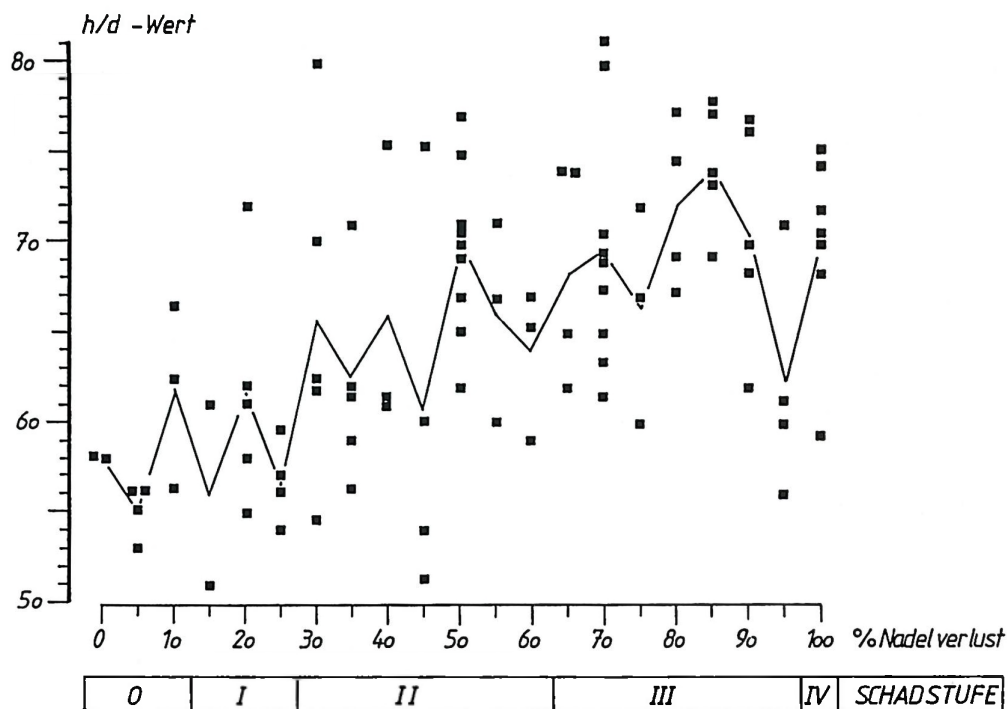


Abb. 29 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Kronenschaden (%Nvl.) einer Tanne und der Abweichung ihres h/d-Wertes vom Mittel des jeweiligen Standorts (6 Tannen). Durchgezogene Linie: Mittelwert der einzelnen Prozentgruppen.

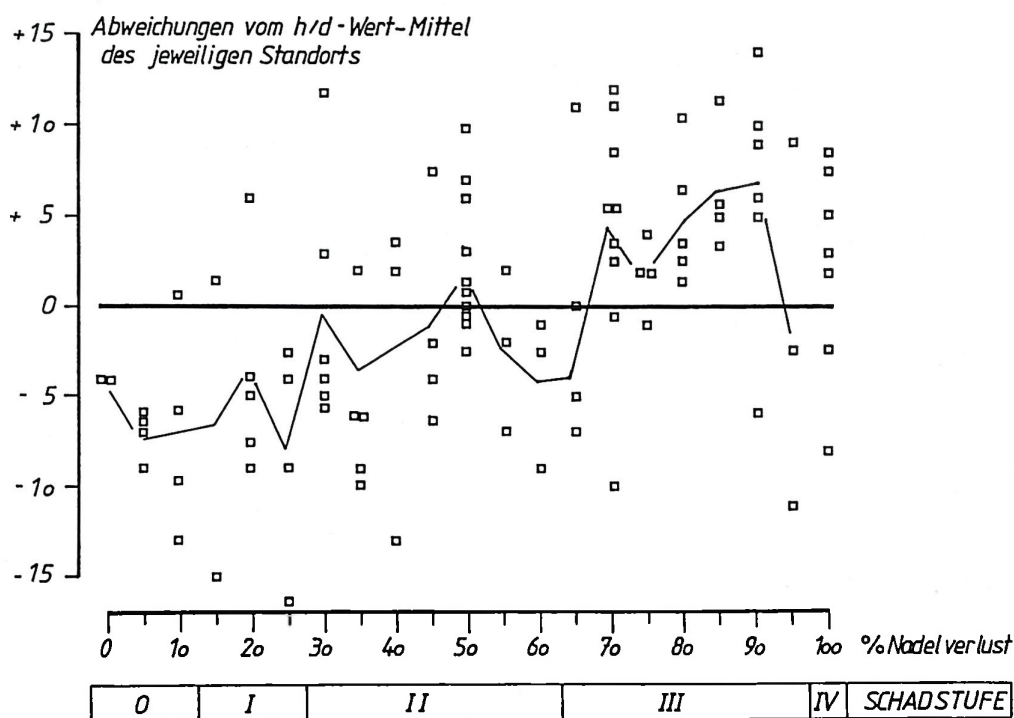


Abb. 30: Bei den untersuchten Tannen werden die Kronenschäden (%Nvl.) mit den h/d-Werten des Stamms verglichen.

IV/4.c. Kronenschäden (%Nvl.) und die h/d-Werte der Tannen, aufgeschlüsselt nach Standorten.

An jedem einzelnen Standort soll nochmals überprüft werden,

- ob bei vergleichbarer Baumhöhe Tannenkronen mit dicken Stämmen weniger geschädigt sind als mit schlanken Stämmen;
- ob es sich bei dem einzelnen Standort bestätigt, daß Mindestgrößen des h/d-Werts bei den Kronenschäden eine Rolle spielen.

Befund (Abb. 31):

1. Ist der Mittelwert des h/d-Quotienten auf einem Standort 65 oder kleiner, so gilt hier regelmäßig: **Je stärker eine Tannenkrone geschädigt ist, desto schlanker ist ihr Stamm.**
2. Liegt bei einem Standort das Mittel der h/d-Werte über 65, ist diese Gesetzmäßigkeit nicht mehr so ausgeprägt.

Es scheinen daher für die Kronenschädigungen Mindestgrößen eine Rolle zu spielen. Doch soll dieser Befund zunächst nicht weiter interpretiert werden.

Abb. 31 a.

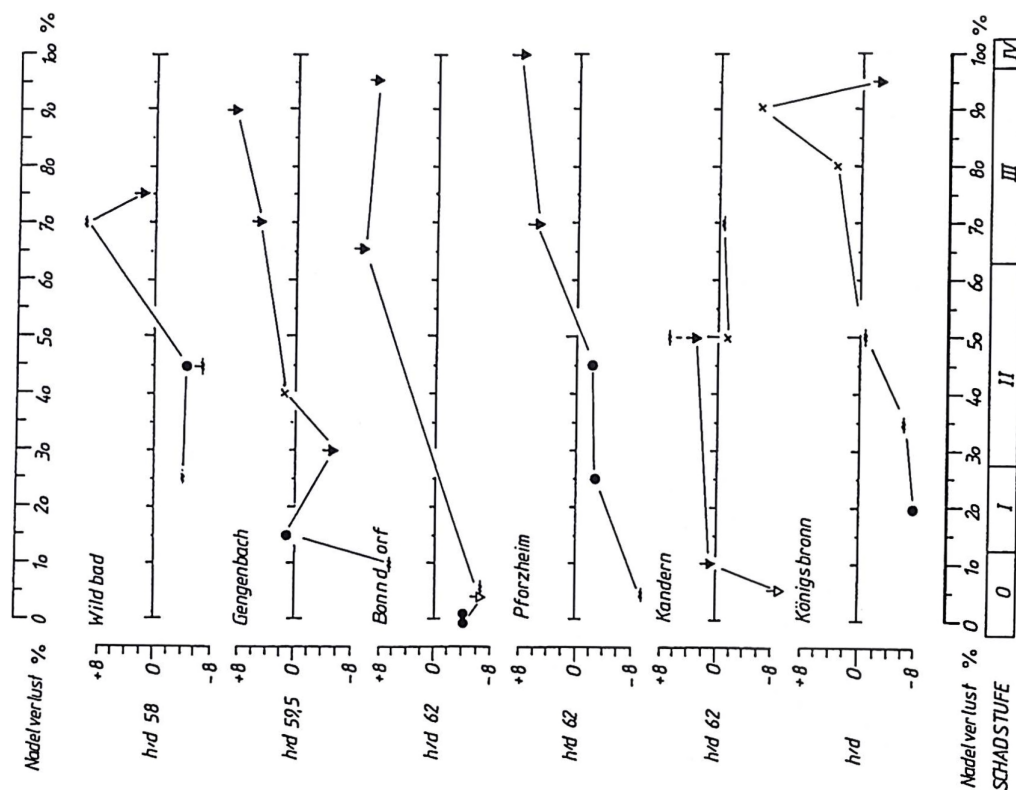


Abb. 31 b.

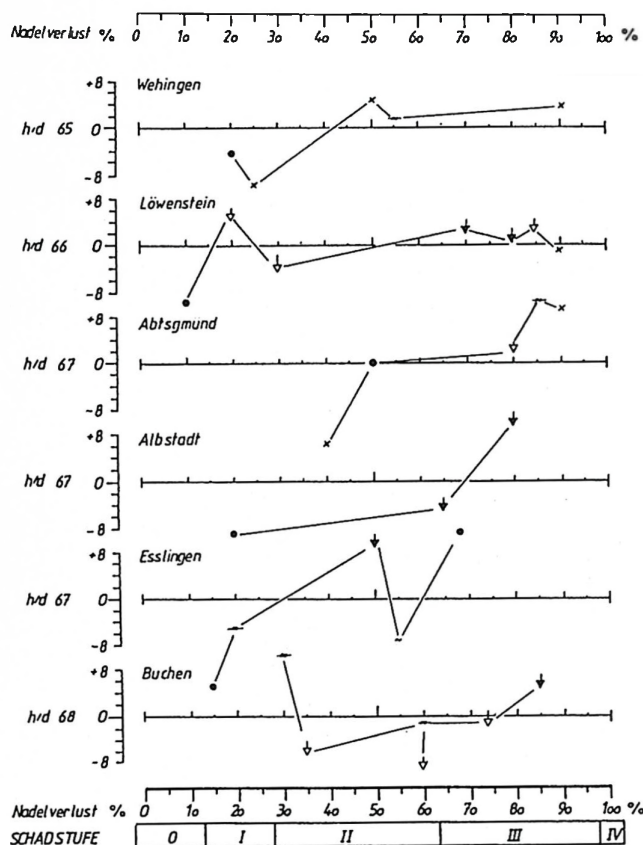


Abb. 31 c.

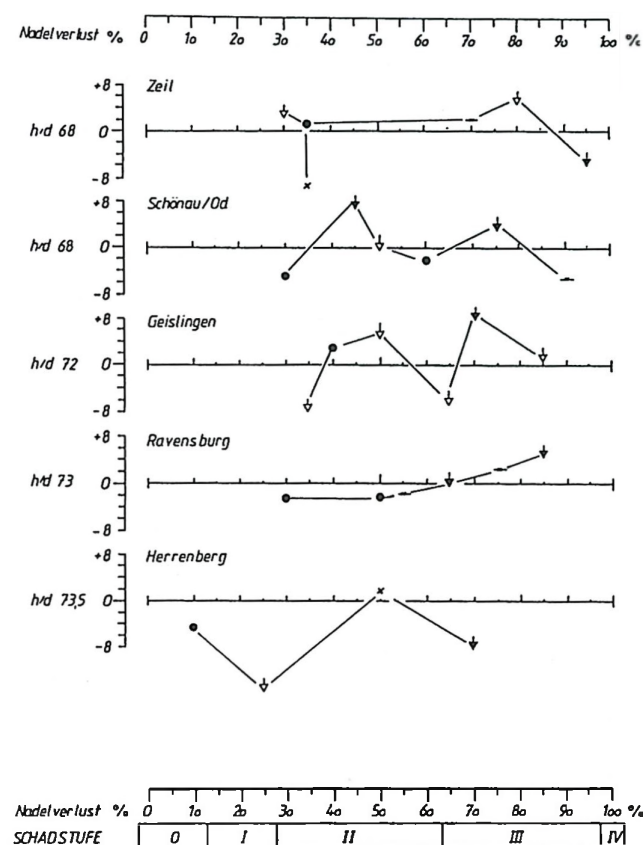


Abb. 31 a-c: Die Standorte sind nach aufsteigenden h/d-Mittelwerten geordnet. Für jeden einzelnen Standort wurden nun die Abweichungen von diesem Mittelwert eingetragen. Bezugsgröße auf der Abszisse ist der prozentuale Nadelverlust. Symbole geben die Jahrringentwicklung wieder, vgl. Kapitel IV/6.

Teil B

Verschiedene Bauparameter werden - ohne das Kriterium "prozentualer Nadelverlust" - untereinander verglichen.

Während den Untersuchungsarbeiten entstanden ernsthafte Zweifel, ob der prozentuale Nadelverlust wirklich ein geeignetes Kriterium ist, um die Walderkrankung symptomatologisch hinreichend gut zu beschreiben (Kapitel II, XI, XII, XV). Daher wird hier nun versucht, unabhängig von diesem gängigen Beurteilungsverfahren eine gut und eine schlecht wachsende Tanne von einer walderkrankten Tanne zu unterscheiden.

IV/5. Die Beziehung von Stammform (h/d-Wert) zur Kronenlänge.

Beide Parameter stehen in enger Beziehung zum Assimilationshaushalt (Material und Methoden).

Befund (Abb.32):

1. Die Extrempositionen im Diagramm zeigen folgenden Trend: Langkronige Tannen haben oft einen kleinen h/d-Wert. Umgekehrtes trifft für die meisten Tannen mit kurzer Krone zu.

Dieses Ergebnis muß nicht unbedingt auf die Walderkrankung zurückgeführt werden; es ließe sich beispielsweise auch mit dem prägenden Einfluß des Konkurrenzdrucks erklären.

2. Zwischen den Extrempositionen streuen die Werte über weite Bereiche.

Es scheint, daß die Kronenlänge vermutlich ein zu grober Parameter ist, um die Ausmaße einer Krone hinreichend zu erfassen. Das weite Streuen der Werte läßt sich z.B. auf die seitliche Ausformung der Krone zurückführen. Dieser Parameter wurde im Gelände nicht erfaßt (Abschnitt "Material und Methoden").

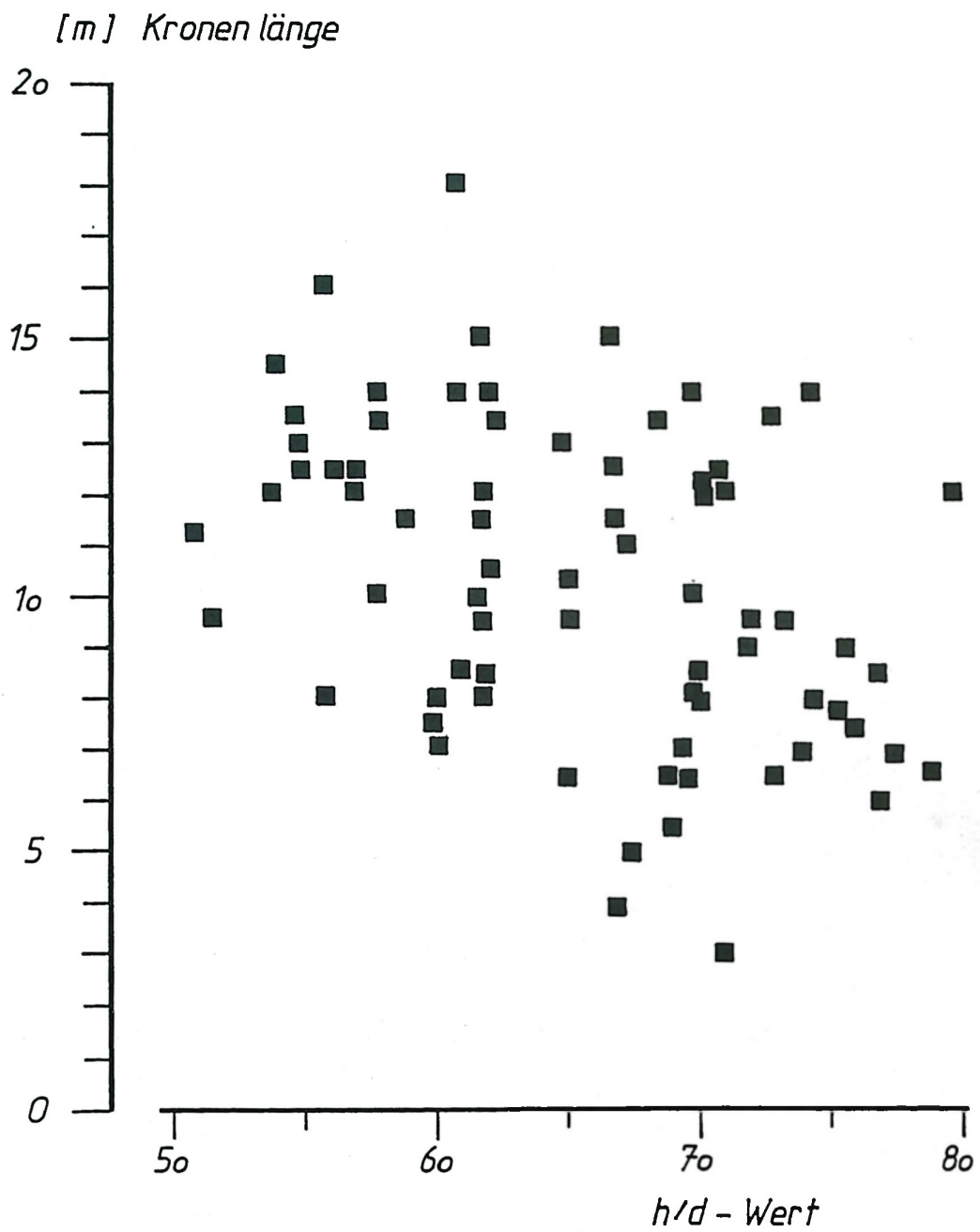


Abb. 32: Der h/d-Wert des Stamms wird mit der Länge der Krone verglichen.

IV/6. h/d-Wert, Kronenlänge und Zuwachsverlauf der Jahrringe in 1,3m Stammhöhe.

Um einen langfristigen Entwicklungsgang mit in das Wechselspiel von Kronenlänge und Stammform einzubeziehen, wurde in das Diagramm der Zuwachsverlauf aufgenommen. Wie in Kapitel II/3 werden die Entwicklungen der Jahrringe in vier Zuwachsverläufe eingeteilt:

● Die Jahrringe waren **immer etwa gleichmäßig breit**, ohne große Schwankungen im Zuwachsverlauf.

— Die Jahrringe sind **unregelmäßig gewachsen**, mal breiter, mal schmaler. Die Änderungen waren aber nie so plötzlich und tiefgreifend, wie bei den "Phasen mit schmalen Jahrringen".

▼ Eine solche Tanne ist noch in einer "Phase mit schmalen Jahrringen" und hat sich zum Zeitpunkt der Fällung noch **nicht erholt**.

▽ Tannen mit hellem Pfeil hatten irgendwann einmal eine "Phase mit schmalen Jahrringen", wachen aber zum Zeitpunkt der Fällung schon wieder **deutlich besser**.

Befund (Abb.33):

1. Tannen mit kurzen Kronen und großen h/d-Werten (beides sind Merkmale für eine "mitherrschende" Stellung) haben bevorzugt plötzliche Wuchsstockungen. Teils dauern diese Zuwachsrückgänge an, teils hat sich der Zuwachs bereits erholt.
2. **Ein weiteres, sehr wichtiges Ergebnis ist: Bei allen Kronenlängen und allen h/d-Werten gibt es immer wieder auch Tannen, deren Jahrringe fast gleichmäßig gewachsen sind.**

Schlußfolgerungen. Wenn die Jahrringe gleichmäßig gewachsen sind, fehlen Wuchsstockungen, die Anzeichen der Walderkrankung im Holz. Somit hat ein Teil der Tannen eine kurze Krone und einen schlanken Stamm **ohne** walderkrankt zu sein. **Die kurze Krone und der schlanke Stamm sind daher vor allem als Wirkung des Konkurrenzdrucks anzusehen.**

Andererseits zeigt dies aber auch: **Konkurrenzdruck alleine führt nicht zu den spezifischen Wuchsstockungen der Walderkrankung.**

Teil C

Es werden immer zwei Gruppen von Tannen mit gegensätzlichen Merkmalen ausgewählt und in weiteren zwei oder drei Parametern miteinander verglichen.

Neu bei dieser Auswertungsweise ist, daß zusätzlich die große Bedeutung der Kronenentwicklung deutlich wird.

Für diese Untersuchungen wurden in einem ersten Schritt zwei eindeutig definierte Gruppen von Tannen einander gegenüber gestellt: Sie unterscheiden sich jeweils in **einem gegensätzlichen, qualitativen Merkmal**. In einem zweiten Schritt werden

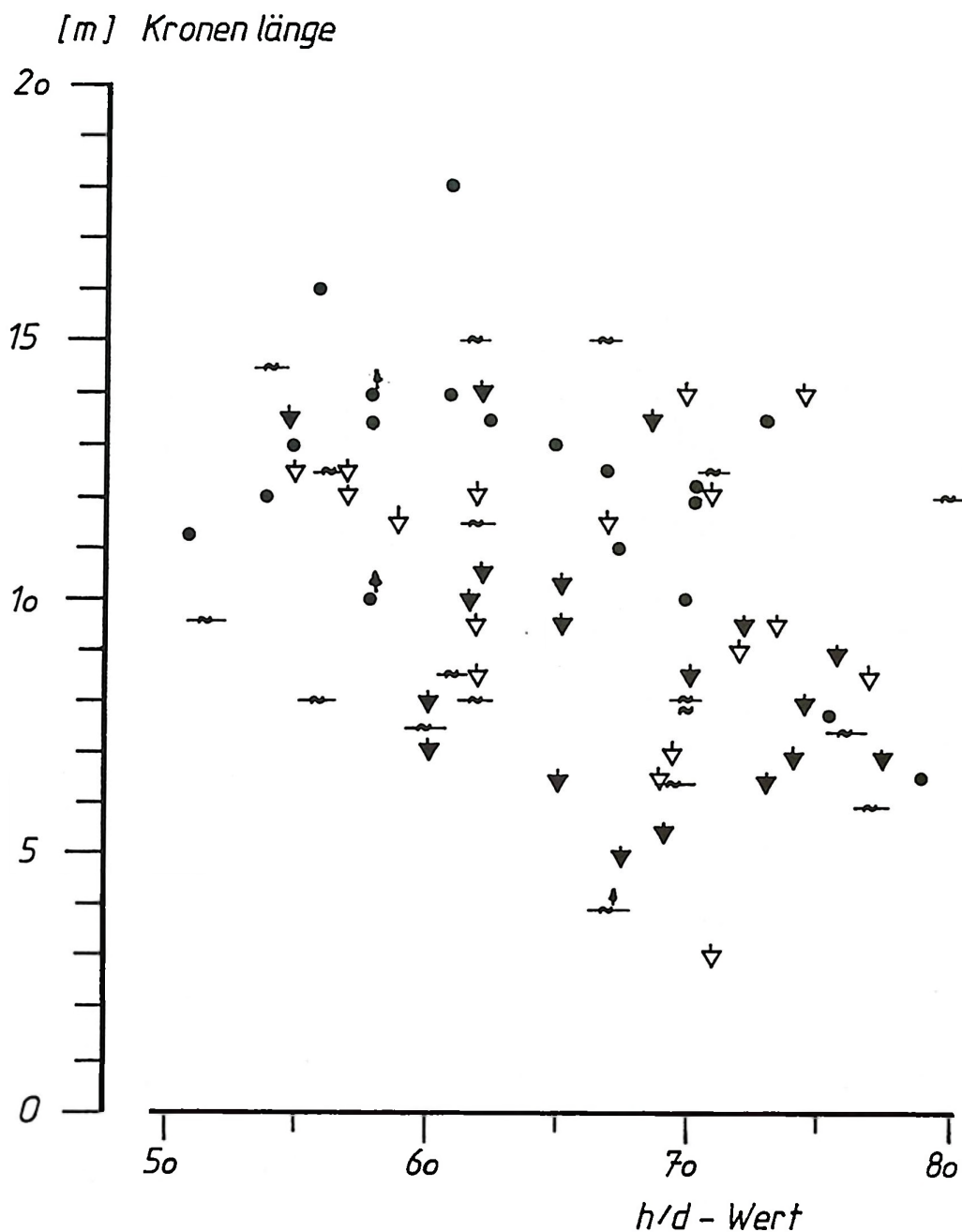


Abb. 33 stellt den Zusammenhang zwischen Kronenlänge, h/d-Wert und dem Zuwachsverlauf der Jahrringe dar. Die Tannen links oben im Diagramm sind im Normalfall sehr wüchsige, vorherrschende Exemplare. Rechts unten sind jene Tannen, die durch ihre Größen von Krone und Stamm eher der mitherrschenden soziologischen Baumklasse zuzuordnen sind. Dabei bleibt zunächst unbekannt, ob die Walderkrankung oder Konkurrenzdruck zu dieser schlechten soziologischen Baumklasse führte.

quantitative Größen gesucht, die dann diesen beiden Extremgruppen zugeordnet werden. Waren in den vorangegangenen Diagrammen nur Trends zu erkennen, wird nun mit den Merkmalkombinationen dieser Extremfälle das Bild einer gesunden bzw. einer walderkrankten Tanne schärfer gezeichnet.

Nachteilig ist, daß auch hier ein Teil der weniger extremen Fälle nicht einbezogen wird. Im Vergleich zu Kapitel II/3 wird dies aber teilweise kompensiert, denn neben dem prozentualen Nadelverlust dienen auch andere Symptome als Bezugsgrößen. Dieses Vorgehen führt zu zwei Gruppen von Merkmalen, die jeweils eine gut wüchsige Tanne und eine Tanne mit eingeschränkter Vitalität kennzeichnen.

IV/8. Die Abweichung der Baumhöhe von der mittleren Bestandeshöhe wird in Beziehung gesetzt zur Länge und dem Alter der Krone und zum Zuwachsverlauf der Jahrringe.

Diese Abweichungen und Parameter der Krone spiegeln den Konkurrenzdruck wieder. Die Jahrringe zeigen die Wachstumsentwicklung des Stamms.

Befund (Abb. 34):

1. Ragen die Tannen über die mittlere Bestandeshöhe hinaus, so gediehen in den Jahrzehnten zuvor Stamm und Krone gut:

- a) meist sind die Jahrringe im Stamm gut gewachsen;
- b) meist setzen die Quirlastkronen sich aus weit über 30 Quirlen zusammen und die Kronen sind deutlich länger als 10m;
- c) **In jener Zeitepoche, als die jetzige Krone sich entwickelte, wuchs sie im Durchschnitt mehr als 30cm pro Jahr in die Höhe.**

2. Dagegen sind Tannen, die nicht die mittlere Bestandeshöhe erreichten, auch sonst in Krone und Stamm beeinträchtigt und zeigen häufig Symptome der Walderkrankung:

- a) Nur vereinzelt sind ihre Jahrringe gleichmäßig gewachsen. Meist sind sie ungleichmäßig, oft mit plötzlichen Wuchsstockungen (WK-Symptom).
- b) **Ihre Quirlastkronen sind kürzer als 10m und nicht so alt.**
- c) Während der Entwicklungszeit der Krone wuchs der Stamm durchschnittlich **weniger als 30cm pro Jahr** in die Höhe.

Ließ sich in Kapitel III/10 noch kein allgemeiner Zusammenhang zwischen dem Nadelverlust und der Höhenentwicklung in 10-Jahres-Intervallen feststellen, so wurde in Kapitel III/11 deutlich, daß das Höhenwachstum sehr kurzfristig zu engen Quirlabständen übergehen kann. Dies zeigte sich bei allen Tannen, unabhängig davon wie stark sie geschädigt waren.

Doch hier läßt sich nun zum ersten Mal jener Zeitraum eingrenzen, in dem ein verringertes Höhenwachstum sich deutlich bemerkbar macht: Es ist die Zeit, in der sich die jetzige Krone entwickelte.

Als ein weiteres Symptom der Walderkrankung wird in den folgenden Diagrammen die Benadelung der Astperipherie einbezogen.

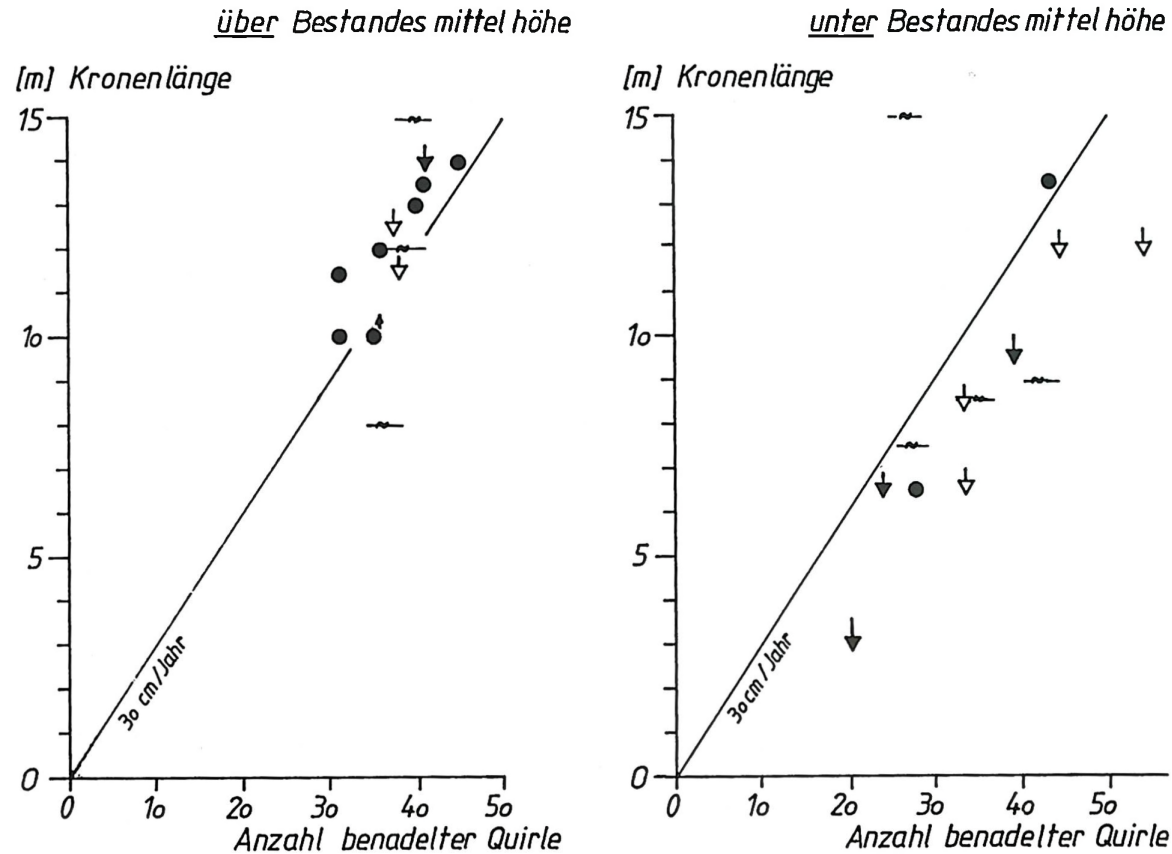


Abb. 34: Entsprechend ihrer Konkurrenzsituation werden zwei Gruppen ausgewählt: Die einen ragen über die mittlere Bestandeshöhe hinaus, die andern bleiben unterhalb. In beiden Gruppen wird immer die Länge der Krone mit dem Alter der Krone (Anzahl benadelter Quirle) verglichen. Die durchgezogene Linie zeigt eine mittlere Zuwachsrate von 30cm/Jahr an (abgeleitet aus der Kronenlänge und der darin enthaltenen Quirle). Mit den Symbolen wird zusätzlich der Zuwachsverlauf der Jahrringe im Stamm miteinbezogen. Symbole wie in Kapitel IV/6.

IV/9. Vergleich der Abweichung der h/d-Werte mit der Abweichung von der mittleren Bestandeshöhe und die Qualität der Astbenadelung.

Diese soziologische Stellung (Konkurrenzdruck) wird mit einem Walderkrankungssymptom, der Benadelungsqualität der am meisten gefährdeten Äste der Krone, verglichen.

Befund (Abb. 35):

1. Tannen mit voll benadelten Ästen erfüllen auch sonst eher die Kriterien vorherrschender Tannen: Sie überragen den Bestand, und ihre Stämme sind relativ dick.
2. Umgekehrt haben Tannen mit kümmernder Astperipherie die Merkmale mitherrschender Tannen. Kümmeräste zeigen vielfach plötzliche Wuchsstockungen und abnorme Nadelverluste. Tauchen mehrere Kümmeräste an einer Tanne auf, so sind sie als ein sehr spezifisches Symptom der Walderkrankung zu werten (Kapitel XII).

IV/10. Die Benadelung der Astperipherie, h/d-Werte und Kronenlängen.

Befund (Abb. 36):

Zum ersten Mal **trennt eine klare Linie** zwischen diesen beiden extremen Tannengruppen:

- (1) Tannen mit Kümmerästen (Äste mit deutlichen Nadelverlusten) haben eine Krone, die kürzer als 10m ist oder einen Stamm mit einem h/d-Wert, der größer als 65 ist.
- (2) Tannen, deren Äste alle voll benadelt sind, haben eine Krone, die länger als 10m ist und einen h/d-Wert kleiner als 65.



Abb. 35: Zwei extreme Gruppen werden aus den untersuchten Tannen herausgegriffen:

- Der schwarze Punkt zeigt, daß **alle Äste** dieser Tanne vollständig benadelt sind.
- △ Das Dreieck zeigt, daß bei dieser Tanne ein Teil der Äste deutliche Nadelverluste aufweist (Kümmeräste). Zwei Parameter des Stamms geben die Stellung der jeweilige Tanne im Bestand wieder: die Abszisse zeigt die Abweichung des h/d-Werts, die Ordinate die Abweichung von der mittleren Bestandeshöhe (dieser Mittelwert wurde aus den untersuchten Tannen des jeweiligen Standorts bestimmt.)



Abb. 36 zeigt die Kombination zweier weiterer Konkurrenzmerkmale: Kronenlänge und h/d-Wert. Links oben sind vorherrschende Tannen, rechts unten mitherrschende. Es interessiert, bei welchen Tannen die Benadelung der Astperipherie deutlich gut, bei welchen deutlich schlecht ist (die Krone hat etliche sog. "Kümmeräste"). ● Der schwarze Punkt zeigt, daß **alle Äste** dieser Tanne vollständig benadelt sind. △ Das Dreieck zeigt, daß bei dieser Tanne ein Teil der Äste deutliche Nadelverluste aufweist (Kümmeräste).

Abweichung der Baumhöhe vom Mittel der Probebäume
eines jeden Standorts

[m]

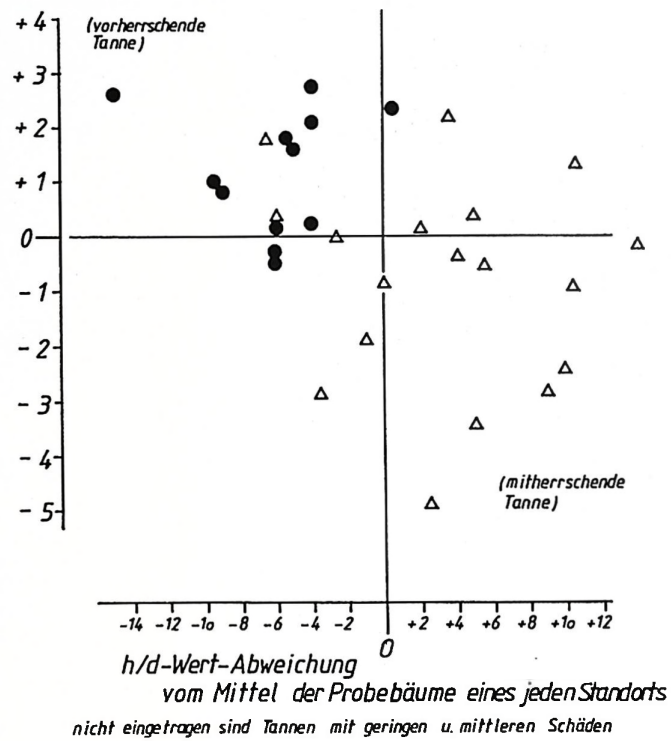


Abb. 35

[m] Kronenlänge

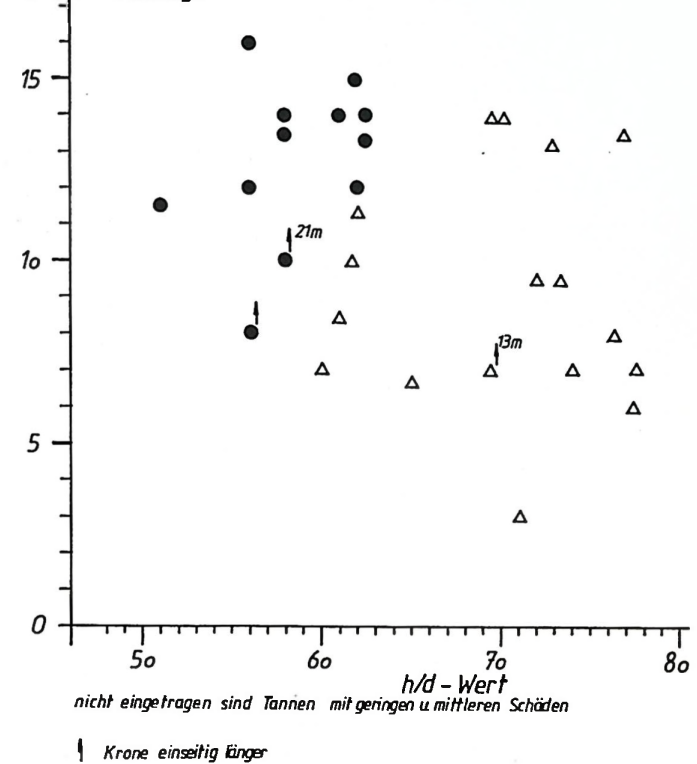


Abb. 36

IV/11. Zusammenfassung: Merkmale der walderkrankten Tanne.

In Kapitel II sind die vier Hauptsymptome der Walderkrankung genannt worden:

- starker Nadelverlust der Krone (65%-95%Nvl.)
- Kümmeräste mit nur 1-3 Nadeljahrgängen an der Peripherie
- abgeflachte Krone (verringertes Höhenwachstum)
- "Phasen mit schmalen Jahrringen" (verringertes Dickenwachstum des Stamms)

Tannen, die alle diese vier Hauptsymptome gleichzeitig haben, sind als walderkrankt zu bezeichnen.

Zusätzlich haben walderkrankte Tannen häufig noch die folgenden Merkmale:

1) **Der Stamm ist relativ schlank, d.h. der h/d-Wert ist groß.** Stark geschädigte Tannen haben in einem Bestand vergleichsweise die dünnsten Stämme; der h/d-Wert ist meist deutlich größer als 65.

2) **Die Baumlänge erreicht meist nicht die mittlere Bestandeshöhe.**

3) **Die Krone ist vergleichsweise kurz, meist kürzer als ein Drittel der gesamten Baumlänge.**

Unterscheidet man bei der Struktur stark geschädigter Tannen zwischen Primär- und Folgebenaedelung, so wird deutlich, daß die kurzen und nicht so alten Kronen nicht aus Absterbeerscheinungen der Walderkrankung herrühren (Kapitel IX und X).

4) **Die Kronen haben eine geringere Anzahl benadelter Quirle, sind damit vergleichsweise nicht so alt.**

5) **Solche Kronen wuchsen anscheinend, bezogen auf die Entwicklungszeit der jetzigen Krone, im Durchschnitt weniger als 30cm pro Jahr in die Höhe.**

6) **Die walderkrankten Tannen zeigen damit bevorzugt Merkmale von mitherrschenden Bäumen.**

Es bleibt die alles entscheidende Frage noch offen:

Wodurch büßten die Tannen mit Symptomen der Walderkrankung ihre Wüchsigkeit ein, durch die Walderkrankung selbst oder durch einen zu großen Konkurrenzdruck, der einer Walderkrankung voranging? Sind die oben aufgeführten quantitativen Merkmale daher auch als ein Symptom der Walderkrankung anzusehen, oder beschreiben sie nur eine ungünstige Konstitution?

Kapitel V

Konkurrenzdruck oder Walderkrankung ?

Nicht alle Tannen ließen sich als eindeutig gesund oder walderkrankt beschreiben. Die zentrale Schwierigkeit ist, ein verringertes Stammwachstum weiter zu differenzieren: Liegt der eingeschränkten Vitalität Lichtmangel (als Folge von Konkurrenzdruck) oder die eigentliche Walderkrankung zugrunde?

V/1. Vorbemerkungen.

Walderkrankte Tannen haben bevorzugt Merkmale der "mitherrschenden" soziologischen Baumklasse: kurze Krone, schlanker Stamm, die Stammspitze erreicht nicht die mittlere Bestandeshöhe (Kapitel IV). Sind nun diese Merkmale die Folge eines langwährenden Konkurrenzdrucks und daher als eine "ungünstige Konstitution" anzusehen? Oder haben diese Tannen ihre ungünstigen Merkmale erst durch die Walderkrankung erworben? In diesem Falle ließen sich diese quantitativen Merkmale als Symptome der Walderkrankung interpretieren. Zur Klärung dieser Fragen werden im Folgenden die langfristigen Entwicklungen des Stammwachstums herangezogen (vgl. ERTELD, 1979; GERECKE, 1991).

V/2. Bisherige Hinweise.

In Kapitel IV/6 konnte herausgearbeitet werden: Der Konkurrenzdruck **allein ist nicht** die Ursache für die plötzlichen Wuchsstockungen der Walderkrankung. Denn bei den mitherrschenden Tannen (kurze Krone, großer h/d-Wert) gab es auch Exemplare, die **keine** plötzlichen Wuchsstockungen aufwiesen. Ähnliche Hinweise gab es auch in Kapitel IV/8. Ebenso zeigen die Beobachtungen im Gelände, daß mitherrschende Tannen u.U. gut benadelt sind und eine spitze Krone haben können. Dem gegenüber zeigen 70% der Tannen in Schadstufe III (65%-95% Nadelverlust), daß sie schon lange Zeit zuvor deutlich weniger gewachsen waren. Sie heben sich damit deutlich von den Tannen der Schadstufen 0, I, II ab (Kapitel III/9). Diese Befunde lassen sich als erster Hinweis werten, daß die stark geschädigten Tannen zuerst durch Konkurrenzdruck vorgeschädigt wurden, und erst dann die Walderkrankung plötzliche Wuchsstockungen und umfangreiche Nadelverluste verursachte.

V/3. Die Entwicklung der h/d-Werte über mehrere Jahrzehnte.

Bei großen h/d-Werten treten, wie mehrfach dargelegt wurde, deutlich mehr Symptome der Walderkrankung auf, als bei geringen h/d-Werten: starke Nadelverluste (Schadstufe III) und plötzliche Zuwachsrückgänge (Kapitel IV/4, 6).

Nun können aber die h/d-Werte, zusammen mit anderen Merkmalen, auch als Hinweis für die jeweilige soziologische Stellung im Bestand angesehen werden (Abschnitt "Material und Methoden"). Mit Hilfe der Entwicklung des Höhenwachstums (Kapitel

III, Teil B) und der Entwicklung des Stammdurchmessers lassen sich somit bei einer Tanne die h/d-Werte der Vergangenheit berechnen.

In **Abb.37** soll nun mit diesen langfristigen Entwicklungen der h/d-Werte herausgefunden werden, ob die Walderkrankung oder der Konkurrenzdruck für die ungünstige Stammform walderkrankter Tannen verantwortlich ist. Sollten sich die h/d-Werte rasch ändern, wäre eine Beurteilung nicht ohne weiteres möglich, da dann jede Änderung auf eine eindeutige Ursache zurückgeführt werden müßte. Doch sollte dies nicht der Fall sein und ändern sich die h/d-Werte nicht oder nur langsam, dann hätte man die Möglichkeit, endgültig zwischen Walderkrankung und Konkurrenzdruck zu differenzieren.

Zu der Abbildung selbst: Bleibt der h/d-Wert über mehrere Jahrzehnte gleich groß, dann ist die Kurve eine senkrechte, gerade Linie. Wird der h/d-Wert im Laufe der Zeit aber kleiner, so biegt die Kurve nach links, wird er größer (und damit ungünstiger), biegt die Kurve nach rechts.

Befund (Abb.37a-d):

1. Es zeigt sich, daß die meisten h/d-Werte über lange Zeit etwa konstant bleiben. Nur vereinzelt werden die h/d-Werte kleiner, vereinzelt auch größer.
2. Bei 9 Tannen wurde der h/d-Wert kleiner und damit günstiger. Nur bei 5 Tannen wurde der h/d-Wert größer und damit ungünstiger.

Ein Zusammenhang mit dem Schädigungsgrad der Krone ist nicht festzustellen.

Da die Tannen alle aus einem einschichtigen Altersklassenwald stammen und die h/d-Werte sich nicht oder nur langsam ändern, kann man daraus schließen, daß die ungünstigen, großen h/d-Werte walderkrankter Tannen (Kapitel IV/4 a-c) durch Konkurrenzdruck und nicht durch die Walderkrankung verursacht werden. Denn wie stark geschädigte Tannen zeigen, setzt die schädigende Wirkung der Walderkrankung plötzlich ein (Kapitel II und III, Teil A). Auch konnte man in Kapitel III/11 ausschließen, daß sich die stark geschädigten Tannen auf eine chronisch-schleichende Erkrankung zurückführen lassen.



Abb. 37 a: Geordnet nach Kronenschäden (%NVL) stehen die sechs Tannen des Standorts **Bonndorf** nebeneinander. Auf der Abszisse ist die Skala für die h/d-Wert aufgetragen. Die Ordinate gibt die Baumhöhe an. Für jede Dekade eines Baumalters sind die jeweilige Baumhöhe und der entsprechende h/d-Wert aufgetragen. (Der Stammdurchmesser für die h/d-Werte wurde aus dem Mittel zweier Radien, ohne Rinde, bestimmt). Die Diagramme von weiteren Standorten sind im Anhang aufgeführt.

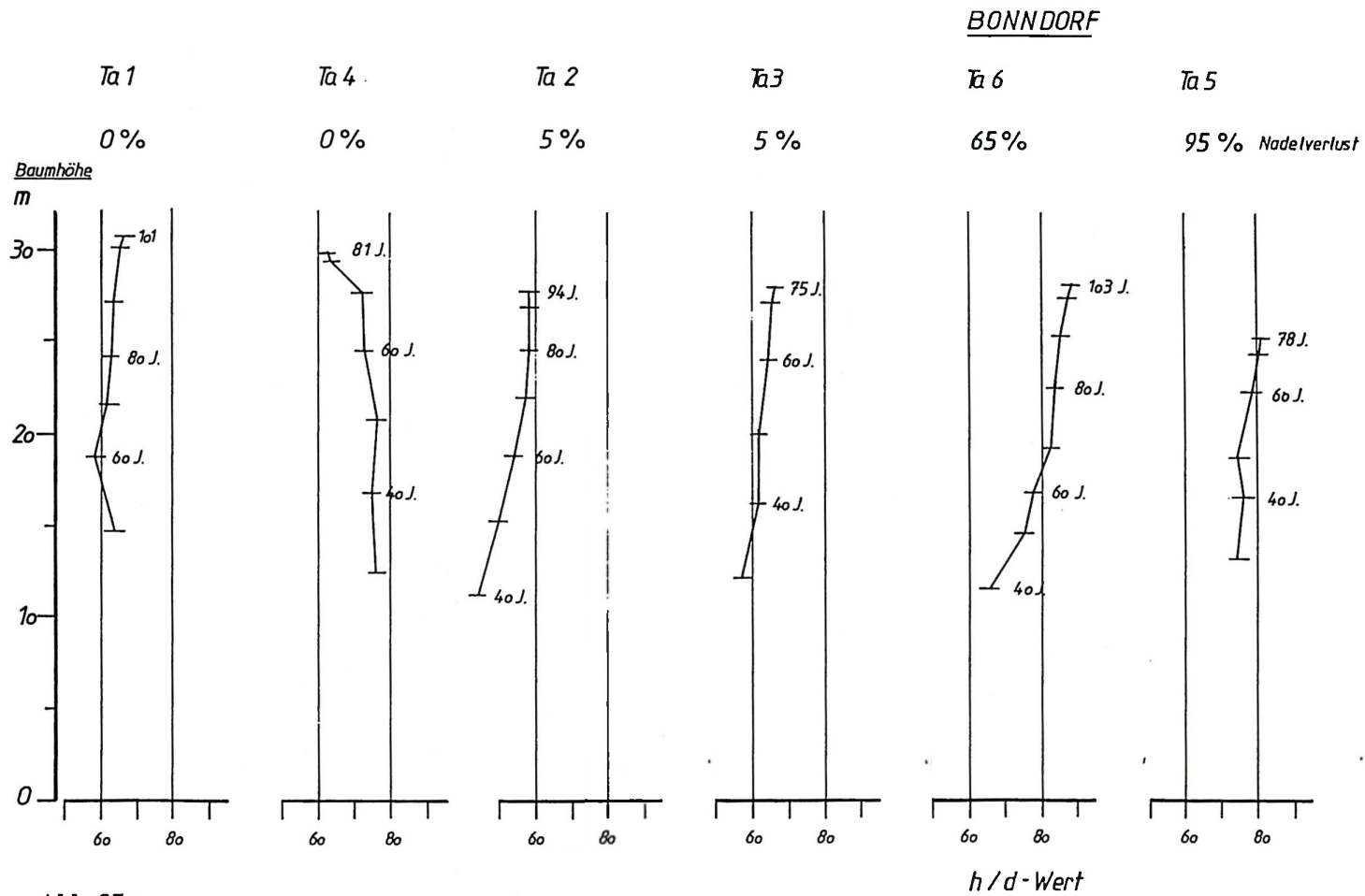


Abb. 37 a

V/4. **Schlußfolgerungen.**

- 1) Stark geschädigte Tannen haben meist einen relativ schlanken Stamm, d.h. der h/d-Wert ist groß. (Kapitel IV/4 a-c.)
- 2) Da die h/d-Werte über Jahrzehnte hinweg sich nur wenig änderten, hatten die meisten Tannen auch schon früher ähnliche h/d-Werte (Kapitel V/2).
- 3) Die Wuchsstockungen der Walderkrankung traten bei diesen Tannen überwiegend in den beiden letzten Jahrzehnten auf (Kapitel III/6).
- 4) **Da sich während dieser Zeit die h/d-Werte nur unwesentlich änderten (Kapitel V/3), kann man die Walderkrankung nicht für die ungünstigen h/d-Werte verantwortlich machen.**
- 5) Die stark geschädigten Tannen haben ihre vergleichsweise großen h/d-Werte, und einige andere ungünstige Merkmale, die auf eine eingeschränkte Vitalität hinweisen (Kapitel IV), **langfristig erworben.** Sie wuchsen schon lange Zeit nicht mehr so gut und standen offensichtlich unter einem größeren Konkurrenzdruck als die übrigen Tannen.
- 6) **Welche Ursachen der Walderkrankung auch immer zugrunde liegen mögen, jene Tannen, die unter großem Konkurrenzdruck stehen, sind offenbar vermehrt von den Schäden der Walderkrankung betroffen.**

V/5. **Weiterführende Überlegungen.**

- 1) Schon allein die Ergebnisse aus diesem Kapitel lassen hoffen, daß sich durch rechtzeitige waldbauliche Maßnahmen die starken Kronenschäden und die gravierenden Wuchsstockungen verringern lassen. Vorherrschende Tannen unterliegen deutlich weniger dem schädigenden Einfluß der Walderkrankung.
- 2) Dies ergänzt die Erfahrungen aus den Fällungsaktionen unter Leitung von Prof. ABETZ (1986), an denen auch Mitarbeiter des Botanischen Instituts in Hohenheim teilnehmen konnten. Für ertragskundliche Untersuchungen waren ausschließlich vorherrschende Tannen - **unabhängig von ihrer Kronenschädigung** - ausgewählt worden: **Keine dieser Tannen hatte eine "Phase mit schmalen Jahrringen" oder ließ sich der Schadstufe III zuordnen.**
- 3) Viele Beobachtungen im Nordschwarzwald, den Vogesen, dem Französischen Zentralmassiv, in Kärnten usw. bestätigten, daß Tannen mit Merkmalen vorherrschender Bäume (lange, allseits gut ausgebildete Kronenstruktur, relativ dicker Stamm, genügend Wurzelraum) nie jene massiven, starken Nadelverluste in den oberen Metern der Krone zeigten, die eine Tanne der Schadstufe III zuordnen. Geringe oder mittlere Schäden kamen allerdings vor.
Dagegen tendierten stark geschädigte Tannen mit ihren Merkmalen in Stamm, Krone und ihrem Wuchsraum zu einer mitherrschenden Stellung im Bestand. Es muß aber an dieser Stelle wiederholt werden, daß in diesen Wäldern immer auch mitherrschende

Tannen ohne Nadelverluste und spitzer Kronenform vorkamen, d.h. daß diese nicht walderkrankt waren.

4) Das Ausmaß eines Konkurrenzdrucks in Krone und Wurzel läßt sich durch weitere Parameter ablesen bzw. rekonstruieren:

- durch die Größe und Form der Kronenschirmfläche,
- durch die Ausformung der Krone,
- durch die Durchmesser der Astachsen am Stammansatz bzw.
- durch die l/d-Werte,
- durch die Lage der benachbarten Bäume und Baumstümpfe.

Wichtige Hinweise lassen sich aus den abgestorbenen Tannenästen ablesen. Sie sind an einem Baum noch lange Zeit gut zu erkennen. Mehr dazu in den Kapiteln VI bis XII und XV.

5) Eine ungünstige soziologische Stellung im Bestand ist somit nicht Ursache für die Walderkrankung, sondern nur eine schlechte Ausgangslage.

6) Der plötzliche Zuwachsrückgang und das vermehrte Auftreten von Nadelverlusten weisen auf eine **akut verlaufende Vitalitätsminderung** hin. Die Walderkrankung kann - beurteilt nach den Wuchsstockungen ("Phasen mit schmalen Jahrringen") - von wenigen Jahren bis hin zu einigen Jahrzehnten andauern (Kapitel III und XV). Latente Schädigungen bleiben hierbei jedoch aus methodischen Gründen unberücksichtigt (Abschnitt "Einleitung").

Es läßt sich auch nicht jener theoretische Fall ausschließen, daß sich eine latente Virusinfektion über lange Zeit gleichartig auswirken könnte wie ein Konkurrenzdruck. Doch dies ist sehr unwahrscheinlich, denn für die Walderkrankung sind plötzliche und starke Veränderungen charakteristisch. Auch ist eine Überprüfung durch die Entwicklung des Standraums möglich.

Wichtige Fragen blieben ohne Antwort:

(1) **Das symptomatologische Bild ist nicht in allen Fällen eindeutig** (Kapitel II u. III.) Nur bei Tannen der Schadklasse III (starke Schäden) treten meist alle Symptome **gleichzeitig** auf. Die Übergänge zu geringeren Schädigungsgraden sind nicht so eindeutig, eher fließend, z.T. gegenläufig (Kapitel III/16).

(2) **In welchen Teilen eines Baumes äußert sich der schädigende Einfluß der Walderkrankung zuerst?** Ist tatsächlich der Nadelverlust die Ursache für einen Zuwachsrückgang, oder vermindern die Nadeln zuvor ihre Leistung, oder ist der Assimilattransport gestört, oder mangelt es an der Umsetzung von Assimilaten in Wachstumsvorgänge?

Kapitel VI

Die Wurzeln der Tanne.

Die Kenntnisse über die Biologie der Tannenwurzel, gewonnen durch das Ausgraben und Vermessen von 10 Wurzelsystemen, werden in diesem Kapitel beschrieben und quantifiziert.

Teil A

Beobachtungen und Überlegungen.

VI/1. Vorbemerkungen.

Immer wieder geriet die Wurzel der Tanne in den Verdacht, Auslöser für das "Tannensterben" bzw. für die "neuartigen Tannenschäden" (Waldsterben) zu sein. NEGER (1908), vermutete eine Hallimasch-Infektion als Auslöser. Dem gegenüber grenzte WIEDEMANN (1927) eine aufsteigende Hallimasch-Infektion und den Naßkern im Stamm von den Symptomen des Tannensterbens ab. SCHWERDTFEGER (1981) beschrieb in seinem Lehrbuch "Waldkrankheiten" die Symptomatologie von Hallimasch-Infektionen in Nadelhölzern mit einem Welken und Braunwerden der gesamten Benadelung (vgl. auch BUTIN, 1983, und HARTMANN et al., 1988).

Auch bei den "neuartigen Tannenschäden" geriet die Wurzel unter Verdacht: BLASCHKE (1981) berichtete über Veränderungen der Feinwurzel-Entwicklung bei geschädigten Tannen. LANG (1981) referierte über einen Naßkern in der Tannenwurzel. BAUCH et al. (1979) und SCHÜTT et al. (1983, 1984) sahen einen besonders großen, "ausufernden" bzw. "durchbrechenden" Naßkern als ein wichtiges Symptom der Walderkrankung an. REITER et al. (1983) bezog standortkundliche Unterschiede in die Wurzeluntersuchungen ein. ULRICH (1981) formulierte eine Hypothese, nach der die Tanne über die Wurzel zu ihren starken Schäden gelangt. Diese Hypothese prägte lange Zeit die Vorstellungen über die Pathogenese des "Waldsterbens".

Obgleich die Wurzel der Tanne in der Vergangenheit immer wieder untersucht wurde (KIRCHNER, 1908; RUBNER, 1910; ZENTGRAF, 1950; KÖSTLER, 1956; KÖSTLER et al., 1968; LYR et al. 1967, 1992) reichen diese Angaben nicht aus, um ein hinreichend abgesichertes Bild über die Biologie einer gesunden Tannenwurzel zusammenzustellen.

In der vorliegenden Arbeit wurde nun versucht, einige Einblicke über das Wachstum der Wurzeläste und über die morphologische Wechselbeziehungen von Krone und Wurzel zu erhalten. Wie wachsen die Wurzeln einer Tanne? Wodurch macht sich die Walderkrankung in der Wurzel bemerkbar? Wie sind die Größenverhältnisse von Wurzel zu Krone und Stamm?

Es fehlen dabei Untersuchungen über die Feinwurzeln und die Mykorrhiza der Tanne, wie sie bei der Fichte z.B. von KOTTKE et al. (1988), HAUG et al. (1989) u.a. durchgeführt wurden.

Zur Beantwortung der obigen Fragen wurden im Gemeindewald Besenfeld die Wurzelsysteme von insgesamt 10 Tannen ausgegraben und untersucht (1988/89). Die Tannen haben die Bezeichnungen GWB Ta 1, 2, 3, 4, 7, 9, 33, 35, 42, 43.

Das Hauptinteresse galt den dickeren Wurzeln, von den starken Wurzelästen im stammnahen Bereich bis hin zu den bleistiftstarken Wurzeln der Astperipherie. Feinwurzeln wurden nicht untersucht. Die Tannen standen in einem Ta-Fi-(Bu)-Plenterwald auf der Hochfläche des Nordschwarzwalds im Buntsandstein (vgl. Abschnitt Material und Methoden).

VI/2. Beobachtungen beim Ausgraben.

Gräbt man das Wurzelsystem einer Tanne aus, so fällt auf:

- a) Ihre Wurzeln sind außen purpurfarbig. Damit unterscheiden sie sich gut von den Wurzeln anderer Pflanzenarten.
- b) Tannenwurzeln besiedeln fast ausschließlich den Mineralboden. Nur ausnahmsweise fand der Autor an den Wurzelanläufen Feinwurzeln im Rohhumus; sie waren dort allerdings gelblich-weiß und nicht purpurn. Im Gegensatz zur Tanne wurzelt aber die Fichte häufig im Rohhumus.
- c) Feinwurzeln, wie man sie in großen Massen bei der Fichte findet, wurden bei der Tannen nicht so häufig angetroffen. Es blieb allerdings unklar, ob sie beim Ausgraben abbrechen oder ob die Tanne insgesamt weniger Feinwurzeln hat.
- d) Bei den untersuchten 15-23m hohen Tannen waren die Wurzeln immer auf der ganzen Querschnittsfläche feucht.
- e) Einige Überprüfungen zeigten, daß auch die dicken Wurzeläste bis zum Mark Stärke speichern.
- f) Daß es auf der ganzen Querschnittsfläche lebendige Zellen gibt, ließ sich mit dem Triphenyltetrazoliumchlorid-(TTC)-Vitalitätstest an ca. 10 Probestücken nachweisen (REISS, 1968).
- g) Eine Verkernung war visuell bei den Wurzeln nicht zu erkennen.
- h) Feuchte Querschnittsflächen, Stärkespeicherung und lebende Zellen sind Kennzeichen des Splints. Da alle diese Merkmale bei den Wurzeln bis ins Mark vorkommen, ist zu vermuten, daß auch die gesamte Wurzelquerschnittsfläche Wasser leitet.
- i) Eine Ausnahme fand sich nur bei großen Altannen. Dort waren kleine Bereiche im Innern der Wurzelanläufe trocken (Beobachtungen auf einer Rodungsfläche bei Besenfeld).
- k) Im Gegensatz zur Wurzel zeigt der Stamm der Tanne immer eine klare Trennung in das wasserleitende Splintholz außen und das tote Kernholz innen.

VI/3. Überlegungen zu den Wechselbeziehungen zwischen Wurzel und Krone.

Zur Splintfläche in Stamm und Wurzel. Dies sei in einem besonderen Fall durchdacht: Eine mitherrschende Tanne stehe in einem einschichtigen, dichten Bestand. Bei fast unverändertem Wuchsraum habe sie über Jahrzehnte hinweg immer etwa eine gleich große Krone mit ungefähr der gleichen Gesamtnadelmasse gehabt. Dann hätte sich nur der Stamm im Laufe der Jahre verlängert und wäre dicker geworden. Da Kronengröße und Kleinklima nahezu unverändert bleiben, ist anzunehmen, daß auch

der Wasserdurchsatz bei einer solchen Tanne über Jahrzehnte hinweg ungefähr gleich groß geblieben ist.

In diesem Fall ist vermutlich auch die Splintfläche immer gleich groß geblieben. Und dies wird sich im Stamm anders bemerkbar machen als in der Wurzel: Der Stammdurchmesser wird jedes Jahr größer. Aus geometrischen Gründen wird bei konstantem Wasserdurchsatz der Splintstreifen schmaler. Anders dagegen die Wurzel: Führt sie über die ganze Querschnittsfläche Wasser, so wird durch ein Dickenwachstum der Wurzel gleichzeitig auch die Splintfläche in den Wurzelästen größer.

Bleibt, wie in diesem Extremfall angenommen, der Wasserdurchsatz unverändert, so ist es denkbar, daß diese Tanne auch ohne ein zusätzliches Dickenwachstum der Wurzel ihre Krone jahrelang hinreichend versorgen kann. Nach dieser Überlegung könnte die oberirdische Biomasse vergleichsweise mehr zunehmen als die unterirdische. **D.h., seitlicher Konkurrenzdruck könnte das Kronen-Wurzel-Gleichgewicht (Biomasse) zu Lasten der Wurzel verschieben.**

VI/4. Die morphologische Gliederung des Wurzelsystems.

Generell lassen sich allen Wurzelabschnitten der Tanne die Funktionen Verankerung, Wasseraufnahme und Wassertransport zuschreiben. Diese Funktionen nehmen jedoch in den verschiedenen Wurzelteilen unterschiedliche Ausmaße an. Weiterhin hat jedes Wurzelsystem der Baumart Tanne seine eigene individuelle Gestalt. Auf Grund morphologischer Merkmale läßt sich in dieser Vielfalt von Wurzelästen dennoch eine einheitliche Grundstruktur erkennen. Dazu werden die Wurzeläste unterschieden und geordnet gemäß der Dicke und Form ihrer Achsen, durch ihre Entfernung vom Stamm, durch ihre Orientierung und durch ihre Lage. Als Ergebnis dieser Zuordnung läßt sich nun bei jedem Wurzelsystem der Tanne ein **Stütz-** und ein **Aufnahmesystem** beschreiben.

Erläuterungen zu Abb. 38.

1) **Das Stützsystem der Wurzel.** Das Stützsystem verankert Stamm und Krone im Boden. Die unregelmäßig geformten, starken Wurzeläste nehmen im zentralen Wurzelbereich die statische und dynamische Belastung von Stamm und Krone auf. Entsprechend ihrer Ausrichtung im Bodenraum sind folgende Wurzelabschnitte zu unterscheiden:

a) Die **Pfahlwurzel** verlängert die Stammachse nach unten bis in ca. 70 - 100 cm Tiefe (Dies gilt für die untersuchten Tannen). Beim Ausgraben zeigte sich, daß Pfahlwurzeln sehr unterschiedlich aussehen können: fast zylinderförmig oder konisch oder verzweigt. Das untere Ende kann dabei rübenförmig zugespitzt oder auch aus breitem Grund stumpf abgerundet sein (wie z.B. bei GWB Ta 1, wo die Pfahlwurzel auf Staunässe stieß).

Anstatt einer einzelnen Pfahlwurzel können auch zwei oder mehrere starke Wurzeläste nahe des Zentrums senkrecht nach unten ziehen (z.B. GWB Ta 7). Diese senkrechte Verankerung vollzieht sich schon frühzeitig. So verankern sich kleine Tannen fast nur durch die Pfahlwurzel (z.B. GWB Ta9; ZENTGRAF, 1949).

b) Wird die Tanne höher, fangen zusätzlich die **horizontalen, starken Wurzeläste** die mechanische Belastung durch Stamm und Krone auf. Peripher sind diese horizon-

talen, starken Wurzelästen unregelmäßig rund, zum Stamm hin werden sie oval bis brettartig.

c) Von diesen starken Wurzelästen ziehen **kurze, dicke Senkwurzeln** schräg oder senkrecht nach unten. Sie verankern den Wurzelteller der Tanne in den darunterliegenden Bodenschichten.

d) Ein weiteres Stützelement sind die "**Schrägsenker**". Stößt eine horizontale Stützwurzel im **stammnahen** Bereich auf ein Hindernis, z.B. die alte Wurzel eines anderen Baumes, so wächst sie ein kurzes Stück schräg unter dieses Hindernis, oft handförmig verzweigt (z.B. GWB Ta 33).

2) **Das Aufnahmesystem der Wurzel.** Vermutlich nimmt das -morphologisch definierte- "Aufnahmesystem" die Hauptmenge des Bodenwassers auf. Das Aufnahmesystem befindet sich außerhalb des zentral gelegenen Stützsystems mehr an der Wurzelperipherie. Seine Wurzelachsen sind fast rund, relativ dünn, z.T. mit Feinwurzeln besetzt. Die Wurzeln können dabei sehr lang sein und über weite Strecken (1m bis 2m) ihren Achsendurchmesser unverändert beibehalten (wie z.B. bei GWB Ta1).

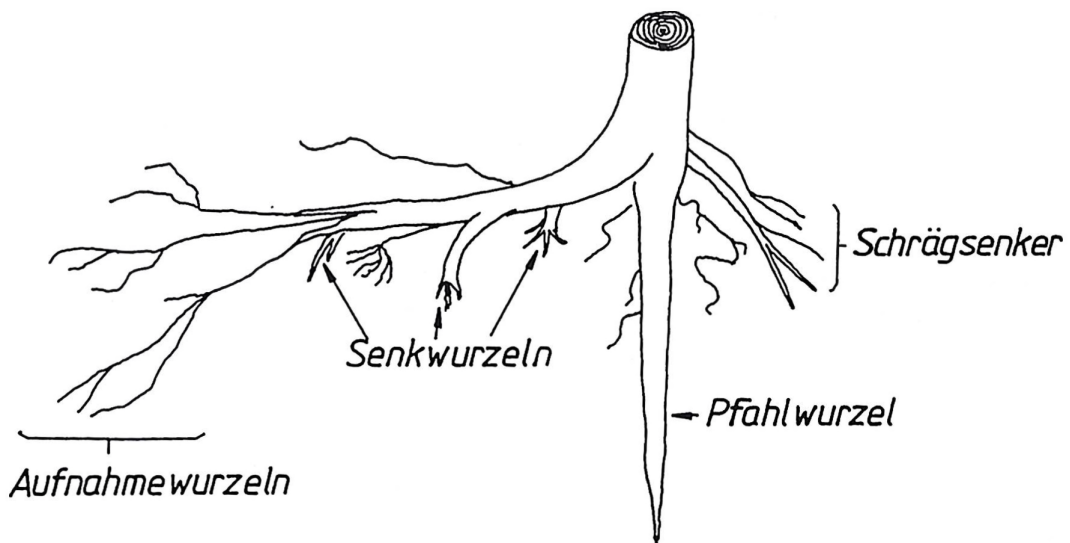


Abb. 38: Zur morphologischen Gliederung der Tannenwurzeln. Erklärungen im Text.

VI/5. Wuchsverhalten der Tannenwurzeln.

1) Zur horizontalen Wurzelausbreitung

a) **Ausweichen und Verwachsen von Wurzelästen.** Häufig weicht eine Tannenwurzel einer anderen aus. So kam es beim Ausgraben wiederholt vor, daß eine Wurzel plötzlich rechtwinklig abbog, bevor sie auf eine andere Wurzel stieß.

Andererseits verwachsen Tannenwurzeln auch untereinander. In den untersuchten Fällen waren Tannen mit gemeinsamen Wurzelverwachsungen etwa gleich alt und standen nahe beieinander. Doch können auch die Wurzeläste **einer** Tanne untereinander verwachsen.

b) Für dieses Verwachsen bzw. für das Ausweichen von Wurzeln scheinen **einfache Regeln** zu gelten. Sie sind abgeleitet aus den Wurzelbildern in Kapitel VI/6 und aus Beobachtungen beim Ausgraben:

(1) Ist das Terrain noch frei und wird es **gleichzeitig** von zwei Wurzeln besiedelt, so verwachsen sie bei Berührung. (z.B. GWB Ta1 u.2, GWB Ta7).

(2) Wurde das Terrain schon zuvor von einer anderen Wurzel durchdrungen, weicht ihr die später hineinwachsende Wurzel aus. Sie biegt ab (z.B. GWB Ta1, Kapitel VI/6) oder stellt ihr Wachstum ein (GWB Ta35, Kapitel VII).

c) **Stocküberwallungen.** Wird eine Tanne gefällt, so bleibt am Baumstumpf eine große Schnittstelle. Ist die Wurzel dieses Baumstumpfs über eine Wurzelverwachsung mit einer noch stehenden Tanne verbunden, so beginnt diese Schnittstelle zuzuwachsen (z.B. GWB Ta 1, GWB Ta 7; vgl. KÖSTLER et al., 1968). Diese sog. "Stocküberwallung" beginnt außen am Kambium. Dieses nachträglich gebildete Holz ist weißlich und unterscheidet sich optisch vom ursprünglichen Stammholz. Es fehlt eine bräunlich-purpurne Farbnuance; es hat vom Aussehen her eher den Charakter von Wurzelholz und ist wirbelartig gedreht.

Bei einer Tanne in Bonndorf/ Schw. (BOND Ta20) wurden an einer solchen Stocküberwallung über 40 enge Jahrringe gebildet. Dies ist ein interessantes Phänomen im Hinblick auf den organischen Ferntransport und auf die Steuerung von Wachstumsvorgängen durch Phytohormone.

d) **Verzweigungen.** Wurzeläste verzweigen sich sehr unregelmäßig. Anscheinend je nach Wasservorkommen bilden sich die Wurzeln seitlich, nach unten oder nach oben aus; teilweise verzweigen sie auch handförmig. Ab und zu wird eine Wurzel an der Peripherie sogar wieder dicker. Doch selten kommen Wurzeläste direkt übereinander zu liegen.

2) **Jahrringe in der Wurzel.** Die Jahrringe der Wurzeln sind, besonders im Stützsyst. meist exzentrisch gewachsen. Dies geht bis zu jenem Extrem, bei dem sich das Dickenwachstum auf eine einzige Seite beschränkt und nur noch halbmondförmige Kappen bildet (vgl. Abb. 39). Die Richtung des exzentrischen Wachstums kann sich an einem Wurzelquerschnitt ändern: z.B. zuerst nach unten, später seitlich und dann schräg nach oben. Ähnlich, doch nicht so stark ausgeprägt, kommt dies auch bei den dünnen Wurzeln des "Aufnahmesystems" vor. Auffallend ist, daß das Mark der Wurzel im Querschnitt oft linsenförmig oder dreieckig-konkav-gebogen ist (Wahrscheinlich ist der Primärbau der Wurzel di- oder trimer.)

Daß diese Ringe im Wurzelholz auch wirklich Jahrringe sind ergibt sich aus dem Vergleich der Ringbreiten: Die Ringe im unteren Stammbereich lassen sich mit denen der großen Wurzeläste synchronisieren (Kapitel VII/8-13).

3) Weitere Unregelmäßigkeiten im Wurzelwachstum am Beispiel der Tanne 9, Gemeindewald Besenfeld. Ursprünglich bestand die Absicht, aus den Jahrringen der Wurzel die Entwicklung des Wurzelsystems zu rekonstruieren. Wie aber die **Abb. 40** zeigt, wurde dies durch die vielen totalen Ringausfälle vereitelt. Am Stammfuß ließen sich **78 Jahrringe** auszählen; der älteste Wurzelast hatte aber **nur 48 Ringe**. **Damit fehlen in der Wurzel dieser Tanne mindestens 30 Jahrringe!** (totale Ringausfälle). Diese Tanne 9 aus Besenfeld war unter dem Schirm eines Fi-Ta-Altbestands 4,7m groß geworden. Sie wuchs insgesamt langsam und hatte mehrere "Phasen mit schmalen Jahrringen".

Weiter kommt hinzu, daß an einem Wurzelast normalerweise die Anzahl der Jahrringe mit zunehmender Entfernung vom Stamm abnimmt. Dies Regelmäßigkeit muß aber anscheinend nicht immer gelten. **Einige Wurzeläste weisen peripher mehr Jahrringe auf als weiter innen, dem Stamm zu.** In **Abb. 41** ist ein solcher Wurzelabschnitt hervorgehoben. Dies veranschaulicht sehr deutlich, wie schwierig es ist, mit Hilfe von "Jahrringen" das Alter von Wurzelästen zu bestimmen.

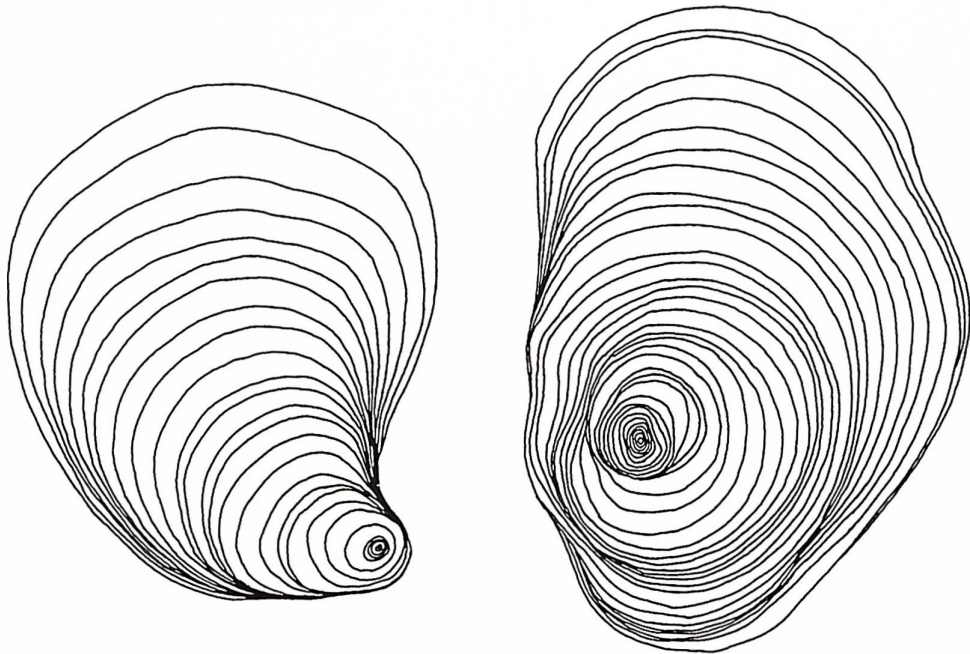


Abb. 39: Querschnitt durch einen Wurzelast des Stützsystems (vgl. dazu den Text in Kapitel VI/5).

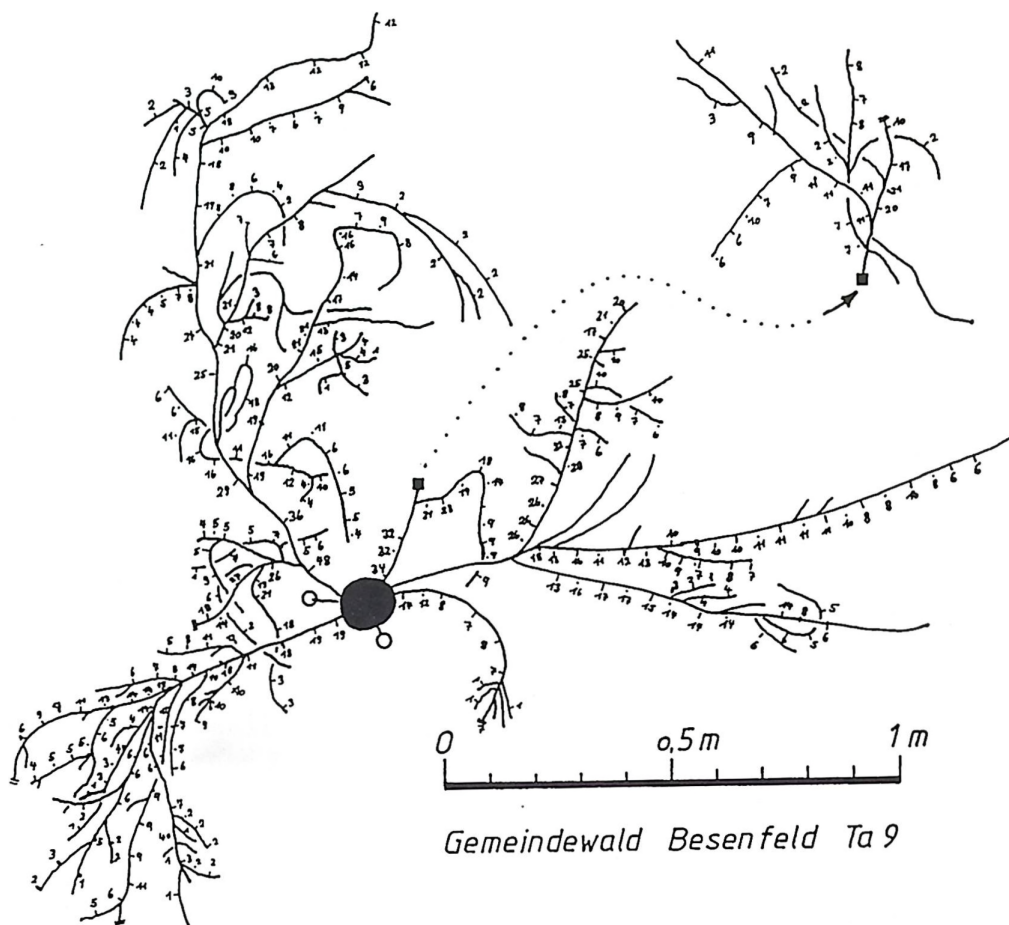


Abb. 40: Wurzelsystem der Tanne 9 (Besenfeld). Die kleinen Zahlen geben die Anzahl der Jahrringe in den Wurzelquerschnitten an. Abstand der Querschnitte ist jeweils 10 cm.

Anzahl der Jahrringe in der Wurzel

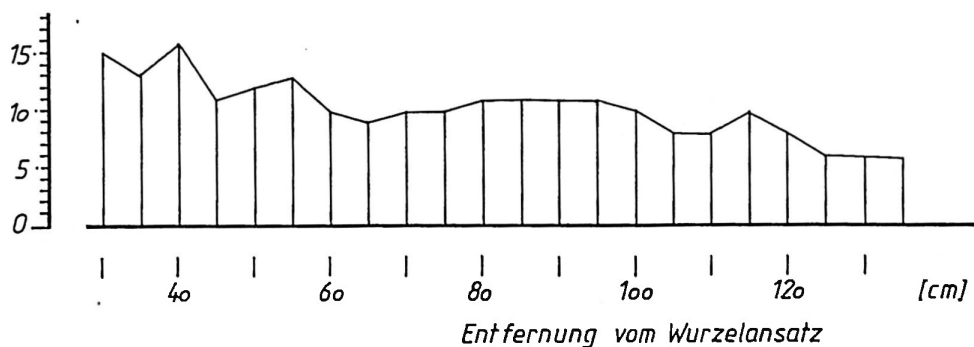


Abb. 41: "Jahrringe" eines Wurzelastes derselben Tanne. Abszisse: Entfernung des Wurzelasts vom Stammfuß. Ordinate: Anzahl der gebildeten "Jahrringe".

Teil B

Struktur und Größe der Wurzeln

Diese und die folgenden Untersuchungen beziehen sich auf die Wurzelsysteme von neun Tannen: GWB Ta 1, 2, 3, 4, 7, 33, 35, 42, 43. In den folgenden Abbildungen sind die Wurzelsysteme dieser Tannen wiedergegeben. Die Wurzeln waren zwischen 5 cm und 40 cm tief im Boden verankert.

VI/6. Wurzelbilder von neun Tannen aus Besenfeld.

Die Zeichnungen in Abb. 42 a-i stellen die Wurzelsysteme im Grundriß dar.

Befund (Abb. 42 a-i):

Man erkennt, daß sich die Wurzelsysteme sehr unregelmäßig ausgebreitet haben. Nur das Stützsystem ist auf den inneren Bereich begrenzt.

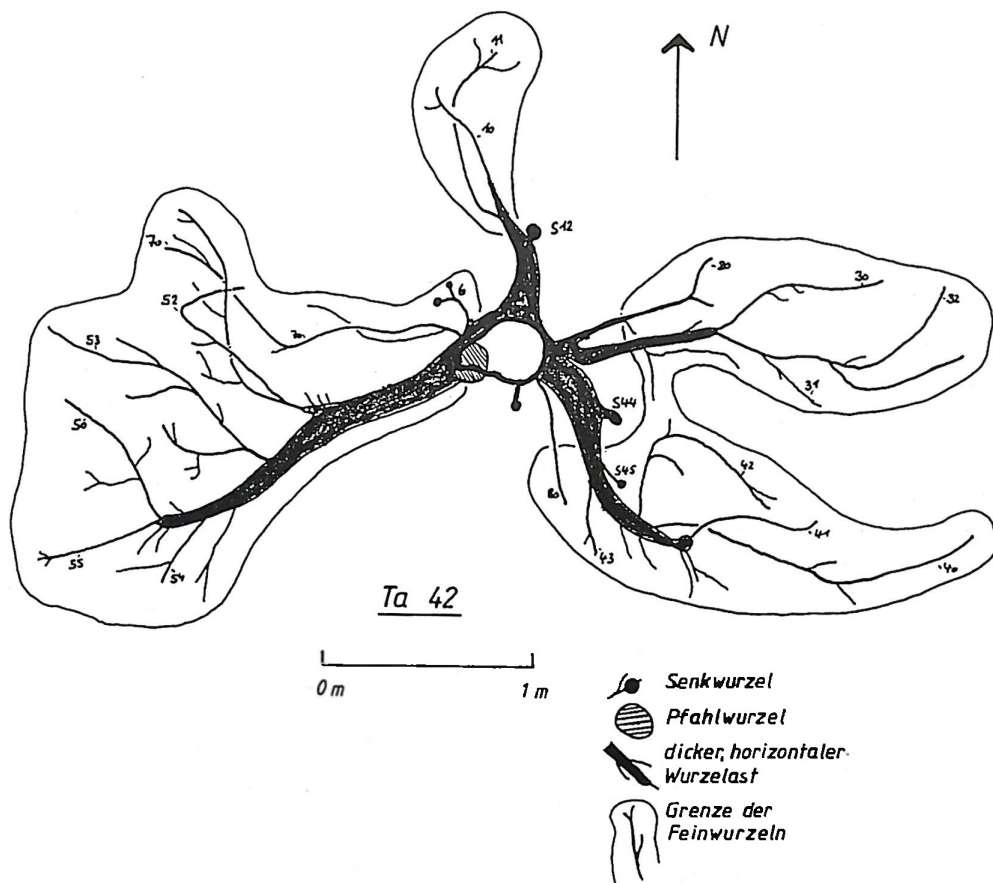


Abb. 42 a: Wurzelsystem von Tanne 42 (Besenfeld). Der Stammfuß ist mit einer dicken, schwarzen Linie eingezeichnet. Die horizontalen, starken Wurzeläste des Stützsystems sind grau, die Pfahlwurzeln schraffiert, die kleinen Senkwurzeln schwarz gezeichnet. Wurzelbereiche mit Feinwurzeln sind von einer dünnen Linie umgrenzt. Die Zahlen geben die Nummerierung der Wurzeläste an. Der Buchstabe "S" davor bedeutet Senkwurzel. Die Wurzelsysteme der übrigen Tannen 1, 2, 3, 4, 7, 33, 35, 43 befinden sich im Anhang.

VI/7. Das Stützsystem der Wurzel.

Zum Stützsystem zählen, wie eingangs dargestellt, die Pfahlwurzel, die dicken, horizontalen Wurzeläste, die Senkwurzeln und die Schrägsenker. Die untersuchten neun Wurzelsysteme verankerten Tannen mit einer Baumhöhe zwischen 15m und 23m. Bis zu welcher Entfernung vom Stamm stützt sich das Wurzelsystem ab?

Befund (Abb. 43):

Bei einer Baumhöhe von 15m-23m waren offenbar mehr als 90% der Senkwurzeln nicht weiter als 1m vom Stammfuß entfernt.

Befund (Abb. 44):

Es wird deutlich, daß die starken, horizontalen Wurzeläste in 80% der Fälle nicht länger als 1m sind. Das "Stützsystem" der Tannenwurzel ist also mit seinen starken, horizontalen Wurzelästen und den kurzen Senkwurzeln im Wesentlichen auf einen Umkreis von etwa 1m begrenzt (Baumhöhe 15m-23m).

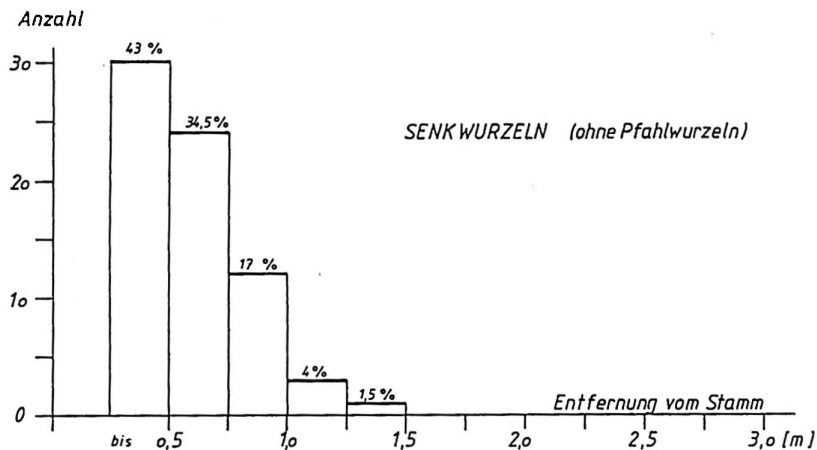


Abb. 43: Der Abstand der Senkwurzeln vom Stamm. Erfast wurden die Wurzelsysteme von Tanne 1, 2, 3, 4, 7, 33, 35, 42 und 43 aus Besenfeld.

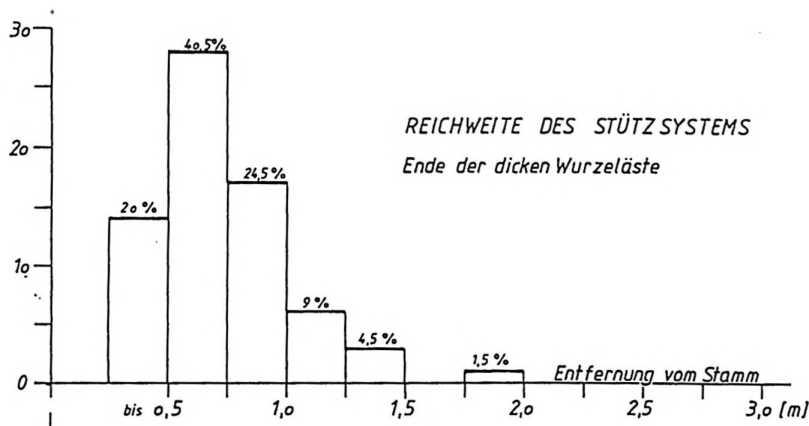


Abb. 44: Ausbreitung der starken, horizontalen Wurzeläste. Abstand der Enden dieser Wurzeläste vom Stammfuß.

VI/8. Ausbreitung des Wurzelsystems.

In der Krone dieser untersuchten Tannen sind die größten Äste etwa 2-2,5m lang. Sie überschirmen damit weite Bereiche des Wurzelsystems und verhindern, daß die gesamte Regenmenge auf dem Waldboden ankommt. Es interessiert nun, in wie weit diese großen Äste die Wasserversorgung der Wurzel bei Regengüssen während des Sommers beeinträchtigen. Sind also die Wurzeläste oder die Äste der Krone länger?

Für die **Abbildung 45** wurde das Wurzelsystem in Quadranten aufgeteilt. Mittelpunkt ist jeweils der Stammfuß. In jedem Quadranten wurde die kleinste und die größte Wurzel ausbreitung gemessen. (Das ist der Abstand vom Stammfuß bis zum peripheren Wurzelende am Rande des Wurzeltellers.) Dieser Abstand ist in Zonen von 25cm unterteilt.

Befund (Abb.45):

Aus dieser Abbildung geht hervor, daß bei den untersuchten neun Tannen der Rand des Wurzeltellers z.T. nur 0,5m von der Stammbasis entfernt ist, z.T. aber auch 3m. Bei den **kleinsten Wurzel ausbreitungen** liegt der Rand des Wurzeltellers zwischen **0,5m und 1,5m** vom Stammfuß entfernt; d.h. bis zu diesem Abstand findet man fast immer Wurzeln. Die **größte Wurzel ausbreitung** beläuft sich auf (nur) **1,5m und 3m**.

ZENTGRAF (1950) versuchte die Leistungsfähigkeit von Wurzelsystemen der Tanne zu erfassen. Dazu nahm er als Maß die Länge jener Wurzeln, die über den Rand der Kronenschirmfläche hinausgewachsen waren, da sie die Hauptmenge des Regens erhielten (von Nebelniederschlag sei hier abgesehen). Zwar lassen sich diese zitierte und die eigene Untersuchung nicht direkt miteinander vergleichen, doch bei beiden gilt, daß nur wenige Tannenwurzeln länger als die größten Äste sind.

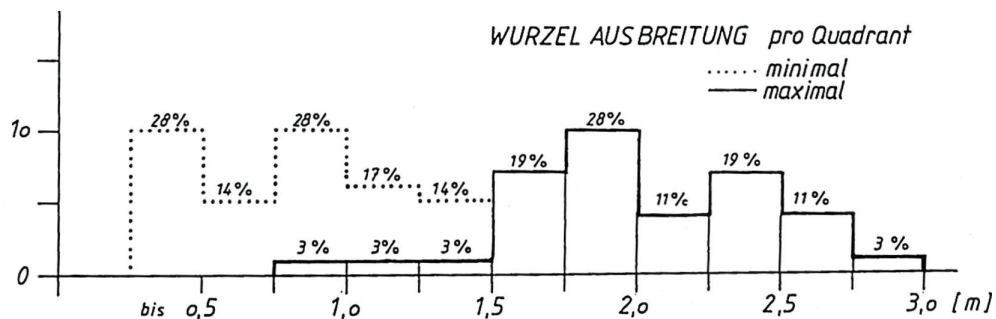


Abb. 45: Zur größten und geringsten Ausbreitung der untersuchten Wurzelteller (siehe Text).

VI/9. Verschiedene Parameter eines Wurzelsystems.

Hat man ein quantitatives Maß für die Größe eines Wurzelsystems, kann man auch Krone und Wurzel miteinander vergleichen. Bei diesem Kronen-Wurzel-Vergleich interessiert besonders der Wasserhaushalt. Doch wieviel Wasser ein Wurzelsystem aus dem Boden aufnehmen kann, kann man mit diesen morphologisch orientierten Untersuchungen nicht bestimmen. Gesucht sind daher solche morphologischen Parameter, die näherungsweise auch die ökophysiologische Leistungsfähigkeit einer Wurzel repräsentieren. Mehrere solcher möglicher Parameter sollen hier untereinander verglichen werden.

Die Länge der gesamten Wurzel. Die Längen aller Wurzeläste einer Tanne wurden addiert, von den dicken Wurzelästen des Stammanlaufs bis hin zu den peripheren Wurzeln mit Achsendurchmessern von Bleistiftstärke. Zwar haben die verschiedenen Wurzelabschnitte unterschiedliche Funktionen und ihre Fähigkeit, Wasser aufzunehmen, ist auch unterschiedlich. Doch davon sind alle diese Wurzeln in ähnlicher Weise betroffen. Daher scheint dieser Parameter als Näherungsgröße geeignet.

Die Fläche des Wurzeltellers. Dies ist ein einfaches, praktisches Maß. Da sich die Wurzeln nur wenig überdecken, repräsentiert es auch in etwa das durchwurzelte Bodenvolumen.

Die Fläche der Feinwurzelbezirke. Dies ist die Fläche des Wurzeltellers abzüglich jenes Teils des Stützsystems, das keine Feinwurzeln hat. Mit dieser Fläche der Feinwurzelbezirke wird der Wurzelteller etwas differenzierter erfaßt. Die Daten für diese drei Parameter wurden aus den Wurzelbildern entnommen (VI/6).

Befund (Abb.46):

1. Die Flächen der Feinwurzelbezirke sind verständlicherweise etwas kleiner als die Fläche der Wurzelteller. Es fehlen die Flächen des Stützsystems ohne Feinwurzelanteil.
2. Der Vergleich der Parameter Wurzellänge, Fläche des Wurzeltellers und Fläche der Feinwurzelbezirke zeigt, daß alle drei Parameter näherungsweise zu ähnlichen Ergebnissen führen.

Man kann daher annehmen, daß alle drei Parameter als Maß für die Wurzelgröße herangezogen werden können. Die ökophysiologische Leistungsfähigkeit eines Wurzelsystems, Wasser aufzunehmen, ist damit allerdings nicht erschlossen.

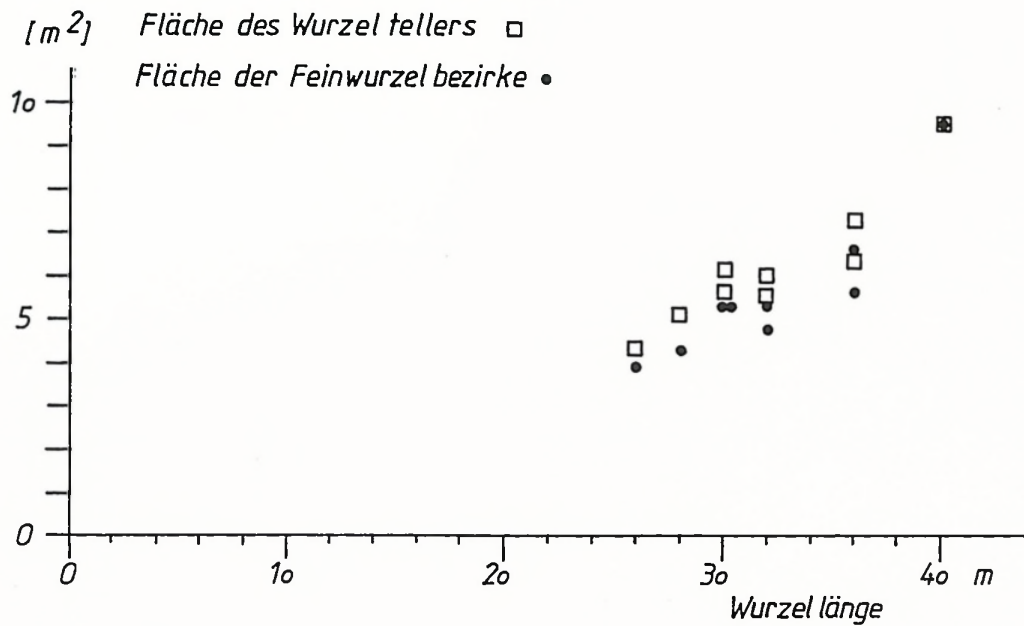


Abb. 46: Beziehungen zwischen den Parametern Länge der Wurzelästen, Fläche des Wurzel-tellers und Fläche der Feinwurzelbezirke (vgl. Text).

VI/10. Das Wurzelnetz von Tanne GWB Ta 42 und die Lage der umgebenden Bäume und Baumstümpfe (Stubben).

Beim Ausgraben überraschte immer wieder, wie unterschiedlich die einzelnen Wurzelsysteme ausgeformt waren. Dabei stellte sich die Frage, ob die angrenzenden Bäume die Form einer Wurzel beeinflussen.

Befund (Abb. 47 a-g):

Man erkennt, daß die Wurzelsysteme der benachbarten Bäume und Baumstümpfe offensichtlich die Form des Wurzeltellers der Tanne 43 prägen. Vergleichbares ergibt sich aus den übrigen Abb. 47 b-g im Anhang.

Es fragt sich, ob sich diese prägende Wirkung der angrenzenden Wurzelsysteme quantifizieren läßt. Sollte dies möglich sein, hätte man erste Einblicke in jenes Geschehen, das mit dem Begriff Wurzelkonkurrenz umschrieben wird.

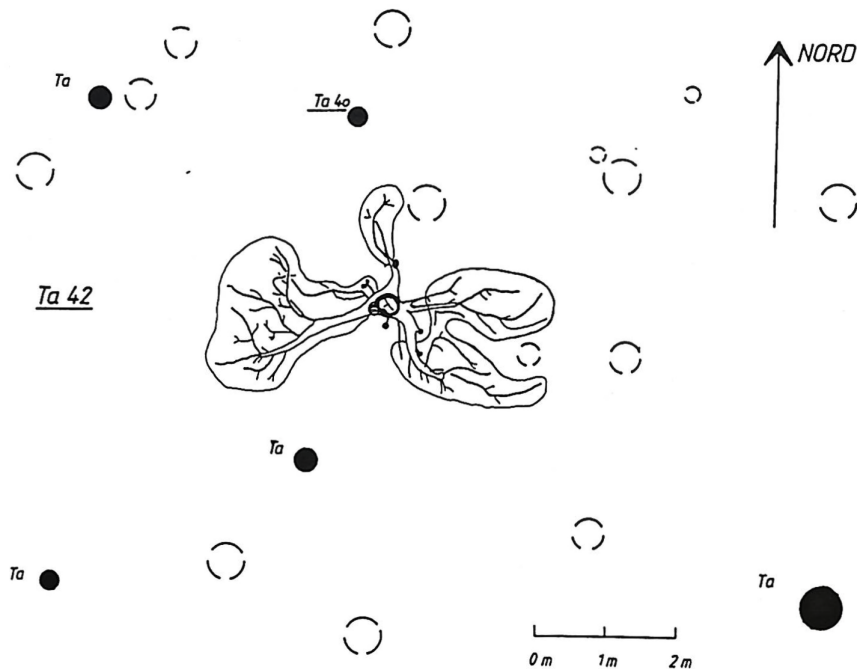


Abb. 47 a: Das Wurzelsystem von Tanne 42 in Bezug zu umgebenden Bäumen und Baumstümpfen. ● lebender Baum; offene Kreise: tote Bäume, und zwar ○ Baumstumpf mit festem Holz, (das Jahr der Fällung ist z.T. bekannt.) ⊖ Baumstumpf mit morschem, weichem Holz. Weitere Beispiele befinden sich im Anhang.

VI/11. Wechselwirkungen zwischen zwei Wurzelsystemen.

Hier wird der Frage nachgegangen, ob sich aus der Form der Wurzelsysteme Gesetzmäßigkeiten ergeben, auf Grund derer man die Einflußgröße angrenzender Wurzelsysteme näherungsweise quantifizieren kann. Wie weit dringen Tannenwurzeln in das Terrain um einen anderen Baum bzw. Baumstumpf ein?

Es wurde untersucht, ab welchem Punkt eine Tannenwurzel durch das Wurzelsystem eines anderen Baums möglicherweise gestoppt wurde. In Abb. 48 wurde dazu diese prägende Wirkung auf die ausgegrabene Wurzel getrennt betrachtet für morsche Stümpfe, für Stümpfe mit festem Holz und für noch stehende (lebende) Bäume. Zusätzlich wurden die Stammdurchmesser berücksichtigt.

Zu Abb. 48: In den Diagrammen zeigt die **durchgezogene Linie** (1. Winkelhalbierende) jenen theoretischen Fall an, daß der "Wurzelteller" eines Nachbarbaums bis zum Stammfuß der untersuchten Tanne vorgestoßen ist. Liegt dagegen ein Wert **auf der gestrichelten Linie**, so haben sich beide Wurzelsystem jeweils auf halber Strecke, auf der "Mittellinie", getroffen. Liegt der Wert **unterhalb der gestrichelten Linie**, so hat die ausgegrabene Tanne den halben Abstand, die "Mittellinie", überschritten. D.h. dieser Wurzelast verfügt hier über mehr Wurzelraum als der Nachbarbaum und hat damit an dieser Stelle die überlegenere Konkurrenzsituation im Wurzelbereich.

Befund (Abb.48):

1. **Bis zu einem Abstand von 2,5m um die untersuchten Tannen herum** kommen in den vorliegenden Fällen nur jüngere Bäume vor. Diese jüngeren Bäume werden im Wurzelbereich jeweils von der untersuchten Tanne bedrängt. Dies erklärt sich aus dem Altersunterschied zwischen den Bäumen: Die untersuchte Tanne ist älter, sie etablierte sich zuerst und konnte inzwischen über den halben Abstand ("Mittellinie") hinauswachsen. Damit steht den jüngeren Bäumen in der näheren Umgebung vergleichsweise weniger Wurzelraum zur Verfügung.

2. **Außerhalb dieses Kreises mit 2,5m Radius** stehen in den vorliegenden Fällen nur Bäume, die gleich alt oder älter sind. Hier gibt es zwei Möglichkeiten:

a) In Konkurrenz mit gleichaltrigen Bäumen treffen sich die Wurzeln etwa auf der "Mittellinie".

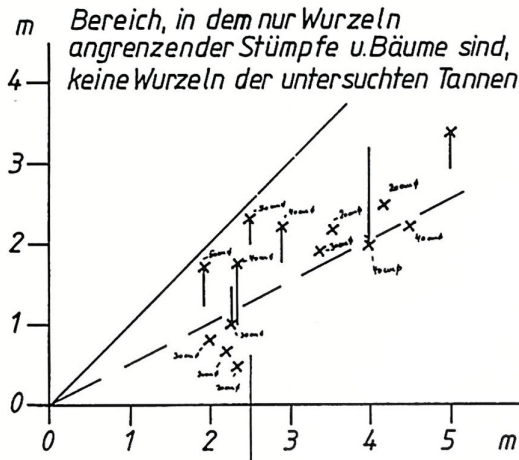
b) Gegenüber den doch älteren Nachbarbäumen (kenntlich durch den deutlich größeren Stammdurchmesser) "unterliegen" die untersuchten Tannen. Dies entspricht dem Fall 1.

Auch dies läßt sich mit einer zeitlichen Abfolge erklären: Vermutlich haben die Altbäume ihre Wurzeln zeitlich früher über die heutige "Mittellinie" hinausgetrieben.

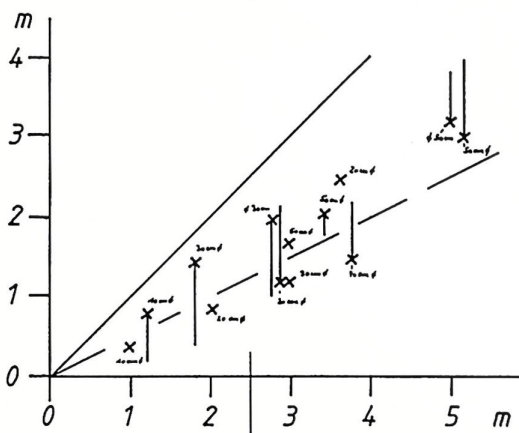
3. Ähnlich sieht es bei den Baumstümpfen mit festem und morschem Holz aus. Auch sie waren vermutlich zuerst da und besiedelten früher das Terrain, während die jüngeren nachfolgenden Tannen sich mit dem verbleibenden Wurzelraum arrangieren mußten. Diese Vorherrschaft gilt anscheinend auch dann noch, wenn die Bäume schon viele Jahre gefällt sind und die Stubben schon weich und morsch sind. **Tannenwurzeln besiedeln anscheinend nur sehr schlecht die Wurzelteller alter Baumstümpfe.**

Wurzel konkurrenz

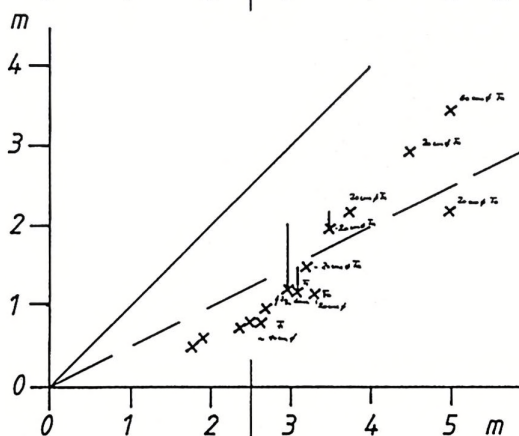
angrenzende Bäume und Stümpfe
schränken den Wurzelraum
der untersuchten Tannen ein.



morscher Stumpf
(weiches Holz)



Stumpf mit festem Holz



stehender Baum

Abstand von angrenzendem
Baum / Stumpf zur untersuchten
Tanne.

Abb. 48: Räumliche Beziehung der Bäume untereinander. Abszisse: Entfernung Stamm zu Stamm. Ordinate: Abstand vom peripheren Ende eines Wurzelastes bis zum nächsten Stammfuß (vgl. Text).

Weiterführende Überlegungen.

1) Warum werden diese alten, abgestorbenen Wurzelteller so schlecht besiedelt, obwohl in den angrenzenden Verlichtungen ein gutes Wasser- und Nährstoffangebot zu erwarten ist? Immerhin können Tannenwurzeln bis zu 12cm pro Jahr in die Länge wachsen (vgl. Kapitel VII/12).

2) Eine extreme Mineralienarmut des Bodens erscheint **nicht** plausibel, da die gefälltten Bäume zuvor noch gut gewachsen waren. (Dies sieht man an den Jahrringen der Stümpfe).

Auch Abbauprodukte des Rohhumus sind vermutlich nicht ausschlaggebend, da Rohhumus im Gebiet überall vorhanden ist. Für die schlechte Besiedelung der alten Baumstümpfe kommen daher Substanzen in Verdacht, die von den morschen Wurzeln selbst oder deren Abbauprodukten herrühren und andere Wurzeln evtl. im Wachstum bremsen.

3) Ein anderer Gesichtspunkt ist, daß Tannenwurzeln nur langsam ihre Grundstruktur verändern. Im Vergleich zur Krone paßt sich anscheinend die Wurzel nur sehr langsam an stark veränderte Standortsbedingungen an. Dies läßt sich auf verschiedenen Wegen erklären:

4) Im Normalfall ändert sich der Bedarf an **zusätzlichen Wasserreserven** vermutlich meist nur langsam.

5) Die Hauptmenge der Biomasse wird in Stamm und Krone investiert und nicht in der Wurzel. So ist die Wurzel vergleichsweise klein und wiegt im trockenen Zustand überraschend wenig.

6) Verbessert sich der Wuchsraum im Bereich der Krone, so verfügt eine mittelhohe Tanne über viele Höhenmeter an Expansionsmöglichkeiten. Sie kann nach oben noch eine neue, gut ausgeformte Krone ausbilden, oder im unteren Stammbereich einen Klebastmantel entwickeln. Dagegen sind der Wurzel mit ca. 40cm Bodentiefe enge Grenzen gesetzt. Hier werden die Expansionsmöglichkeiten eines Wurzelastes schon durch kleinere Hindernisse wie Felsen, wasserundurchlässigen Ton oder auch andere Wurzeln vergleichsweise stark behindert.

7) Doch, was immer auch die Ursache ist, für die zehn ausgegrabenen Tannen gilt: Das zusätzliche Terrain von angrenzenden Stubben wird nur teilweise genutzt.

Teil C

Verfahren zur Bestimmung von Form und Größe eines Wurzeltellers mit Hilfe von oberirdischen Merkmalen.

Es kommt vielfach darauf an, im Gelände rasch die Ausformung und Größe eines Wurzeltellers bzw. den Wuchsraum einer Wurzel abzuschätzen. Dies ist nötig, um deutliche Einschränkungen des Wurzelraums oder aber günstige Ausdehnungsmöglichkeiten der Wurzeln zu erkennen. Außerdem braucht man diese Einschätzung, um durch den Wuchsraum von Krone und Wurzel die Baumentwicklung abschätzen zu können.

Im Folgenden wird nun ein Näherungsverfahren hergeleitet, das diesen Anforderungen entspricht. Hierzu werden im Wesentlichen die Erkenntnisse aus den Kapiteln VI/8 und VI/11 genutzt. Dort wurde nur ein kleiner Teil der Wurzelkonkurrenz-Situationen herangezogen, und zwar nur klare und eindeutige Fälle. In einem weiteren Schritt werden die abgeleiteten Regeln an **allen** ausgegrabenen Wurzelsystemen überprüft.

VI/12. Herleitung eines Verfahrens zur Bestimmung der Größe eines Wurzeltellers.

- 1) Wie Kapitel VI/8. zeigt, breiten sich die Wurzeln der 15-23m hohen Tannen bis zu etwa 3m aus. Damit stehen Tannen mit dieser Baumhöhe bei nur ca. 6m Abstand in direkter Wurzelkonkurrenz zueinander.
- 2) Sind also zwei angrenzende Wurzelsysteme etwa gleichartig, kann man die Konkurrenzzone etwa bei halbem Abstand, in der Mitte zwischen zwei Bäumen, vermuten. Dies entspricht auch etwa der Konkurrenz um Licht im Kronenbereich.
- 3) Doch wie Kapitel VI/6 zeigt, sind hierbei feste und morsche Baumstümpfe genauso zu berücksichtigen, wie noch lebende Bäume.
- 4) Da es, wie gezeigt wurde, aber auch eine zeitliche Abfolge in der Terrainbesiedelung gibt, sind zusätzlich folgende Fragen zu beantworten:
 - Welche der benachbarten Bäume sind etwa gleichhoch, haben ähnliche Stammdurchmesser und sind etwa gleich alt
 - welche Bäume sind eindeutig höher und älter,
 - welche sind aber deutlich jünger?

Ältere Bäume konnten sich zuerst ausbreiten. Ihre Wurzeln reichen vermutlich **über** den halben Abstand hinaus. Besiedeln aber gleichaltrige Tannen ein Terrain zur selben Zeit, dann treffen sie sich etwa bei halbem Abstand. Jüngere Bäume haben sich schließlich mit dem übrig gebliebenen Terrain zu arrangieren, das noch nicht erschlossen ist (Kapitel VI/10). Die Besiedelung erfolgt ähnlich dem Sprichwort: "Wer zuerst kommt, mahlt zuerst".

- 5) Wie weit ein Wurzelsystem die Konkurrenzlinie bei halbem Abstand überschreiten kann, läßt sich nun mit den "**Kernbereichen**" näherungsweise bestimmen. Der "Kernbereich" eines Wurzelsystems umfaßt jenes Terrain, das von den Wurzeln anderer Bäume (fast) nicht besiedelt wird. Dabei handelt es sich um den stammnahen Bereich, wo im Wesentlichen das Stützsystem verankert ist.

Wie bereits in Kapitel VI/6 erwähnt, entwickelt sich im stammnahen Bereich die Wettbewerbssituation zwischen den Wurzeln anscheinend anders als im stammferneren Bereich, wo sich hauptsächlich das "Aufnahmesystem" einer Wurzel breit macht. Diese Sonderstellung des Stützsystems ist z.B. auch an den sog. "Schrägsenkern" zu erkennen (Kapitel VI/4). Hier tritt jener seltene Fall ein, daß ein neuer Wurzelast unter eine andere starke Wurzel hinunterwächst (GWB Ta 33).

Aus Abb. 48 lassen sich nun die Näherungswerte für die Größe des Kernbereichs ableiten:

Im Abstand bis zu 2,5m um eine Tanne haben die nicht besiedelbaren "Kernbereiche" anderer Baumstümpfe und Bäume einen Radius von etwa 0,5m.

Im Abstand von 2,5m bis 5m (z.T. bis 7m) ist der "Kernbereich"

für Fichten bis 3m Höhe:	0,5m Radius
für gleichstarke Bäume oder Baumstümpfe:	0,8m Radius
für morsche, große Baumstümpfe:	1,5m Radius.

6) Hieraus ergibt sich, wie die Größe eines Wurzeltellers abzuschätzen ist. Die genannten Werte beziehen sich auf einen Fi-Ta-Wald auf Buntsandstein im Nord-schwarzwald. Wie die Untersuchungen von ZEHNTGRAF (1950) zeigten, breiten sich Tannenwurzeln in dichten Tonböden schlechter aus als auf lockeren Sandböden. Auf anderen Böden könnten daher evtl. andere Werte für die Wurzelgröße gelten. Unbeantwortet bleibt auch, wie gut sich dieses Näherungsverfahren bei Altannen oder anderen Baumarten bewährt (z.B. Fichte oder Buche).

VI/ 13. Anwendung und Überprüfung des Verfahrens.

Das Verfahren war an wenigen, eindeutigen Fällen mit klaren Konkurrenzsituationen abgeleitet worden und wird jetzt am gesamten Untersuchungsmaterial überprüft.

In den **Abb. 49 a-i** wird mit Hilfe der Mittellinie bei halbem Abstand (kleine Querstriche an den Radien) und den "Kernbereichen" (schraffiert) die Größe und Form des Wurzeltellers rekonstruiert. Morsche Stümpfe sind mit einem gestrichelten Kreis, feste Stümpfe mit einem einfachen Kreis, stehende Bäume mit einem schwarzen Punkt eingetragen. Zur Kontrolle ist in der Mitte das ausgegrabene Wurzelsystem eingezeichnet, umgeben von zwei Orientierungskreisen mit 2,5m und 5m Radius.

In den **Abb. 50 a-i** sind nochmals die Lagepläne der Tannen angegeben. Doch sind nun die "Kernbereiche" der umgebenden Bäume und Baumstümpfe und die Orientierungslinie bei halbem Abstand miteinander verbunden (schraffierte Flächen). Übrig bleibt jene Fläche, die als Raum des ausgegrabenen Wurzelsystems gemäß den aufgestellten Regeln übrig bleiben würde. Zur Kontrolle ist der ausgegrabene Wurzelteller eingezeichnet (schwarze Linie). Der schwarze Punkt innen symbolisiert den Stammfuß.

Befund (Abb. 49 und Abb. 50):

Man erkennt, daß sich das angewandte Verfahren für die untersuchten Tannen als brauchbar erweist. Form und Größe des Wurzelsystems lassen sich ungefähr abschätzen (Baumhöhe ca. 15m bis 23m). Es bleibt allerdings unklar, wie weit sich das Verfahren auf anderen Böden, bei anderen Baumarten und bei Altannen bewährt.

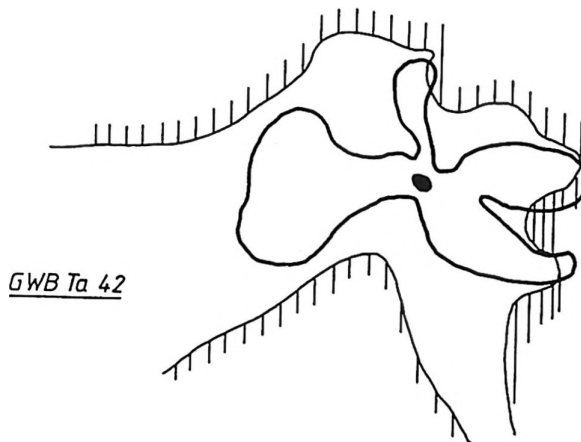


Abb. 50 a: Theoretisch rekonstruierter Wurzelteller der Tanne 42; vgl. Text. Weitere Beispiele im Anhang.

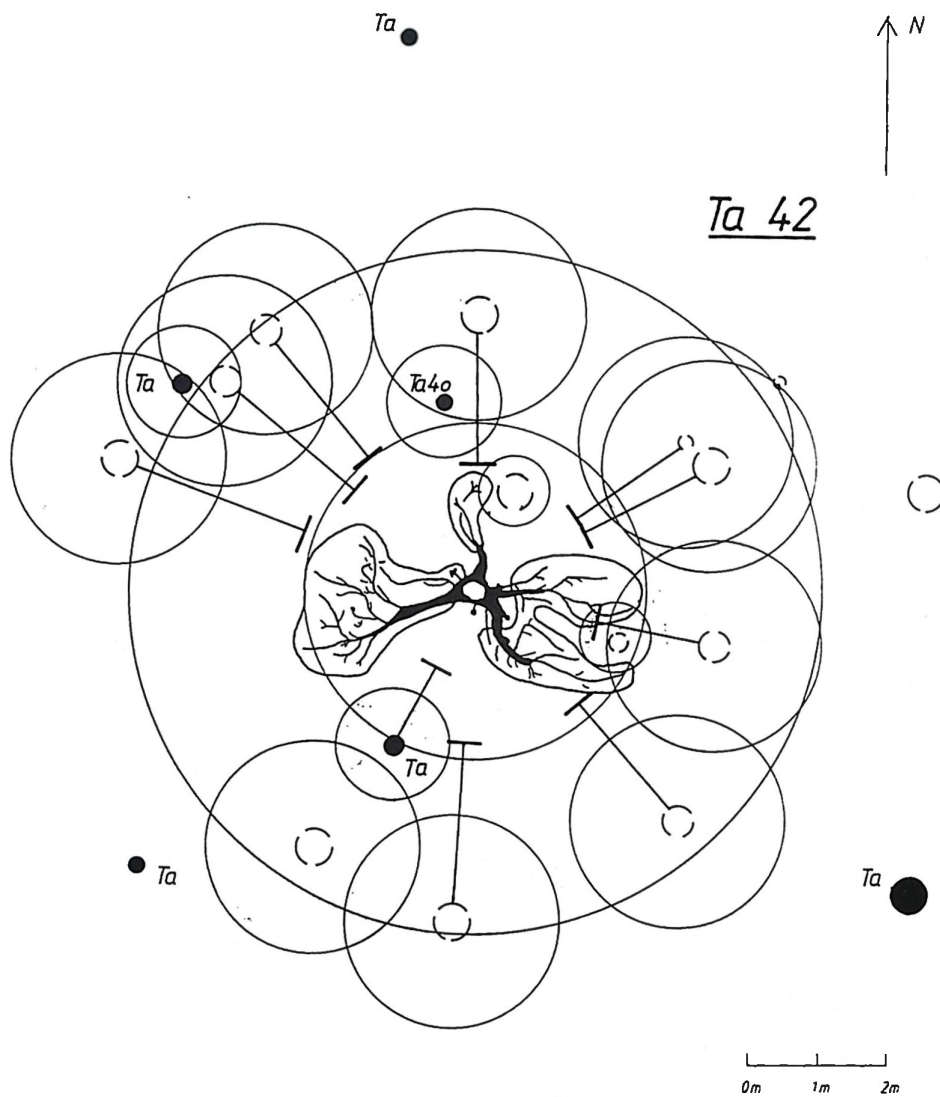


Abb. 49 a: Konfiguration des Wurzeltellers von **Tanne 42** (Besenfeld). Vgl. Text; weitere Beispiele im Anhang.

VI/14. Zusammenfassung.

- 1) Tannenwurzeln sehen außen purpurfarbig aus und wurzeln im Mineralboden, nur ausnahmsweise im Rohhumus.
- 2) Die Ringe der Wurzeln wachsen sehr ungleichmäßig und können viele Ringausfälle (Teil- und Totalausfälle) aufweisen.
- 3) Auf Grund von Durchmesser, Form und Lage der Wurzeläste kann man das Wurzelsystem einer Tanne in ein "Stütz-" und ein "Aufnahmesystem" unterteilen.
- 4) Breiten sich neue Wurzeln in einem Terrain aus, weichen sie meist den anderen Wurzeln aus. Ausnahmen scheint es nur zu geben, wenn zwei Wurzeln gleichzeitig in dasselbe Terrain hineinwachsen. Dann können diese Wurzeln verwachsen. Sie sind später u.U. Ursache für die sog. Stocküberwallungen.
- 5) Tannenwurzeln besiedeln schlecht den Wurzelbereich alter Baumstümpfe.
- 6) Mit einem einfachen Verfahren lassen sich im Gelände rasch Form und Größe eines Wurzeltellers abschätzen. Dabei gelten bis zu einem Abstand von 2,5m (so weit reicht etwa auch der längste Ast der Krone) etwas andere Regeln als außerhalb.

Kapitel VII

Über Wechselbeziehungen zwischen Wurzel, Stamm und Krone bei einer Tanne.

Neben den Einblicken in die Ausmaße und das Wuchsverhalten von ober- und unterirdischen Baumteilen sind jene spezifischen Veränderungen gesucht, die charakteristisch für die Walderkrankung sind.

VII/1. Vorbemerkungen.

Die Kenntnis von der Beziehung von Krone zu Wurzel ist ein zentraler Gesichtspunkt im Verständnis der Walderkrankung. Zwar wird die Walderkrankung fast immer im Hinblick auf die oberirdischen Baumteile gesehen, Nadelverluste und verringertes Wachstum. Doch die Wurzel ist ebenso wichtig. Sie verankert den Stamm, versorgt die Krone mit Wasser, speichert Assimilate, synthetisiert Phytohormone (LYR et al., 1967; DÖRFFLING, 1982).

In diesem Kapitel werden morphologische Strukturen genutzt, um diese Wechselbeziehungen vorsichtig zu analysieren. Parameter aus der Wurzel, dem Stamm und der Krone werden miteinander verglichen und Wachstumsentwicklungen nachgezeichnet. Vereinzelt zeigen sich hierbei einfache, morphologische Zusammenhänge.

In einem weiteren Schritt wird versucht, diese morphologischen Zusammenhänge ökophysiologisch zu erklären. Insgesamt war der Probenumfang nicht sehr groß. Die Ergebnisse haben daher eher den Charakter von konstruktiven Hinweisen, die einen ersten Einblick in das Wechselgefüge von Krone und Wurzel geben können.

Teil A

Größe von Wurzel, Stamm und Krone.

VII/2. Verankerungsfläche des Wurzeltellers und die Baumhöhe.

Je höher ein Baum wird, desto größer wird bei vergleichbarer Windbelastung das angreifende Drehmoment an den verankernden Wurzeln. Die Frage ist, ob sich dies auch in den Ausmaßen des Wurzeltellers widerspiegelt.

Befund (Abb. 51):

Die Flächen für die Wurzelteller liegen zwischen etwa 4m^2 und 7m^2 bzw. fast 10m^2 . Damit variieren die Größen der Wurzelteller vergleichsweise stärker als die der Baumhöhen (15-23m). **Zwischen der Flächengröße des Wurzeltellers und der Baumhöhe ist kein einfacher gesetzmäßiger Zusammenhang erkennbar.** Dies gilt auch dann, wenn man die Kronenschädigung (%Nvl.) oder den h/d-Wert einbezieht.

VII/3. Wechselbeziehung zwischen dem Stammdurchmesser und der Fläche des Wurzeltellers.

Bereits in den Kapiteln III und IV wurde deutlich, daß, falls bei einer Tanne das Wachstum insgesamt geringer wird, der Stammdurchmesser langfristig sensibler darauf reagiert als der Höhentrieb. Dieser sensiblere Parameter im unteren Teil des Baums wird nun in **Abb. 52** mit dieser uneinheitlichen Größe "Wurzelteller" verglichen.

Befund (Abb.52):

Auch aus dem Stammdurchmesser kann man offenbar nicht auf die Größe des Wurzeltellers schließen. Dies gilt auch dann, wenn man den h/d-Wert (u.U. als Vergleichsgröße für die soziologische Stellung) und die Schadstufe der Krone (als Hinweis für die Walderkrankung) miteinbezieht.

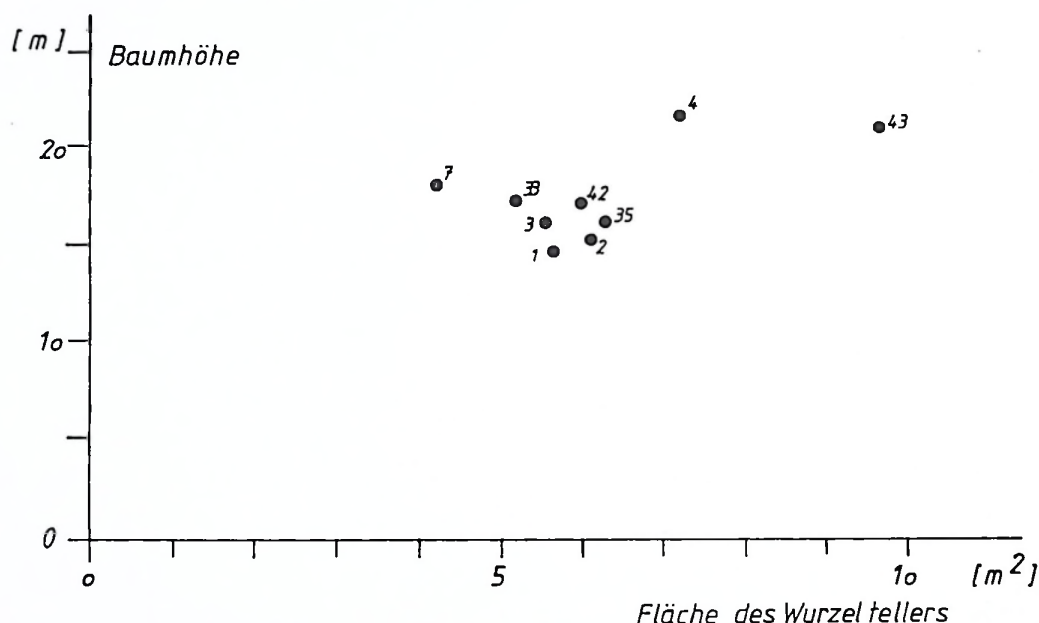


Abb. 51: Vergleich der Baumhöhe mit der Größe des Wurzeltellers.

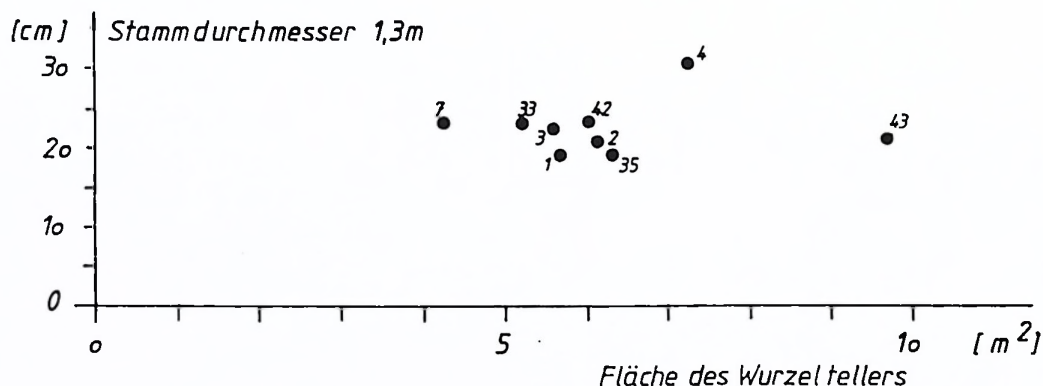


Abb.52: Beziehung zwischen Stammdurchmesser und der Fläche des Wurzeltellers.

VII/4. Die Form des Wurzeltellers und die Form der Kronenschirmfläche.

Das Lichtangebot in der Krone prägt ihre Form und das Ausmaß der Kronenschirmfläche. Die **Kronenschirmfläche** ist die senkrechte Projektion der Krone auf den Waldboden. Beschatten die angrenzenden Bäume zu sehr, führt dies zu Einbuchtungen in der Kronenschirmfläche. Dieser Wettbewerb um das seitliche Licht in der Krone entscheidet wesentlich über deren Gedeihen. Diese Beeinträchtigungen lassen sich mit Hilfe von Baumstümpfen und Bäumen direkt unterhalb der Einbuchtungen überprüfen. Die **Fläche des Wurzeltellers** ist die senkrechte Projektion des Wurzelsystems auf die Oberfläche des Waldbodens.

Für die **Abb. 53.** wurde die Kronenschirmfläche am stehenden Baum gemessen (8 Himmelsrichtungen). Die Fläche des Wurzeltellers ergab sich aus den Wurzelbildern (Kapitel VI/6).

Befund (Abb.53):

In ihrem Bestreben, sich mehr Wuchsraum zu erschließen, schränken sich die Tannen gegenseitig ihren Wuchsraum ein. Dabei wird die Krone meist anders beeinträchtigt als die Wurzel. Nur bei Tanne 3 kommt die Kronenschirmfläche direkt auf dem Wurzelteller zu liegen.

Dies läßt sich erklären: Tanne 3 wuchs als einzige der untersuchten Bäume in einer Tannengruppe **gleichen Alters** auf, lange Zeit ohne große Eingriffe. Durch diesen gleichartigen Wettbewerb um Licht und um Wasser wurde der Wuchsraum der Krone und der Wurzel gleichartig durch die umgebenden Bäume begrenzt.

Doch bei den vier anderen Tannen dieses Plenterwaldes (GWB Ta 1,2,4 u.7) entwickelt die Krone zum großen Teil eine andere Grundfläche als die Wurzel. Wie die Lagepläne in Kapitel VI/10 zeigen, prägen die angrenzenden Wurzelsysteme der umgebenden Bäume und Baumstümpfe die Form der Wurzelteller.

Bei ihrem Bestreben größer zu werden, stößt die Krone offenbar an andere Grenzen als die Wurzel. In der Krone erstrecken sich jene Grenzflächen, an denen das Tageslicht gerade noch genutzt werden kann, über viele Höhenmeter.

In der Wurzel dagegen konzentriert sich der Wettbewerb um Wasser auf etwa 40 cm Bodentiefe, seitlich begrenzt durch andere Wurzelsysteme.

Vergrößert sich der Wuchsraum z.B. dadurch, daß ein angrenzender Baum gefällt wird, so reagiert die Wurzel darauf anders als die Krone. Die Krone nutzt das größere Lichtangebot durch neue Triebe an Stamm und Altästen (Astreiser u. Klebäste, vgl. Kapitel IX und X). Dagegen wird das nicht mehr genutzte Terrain im Wurzelbereich offensichtlich nur langsam besiedelt (Kapitel VI/11). Dies legt einen neuen Gesichtspunkt nahe.

In der **forstlichen Praxis** ging man bislang davon aus, daß der Wurzelraum der Baumstümpfe nicht mehr genutzt wird und daher den umgebenden Bäumen fast ganz zur Verfügung steht. Doch nach Kapiteln VI/11 und VII/8 gilt dies nur bis zu einem gewissen Grad. **Es entsteht damit der Verdacht, daß bei einer Durchforstung die Krone vergleichsweise mehr Wuchsraum gewinnt als die Wurzel.**

Aus dem Mitgeteilten ergibt sich das Folgende:

Man kann aus den oberirdischen Eigenschaften einer Tanne wie Baumhöhe, Stammdurchmesser und Form der Kronenschirmfläche nicht ohne weiteres auf die Größe des Wurzeltellers schließen. Dies soll allerdings noch weiter erörtert werden.

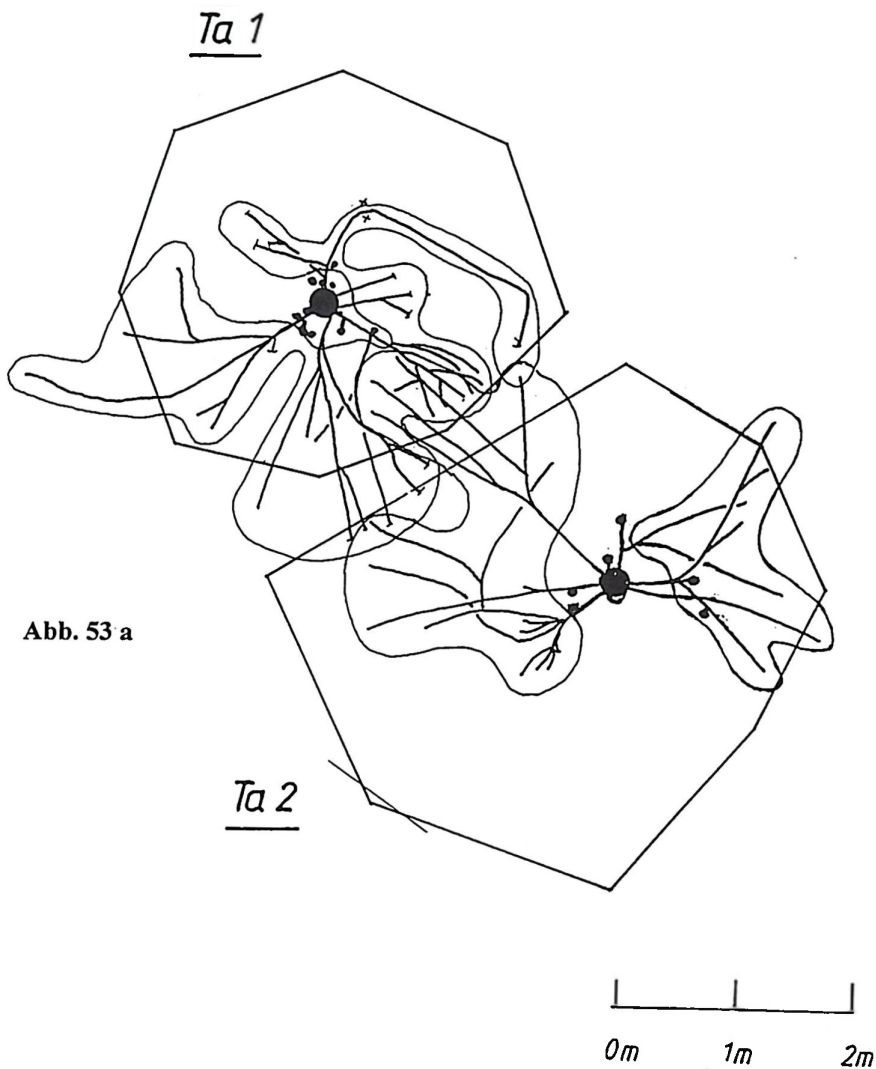


Abb. 53 a-d: Die Form der Kronenschirmfläche und jene des Wurzeltellers von Tanne 1, 2, 3, 4 und 7 (Besenfeld).

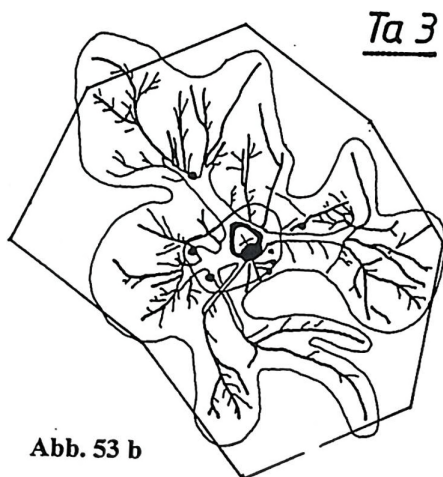
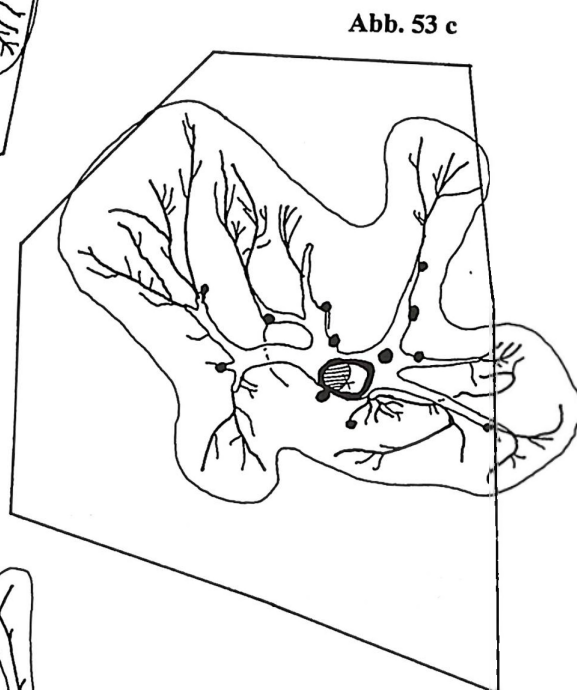
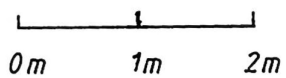


Abb. 53 b



Ta 4

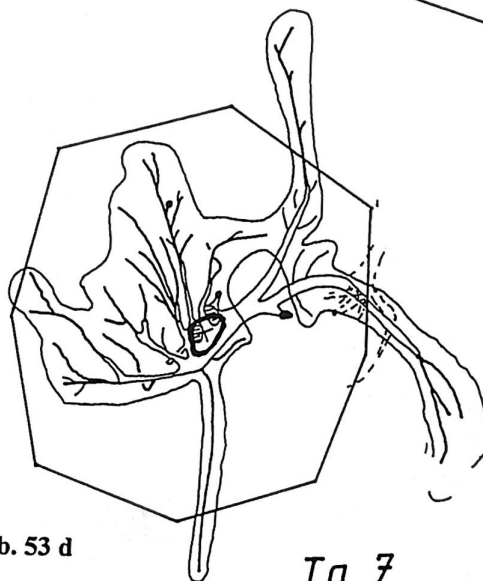


Abb. 53 d

Ta 7

VII/5. Größenvergleich von Wurzelteller und Kronenschirmfläche.

Die Flächen aus den Abb. 53 werden nun in Abb. 54 quantitativ verwertet.

Befund (Abb. 54):

Man erkennt, daß bei den fünf überprüften Tannen die Fläche des Wurzeltellers nur etwa halb so groß wie die der Kronenschirmfläche ist.

Dieser interessante Hinweis könnte praktisch verwendet werden. Doch er basiert auf einem zu kleinen Probenumfang. Darüber hinaus überrascht immer wieder, wie klein die Wurzelteller der Tanne insgesamt sind.

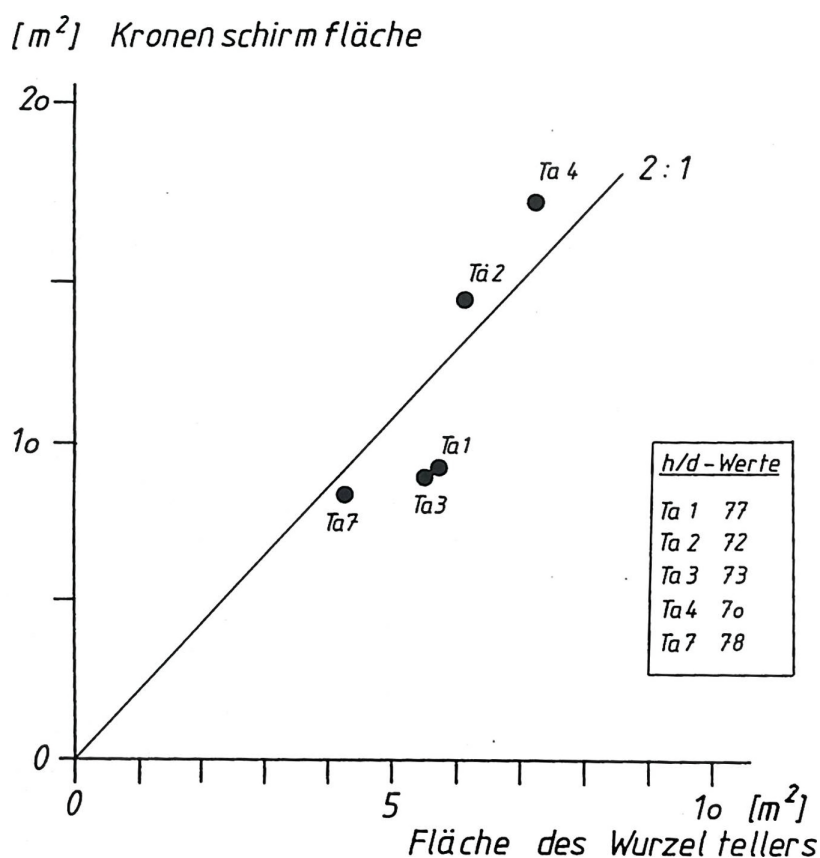


Abb. 54: Vergleich der Flächengröße des Wurzeltellers mit der Kronenschirmfläche.

VII/6. Beziehungen zwischen der Fläche der Feinwurzelbezirke und der Fläche der "benadelten Astflächen".

Die Wurzel nimmt das Wasser auf, die Nadeln geben es an die Atmosphäre ab. Wie stehen nun diese Grenzflächen des Aufnehmens und des Abgebens quantitativ zueinander in Beziehung? Dazu werden in **Abb. 55** die "Flächen der Feinwurzelbezirke" mit der der "benadelten Astflächen" verglichen. Beide Parameter sind sicher nicht ideal. Es handelt sich um einen ersten Versuch, die Ausmaße der Wurzel und der Krone vergleichend zu erfassen.

Die "**Fläche der Feinwurzelbezirke**" ist jener Teil des Wurzeltellers, in dem die dünnen Wurzeln des "Aufnahmesystems" liegen (Kapitel VI/9). Die "**benadelten Astflächen**" sind ein Maß für die Nadelmenge der Krone (Kapitel über "Material und Methoden").

Befund (Abb. 55):

1. In 6 der 9 Fälle ist die Gesamtbenadelung jeweils **mehr als dreimal so groß** wie die Flächen der Feinwurzelbezirke: bei Tanne 2, 3, 4, 7, 33 und 42.

Dies ist insofern interessant, als drei dieser Tannen abnorme Nadelverluste haben; sie sind walderkrankt (Ta 2, 3 und 7). In dem Vergleich mit so groben Parametern macht sich dies offenbar nicht bemerkbar. Damit erhebt sich allerdings die Frage, ob bei der Walderkrankung tatsächlich das Kronen-Wurzel-Verhältnis nachhaltig gestört ist. Doch stößt man hier schnell an methodische Grenzen, denn diese morphologischen Größen spiegeln nicht unbedingt auch die ökophysiologische Leistungsfähigkeit von Wurzel und Krone wider.

2. In 3 der 9 Fälle ist aber das Verhältnis von Krone zu Wurzel zugunsten der Wurzel verschoben. Bei den Tanne 1, 35, 43 werden die Nadeln von einer vergleichsweise größeren Wurzel versorgt. Alle drei Tannen sind auch in anderen Parametern etwas extrem. Ta 1 hatte die wenigsten Nadeln. Die beiden anderen hatten die schlankesten Stämme und jeweils eine sehr wüchsige Quirlast- bzw. Klebastkrone.

Bei diesen Sonderfällen ist zu beachten: **Tanne 1** hatte sehr starke Nadelverluste und alle weiteren Symptome der Walderkrankung. Durch den Nadelverlust an den Ästen verschob sich das Kronen-Wurzel-Gleichgewicht zugunsten der Wurzel. Damit war die Wurzel relativ groß. Sie wies keine pathologischen Veränderungen oder Absterbeerscheinungen auf.

Wäre der Ausgangspunkt der Walderkrankung ausschließlich darauf zurückzuführen, daß nur die Wurzel zu wenig leistet, wäre Tanne 1 (mit Einschränkung) ein Gegenbeispiel. Denn dann hätte man erwarten können, daß sich ein neues Krone-Wurzel-Verhältnis einstellen würde. Doch der Nadelverlust ist überproportional. Dieses Ergebnis paßt besser zu jener Interpretation, daß der Ausgangspunkt der Walderkrankung in den Ästen zu suchen ist (Kapitel XII).

Tanne 35. Diese Tanne stand in den ersten Jahrzehnten unter dem Schirm von Alt-tannen, war "unterständig" gewesen. Dies ist an zwei Dingen zu erkennen: Die Jahrringe im Zentrum des Stamms sind sehr schmal (sog. "Schattkern") und die umgebenden Stubben haben große Durchmesser. Damit erklärt sich, warum der Stamm von Ta35 zwar schon 90 Jahre alt ist, aber erst 16,3m hoch. Allerdings wuchs die Krone

von Ta35 in den vergangenen Jahrzehnten sehr gut. Sie ist gut benadelt und mit 23 benadelten Quirlen relativ jung. Der Wurzelteller ist im Vergleich zu dem der anderen Tannen ausgesprochen groß und hat nach Süden noch ungenutzte Expansionsmöglichkeiten.

DANNECKER (1955) sah solche Tannen als ideal an. Er meinte, daß unterständige Tannen ein vergleichsweise weitreichendes Wurzelsystem anlegen. Dies sei eine sehr günstige Voraussetzung für die spätere Entwicklung. Denn, wird der Altbestand nach und nach entfernt, gedeihen nach seinen Erfahrungen solche Tannen besonders gut.

Zu den waldbaulichen Gesichtspunkten soll hier nicht Stellung genommen werden, dies ist nicht Thema der vorliegenden Arbeit. Doch stimmen die Erklärungen von DANNECKER gut mit den vorliegenden Ergebnissen überein: Ta 35 hat eine vergleichsweise große Flächen mit Feinwurzeln und eine sehr wüchsige Krone.

Tanne 43: Ihre Quirlastkrone ist sehr klein. Zusammen mit dem schlanken Stamm ist zu vermuten, daß sie vor Jahrzehnten noch "mitherrschend" war. Jetzt hat Ta 43 einen sehr großen Klebastmantel, der über 80% der benadelten Astflächen enthält. Mit fast 10m hat sie den größten Wurzelteller. Doch diese Beschreibungen erklären nicht hinreichend die Ausnahmestellung von Ta 43 im Diagramm.

3) Insgesamt mag festgehalten werden, daß die benadelten Ästflächen in der Regel etwa dreimal so groß wie die Feinwurzelsbezirke sind.

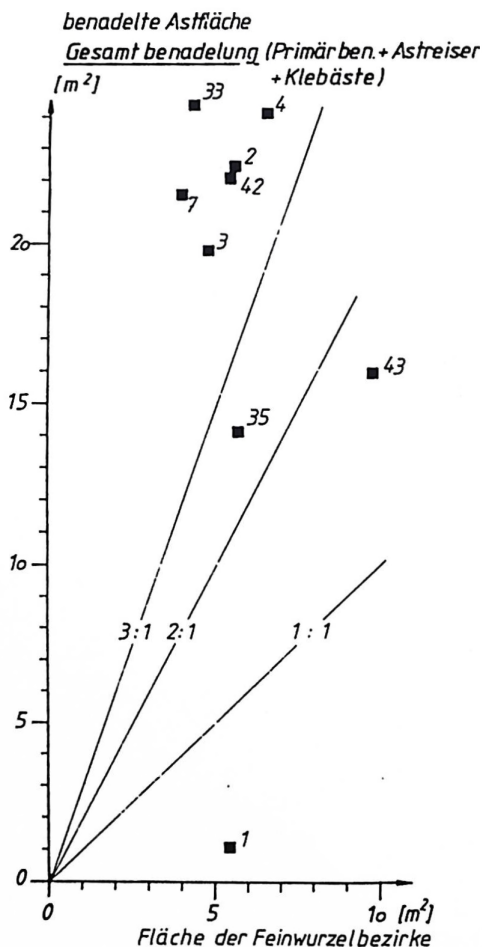


Abb. 55: Grenzflächen des Aufnehmens und des Abgebens an Wasser: Größenvergleich zwischen den Feinwurzelsbezirken im Wurzelteller und der Nadelmenge in der Krone ("benadelten Astflächen").

VII/7. Ein Kronen-Wurzel-Quotient in Bezug zum h/d-Wert.

Der h/d-Wert (Quotient aus Stammhöhe zu Stammdurchmesser) wird hier als Maß für den Konkurrenzdruck bzw. für die soziologische Stellung angesehen.

Folgender Gedankengang lag den Ausführungen zu Grunde:

- 1) Die Konkurrenzsituation im Wurzelbereich läßt sich quantitativ nicht oder nur unzureichend erfassen. In Kapitel VII/4 wurde überlegt, wie sich eine Änderung des Wuchsrums in Krone und Wurzel auswirkt. Dabei entstand der Verdacht, daß der Wuchsräum im Wurzelbereich u.U. rasch und unbemerkt zum begrenzenden Faktor für das Gedeihen einer Krone werden kann.
- 2) Sollte eine vergleichsweise kleine Wurzel die Wasserversorgung einer Tanne beeinträchtigen, sie instabil und anfällig für die Walderkrankung machen, so ließe sich dieser Engpaß evtl. durch ein ungünstiges Sproß-Wurzel-Verhältnis nachweisen.
- 3) Die Walderkrankung führt bei mitherrschenden Tannen zu deutlich größeren Schäden. Daher nimmt man hier den h/d-Wert als Maß für den Konkurrenzdruck und überprüft damit das Krone-Wurzel-Verhältnis.
- 4) **Sollte dieser Gedankengang zutreffen, dann müßten mitherrschende Tannen die vergleichsweise kleinere Wurzel aufweisen; d.h. mitherrschende Tannen hätten ein ungünstigeres Sproß-Wurzel-Verhältnis.**
- 5) Auf Standorten mit sehr guter Wasserversorgung investieren angepaßte Pflanzen relativ wenig Biomasse in die Wurzel. Die Wasserversorgung läßt sich offenbar auch mit einer kleinen Wurzel aufrecht erhalten (Diese Pflanzen zeigen oft einen "hygromorphen" Bau.)
- 6) Dagegen legen auf trockenen Standorten, bei sehr schlechter Wasserversorgung, angepaßte Pflanzen relativ viel Biomasse in der Wurzel fest (dies ist ganz extrem bei Wüstenpflanzen, die oft zusätzlich noch "xeromorph" gebaut sind). Zur Beurteilung des Krone-Wurzel-Verhältnisses werden nun diese Extremfälle auf die Tannen übertragen.

Zu Abb. 56: Um die Trockenheit eines Standorts mit dem Kronen-Wurzel-Verhältnis zu beschreiben, erfaßt man normalerweise das Trockengewicht von Sproß und Wurzel. Hieraus berechnet man den Quotienten Sproß : Wurzel. Bei den vorliegenden Untersuchungen wurde jedoch das Trockengewicht bzw. die Biomasse nicht erfaßt. Um dennoch eine Größe für das Verhältnis von Sproß und Wurzel zu bekommen, werden (ähnlich wie in Kapitel VII/6) die Flächen der Wasserabgabe und der -aufnahme zueinander in Beziehung gesetzt.

Der Kronen-Wurzel-Quotient ist das Verhältnis von "benadelten Astflächen" zur gesamten Wurzellänge. Dieser Quotient ist recht anschaulich. So bedeutet $0,05 \text{ m}^2/\text{m}$, daß eine Tannenwurzel von 1 m Länge umgerechnet 50 dm^2 "benadelte Astfläche" versorgt.

Befund (Ab. 56):

1. Pro Meter Wurzellänge werden bei den untersuchten Tannen zwischen 4 und 9dm² "benadelte Astfläche" versorgt.
2. Für einen Teil der Tannen (6 von 8) besteht ein fast linearer Zusammenhang: **Je schlanker der Stamm wird, desto "hygromorpher" das Kronen-Wurzel-Verhältnis; d.h. im Verhältnis zur Krone ist die Wurzel klein.**
Oder anders ausgedrückt: Tannen mit eher mitherrschendem Habitus haben eine vergleichsweise kleine Wurzel. Dagegen haben mehr vorherrschende Tannen eine vergleichsweise große Wurzel.

Interpretation. Eine mitherrschende Tanne hat einen schlanken Stamm (großer h/d-Wert) und eine Krone, die meist nicht das mittlere Bestandesniveau erreicht. D.h., eine solche Krone ist fast ganz von einem feuchten Bestandesklima umgeben.

Anders dagegen die Umgebung einer vorherrschenden Tanne. Ihre Krone ragt über das mittlere Bestandesniveau hinaus. D.h., ein großer Anteil der Krone ist einem trockeneren Kleinklima mit mehr Wind und Sonne ausgesetzt (sog. "Sonnenkrone"). Mit Recht kann man vermuten, daß eine solche Tanne vergleichsweise **mehr Wasser** verbraucht (jeweils auf die gleiche Nadelfläche bezogen). Demnach müßte eine vorherrschende Tanne ein leistungsfähigeres und größeres Wurzelsystem haben. Somit bestätigt dieses Diagramm den zuvor schon erwähnten trivialen Zusammenhang:

- **mitherrschende Krone = feuchtes Kleinklima = kleine Wurzel.**
- **vorherrschende Krone = trockenes Kleinklima = relativ große Wurzel.**

Bei 6 dieser 8 Fälle spiegelt sich damit das Kleinklima in der relativen Wurzelgröße wieder. Die geringe Abweichung von Tanne 33 findet hierin auch ihre Erklärung: Sie stand in einer kleinen, alten Bestandeslücke, rings umgeben von hohen Altbäumen. Sie hatte fast nur Schattennadeln. Dieses feuchtere Bestandesklima scheint sich in einer kleineren Wurzel bemerkbar zu machen.

Doch diese Gesetzmäßigkeit ist bei den Tannen 1 und 43 nicht zu erkennen. Sie sind - wie im Diagramm zuvor schon erwähnt- auch in anderen Parametern etwas extrem und haben eine große Umstrukturierung der Krone hinter sich (Kapitel XI). **Tanne 1** hatte die meisten Nadeln durch die Walderkrankung verloren. **Tanne 43** hatte den schlankesten Stamm, ebenfalls eine Zone mit kahlen Ästen (Walderkrankung) und eine sehr große, gut benadelte Klebastkrone. Doch diese Beschreibungen erklären nicht ihre Ausnahmestellung im Diagramm.

Trotz der erwähnten Ausnahmen sind die Wechselbeziehungen zwischen Stammform (h/d-Wert) und dem Kronen-Wurzel-Verhältnis sehr verblüffend. Erstaunlich ist auch wie "grob" die verwendeten Parameter sind.

Die feinen Abstufungen zwischen den einzelnen Tannen lassen dagegen darauf schließen, daß das Wachstum von Krone, Stamm und Wurzel bei der Tanne sehr sensibel gesteuert wird. Vergleichbar fein abgestimmte Proportionierungen findet man auch, wenn sich Nadeln und Astachsen an ihr jeweiliges Kleinklima anpassen (Kapitel VIII). Spezifische Unterschiede im Hinblick auf die Walderkrankung lassen sich aus diesen quantitativen Größen von Krone, Stamm und Wurzel nicht erkennen.

Quotient benadelte Astfläche [m²] : Wurzellänge [m]

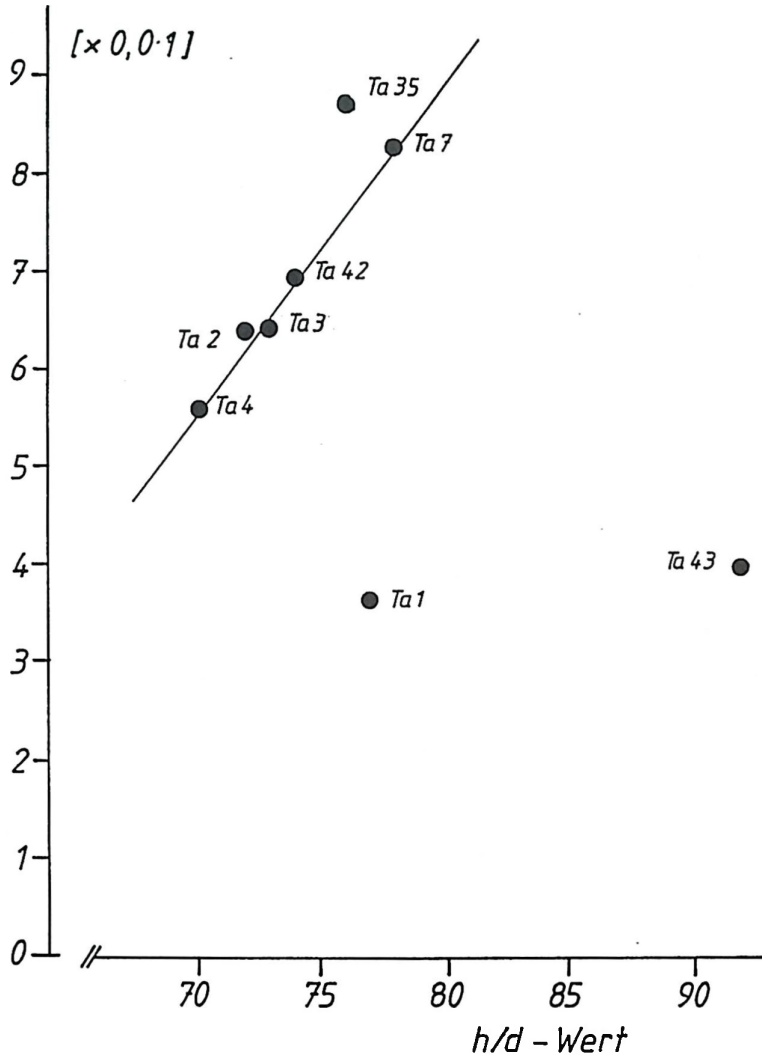


Abb. 56: Beziehung des Quotienten "benadelte Astfläche" zur "gesamten Wurzellänge" zum h/d-Wert. Bei eher "hygromorphen" Pflanzen ist der Quotient groß, bei "xeromorphen" klein.

Teil B

Das jährliche Wachstum der Wurzeläste.

VII/8. GWB Tanne 2. Höhenwachstum und Breite der Jahrringe in Stamm und Wurzel während der letzten fünf Jahrzehnte.

Da die Jahrringe der Wurzel oft exzentrisch wachsen, wurden sie nur an ihrer breitesten Stelle gemessen. In den Wurzelästen treten sehr häufig Ringausfälle auf (sog. "Totalausfälle").

Zu Tanne 2. Sie war walderkrankt. Neben starken Nadelverlustschäden (Schadstufe III) stagnierte seit einiger Zeit das Höhen- und Dickenwachstum.

In **Abb. 57** verläuft die Zeitachse von oben nach unten.

Im rechten Teil der Abbildung sind das jährliche Höhen- und Dickenwachstum (0,3m und 4,6m Stammhöhe) aufgetragen. Um die Ringausfälle in den Wurzelästen zu lokalisieren, wurde folgende Darstellungsweise gewählt:

Im linken Teil der Abbildung sind die Daten von vier Wurzelästen verzeichnet. Alle 10cm wurden diese Wurzeläste querschnitten, die Jahrringe vermessen und datiert. Von all diesen Wurzelquerschnitten wurden sowohl die Jahrringe wie auch die Ringausfälle jahrgangsweise zusammengefaßt und in dem Diagramm aufgeführt. Da die Wurzelperipherie jünger ist, sind die jüngeren Jahrringe insgesamt mehr vertreten.

Der mittlere Teil der Abbildung bezieht sich ebenfalls auf die vier Wurzeläste. Es interessiert, in welchen Jahren prozentual mehr Ringausfälle auftreten. Die Werte linksseitig wurden in Prozent umgerechnet.

Befund (Abb. 57):

Werden im Stamm die Jahrringe kleiner, dann treten in der Wurzel vermehrt Ringausfälle auf. Werden im Stamm die Jahrringe wieder breiter, verringert sich die Anzahl der Ringausfälle in der Wurzel. Seit 1970 verhält sich bei Tanne 2 das Höhenwachstum ähnlich wie das Dickenwachstum des Stamms, zuvor allerdings nicht. **Insgesamt reagiert die Wurzel etwas früher und wesentlich stärker auf einen Zuwachsrückgang als der Stamm.**

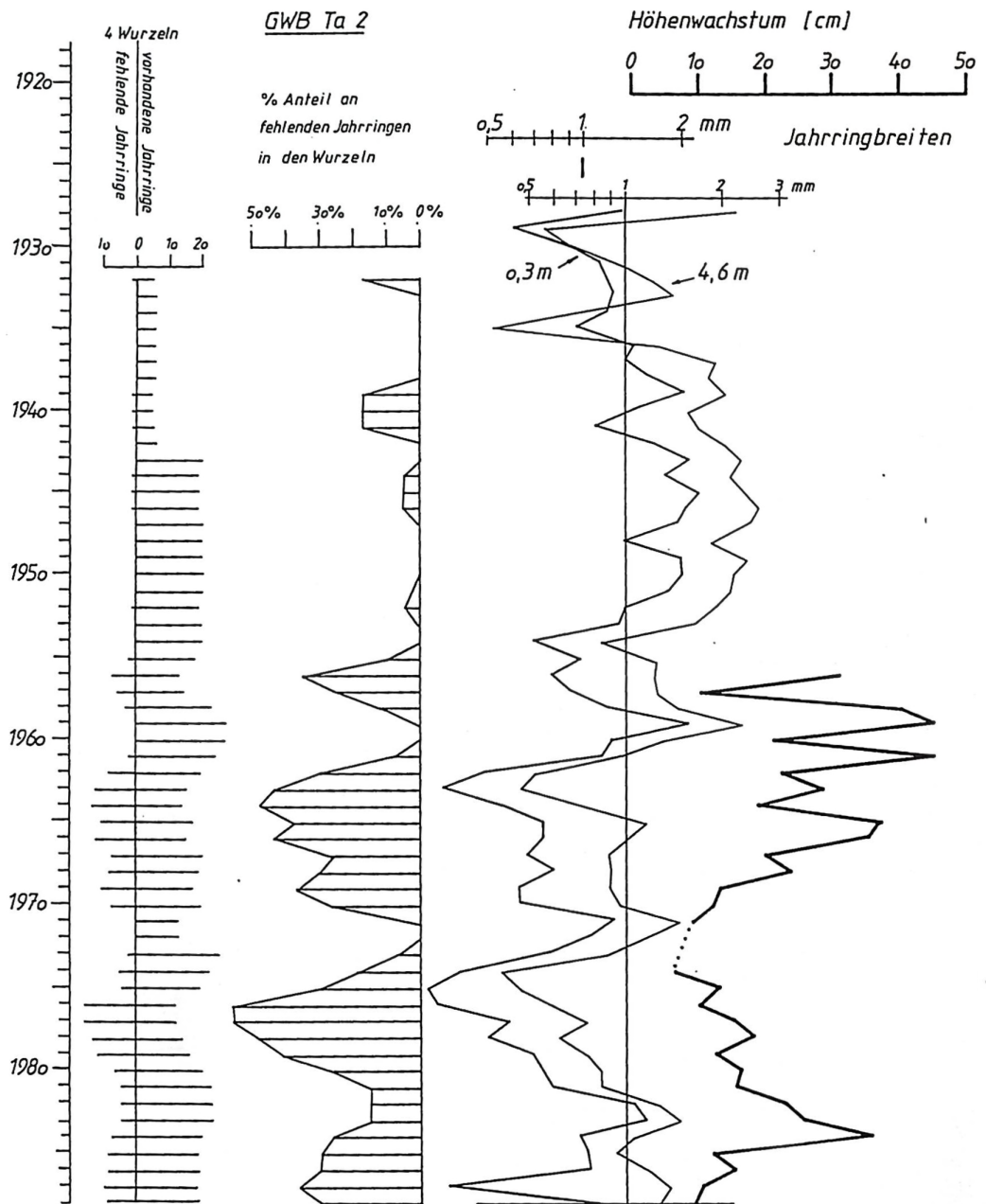


Abb. 57: Höhen- und Dickenwachstum der Stämme, Wurzelwachstum und Zeitpunkt der Jahrringausfälle in der Wurzel (vgl. Text).

VII/9. GWB Tanne 35. Höhenwachstum und Breite der Jahrringe in Stamm und Wurzel während der letzten drei Jahrzehnte.

Diese Tanne stand im Fi-Ta-Plenterwald, war gut wüchsig und hatte keine aktuellen Symptome der Walderkrankung. Allerdings waren unterhalb der Krone auf einem kleinen Stammabschnitt die Quirle eng zusammengedrängt, ein altes "Storchennest". Zuvor war Tanne 35 "unterständig" gewesen (Kapitel VII/7).

Befund (Abb.58):

Wie in Abb. 57 erkennt man auch in Abb.58, daß die Wurzeläste wesentlich sensibler auf Zuwachseinbrüche reagieren als der Stamm. Zu solchen Zeiten nehmen in der Wurzel die Ringausfälle beträchtlich zu.

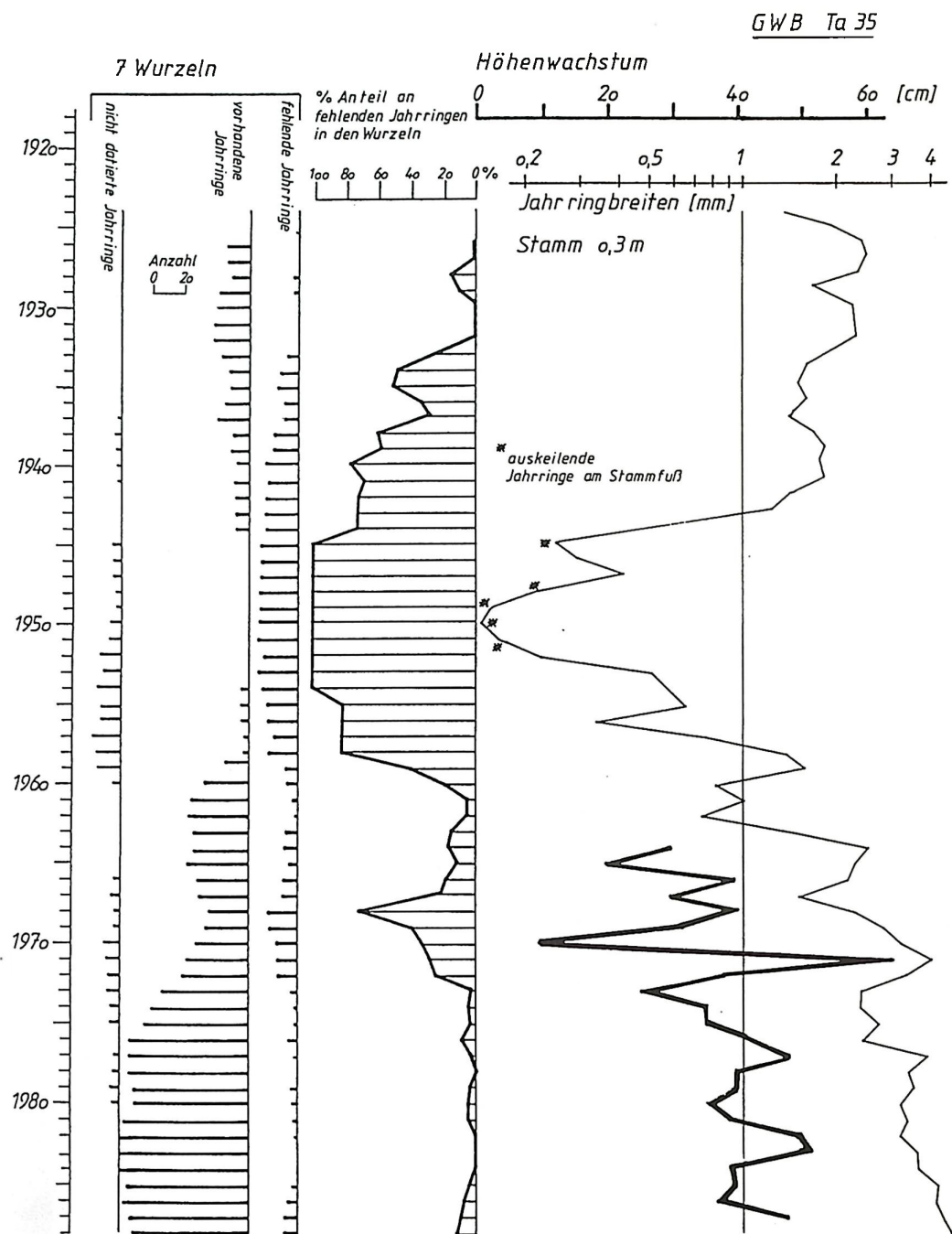


Abb. 58: Höhen- und Dickenwachstum der Stämme, Wurzelwachstum und Zeitpunkt der Jahrringausfälle in der Wurzel. "Auskeilende" Jahrringe sind markiert, links außen nicht datierte Jahrringe; in der Mitte der prozentuale Anteil der Totalausfälle aller Ringe in der Wurzel.

VII/10. Lokalisation der Ringausfälle in den Wurzelästen.

Bereits die Wurzel von Tanne 9 (Kapitel VI/5) zeigte, daß entlang eines Wurzelastes Ringausfälle unregelmäßig auftraten. An welchen Stellen und zu welchen Zeiten hört das Wurzelwachstum auf?

Zu den Abb. 59 a-g. Ein Wurzelast wurde alle 10 cm querschnitten. Die Abszisse zeigt den Abstand dieser Wurzelquerschnitte vom Stammfuß aus. Die synchronisierten Jahrringkurven sind vereinfacht als dicke, schwarze Balken eingetragen. Nicht sicher datierte Jahrringe sind mit dünner Linie dargestellt. Ließen sich beim Vergleich der Jahrringkurven Ringausfälle lokalisieren, ist jeweils ein "R" eingetragen. Die Zeitachse verläuft von oben nach unten. Die Beispiele zeigen Wurzeläste von einem walderkrankten Baum (GWB Ta2) und einem gesunden (GWB Ta35).

Befund (Abb. 59 a-g):

In Zeiten mit verringertem Wachstum treten in den Wurzelästen **zur Peripherie hin vermehrt Ringausfälle** auf (Totalausfälle). Aber nicht jeder Wurzelast verhält sich gleich (Kapitel VII/11). Auch zwischendurch treten vereinzelt Ringausfälle auf.

Aus diesen Untersuchungen lassen sich keinerlei Aussagen über Feinwurzeln oder über die sehr dünnen Wurzeläste ableiten. Ein Vergleich mit den Untersuchungen zu REITER et al.(1983), SCHÖNBECK (1980), KOTTKE et al.(1988) und HAUG et al.(1989) ist daher nicht möglich.



Abb. 59 a: Lokalisation von Ringausfällen am Beispiel des Wurzelastes W6 von Tanne 2 (Besenfeld); links die Jahrringkurven, rechts dazu die vereinfachte Schemazeichnung; vgl. Text. Weitere Diagramme im Anhang.

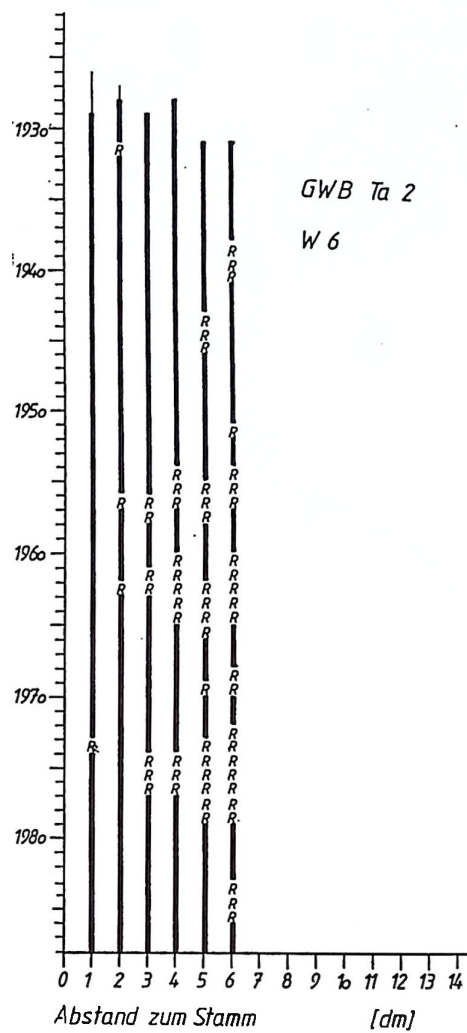
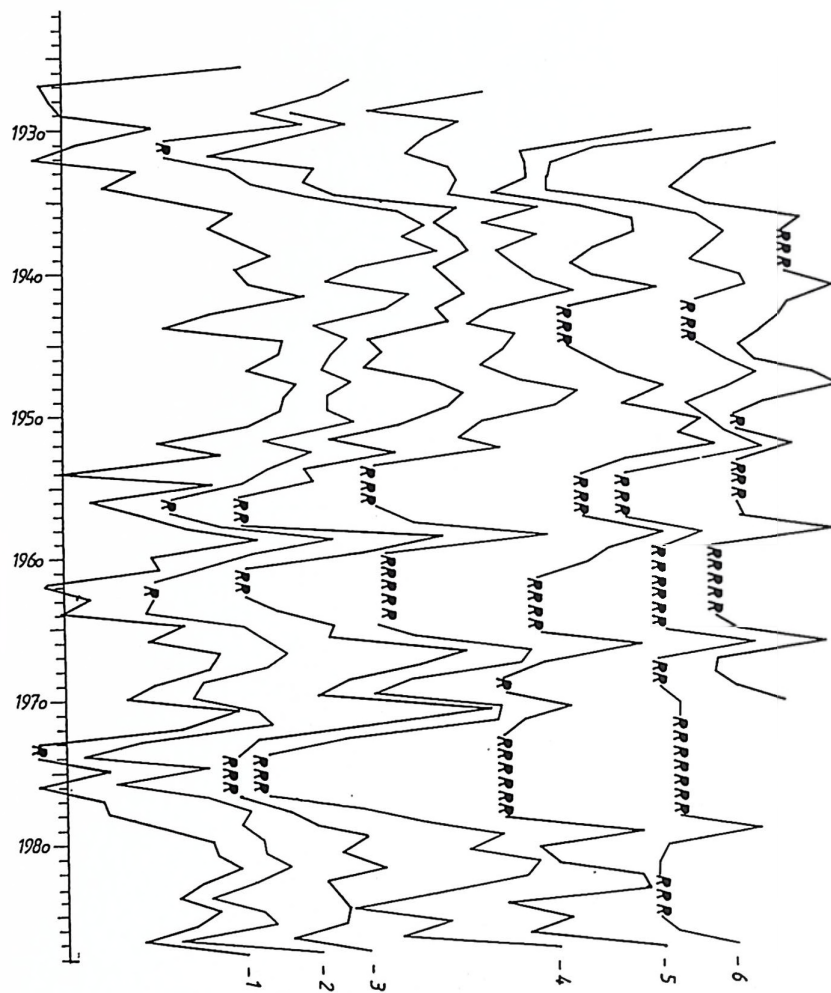


Abb. 59 a

VII/11. Wurzelkonkurrenz und das Auftreten von Ringausfällen.

Aus den Kapiteln VII/8, 9 und 10 geht hervor, daß in der Wurzel desto häufiger Ringausfälle auftreten, je schlechter der Stamm einer Tanne wächst. Doch auch bei sehr gut wachsenden Tannen wachsen nicht alle Wurzeln gleich gut.

Befund (Abb. 60 und 61):

So kam es vor, daß bei Tanne 35 die Wurzeläste W63 und W81 an der Peripherie Ringausfälle aufwiesen, obgleich Stamm, Äste und die Wurzeläste W30, W37, W40, W60 und W80 zur selben Zeit sehr gut wuchsen. Diese Wurzeläste gerieten anscheinend in Konkurrenz zu den Wurzeln anderer Bäume.

Einschränkend muß gesagt werden, daß sich mit den Lageplänen allein die Konkurrenzsituation im Wurzelbereich nicht zweifelsfrei nachweisen ließ. Dazu hätte man auch die benachbarten Wurzelsysteme ausgraben und untersuchen müssen.

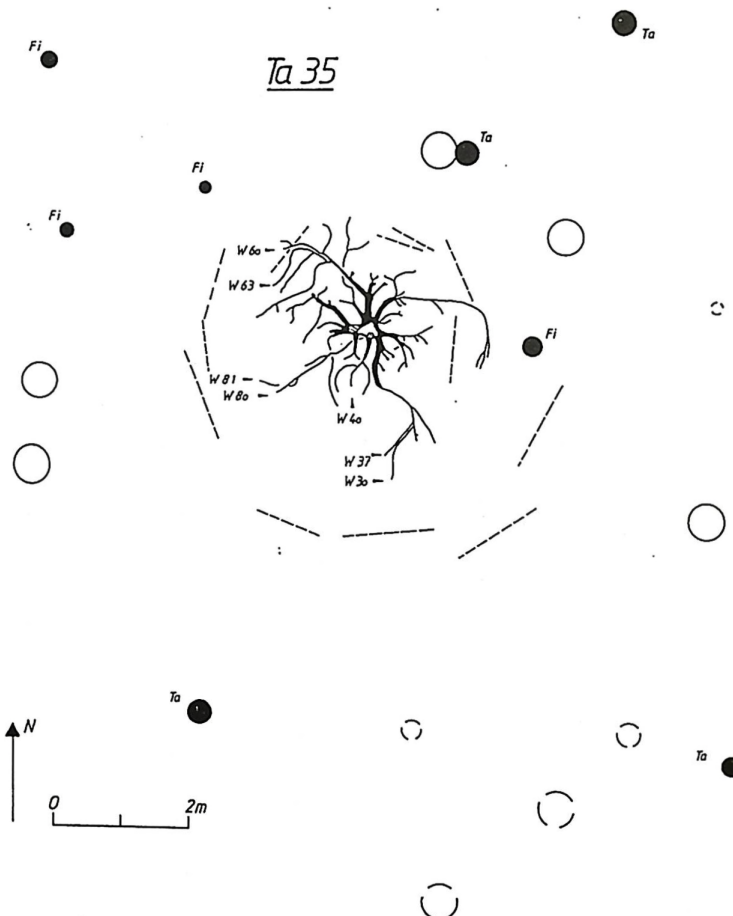


Abb. 60: Das Wurzelsystem von Tanne 35. Mit den gestrichelten Linien wird angezeigt, wo evtl. Wurzelkonkurrenz von angrenzenden Wurzeln zu erwarten ist.

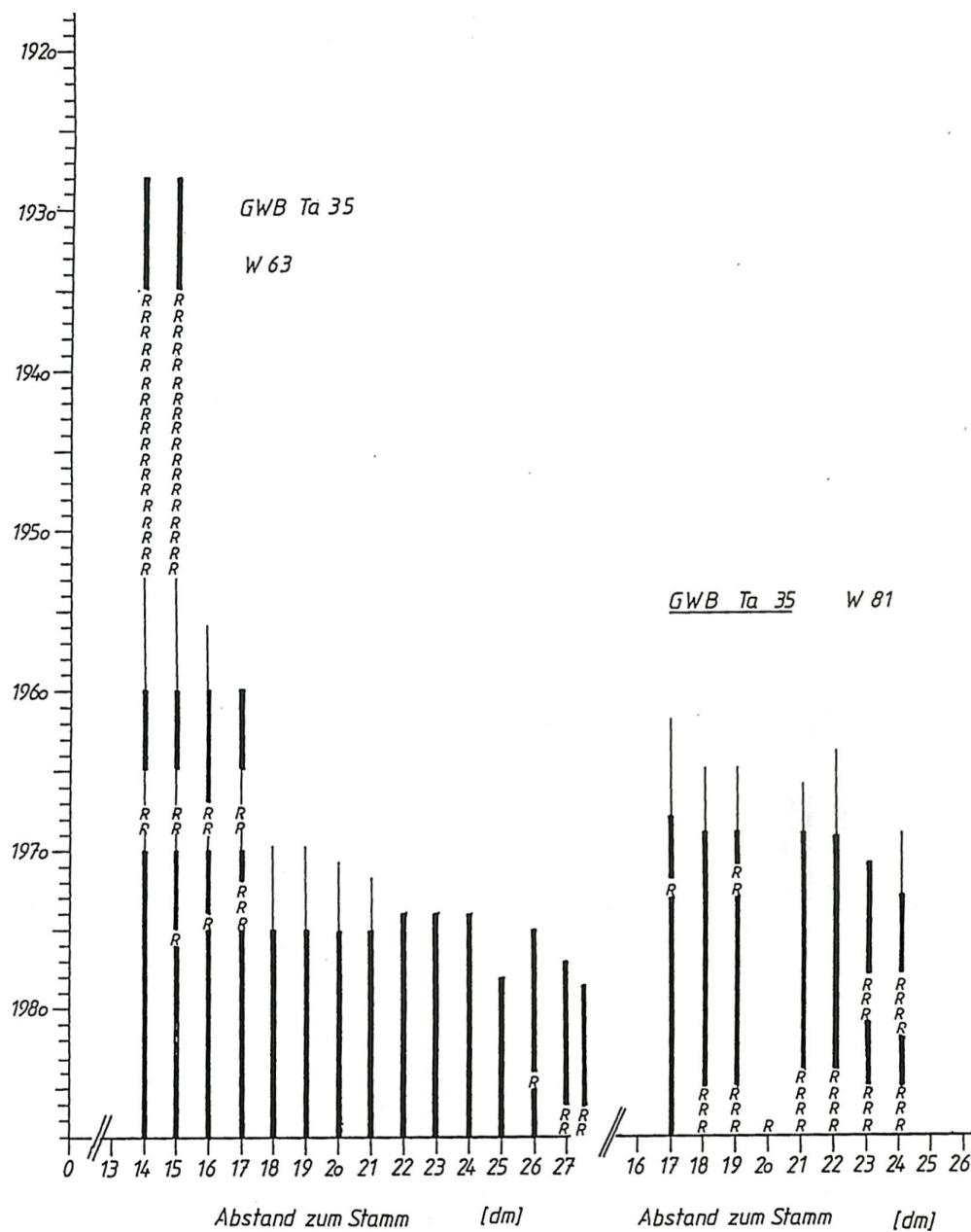


Abb. 61 a: Tanne 35. Wurzeläste mit vermuteten Konkurrenzsituationen (W63 und W81) vereinfacht als Schema dargestellt. "R": Jahre mit Ringausfällen. Abszisse: Abstand der untersuchten Wurzelquerschnitte vom Stamm. Ordinate: Zeitachse. Im Anhang die dazugehörigen Jahrringkurven.

VII/12. Jährliches Längenwachstum einer gut wachsenden Wurzel.

Das Längenwachstum der Tanne 35 lässt sich aus den Schnittserien der Wurzeläste näherungsweise bestimmen.

Befund (Abb. 62):

Die Wurzel W 37 von Tanne 35 wuchs von 1971 bis 1978 etwa 90 cm, also im Mittel **mindestens etwa 12 cm pro Jahr**. Zur selben Zeit wuchs der Stamm gut in die Höhe und Dicke.

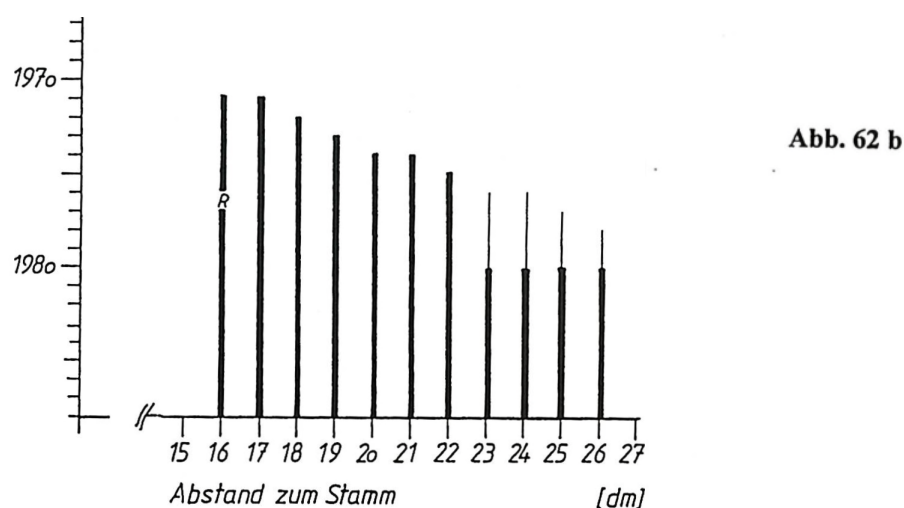
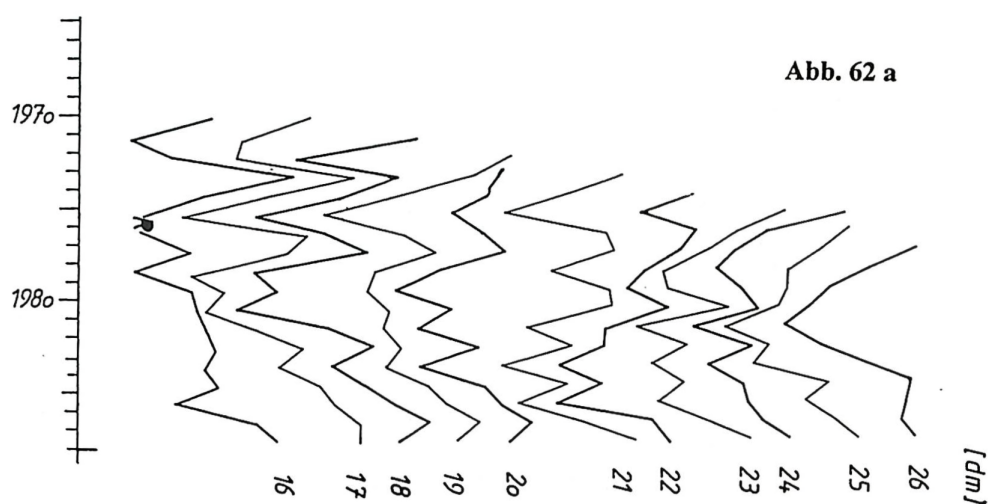


Abb. 62 : Längenwachstum eines gutwüchsigen Wurzelastes (W37 von Tanne 35). Datierte Wurzelscheiben zwischen 1,6m und 2,6m Abstand vom Stamm; a) dargestellt als Jahrringkurven; b) vereinfacht als Schema wiedergegeben; dicke Linien: sicher datierte Jahrringe, dünne Linien: Datierung unsicher.

VII/13. Jährliches Längenwachstum einer schlechtwüchsigen Wurzel.

Als Beispiel wurde der Wurzelast W60 von Tanne 35 ausgewählt.

Befund (Abb.63):

Bei diesem Beispiel von Wurzelast W60 brauchte die Wurzel mindestens 40 Jahre, um 10cm zu wachsen (1,3m bis 1,4m). Während dieser Zeit hatte derselbe Wurzelast viele Ringausfälle. Im selben Zeitraum hörte auch bei den Wurzelästen W30, W63 und W80 das Wurzelwachstums auf (Kapitel VII/9).

Aufgrund der wenigen, allerdings eindeutigen Nachweise ist die folgende Verallgemeinerung nur unter Vorbehalt möglich:

(1) Wächst ein Stamm sehr schlecht (z.B. durch die Walderkrankung), so hört das Wurzelwachstum während dieser Zeit fast auf. Das gilt sowohl für das Längen- als auch für das Dickenwachstum der Wurzel.

(2) Von diesen Wuchsstockungen können sich sowohl Stamm wie Wurzel erholen.

Anmerkungen zur Auswertung. Durch die methodischen Schwierigkeiten, die Jahrringe in der Wurzel zu datieren, wird u.U. die Aussagekraft dieses Ergebnisses eingeschränkt. Um sich nicht durch "passende" Ergebnisse beeinflussen zu lassen, wurden daher alle Wurzeläste zunächst nach den Jahrringsequenzen benachbarter Wurzeläste datiert, **ohne die Jahrringkurven des Stamms** zu berücksichtigen. Erst anschließend wurden die so gewonnenen Jahrringkurven der Wurzeln mit denen der Stämme verglichen. Hierbei ergab sich, daß sich Stamm und Wurzel doch recht ähnlich verhalten.

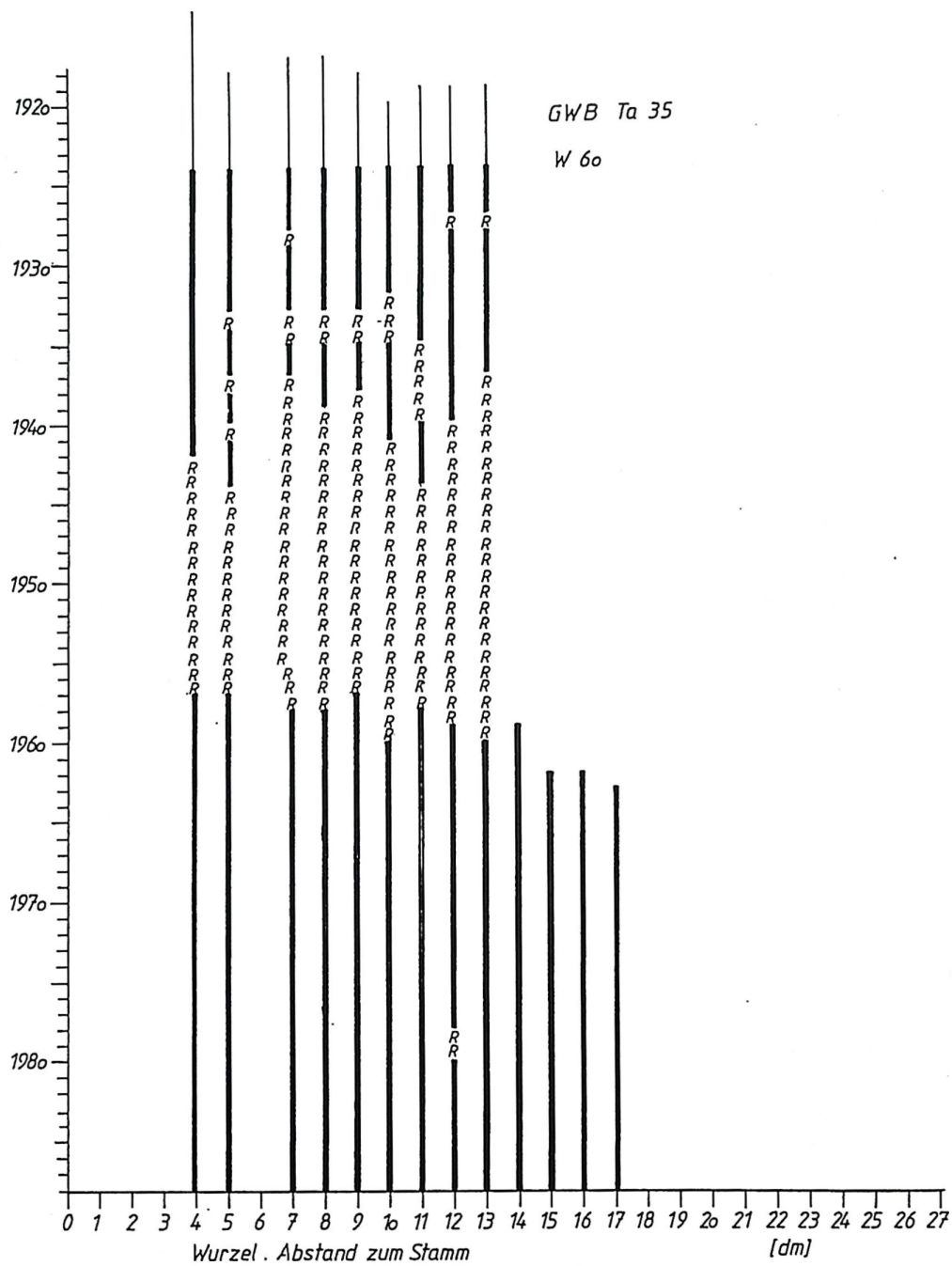


Abb. 63: Längenwachstum des Wurzelastes W 60 von Tanne 35. Datierte Wurzelscheiben; dicke Linien: sicher datierte Jahrringe, dünne Linien: Datierung unsicher.

VII/14. Zusammenfassung.

- 1) Die senkrechten Projektionsflächen von Wurzel und der Krone stimmen nicht immer überein.
- 2) Aus den oberirdischen Teilen einer Tanne, wie Baumhöhe, Stammdurchmesser und der Form der Kronenschirmfläche, kann man nicht ohne weiteres auf die Größe des Wurzeltellers schließen.
- 3) Nur bei der Größe der Kronenschirmfläche und bei den "benadelten Astflächen" gibt es morphologische Zusammenhänge zwischen Krone und Wurzel.
 - Die Kronenschirmfläche ist etwa doppelt so groß wie der Wurzelteller (nur 5 Beispiele).
 - Bei den untersuchten Tannen war die "benadelte Astfläche" meist mehr als dreimal so groß wie die Feinwurzelbezirke des Wurzeltellers.
 - 1 m Wurzellänge versorgt etwa 4 bis 9 dm² "benadelte Astfläche".
- 4) Eine gut wachsende Wurzel kann bis zu 12cm pro Jahr in die Länge wachsen.
- 5) Gerät der Stamm einer Tanne in eine plötzliche Wuchsstockung (z.B. Walderkrankung), so wächst auch die Wurzel sehr schlecht. Die Wachstumsvorgänge werden zur Peripherie hin immer geringer. Dort kann das Wurzelwachstum für viele Jahre aufhören (Ringausfälle, kein Längenwachstum).
- 6) Auch Wurzelkonkurrenz kann das Wurzelwachstum stoppen, selbst wenn der Stamm zur selben Zeit gut wächst.

Kapitel VIII

Die Tannenkronen und ihre auffälligen Strukturelemente.

Beobachtungen zur Autökologie und Morphologie.

Um die Schäden in einer walderkrankten Tannenkrone genauer lokalisieren und einordnen zu können, wird die Tannenkrone in Strukturelemente untergliedert und mit Beobachtungen zur Autökologie verknüpft.

VIII/1. Vorbemerkungen.

Aus den Untersuchungen von Kapitel II bis V kristallisierte sich das Ergebnis heraus, daß mitherrschende Tannen bevorzugt Symptome der Walderkrankung zeigen. Auf Grund des Stammwachstums war es möglich geworden, zwischen den Einflüssen des Konkurrenzdrucks und denen der Walderkrankung zu unterscheiden.

Zeigt der Stamm nun Symptome der Walderkrankung ("Phasen mit schmalen Jahrringen" und verringertes Höhenwachstum), so ist nach den Untersuchungen in Kapitel VII und VIII auch das Wurzelwachstum sehr stark eingeschränkt. Allerdings wurde auch deutlich, daß Wurzelkonkurrenz ebenfalls das Wurzelwachstum einschränkt. Die bisherigen Kenntnisse über das Wurzelwachstum reichen noch nicht aus, eine eingeschränkte Vitalität der oberirdischen Baumteile mit Hilfe der Wurzel weiter zu differenzieren. Denn beide, sowohl die Walderkrankung als auch Konkurrenzdruck in der Krone (Lichtmangel) schränken das Baumwachstum ein.

Die folgenden Kapitel VIII bis XII beschäftigen sich nun mit diesen oberirdischen Baumteilen, sowohl von gesunden als auch walderkrankten Tannen. Wieder wird versucht, neben der Vielfalt regulären Wachstums speziell jene Merkmale herauszufinden, die für die Walderkrankung charakteristisch sind. Dazu werden zuerst das Kleinklima und die autökologischen Anforderungen an die Krone betrachtet und anschließend die Gestalt der Tannenkronen mit ihren verschiedenen Bauelementen.

VIII/2. Zum Kleinklima und zur Autökologie der Tannenkronen.

Aus dem Bau einer Tannenkrone läßt sich ablesen, ob sie in der Vergangenheit viel oder wenig Licht bekommen hat. Dies äußert sich im unterschiedlichen Bau von Sonnen- und Schattennadeln, von Sonnen- und Schattenästen, in der Anzahl der Quirläste pro Quirl, in der Häufigkeit des Blühens, in der Länge und Form der Krone, im Höhen- und Dickenwachstum und in der Stammform (h/d-Wert); (KIRCHNER, 1908; TAUBERT, 1926; MAYER-WEGELIN, 1936; ZENTGRAF, 1949; ZIMMERLE, 1951; MITSCHERLICH et al., 1952; BURGER, 1951; KÖSTLER, 1956; DIETRICH, 1963; ABETZ, 1976; WEIHE, 1978; ERTELD, 1979; ROZSNYAY, 1979; GERECKE, 1991).

Eine Tannenkrone kann sich sehr differenziert an enorme kleinklimatische Unterschiede anpassen. Die obere Tannenkrone, die sog. "Sonnenkrone", hat zwar genügend Licht, ist aber gleichzeitig starken Temperaturschwankungen und großen austrocknenden Einflüssen durch Wind und verminderte relative Luftfeuchte ausgesetzt. Ihr Kleinklima ist eher kontinental geprägt.

Dagegen hat die mittlere und untere Tannenkronen, die sog. "**Schattenkrone**", mehr ozeanisch geprägte Bedingungen: ausgeglichene und niedrigere Temperaturen, hohe Luftfeuchte, weniger Luftbewegungen und - sehr wenig Licht. Zum Beispiel kommt an der inneren Benadelungsgrenze der untersten Klebäste einer Tanne nur noch etwa 1% des Tageshelligkeit an (eigene Messungen). Mit so wenig Licht kommen nur noch wenige Arten von Waldgräsern, Farnen und Moosen zurecht.

An diese extrem unterschiedlichen Bedingungen vermag eine Tanne alle ihre Organe so anzupassen, daß sie als Ganzes gut gedeiht. Innerhalb einer Tanne sind daher sowohl der Stoffwechsel (z.B. Photosynthese und Wasserhaushalt) als auch die morphologischen Strukturen (z.B. Leitfläche der Äste, Kapitel XIV/4) sehr unterschiedlich.

Ändert sich das Kleinklima an einem Ast, z.B. nach Durchforstungen, so bedeutet dies, daß sich sowohl die Strukturen wie auch der Stoffwechsel an die veränderten Bedingungen anpassen. Solche Umstrukturierungen lassen sich regelmäßig an einer Tanne beobachten, und zwar dann, wenn die Äste der Sonnenkrone durch die neuen, höher inserierten Quirläste **allmählich beschattet** werden und damit nach und nach weniger Licht bekommen, oder wenn nach Durchforstungen u.ä. die Äste der unteren Schattenkrone **plötzlich mehr Licht** bekommen. Und diese Umstrukturierungen verlaufen offensichtlich nicht immer reibungslos.

VIII/3. Strukturelemente einer Tannenkronen.

Die Walderkrankung verändert die Tannenkronen durch Nadelverluste und Zuwachsrückgänge. Es interessiert nun, welche Baumteile ab welchem Zeitpunkt von diesen Schäden betroffen werden, und wie sie sich von regulären Veränderungen unterscheiden. Dies macht es erforderlich, die Tannenkronen in ihre Strukturelemente zu untergliedern. (Die verwendeten Begriffe orientieren sich teilweise an der Literatur. Einige Begriffe wurden hier neu definiert.)

1) Zum Höhenwachstum. Das **jährliche Höhenwachstum** der Tanne läßt sich an den Quirlabständen messen. Innerhalb eines Baumes können diese Werte **zwischen 1-2 cm und ca. 50 cm** schwanken (Kapitel IX/1). Das Vermessen wird dann schwierig, wenn die Quirlabstände sehr klein sind oder die Quirläste nicht alle nebeneinander ansetzen. Zu Verwechslungen können auch die sog. "**Zwischenquirle**" führen. Dies sind kleinere Quirläste, die sich in Jahren mit gutem Höhenwachstum am Stamm zwischen den Hauptquirlen ausbilden.

Bricht der Wipfel ab, wird der Verlust durch Senkrechttellen von Quirlästen (z.B. bei Brüchen in der obersten Krone) oder durch Austreiben neuer Leittriebe aus der Stammachse (Stammreiser oder Klebäste) ersetzt.

2) Die Anzahl der Äste pro Quirl hängt vom Höhenwachstum ab. Wächst eine Tanne gut nach oben, so werden bis zu fünf oder sechs Quirläste angelegt, zusätzlich oft auch noch Zwischenquirle (Kapitel IX/1). Ist aber das Höhenwachstum gering, treiben nur zwei, im Extrem auch nur ein "Quirlast" aus. Die Äste solcher Quirle stehen auf Lücke übereinander. Sowohl die Anzahl der Quirläste als auch die Länge des Höhentriebs

verringern sich stark bei Lichtmangel, bei der Walderkrankung der Tanne und bei starken Veränderungen im Bestandesklima (z.B. am Rande einer Kahlschlagfläche, vgl. Kapitel XIII).

Allen drei Fällen ist gemeinsam: Obgleich der Höhentrieb wesentlich kleiner ist als zuvor, wachsen die neuen Quirläste meist unverändert gut in die Länge, fast wie vor dieser Stagnation. Durch diese beiden Vorgänge, das verringerte Höhenwachstum und ein (fast) unverändertes Astwachstum, wird die obere Krone sehr dicht beastet und bekommt eine andere Form. Die Tannenkronen flacht oben ab (sog. "Storchennest").

3) Unterschiede zwischen jüngeren und älteren Tannen. Jüngere Tannen verbleiben in diesem Stagnieren des Höhenwachstums allerdings nur eine begrenzte Zeit, bis sie dann wieder mit längeren Höhentrieben und mehr Quirlästen durchtreiben. Dies kann schon nach wenigen Jahren, vielleicht aber auch erst nach Jahrzehnten einsetzen.

Dazu ein Extrembeispiel: Eine Tanne im Forstbezirk Klosterreichenbach (Röt Ta7/5) verharrte 28 Jahre lang in einer solchen Stagnation. Während dieser Zeit wuchs sie nur 1,8m in die Höhe. Dieses verringerte Höhenwachstum war mit einer "Phase mit schmalen Jahrringen" gekoppelt (beides sind Symptome der Walderkrankung). Danach bildete sie oberhalb eine gut geformte, voll benadelte, wüchsige Krone aus.

In den Stämmen älterer Tannen findet man ab und zu solche Zonen mit engen Quirlabständen. Dies zeigt, daß bei diesen Tannen das Höhenwachstum früher zeitweilig stagniert hat.

Kommt dagegen eine Altanne in eine solche plötzliche Stagnation des Höhenwachstums, wenn sie schon sehr hoch ist, dann treibt sie nicht mehr erneut durch. (Zumindest ließ sich bislang kein erneutes Durchtreiben beobachten und zwar mit oder ohne Nadelverlusten, mit gutem oder schlechtem Dickenwachstum. Stets galt, daß die Quirlabstände nicht mehr so groß wie zuvor wurden.)

4) Auch starkes Blühen verringert kurzfristig die Länge des Höhentriebs. In diesem Fall werden allerdings auch jene Triebstücke kürzer, die gerade blühen (Kapitel XV/9-11).

5) Die Kronen von Altannen sind nicht wie bei jüngeren Tannen spitz, sondern oben abgerundet, im Idealfall gleichen sie einem Paraboloid. Fällt man eine solche Tanne, erstaunt, daß sie schon über viele Jahre hinweg regelmäßig blühte (mit männlichen Blüten oder/und Zapfen). Hieraus ergaben sich folgende Fragen:

- Rundet sich oben die Krone deswegen, weil Altannen ihre Assimilate mehr ins Blühen und Fruchten als in den Holzzuwachs investieren?

- Oder verringert sich das Höhenwachstum einer Tanne allmählich dadurch, weil sie sich ihrer artspezifischen Maximalgröße nähert? Die größten bisher vermessenen Tannenstämme waren etwa 2m dick und ca.50m hoch (SCHAAL, 1873). Wird bei diesen riesigen Tannen evtl. der Fließwiderstand im Xylem zu groß, so daß die obersten Tannenäste nicht rasch genug mit Wasser versorgt werden können und dadurch zeitweilig "hungern"? (vgl. Potometerversuche, Kapitel XIV/4ff).

- Wie könnten sich die hormonellen Steuerungsvorgänge in jungen, alten, unterständigen und walderkrankten Tannen unterscheiden?

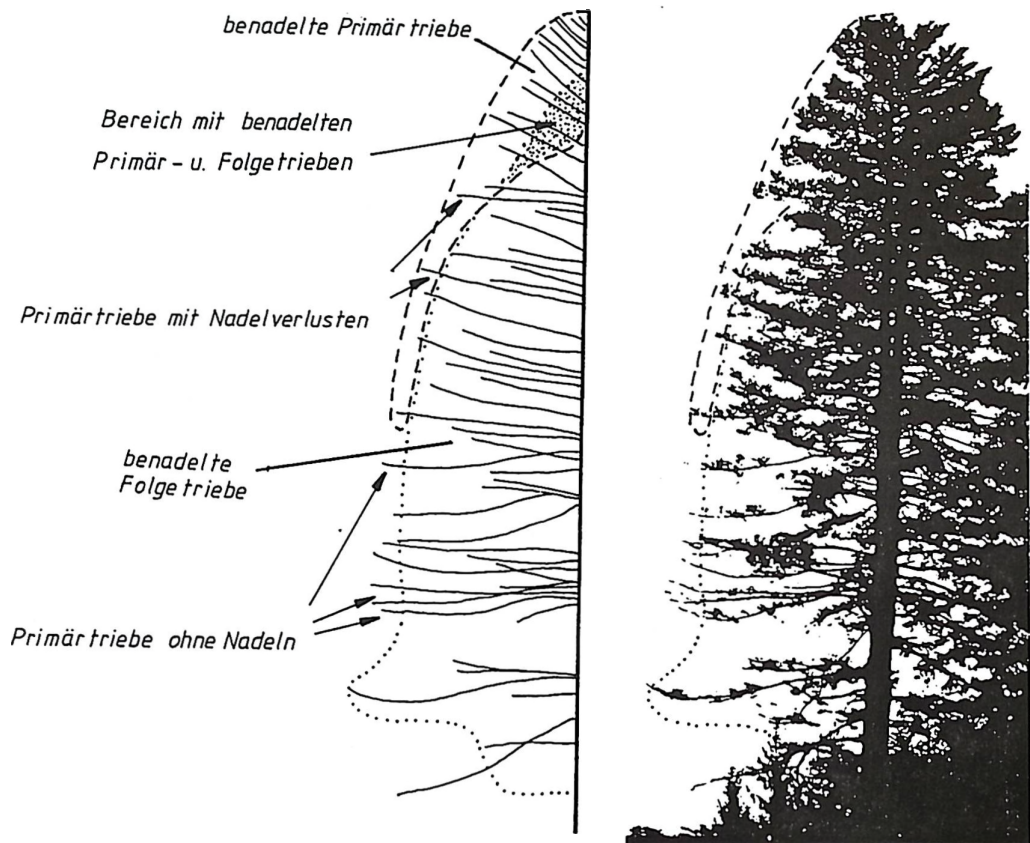


Abb. 64: Die Verteilung von Primär- und Folgetrieben innerhalb einer Tannenkrone. Links das Schema einer Kronenhälfte, rechts Habitus dieser Tannenkrone. Gestrichelter Bereich: Die Nadeln sitzen an Primärtrieben. Gepunkteter Bereich: Die Nadeln sind an Folgetrieben (Astreisern).

6) Primär- und Folgetriebe (Abb. 64). In der Tannenkronen fallen allerdings noch weitere Eigenheiten auf. Da sind zunächst die **Primärtriebe**. Sie gehen immer aus einer **Spitzenknospe** hervor (apikales Längenwachstum). Diese Spitzenknospen befinden sich sowohl an der Peripherie der Quirläste als auch an der des Stammes. Die Nadeln an den Primärtrieben werden im Folgenden als **Primärbenadelung** bezeichnet. Dagegen entstehen **Triebe mit Folgebenadelung** wesentlich später. Sie treiben immer an den älteren Achsenabschnitten des Stamms oder der Äste aus (KIRCHNER, 1908; GRUBER, 1989). Ansonsten verzweigen sie sich wie die anderen Triebe. Diese Triebe der Folgebenadelung stellen ein natürliches Umbauen der Krone dar und lassen sich als eine natürliche Anpassung oder als Regeneration interpretieren.

7) Entsprechend ihrer Ansatzstelle lassen sich die Folgetriebe noch weiter unterscheiden:

- **Astreiser:** Triebe, die an der Oberseite der Astachse (1.Ordnung) ansetzen.
- **Klebäste:** Triebe, die am Stamm unterhalb der Quirlastkrone ansetzen.
- **Stammreiser:** Triebe, die an der Stammachse innerhalb der Quirlastkrone ansetzen.

Astreiser entstehen regelmäßig an den Achsen der älteren Quirläste, unabhängig davon, ob an diesen Stellen der Astachsen noch Nadeln vorhanden sind, oder nicht. Diese Astachsen brauchen anscheinend ein Mindestalter, bevor an ihnen Reiser austreiben können (Kapitel IX/2). Sowohl Astreiser als auch Klebäste sind zum Licht hin orientiert. Ihr Austreiben wird durch mehr Licht ausgelöst (Kapitel IX/4 und XIII/3). Trotz gezielten Suchens wurden keine gegenteiligen Beobachtungen gemacht. Auch die Stellung der Nadeln und die Nadeldicke zeigen in vielen Fällen ein größeres Lichtangebot an als die sie umgebenden Primärnadeln. Astreiser treten hauptsächlich an den Achsen älterer Quirläste auf, in geringen Mengen auch an alten Klebästen.

Klebäste entstehen, wenn nach Durchforstungen o.ä. mehr Licht zu den unteren Stammteilen dringt. In die Richtung des vergrößerten Lichteinfalls treiben neue Triebe aus, oft büschelartig. Fällt genügend Licht auf den Stamm, haben mitherrschende Altannen mit kurzen Kronen oft sehr viele Klebäste. Alle zusammen bilden dann einen sog."Klebastmantel" um den Stamm aus. Dagegen haben vorherrschende Tannen unter vergleichbaren Bedingungen keine oder nur wenige Klebäste.

Stammreiser bleiben in der Regel klein, wachsen nur 1-3 Jahre, verharren dann aber lange Zeit unverändert, selbst wenn sie mehr Licht erhalten sollten (vermutlich blockiert durch Phytohormone). Nur dann, wenn ein Quirlast abbricht oder gänzlich entnadelt, treiben die Stammreiser weiter und schließen diese Lücke in der Krone (z.B. ZEI Ta5, GWB Ta3). Zur Terminologie: Sterben im Zuge der Walderkrankung die Quirläste unterhalb eines Stammreises ab, so wird gemäß dieser Definitionen ein ursprünglicher Stammreis später zu einem Klebast.

Astreiser und Klebäste treiben an einem Baum **schubweise** aus. Sie bilden **Gruppen ähnlichen Alters**. Das Auftreten dieser neuen Triebe ist stets mit einer Änderung im Dicken- und Längenwachstum des Stamms verbunden (Kapitel X/3).

8) Morphologische Anlagen der Folgetriebe. Schneidet man bei einem dieser Folgetriebe (Astreiser, Klebäste, Stammreiser) die Ansatzstelle auf, so sieht man, daß sich ein unregelmäßig breiter Streifen von Markparenchym radial durch das Holz zieht bis zum Mark der alten Ast- bzw. Stammachse. Die Folgetriebe sind anscheinend schon lange als "**schlafende Knospen**" angelegt worden (vgl. FINK, 1980; GRUBER, 1989). Es ist daher die Frage, ob bei einem Quirl **immer** etwa 4-6 Knospen von vornherein angelegt werden. Leider fehlen hierzu mikroskopische Untersuchungen.

Es fällt jedoch auf, daß die Folgetriebe meist an jenen Stellen ansetzen, an denen bei genügend Licht und gutem Wachstum zusätzliche Zweige austreiben könnten. So setzen Astreiser an den Stellen an, an denen offensichtlich Zwischenzweige nicht ausgetrieben waren (Kapitel XI). Am Stamm aber treten Klebäste und Stammreiser bevorzugt dort auf, wo Zwischenquirle oder Quirläste bisher fehlten (vgl. auch KIRCHNER, 1908). Wenn früher z.B. anstatt 5 oder 6 Quirlästen nur 2 oder 3 Quirläste ausgebildet wurden oder Zwischenquirle fehlten, treten diese neuen Klebäste oder Stammreiser gerade in diesen Lücken auf (eigene Beobachtungen, z.B. in Besenfeld bei Tanne 1,2,3). Darüber hinaus sind alle Verzweigungen einer Tanne über ein durchgängiges Markparenchym miteinander verbunden. Unbekannt blieb, welche Bedeutung dieses durchgängige Markparenchymsystem für die Physiologie der Tanne haben könnte.

9) Sonnen- und Schattenäste. Sonnenäste haben relativ dicke Astachsen, Schattenäste dagegen schlanke (ZENTGRAF, 1949; ZIMMERLE, 1951; DIETRICH, 1963). Dies wird mit einem Quotienten, dem l/d-Wert beschrieben: Länge der Astachse zu Dicke der Astachse. Ähnlich den h/d-Werten zeigen kleine l/d-Werte relativ dicke, große l/d-Werte schlanke Astachsen an. Die Ursachen für die unterschiedlichen Dicken der Astachsen sind in den wasserführenden Querschnittsflächen, die sog. Leitflächen und in der mechanischen Belastung zu suchen.

- Sonnenäste können mehr assimilieren, ihre Zellen teilen sich öfter und ihr Volumenwachstum ist größer als bei Schattenästen. Sonnenäste sind einem trockeneren Kleinklima ausgesetzt, sie verdunsten damit mehr Wasser. Der Wasserdurchsatz in den Leitflächen ihrer Astachsen ist größer und ihre Achsen sind vergleichsweise dicker (vgl. auch Potometerversuche, Kapitel XIV/4ff).

- Sonnenäste werden durch Wind und Schneedruck mechanisch stärker beansprucht als Schattenäste: Die Druckholzbildung in den Astachsen ist verstärkt, der Achsendurchmesser wird dadurch übermäßig und ungleich dicker.

Es gilt offenbar, daß je mehr Licht ein Ast bekommt, desto länger sind seine Triebe und desto mehr verzweigt er sich. Mehr dazu in Kapitel XII: Zur Biologie und Symptomatologie der Tannenäste.

10) Sonderfälle. Allerdings nicht nur Schatten führt zu kürzeren Trieben und weniger Verzweigungen. Vergleichbares zeigt sich auch bei walderkrankten "Kümmerästen" und bei Tannen auf Standorten, die zeitweilig sehr trocken sind (z.B. am Westabfall der Hornisgrinde und auf den Quarzporphyr-"Schrofen" bei Ottenhöfen, Schwarzwald). Diese Äste verzweigen sich ähnlich wie Schattenzweige, doch die Stellung der Nadeln ist wie jene von Sonnennadeln. Oft sind diese Nadeln auffällig kurz, derb und besonders xeromorph.

11) Zur Benadelung (Abb.65). Eine weitere morphologische Besonderheit sind die sog. Sonnen- und Schattennadeln. **Sonnennadeln** sind dick und derb. An einem besonnten, wüchsigen Zweigstück sind alle Nadeln fast gleich lang. Bürstenartig stehen sie von der Astachse ab, mehr oder weniger leicht nach oben ausgerichtet. **Schattennadeln** sind dagegen weich und dünn. Wie bei allen anderen Zweigen der Tanne setzen die Nadeln spiralförmig an der Triebachse an. Doch die Spreiten der Schattennadeln sind flächig orientiert. An einem Schattenzweig sind die Nadeln außerdem unterschiedlich lang: oberseits treten kürzere Nadeln auf, darunter längere (KIRCHNER, 1908; TAUBERT, 1926). Die Stellung einer Nadel verändert sich nicht mehr, auch dann nicht, wenn eine Schattennadel später mehr Licht bekommt. **Damit läßt sich an den Nadeln ablesen, ob ein Ast früher viel oder wenig Licht bekommen hat.**

Zwischen den beiden Extremen, den Sonnen- und den Schattennadeln, gibt es zahlreiche Übergänge, die hier nicht weiter unterteilt werden. Diese verschiedenen Abstufungen lassen sich im Gelände leicht durch einen Vergleich der Äste erkennen. Damit kann man dann auch die unterschiedlichen Lichtangebote an den Ästen abschätzen. Bei solchen Beurteilungen sollte man sicherheitshalber die Verzweigungsstrukturen der Äste (Kapitel XII/11 und 12), die Durchmesser und Länge der Astachsen und die Lichtverhältnisse der näheren Umgebung einbeziehen.

12) Beim Übergang zum Blühen treten ebenfalls besondere Merkmale auf, nämlich sog. "Blühstummeltriebe" bei männlichen Blüten und derbe, spitze Nadeln und gelbe Nadelspitzen bei weiblichen Blüten. Mehr dazu in Kapitel XIV/ 9-11.



Abb. 65: Die Wirkung des Lichts auf die Stellung der Nadeln. Querschnitt durch die Achse eines Sonnenzweigs (A) und durch jene eines Schattenzweigs (B)

VIII/4. Anwendung der morphologisch-ökologischen Gesetzmäßigkeiten im Gelände.

Aus vielen Beobachtungen über die Struktur der Tannenkronen und über das Alter ihrer Triebe und Nadeln lassen sich **folgende Schlußfolgerungen** ableiten:

- (1) Neuangelegte Tannennadeln "passen" sich offensichtlich sehr genau an das jeweilige Kleinklima ihres Astes an.**
- (2) Ändert sich das Kleinklima an diesem Ast, sind ältere Nadeln u.U. nicht mehr produktiv genug und werden vorzeitig abgeworfen.**

Hierzu beobachtet man häufig das Folgende:

- 1) Alte Tannennadeln können u.U. anzeigen, daß sich das jeweilige Kleinklima an einem Ast nicht verändert hat. So findet man regelmäßig an Klebästen, die immer im Schatten waren, auch die ältesten Nadeln eines Baumes: 15 -17jährige Schattennadeln.
 - Dagegen hat die Sonnenkrone meist nur 8-10 Jahre alte Nadeln. Die neuen Quirläste oberhalb beschatten bald die älteren Sonnennadeln, diese werden dann abgeworfen.
 - Besondere Bedingungen hatte eine Tanne im Forstbezirk Klosterreichenbach: **Ihre ältesten Nadeln waren 22 Jahre alt** (RW Ta1, 1989). Aus der Bestandesstruktur ließ sich ableiten, daß sich das Kleinklima an diesem Ast vermutlich nur unwesentlich geändert hat. Diese Tanne stand nämlich unterständig in einem Altbestand. Somit wuchsen die Nadeln von Anfang an im Schatten auf. Als später der Altbestand teilweise entfernt wurde, war in der Zwischenzeit weiterer Unterwuchs hochgewachsen und bot seitlich Schutz vor austrocknenden Winden und Licht. Das Kleinklima hat sich vermutlich über die ganze Zeit hinweg nicht wesentlich geändert. Dies könnte das Rekordalter der Nadeln erklären.
- 2) Bekommt ein Ast allmählich weniger Licht, nadelt er "regulär" ab (vgl.auch "reguläres Abnadeln", Kapitel XII/19).
- 3) Schattennadeln fallen dann u.U. vorzeitig ab, wenn sie direkter Sonnenbestrahlung ausgesetzt werden. Wie noch Kapitel XIII zeigen wird, waren unterständige Tannen durch einen Kahlschlag an den Rand des Bestandes gelangt. Die Schattennadeln waren nun direkter Sonneneinstrahlung ausgesetzt. Nach 3 1/2 Jahren fielen bei vielen Schattenästen die ursprünglichen Schattennadeln ab. Je extremer der Wechsel, desto weiterreichender der Nadelfall bzw. das Absterben der Äste (z.B.GWB Ta9). Mehr dazu in Kapitel XIII/8. Die Ergebnisse der Potometerversuche ergänzen diese Beobachtungen und Überlegungen (Kapitel XIV/4).

VIII/5. Zusammenfassung: Die Struktur der Tannenkronen.

- 1) Eine Tannenkrone läßt sich untergliedern in:
 - **Primärtriebe:** Quirläste und Stammspitze;
 - **Folgetriebe:** Sie treiben später aus "schlafenden Knospen" aus:
 - an den Astachsen: als Astreiser;
 - am Stamm **unterhalb** der Quirlastkrone: als Klebäste;
 - am Stamm **innerhalb** der Quirlastkrone: als Stammreiser.

- 2) Wächst eine Tanne gut in die Höhe, so hat sie 4-6 Äste pro Quirl und zusätzlich Zwischenquirle. Wächst sie dagegen schlecht in die Höhe, so hat sie nur 1-3 Äste pro Quirl.
- 3) Die jährlichen Höhentriebe werden kleiner
- durch Lichtmangel,
 - durch Freistellung (mehrere angrenzende Bäume werden entfernt; damit wird das Bestandesklima nachhaltig verändert) und
 - durch die Walderkrankung der Tanne.
- 4) Ob ein Tannenast viel oder wenig Licht erhielt, läßt sich an der Verzweigungsstruktur der Äste und an der Benadelung ablesen.
- 5) Analysiert man Tannen im Gelände nach diesen morphologisch-ökologischen Kriterien, so lassen sich folgende ökophysiologische Thesen ableiten:
- Tannennadeln passen sich bei ihrer Anlage an die jeweiligen kleinklimatischen Bedingungen ihres Astes sehr genau an.
 - Je rascher und intensiver sich das Kleinklima an einem Tannenast ändert, desto mehr alte Nadeln fallen vorzeitig ab.

Kapitel IX

Quantitative und halbquantitative morphologische Untersuchungen von Stamm und Krone.

Die Biologie der "gesunden" Krone und des "gesunden" Stamms werden dargestellt und reicht von sehr gutem bis hin zu einem sehr eingeschränktem Wachstum, z.B. auf Grund von Lichtmangel. Im Vergleich dazu sollen jene spezifischen Veränderungen in der Tannenkronen deutlich werden, die man eindeutig der Walderkrankung zuschreiben kann.

Teil A

Die Strukturelemente der Tannenkronen im Vergleich.

Im Blick auf spezifische Unterschiede zwischen walderkrankten und gesunden Tannen werden folgende Strukturelemente untersucht: das Höhenwachstum, die Anzahl der Quirläste, die Astreiser, die Klebäste und die "benadelten Astflächen".

IX/1. Höhenwachstum und die Anzahl der Quirläste.

Im vorliegenden Rahmen werden zwei Gruppen von Tannen auf zwei Standorten bei Besenfeld miteinander verglichen, nämlich:

- (1) **unterständige Tannen im Lichtmangel** (3m-8m hoch) **ohne Symptome der Walderkrankung** unter einem Fi-Ta-Altbestand (GWB Ta 51-64);
- (2) **mittelhohe Tannen** (15m-28m), **teilweise walderkrankt**, aus einem benachbarten Tannen-Plenterwald (GWB Ta 1-46).

Ausgangspunkt für diese Untersuchungen war die Beobachtung, daß walderkrankte Tannen und solchen mit Lichtmangel ähnlich reagieren: In beiden Fällen ist das Höhenwachstum gering, und die einzelnen Quirle haben nur wenig Äste. Um nun klarere Unterscheidungshilfen zu gewinnen, wird die Länge eines Höhentriebs verglichen mit der Anzahl der Quirläste im folgenden Jahr. Es handelt sich damit um eine Wachstumsanalyse innerhalb einer Vegetationsperiode. Denn die Quirläste werden zunächst als Knospen am oberen Ende des Höhentriebs angelegt. Dies geschieht in derselben Vegetationsperiode, in der auch dieser Höhentrieb wächst.

Unterschieden wird in **Phasen mit stabilem Wuchsverhalten** und in **solche mit sich änderndem Wuchsverhalten**. Als **stabil** wird angesehen, wenn mehrere Jahre hintereinander die gleiche Anzahl von Quirlästen ausgebildet wird. Unter **sich änderndem Wuchsverhalten** wird aber vermerkt, wenn in den beiden vorangegangenen Jahren weniger oder mehr Quirläste gebildet wurden als im laufenden Jahr.

Befund (Abb 66):

1. Für beide Tannengruppen gilt, daß das Höhenwachstum des Stamms und die Anzahl der Quirläste gleichartig verlaufen: **gutes Höhenwachstum - mehr Quirläste; geringes Höhenwachstum - weniger Quirläste**. Aber die größten und kleinsten Werte sind jeweils weit gestreut.

2. Allein aus der Länge eines Höhentriebs läßt sich noch **nicht die genaue Anzahl** der Quirläste rekonstruieren.

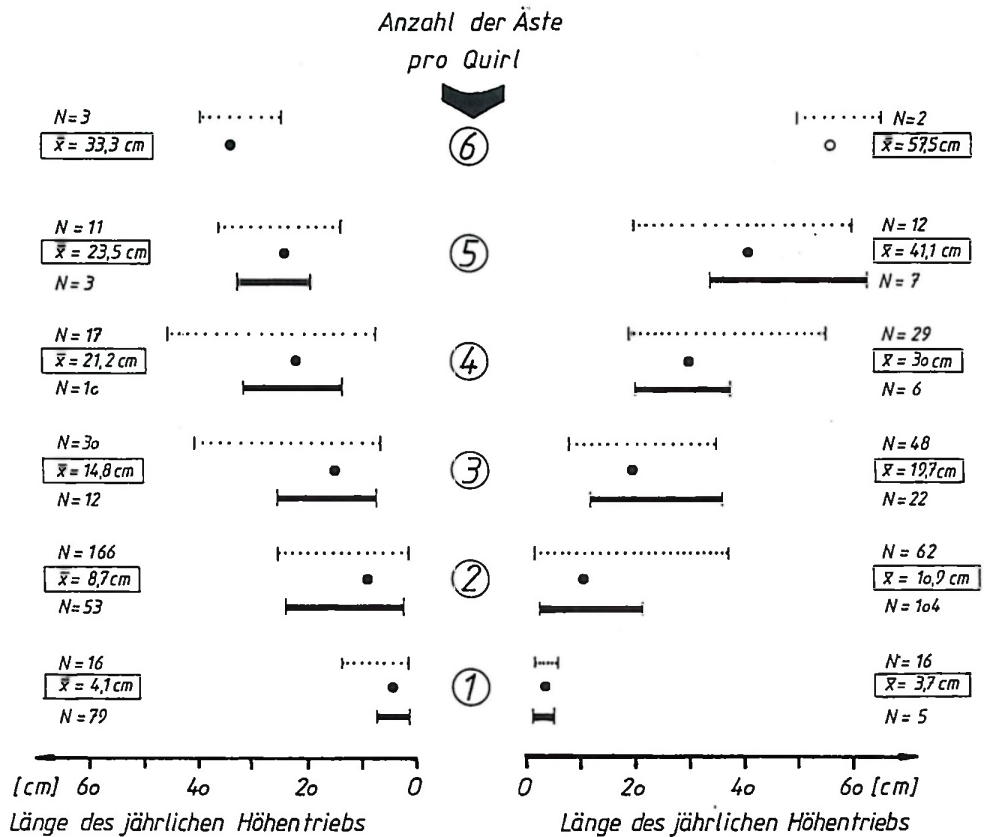
3. Es kommt hinzu, daß bei "sich änderndem Wuchsverhalten" die Werte für die Höhentriebe noch stärker als bei "stabilen" streuen. Mittelt man die Längen der Höhentriebe - getrennt nach Anzahl der Quirläste - dann unterscheiden sich beide Tannengruppen. Bei gleicher Anzahl von Quirlästen haben im Mittel die unterständigen Tannen immer die kürzeren Höhentriebe.

Wie sich in der Zwischenzeit herausstellte, reagieren die Äste der Zwischenquirle noch sensibler auf Wachsminderungen als die Anzahl der Quirläste. Dazu liegen allerdings keine quantitativen Auswertungen vor. In Kapitel XIII/3 (Freistellungen) wurde zudem deutlich, daß die Länge eines Höhentriebs im Vorjahr festgelegt wird. Dies "Programm" wird durch die Bedingungen im Wuchsjahr nicht mehr wesentlich beeinflußt. In beiden Tannengruppen (unterständige und walderkrankte) wachsen die Äste gut in die Länge. **Daher besteht der Verdacht, daß sowohl bei Lichtmangel als auch bei der Walderkrankung die gleiche oder eine sehr ähnliche hormonelle Steuerung zugrunde liegt.** Dieses Wuchsverhalten steht im deutlichen Gegensatz zu dem verminderten Wachstum beim Blühen (Kapitel XV/ 9-11).

Schlußfolgerung: Beide, walderkrankte Tannen und solche mit Lichtmangel, haben nur wenige Quirläste. **Damit ist eine geringe Anzahl von Quirlästen kein spezifisches Symptom für die Walderkrankung, sondern nur ein allgemeines Zeichen, daß eine Tanne nicht gut in die Höhe wächst.**

junge oder unterständige
Tannen (3-8m hoch)

Tannen z.T.walderkrank
(15 - 28 m hoch)



• Mittelwert

— "stabile Wachstumsphase": die Quirle ober- u. unterhalb hatten die gleiche Anzahl von Quirlästen

..... "sich ändernde Wachstumsphase": die Quirle ober- u. unterhalb hatten eine andere Anzahl von Ästen

Abb. 66: Anzahl der Äste pro Quirl im Vergleich mit dem Höhenwachstum links: unterständige Tannen mit Lichtmangel und ohne Nadelverluste; rechts: ältere Tannen, z.T. walderkrank.

IX/2. Die Walderkrankung der Tanne und das Mindestalter der Quirläste bei der ersten Astreiser-Bildung.

Die Astreiser wurden zeitweilig als ein Symptom der Walderkrankung angesehen (sog. "Angsttriebe"). Dies ist in dieser Form nicht richtig, denn **die Beobachtung zeigt, daß Astreiser bei allen etwas älteren Tannen regelmäßig auftreten, ob diese nun geschädigt sind oder nicht** (vgl. auch Kapitel X). Es fragt sich aber, wie alt die Quirläste mindestens sein müssen, damit Astreiser entstehen können. Denn ob die betreffende Tanne walderkrankt ist oder nicht, im oberen Teil der Tannenkrone fehlen immer die Astreiser, in der mittleren und unteren Krone sind sie stets vorhanden. Es blieb bisher auch unklar, warum bei stark geschädigten Tannen kahle Äste entstehen (Nadelverluste ohne Astreiser), obwohl diese genügend Licht haben.

Befund (Abb. 67):

Ab einem Mindestalter von etwa 7 bis 15 Jahren können an Quirlästen Astreiser austreiben. Hierbei ist interessant, daß bei ungeschädigten Tannen mit langer Krone die Quirläste wesentlich älter werden können, bevor an ihnen die ersten Astreiser entstehen.

Bezieht man die nähere Umgebung des Baums und seine Kronenstruktur in die Überlegungen ein, läßt sich dieses Ergebnis so interpretieren: Astreiser treiben nicht immer sofort aus, wenn ihre Quirläste das Mindestalter erreicht haben, sondern erst dann, wenn mehr Licht in die mittlere und untere Krone dringt (Kapitel IX/4).



Abb. 67: Alter des obersten Astes mit Astreisern bei unterschiedlicher Schädigung und Vitalität: Altannen; mittelhohe Tannen Tannen und unterständige Tannen.

Alttannen
(Fällungsprogramm Baden-Württemberg 1984/85)

Schadstufen 0+I
(keine oder geringe Nadelverlustschäden)

Schadstufe II
(mittlere Nadelverlustschäden)

Schadstufe III
(starke Nadelverlustschäden)

15-25m hohe Tannen
z.T. mit Nadelverlustschäden
Gemeindewald Besenfeld 1988/89

Schadstufen 0+I
(keine oder geringe Nadelverlustschäden)

Schadstufe II
(mittlere Nadelverlustschäden)

Schadstufe III
(starke Nadelverlustschäden)

Unterständige Tannen
ohne Nadelverlustschäden, 3-8m hoch,
in einem Fi-Ta-Altbestand,
Gemeindewald Besenfeld 1991

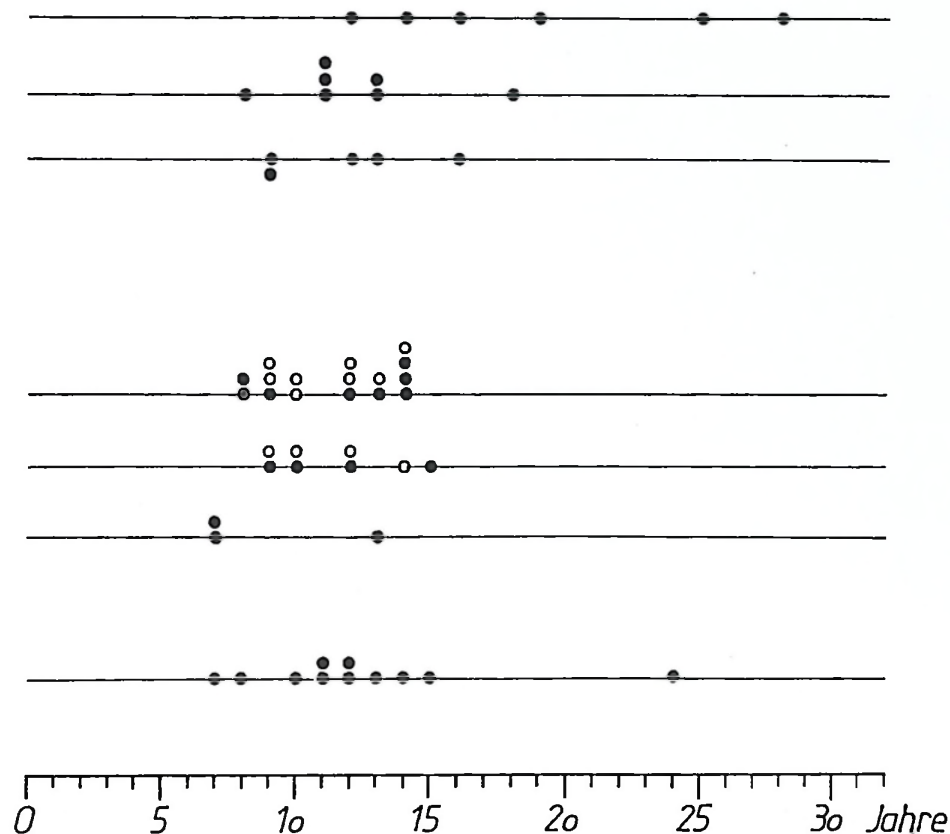


Abb. 67

Alter des jüngsten (obersten) Astes,
als er zum 1. Mal Astreiser ausbildete.

IX/3. Das gemeinsame Auftreten von Astreisern, von Harzkernen in den Ansatzstellen der Äste und das Vergrauen des Stammholzes.

Im obersten Teil der Krone fehlen alle drei erwähnten Merkmale. In der mittleren und unteren Krone sind sie aber stets vorhanden. Hieraus ergeben sich die Fragen, ob diese Charakteristika immer ab einer bestimmten Höhe auftreten und ob diese drei Merkmale zusammenhängen. Im Verlauf der Arbeit ist nicht immer nach allen drei Merkmalen gleichzeitig gesucht worden. Das Datenmaterial ist also unvollständig. Dennoch eröffnet Abb. 68 einige wichtige Perspektiven.

Befund (Abb. 68):

Die wenigen Beispiele zeigen, daß innerhalb einer Tanne alle drei Merkmale immer etwa auf derselben Stammhöhe **und** gemeinsam auftreten.

Interpretation: Alle drei Merkmale tragen dazu bei, die Lebenszeit der älteren Baumteile zu verlängern: Harzkerne verhindern, daß über alte abgestorbene Äste Parasiten ins Stammholz gelangen. Das Vergrauen konserviert den Stamm, Astreisern erneuern die Benadelung der Quirläste und optimieren die Assimilatproduktion in den mittleren und hinteren Astteilen (ergänzend dazu Kapitel X). Da alle drei Merkmale etwa zur gleichen Zeit in derselben Baumhöhe auftreten, scheint diesen Vorgängen eine gemeinsame Steuerung zugrunde zu liegen. Diese drei Merkmale treten aber sowohl bei geschädigten als auch bei ungeschädigten Tannen auf. Dies wurde auch an weiteren Tannen beobachtet. **Daher ist keines der drei Merkmale als ein spezifisches Symptom der Walderkrankung anzusehen.**

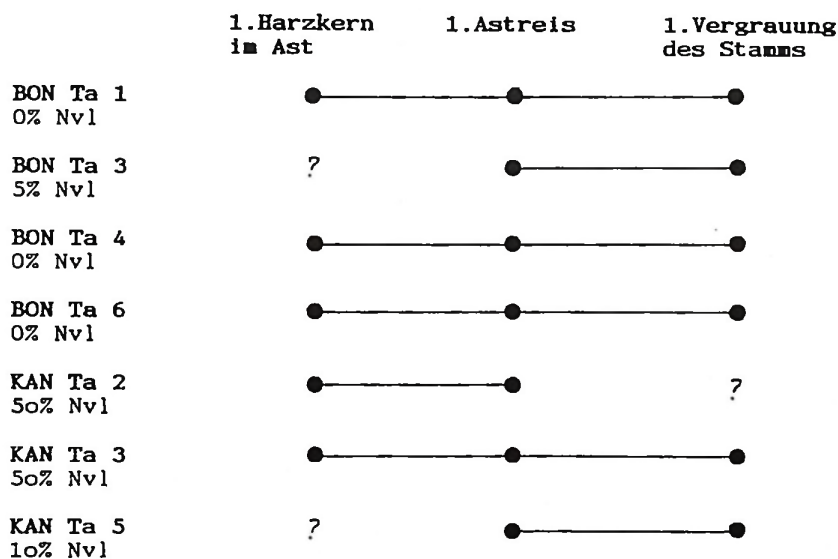


Abb. 68: Gemeinsames Auftreten im selben Stammabschnitt (1) der ersten, jüngsten Astreiser an den Quirlästen, (2) der ersten, jüngsten Harzkern in den Ansatzstellen der Äste und (3) der ersten, jüngsten "vergrauten" Jahrringe im Stammholz (z.T. unvollständig erfaßt).

IX/4. Das Austreiben von Astreisern und Klebästen als eine zeitlich verzögerte Reaktion der Tanne auf ein größeres Lichtangebot in der unteren und mittleren Krone.

Um dieser Frage nachzugehen, wurden die Astreiser und Klebäste einer Tanne nach Alter und Menge halbquantitativ erfaßt und nach ihrem Alter geordnet. Zusätzlich wurde untersucht, ab welchem Zeitpunkt die Lichtbedingungen in der näheren Umgebung der untersuchten Tanne sich geändert hatten. Dazu wurde von den umgebenden Baumstümpfen das Fälljahr dendrochronologisch bestimmt.

In den Abb. 69 a-g sind die Baumstümpfe mit unterstrichener Nummer sicher datiert. Ist die Nummer aber in Klammern gesetzt, so ist die angegebene Datierung zwar möglich, doch nicht ganz sicher.

Befund (Abb. 69 a-g und Abb. 70 a-g):

Aus den dargestellten Beobachtungen ergibt sich, daß, falls benachbarte Bäume entfernt werden, vermehrt Astreiser und Klebäste austreiben. Zwischen der Fällung des Nachbarbaums und dem vermehrten Austreiben der Astreiser und Klebäste liegen etwa 1 bis 3 Jahre. Das exakte Ausmaß der zeitlichen Verzögerung wird noch in Kapitel XIII/3 untersucht.

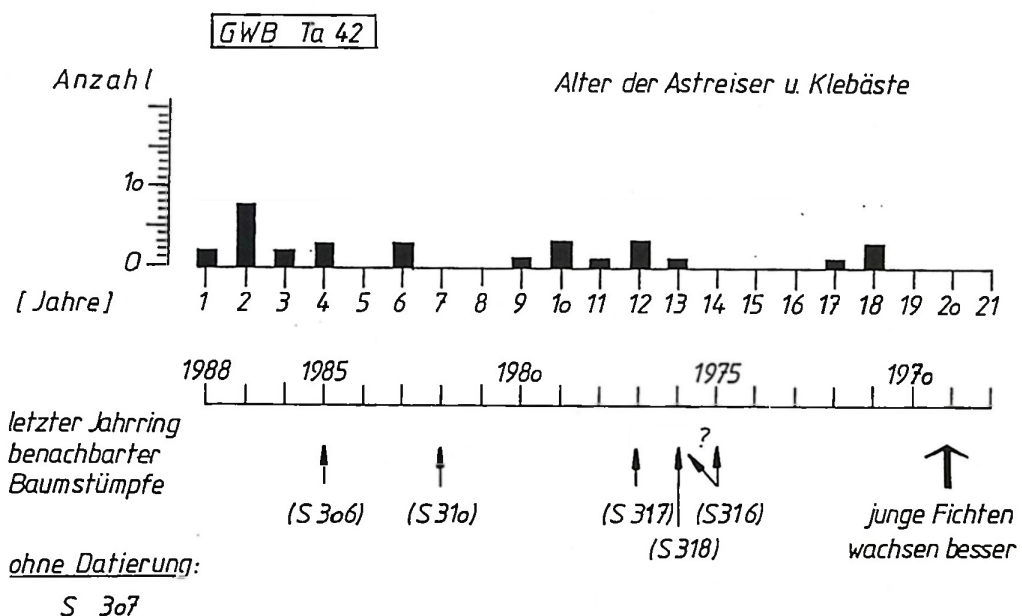


Abb. 69 a: Alter und Anzahl der Astreiser und Klebäste von Tanne 42 und der Zeitpunkt des erhöhten Lichtzutritts zur Krone. Weitere Beispiel im Anhang.

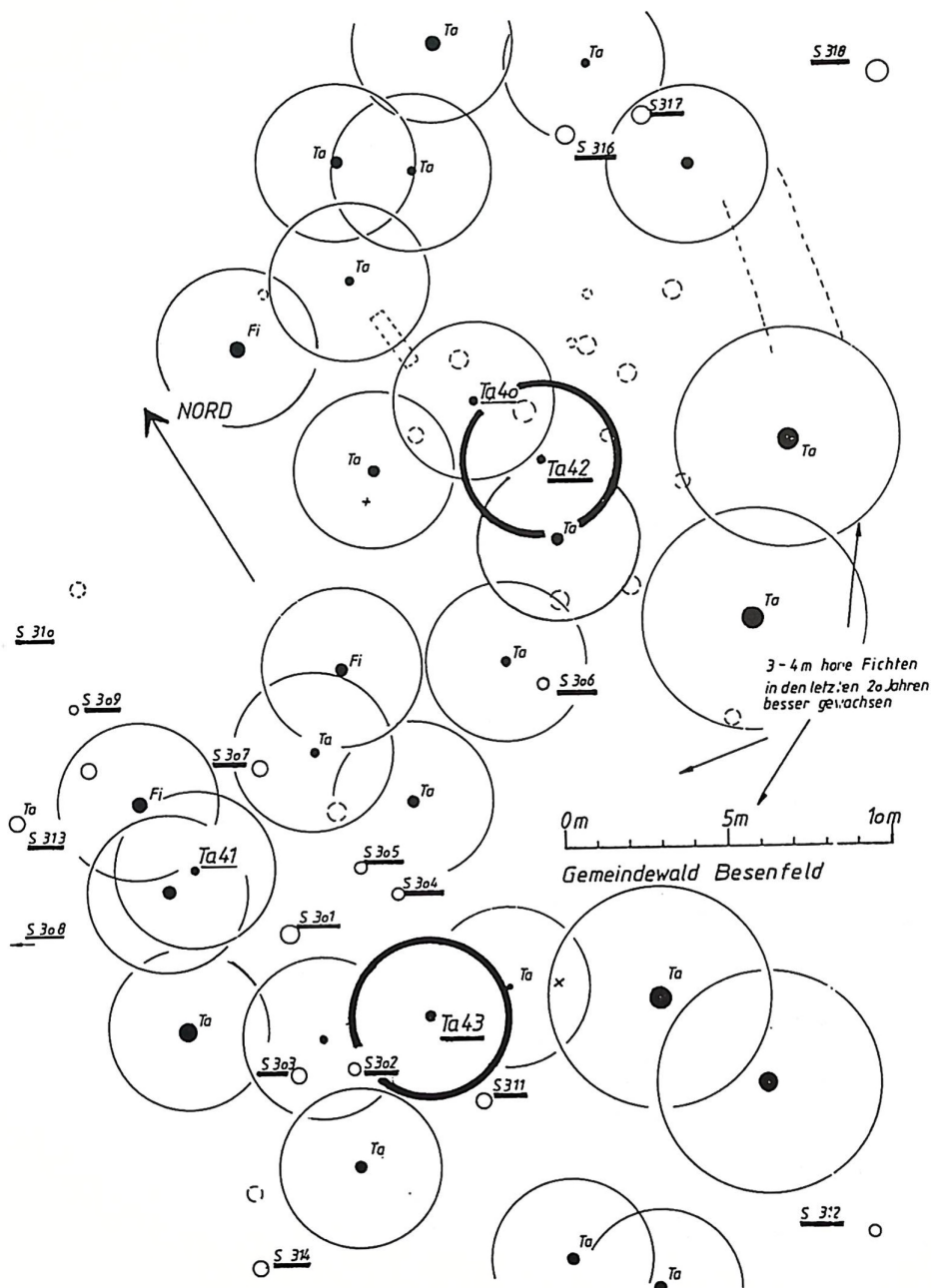


Abb. 70 a: Lageplan der untersuchten Tanne 42 und ihrer Nachbarn. Weitere Beispiele im Anhang.

IX/5. Das Höhenwachstum während der letzten 10 Jahre und die Nadelmenge der Quirlastkrone.

Den theoretischen Ausgangspunkt für dieses Problem stellen die folgenden Fragen dar: Wächst eine walderkrankte Tanne nur noch wenig in die Höhe, dann mag sie unter einem **Mangel an Assimilaten** leiden; es könnte aber auch eine **Blockade im Transportsystem (Phloem)** stattgefunden haben oder das **Phytohormonsystem** könnte fehlgesteuert worden sein.

Zu Abb. 71. Um der Beantwortung dieser Fragen näherzukommen, wurde mit einer vergleichsweise groben Methode die "benadelte Astfläche" aller Quirläste (Primärtriebe und Astreiser, doch **keine Klebäste**) als Quelle der Assimilate bestimmt, und es wurde hierzu das Höhenwachstum über einen längeren Zeitraum verglichen.

Befund (Abb. 71):

Überraschend stellt sich heraus, daß unabhängig von der Walderkrankung in den letzten 10 Jahren jede der Tannen **pro Quadratmeter "benadelter Astfläche" etwa 10 cm in die Höhe wuchs**.

Bei der Beurteilung dieses Ergebnisses sollte man berücksichtigen, daß die "benadelten Astflächen" eine sehr grobe Vergleichsgröße für die Assimilationsflächen oder gar für die Leistungsfähigkeit der Nadeln sind. Außerdem wurden nicht die großen Unterschiede in der Nettophotosynthese zwischen Sonnen- und Schattennadeln berücksichtigt; auch der Verbrauch von Assimilaten beim Blühen und Fruchten wurde vernachlässigt. Dennoch ist das unerwartete Ergebnis recht klar, daß eine enge Beziehung zwischen Höhenwachstum und assimilierender Fläche besteht.

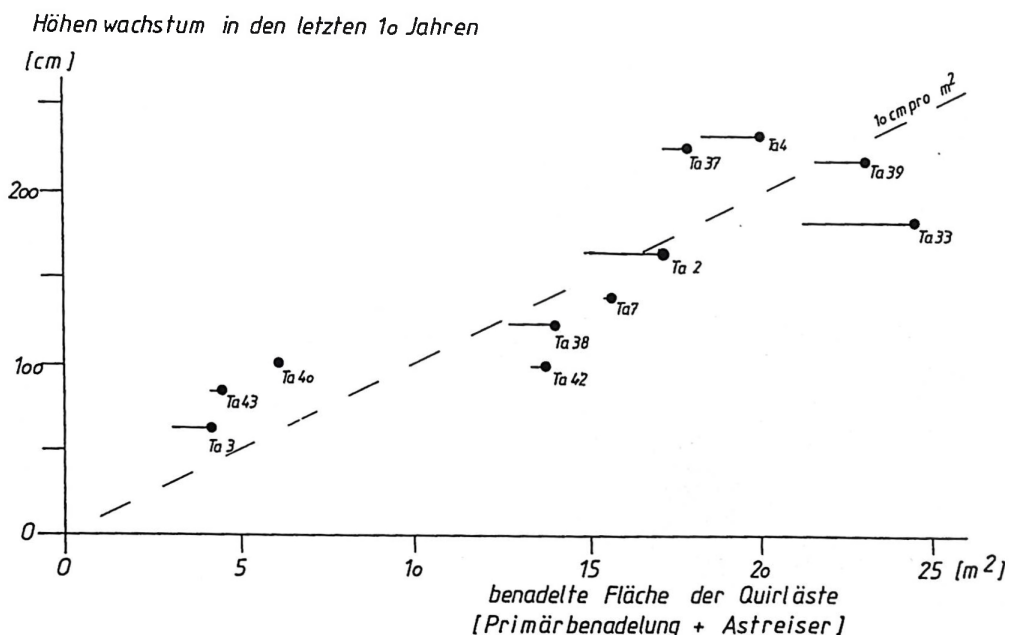


Abb. 71: Beziehungen zwischen "benadelten Astflächen" der Quirläste **ohne Klebäste** (Abszisse) und Höhenwachstum während der letzten 10 Jahre (Ordinate) mehrerer Tannen.

IX/6. Das Höhenwachstum der letzten 10 Jahre und die Gesamtmenge der Nadeln einer Tanne.

Im Gegensatz zu den Grundlagen des vorigen Kapitels wurden jetzt auch die Klebäste in die Berechnung einbezogen.

Befund (Abb. 72):

Die eben noch erkennbaren klaren Beziehungen verschwinden offenbar bei Berücksichtigung der Klebäste.

Interpretation. Es fragt sich, worauf dieses unterschiedliche Verhalten zurückzuführen ist.

1) Wie in Abb. 71 dargestellt, besteht fast linear ein Zusammenhang zwischen der Nadelmenge der Quirläste (inklusive Astreiser) auf der einen Seite und dem Höhenwachstum andererseits. Dies könnte als ein Zufall gedeutet werden, doch drängt sich angesichts der Klarheit des Befundes eher die Vermutung auf, daß entweder durch die Menge der Assimilate oder der Phytohormone das Höhenwachstum in dieser Linearität bestimmt wird. Jedenfalls scheinen aber die Klebäste nach den Vergleichen von Abb. 71 und 72 nicht viel für das Gedeihen der Höhentriebe beizutragen.

2) Auf diesen Verdacht, daß die Klebäste wenig zum Höhenwachstum beitragen, stößt man auch anderweitig:

a) Bei stark geschädigten Tannen gedeiht der Klebastmantel meist gut, während die kurze Quirlastkrone kümmernd oder abstirbt (z.B. SK Ta 37, SK Ta 39, HS Ta64, GWB Ta3, GWB Ta43). Bei diesen Beispielen tragen die Klebäste offensichtlich nicht viel zum Gedeihen der Quirlastkrone bzw. des Höhentriebs bei.

b) Darüber hinaus kann ein großer Klebastmantel auch noch im hohen Baumalter den h/d-Wert einer mitherrschenden Tanne wesentlich verkleinern (mündliche Mitteilungen Prof. ABETZ). Auch hier scheinen die Wachstumsvorgänge für den Höhentrieb und die Jahrringe zumindest teilweise entkoppelt zu sein.

c) Einen weiteren Anhaltspunkt lieferte Tanne 1 (Besenfeld). Sie hatte sehr große Nadelverluste. Im Stamm bildete sie in den letzten Jahren nur Ringe in der Nähe der benadelten Äste, seien es nun Quirläste oder Klebäste. Außerhalb davon entstanden aber nur sehr schmale oder überhaupt keine Jahrringe. Dies ging bei dieser Tanne so weit, daß das Jahrringmuster im Bereich der Quirläste nicht mehr zu dem Jahrringmuster im Bereich der Klebäste paßte. Die Klebäste und die Quirläste hatten jeweils vollkommen eigenständige Wachstumsentwicklungen durchgemacht (Kapitel XI/6).

Dieser Extremfall läßt sich auf drei verschiedene Weisen erklären: mit der Menge der Assimilate, mit der Entfernung zu den Orten der Photosynthese oder mit möglichen Blockaden im Phloemtransport (bzw. einer Kombination dieser Faktoren).

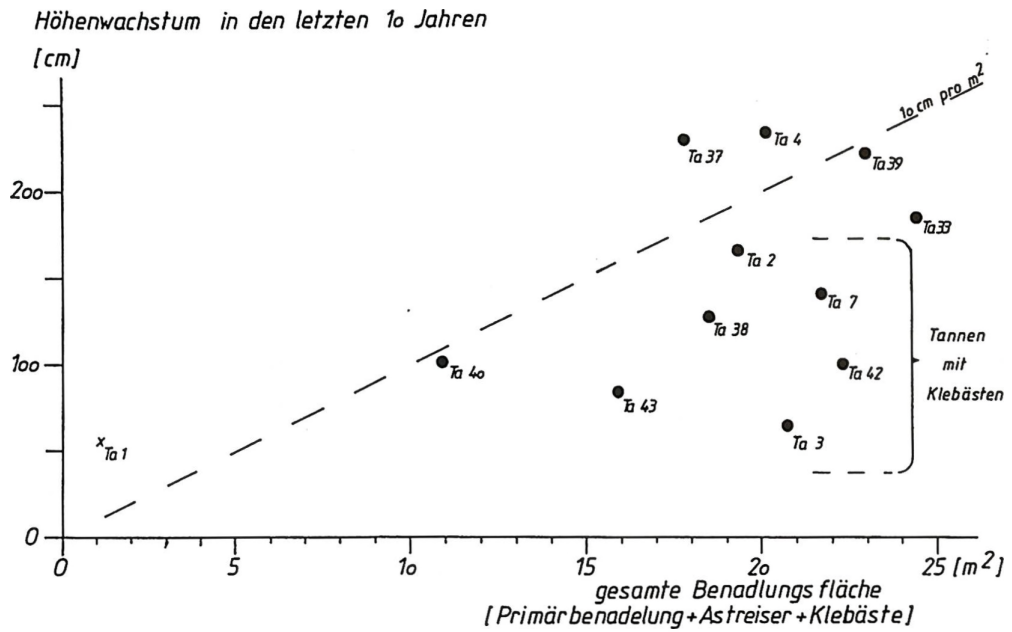


Abb. 72: Beziehungen zwischen der gesamten Nadeloberfläche einer Tanne, d.h. Quirläste und Klebäste sind zusammengefaßt (Abszisse) und dem Höhenwachstum der letzten 10 Jahre (Ordinate).

Teil B

Die Bedeutung der Primär- und der Folgebenadelung für das Stammwachstum.

Unter **Primärbenadelung** werden hier die Nadeln an den Primärtrieben verstanden; unter **Folgebenadelung** aber Nadeln an Astreisern und Klebästen. Diese Folgetriebe trieben irgendwann aus sog. "schlafenden Knospen" aus; damit wurde die Abfolge des apikalen Spitzenwachstums unterbrochen. Die "Stammreiser" innerhalb der Quirlastkrone wurden vernachlässigt. Ihr Alter ist nicht leicht zu bestimmen, ihre Nadelmenge meist sehr klein.

IX/7. Astreiser bzw. Klebäste und Jahrringbreiten im Stamm.

Zur Untersuchung dieses Problems wurden Tannen aus dem Fällungsprogramm BW 1984/85 herangezogen.

Befund (Abb. 73 a-c):

Treiben neue Astreiser bzw. Klebäste aus, ändert sich meist die Zuwachsrate. Die Jahrringe sind anschließend z.T. breiter, z.T. aber auch schmäler als vorher. Andererseits wurde die **langfristige** Zuwachsrate durch das Trockenjahr 1976 nur bei wenigen Tannen verändert.

In dieser Untersuchung wurde allerdings nur bei einem kleinen Teil der Astreiser bzw. Klebäste auch das jeweilige Alter erfaßt. Daher lassen sich nicht allen Zuwachsänderungen die entsprechenden Astreiser und Klebäste zuordnen. Bei weiteren Untersuchungen im Forstbezirk Klosterreichenbach bestätigte sich regelmäßig dieser Zusammenhang zwischen den Folgetrieben und Änderungen im Stammwachstum (unveröffentlichte Diagramme). Umgekehrt ließ sich mit Hilfe der Astreiser und Klebäste der Zeitpunkt von Zuwachsänderungen im Stamm näherungsweise bestimmen.



Abb. 73 a-c: Jahrringbreiten und das Auftreten neuer Astreiser und Klebäste. Tannen sind nach h/d-Werten geordnet. Trockenjahr 1976 und der prozentuale Nadelverlust sind vermerkt.

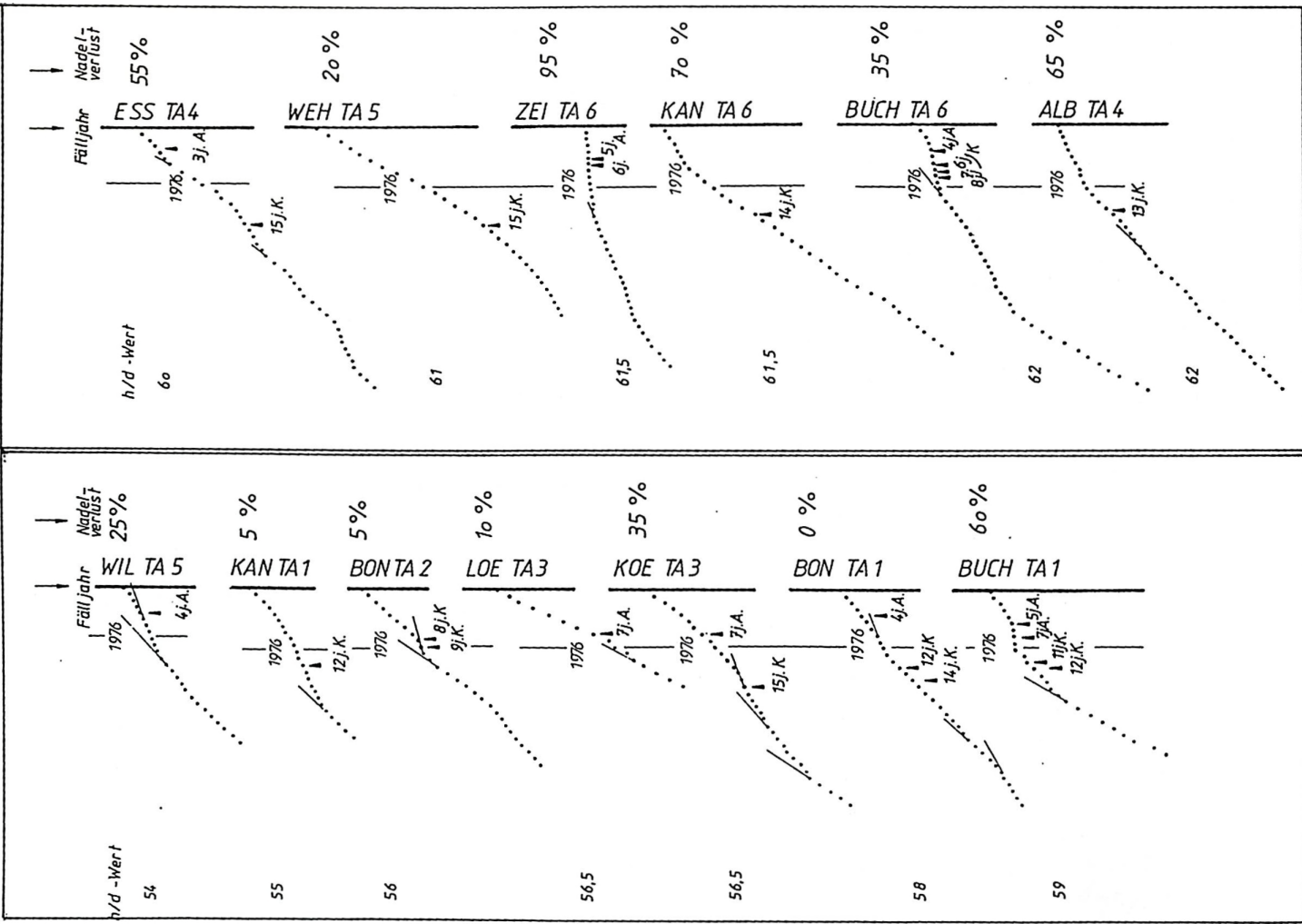


Abb. 73 a

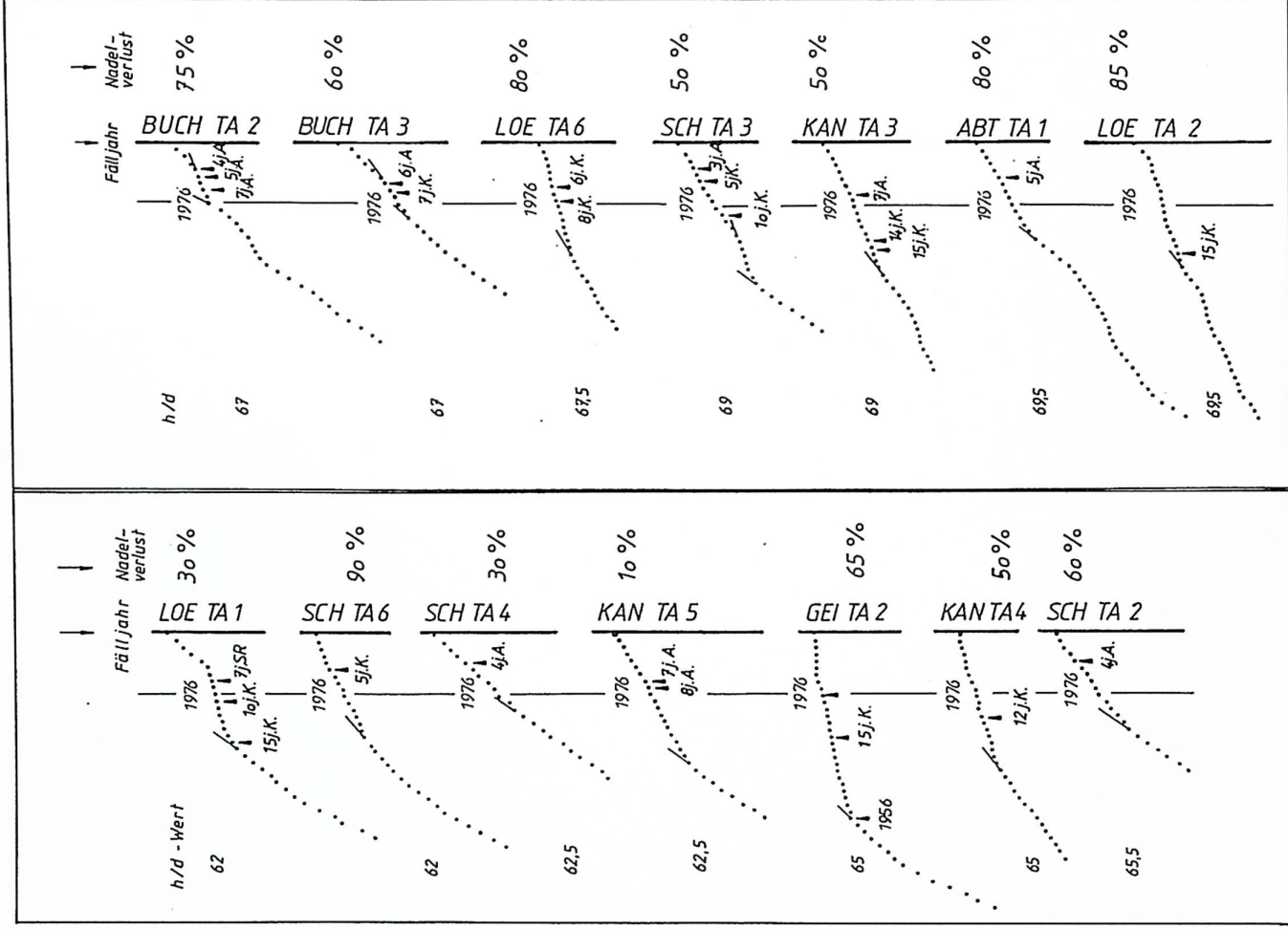


Abb. 73 b

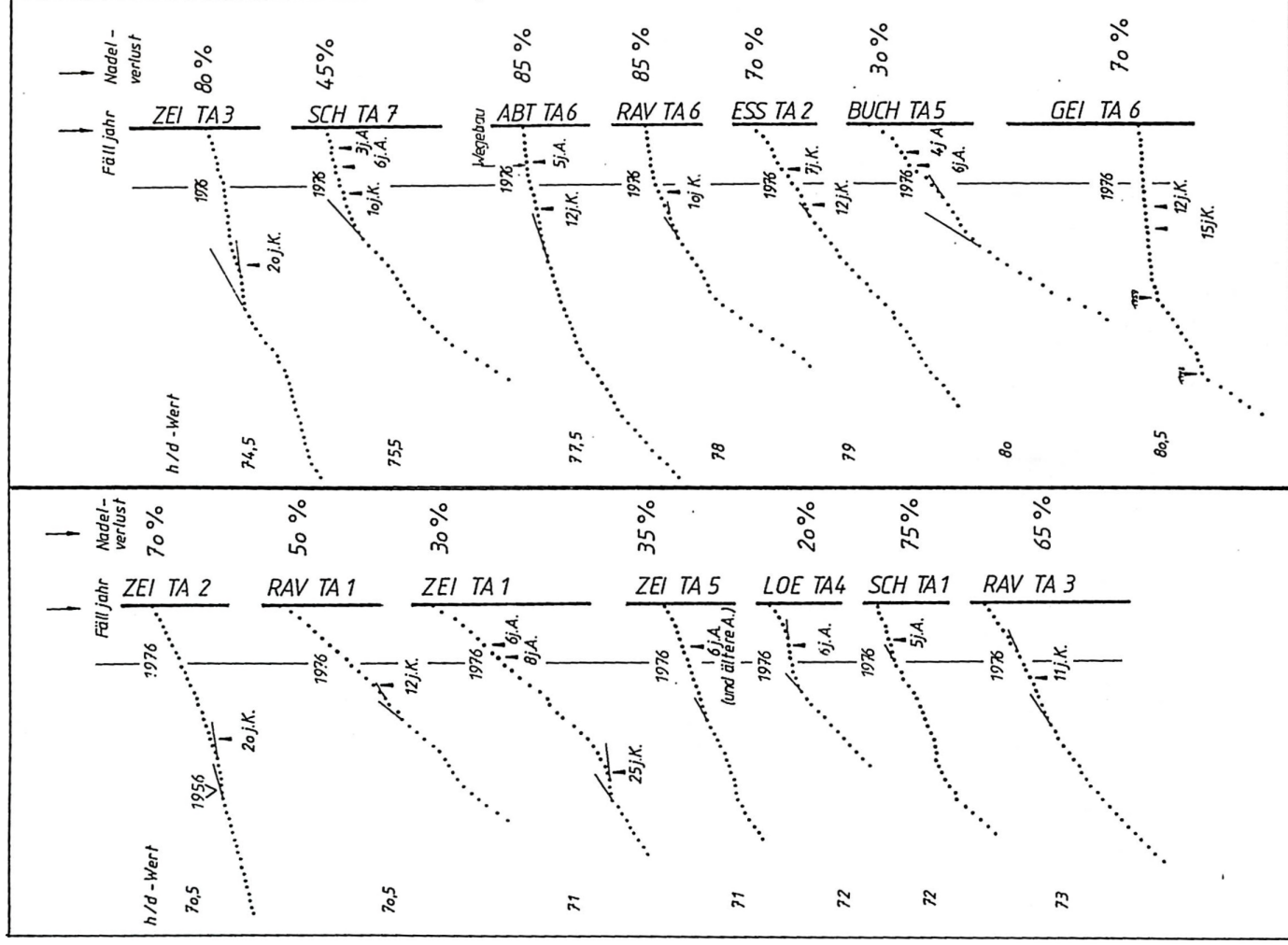


Abb. 73 c

IX/8. Der Zeitpunkt, ab dem neue Astreiser und Klebäste austreiben, die Schädigung der Krone und die Veränderungen des Höhen- und Dickenwachstums des Stammes.

Die Ausführungen beziehen sich wieder auf einen Teil der Tannen aus dem Fällungsprogramm BW, 1984/85. Das Höhenwachstum ist miteinbezogen worden.

Befund (Abb. 74):

Es drängt sich das Folgende auf: Ändert sich die Zuwachsrate bei der Baumhöhe oder/und bei der Stammdicke, so gilt offenbar unabhängig von den Schäden der Walderkrankung, daß etwa zur selben Zeit neue Folgetriebe an den Achsen der alten Quirläste und am Stamm austreiben (Astreiser und Klebäste). Der Zusammenhang zwischen Höhen- und Dickenwachstum wurde bereits in Kapitel III dargestellt.

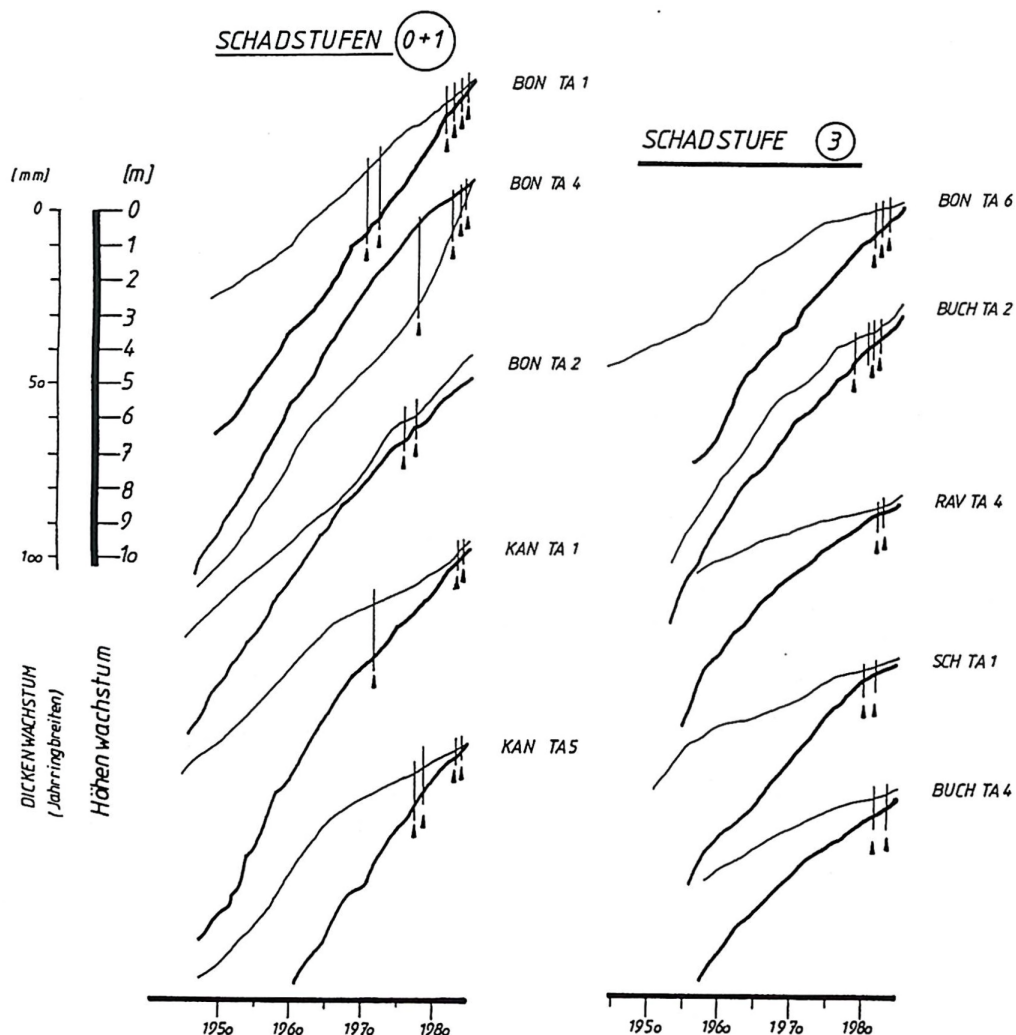


Abb. 74 a: Alter der Folgetriebe (Astreiser bzw. Klebäste) und Änderungen im Höhen- und Dickenwachstum des Stammes. Tannen der Schadstufe O+I und III im Vergleich. Weitere Beispiele im Anhang.

IX/9. Vergleich von Habitusbildern geschädigter und ungeschädigter Tannen.

Im vorliegenden Zusammenhang wird versucht, weitere Beobachtungen zur Struktur der Tannenkronen zusammenzutragen.

Befund (Abb.75):

Bei diesen Tannen bestätigt sich das schon in Kapitel IV gefundene Ergebnis: Bei kurzen Quirlastkronen wirken sich die Nadelverluste meist stärker aus als bei längeren Quirlastkronen. Ist die Quirlastkrone lang, stellen die Primärtriebe die Hauptmenge an Nadeln. Ist sie dagegen kurz, so hat die Krone mehr Folge- als Primärbenadelung. D.h. solche geschädigten Tannenkronen haben ihre Hauptmenge der Nadeln an den Astreisern und an den Klebästen. Dies ist ein wichtiger Aspekt für die weiteren Untersuchungen in Kapitel X und XI.

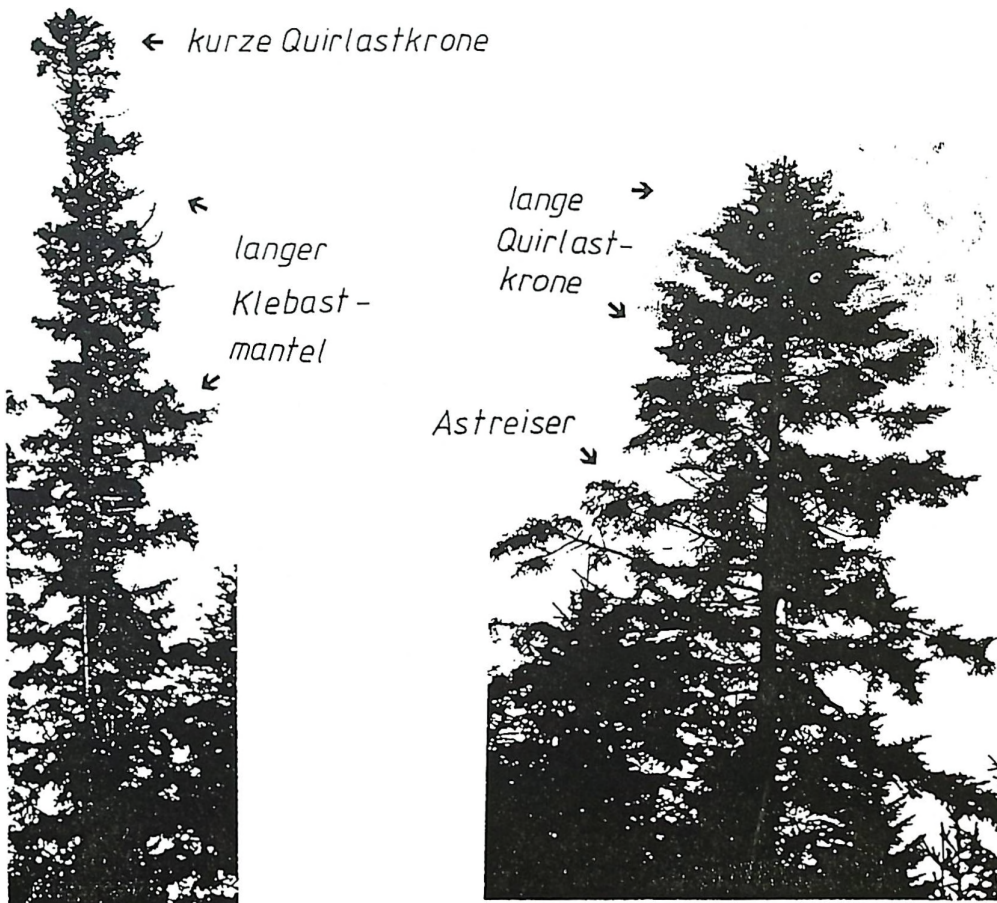


Abb. 75: Unterschiedliche Anteile an Primär- und Folgebenaedelung am Beispiel von zwei Tannenkronen. Links: Tanne mit kurzer Quirlastkrone und langem Klebastmantel (d.h. wenig Primär- und viel Folgebenaedelung). Rechts: lange Quirlastkrone mit wenigen Astreisern (d.h. überwiegend Primärbenadelung).

IX/10. Lokalisierung derjenigen Äste, die zwischenzeitlich ihre Nadeln verloren haben.

Zur Untersuchung wurden bestimmte Tannen des Forstbezirks Klosterreichenbach im zeitlichen Abstand mehrerer Jahre von derselben Position ausm fotografiert.

Befund (Abb. 76):

Man erkennt, daß nur die ältesten Quirläste betroffen sind, soweit sie außen noch benadelte Primärtriebe tragen. Nur die Astperipherie kümmerst. Hier außen fallen im Laufe der Jahre die Nadeln ab. Diese spezifischen Veränderungen führen zum Schadbild der Walderkrankung (vgl. auch LINER et al.).



Abb. 76: Zur Lokalisierung von Nadelverlusten innerhalb einer Tannenkrone. Die obere Krone von Tanne 2, Königswart, Forstbezirk Klosterreichenbach. Links: Sept. 1987, rechts: Sept. 1990. Die Ziffern weisen auf Äste hin, die während dieser drei Jahre ihre Nadeln z.T. verloren haben. Vgl. Text.

X/11. Zusammenfassung: Aufbau einer ungeschädigten und einer walderkrankten Tanne.

Folgende Punkte lassen sich verallgemeinern:

- 1) Die ältesten Quirläste, die außen noch benadelte Primärtriebe tragen, befinden sich meist dort, wo die Krone ihren **größten Durchmesser** hat.
- 2) An dieser unteren Grenze der Primärbenadelung **reagieren die Primärtriebe dieser Quirläste als erstes und am empfindlichsten** mit Nadelverlusten und Zuwachsrückgängen.
- 3) Steht eine Tanne im Bestand, tritt ein Kümmeren dieser Astspitzen auch immer dann auf, wenn Nachbarbäume diese peripheren Astteile beschatten. In Konkurrenzsituationen wird anscheinend hier bestimmt, wie lang der darüberliegende Kronenteil und wie groß der Durchmesser der Krone wird. Dies bezieht sich überwiegend auf die Primärbenadelung.
- 4) **Genau im selben Bereich, an der unteren Grenze der Primärbenadelung einer Tannenkronen, treten an den Ästen auch jene abnormen Zuwachsrückgänge und übermäßigen Nadelverluste auf, die zum Schadbild der Walderkrankung führen.**
- 5) **Die physiologischen und morphologischen Veränderungen an diesen Astteilen im unteren Bereich der Primärbenadelung einer Krone entscheiden, ob eine Tanne später als walderkrankt eingestuft wird oder nicht.**

In den folgenden Abschnitten werden diese Aussagen im Einzelnen nochmals bekräftigt.

IX/12. Lokalisierung jener Stellen, an denen die Primärtriebe vorne an den Ästen Nadelverluste haben und kümmern bzw. abgestorben sind (Walderkrankung).

Die Tannenkronen werden unterteilt in Quirläste mit Primärbenadelung und in Quirläste ohne Primärbenadelung.

IX/ 12.a. Alttannen aus dem Fällungsprogramm BW, 1984/85.

Zwei Gruppen werden verglichen: Tannen mit starken Nadelverlusten und Tannen mit keinen oder nur geringen Schäden.

Befund (Abb. 77):

1. Auch hier befindet sich die charakteristische Nadelverlustzone im Bereich der unteren Primärbenadelung.

Bei jenen Tannen, die viel Primärbenadelung haben, **überschneiden** sich aber die Zonen von Folge- und Primärbenadelung über eine lange Stammstrecke.

2. Bei stark geschädigten Tannen **überschneiden** sich hingegen die Kronenbezirke mit Folgebenadelung **nicht mehr** mit jenen Ästen, deren Primärbenadelung vollständig ist (8Njg.). Als Folge entsteht eine **Zone mit kahlen Ästen**.

Hat eine Tanne entnadelte Äste, ist zu bedenken, daß die Astreiser an den Quirlästen erst ab einem Mindestalter von 7-15 Jahren austreiben (Kapitel IX/2). Es ist weiterhin der Zeitpunkt zu beachten, ab dem die Schädigung einsetzte.

3. Bei schweren Formen der Walderkrankung leidet überwiegend die Primärbenadelung an Nadelverlusten.

Vergleichbare Ergebnisse finden sich auch bei den anderen untersuchten Tannen.

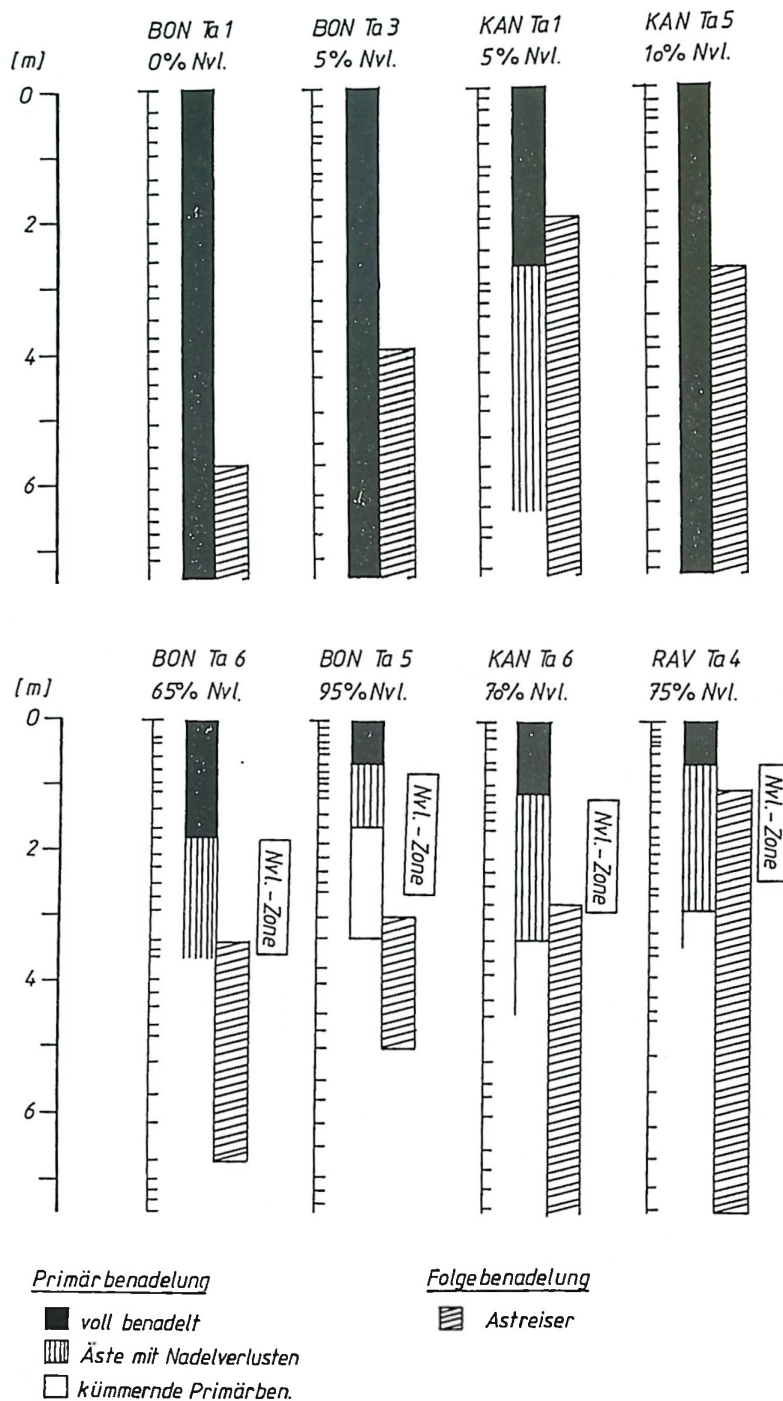


Abb. 77: Längen der verschiedenen Kronenbereiche und ihre Benadelung. **Alt-tannen** des Fällungsprogramms BW 1984/85. Primärbenadelung und Astreiser sind getrennt dargestellt. Pro Baum sind links die Quirlabstände angegeben (jährliches Höhenwachstum).

IX/ 12.b. Mittelhohe Tannen (15m - 23m).

Diese Tannen aus dem Gemeindewald Besenfeld (1988/89) sind nach Schadstufen geordnet (Die Beurteilungen konnten z.T.erst im gefällten Zustand durchgeführt werden).

Die Befunde von Abb. 78 entsprechen augenscheinlich denen der vorangegangenen Abb. 77.

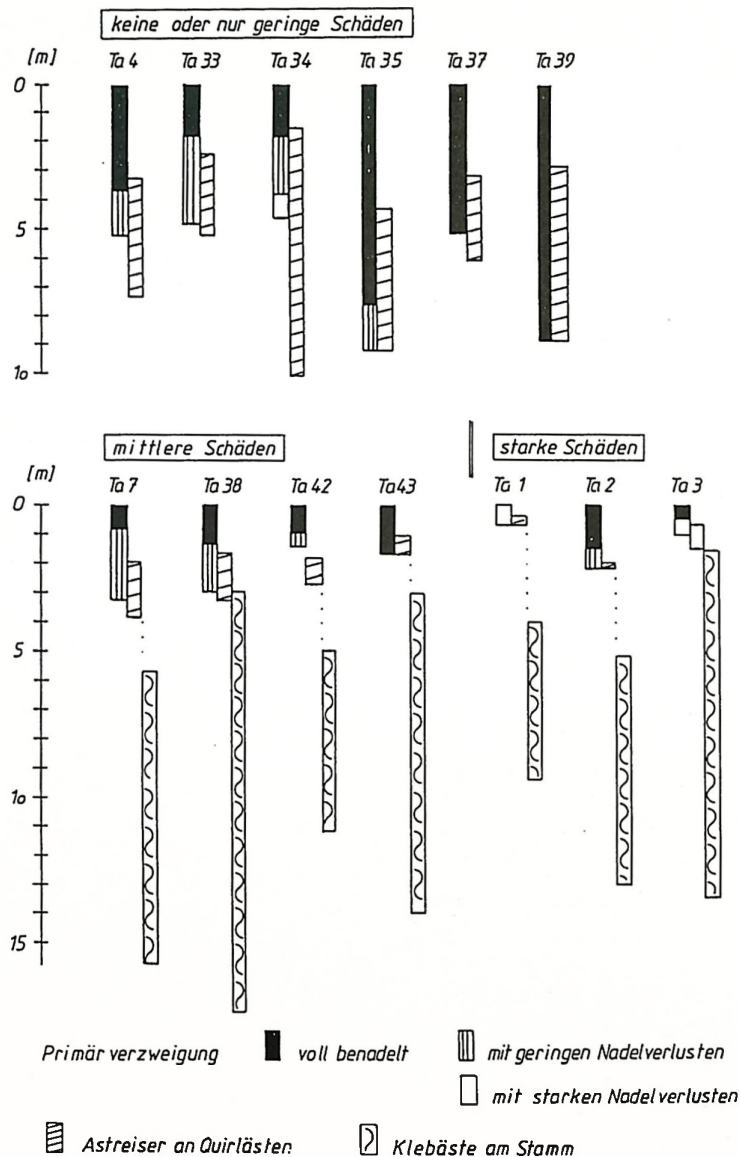


Abb.78: Längen der verschiedenen Kronenbereiche und ihre Benadelung. **Mittelhohe Tannen** (15-25m) aus Besenfeld (1988/89). Primärbenadelung und Astreiser sind getrennt dargestellt. Maßstab mit Meterangaben links.

IX/ 12.c. Kronenstrukturen bei Lichtmangel: vollständig benadelte Kronen unterständiger Tannen (3m-8m).

Diese unterständigen Tannen aus dem Gemeindewald Besenfeld haben ein geringes Wachstum. Es ist etwa so gering wie bei walderkrankten Tannen, doch haben diese unterständigen Tannen **keine Nadelverluste**. Im vorliegenden Zusammenhang interessiert besonders, wo die jüngsten Astreiser auftreten.

Befund (Abb. 79):

Es stellt sich das Folgende heraus: Unterständige Tannen weisen eine ähnliche Abfolge von Primär- und Folgebenadelung auf wie ungeschädigte, besonnte Tannen. Es wird außerdem deutlich, daß auch unter Lichtmangel und bei geringem Höhen- und Dickenwachstum die Nadeln viele Jahre am Baum bleiben können. **Ein geringes Stammwachstum allein führt also noch nicht zu Nadelverlusten** (Dies entspricht den Ergebnissen von Kapitel II).

Bislang wurden die Kronen jedoch nur nach dem Vorkommen von **qualitativen** Merkmalen beurteilt. In den folgenden Abschnitten werden auch **quantitative** Daten miteinbezogen.

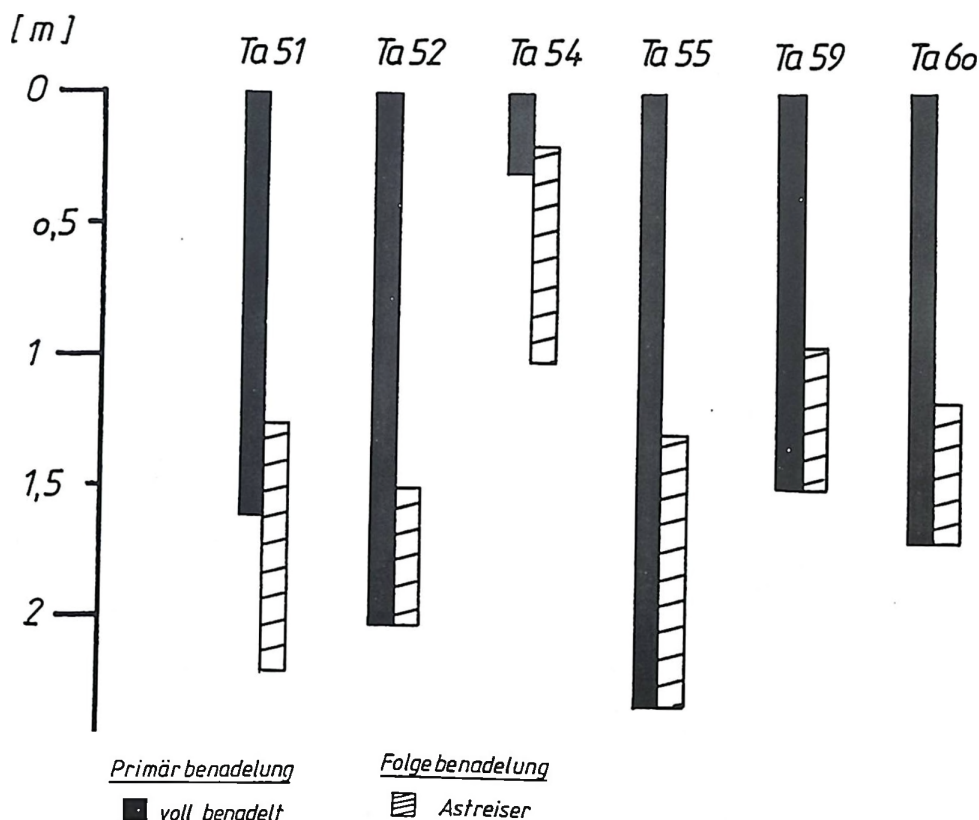


Abb. 79: Längen der verschiedenen Kronenbereiche und ihre Benadelung. Unterständige Tannen aus Besenfeld (1991); Kronen sind vollständig benadelte. Primärbenadelung und Astreiser sind getrennt dargestellt. Maßstab mit Meterangaben links. Pro Baum sind die Quirlabstände angegeben (jährliches Höhenwachstum). In einer dritten Säule ist verzeichnet, wo am Stamm zusätzlich noch Klebäste vorkommen.

IX/13. Verteilung der "benadelten Astflächen" entlang der Krone.

Die Benadelung der Primärtriebe, Astreiser und Klebäste werden für diese Untersuchung getrennt aufgeführt. Es handelt sich um Tannen aus dem Gemeindewald Besenfeld, gefällt im Winter 1988/89.

Befund (Abb. 80):

1. Die Abfolge von Primär- zu Folgebenedelung ist bei allen Tannen gleich.
2. Die einzelnen Tannenkronen unterscheiden sich aber stark. Dies betrifft sowohl die Menge der Nadeln pro Quirl, als auch die Verteilung der Nadelmengen am Stamm.
3. Der Übergang zu den Astreisern beginnt allmählich. Von oben nach unten kommen zuerst wenige, kleine Astreiser vor. Ihre Hauptmenge tritt erst weiter unten in der Quirlastkrone auf.

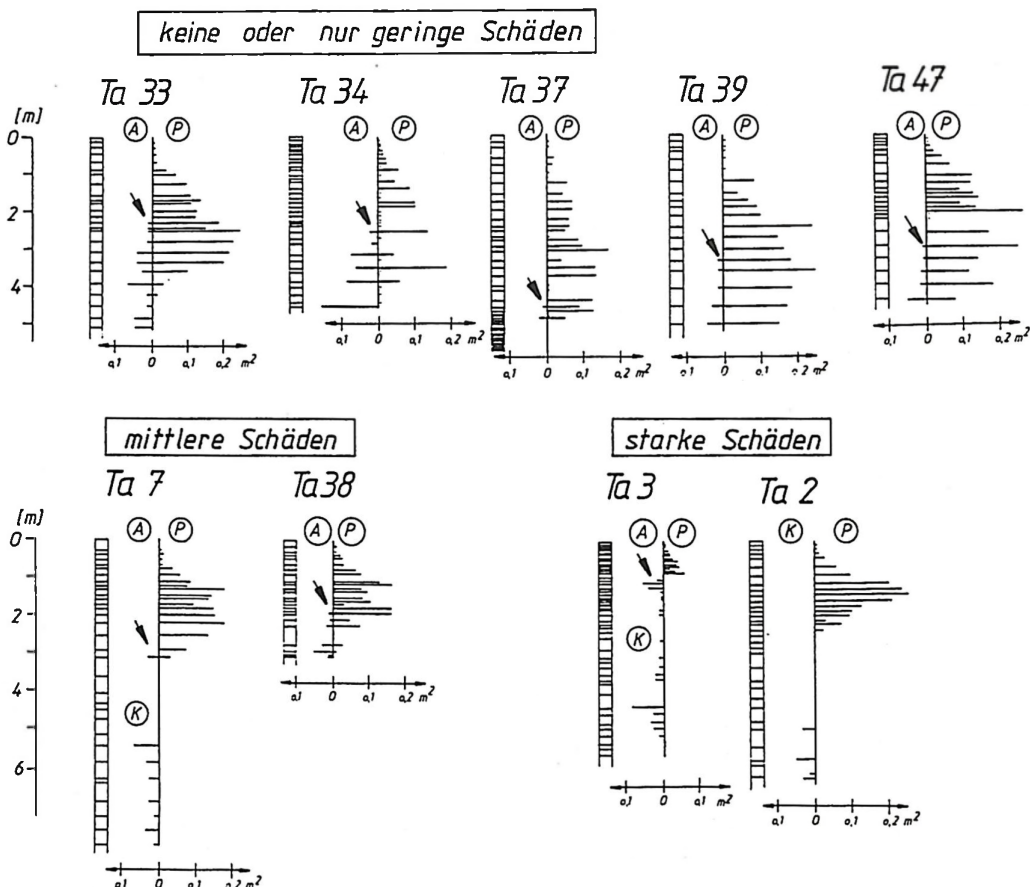


Abb. 80: Schädigung der Krone und Größe der "benadelten Astfläche". Pro Tanne links: Quirlabstände. Rechts daneben waagerechte Strecke: Größe der "benadelten Astfläche" des jeweiligen Quirls. (P) = Primärbenadelung; (A) = Astreiser; (K) = Klebäste. (↘) Der Pfeil zeigt die jüngsten und obersten Astreiser an, also den Beginn der Folgebenedelung.

IX/14. Zusammenfassung der bisherigen Ergebnisse zum Thema "Benadelung der Tannenkronen".

1) Wächst eine Tanne gut in die Höhe, dann hat sie viele Quirläste (4-6); wächst sie schlecht in die Höhe, dann hat sie nur 1-3 Äste pro Quirl (Kapitel IX/1). Da unterständige Tannen gut benadelt sind, aber nur wenig wachsen, sind ein geringes Höhenwachstum und eine geringe Anzahl von Quirlästen **allein** kein spezifisches Kriterium für die Walderkrankung, sondern nur Anzeichen für ein geringes Wachstum.

2) Das Austreiben von Astreisern und Klebästen (Folgetriebe) ist ein regulärer, natürlicher Vorgang und läßt sich auf ein vergrößertes Lichtangebot in der mittleren und unteren Krone zurückführen (Kapitel IX/4).

3) Anscheinend müssen Quirläste ein Mindestalter haben, bevor an ihnen Astreiser (Folgetriebe) austreiben können (Kapitel IX/2). Darin sind sich ungeschädigte und walderkrankte Tannen gleich.

4) Treiben neue Astreiser und Klebäste aus (Folgetriebe), so ändert sich fast gleichzeitig auch das jährliche Höhen- und Dickenwachstum des Stamms (Kapitel IX/7, 8).

5) Schon in Kapitel IV/1 wurde gefunden: Kurze Quirlastkronen sind verstärkt von Nadelverlusten betroffen. Dabei geht der Nadelverlust hauptsächlich zu Lasten der benadelten Primärtriebe (Kapitel IX/ 9-13).

6) Der Ausgangspunkt für das abnorme Entnadeln innerhalb der Tannenkronen ist an der unteren Grenze der Primärbenadelung gelegen. An jener Stelle sind die Quirläste am längsten. Bei einer Tanne ohne die Symptome der Walderkrankung sind die Primärtriebe an der Peripherie dieser Quirläste noch benadelt. Diese benadelten Primärtriebe an den längsten Quirlästen reagieren als erstes und am empfindlichsten mit Nadelverlusten und Zuwachsrückgängen.

- Dort sterben die Astspitzen **auch regulär als erstes** ab, sobald sie durch den seitlichen Konkurrenzdruck anderer Bäume zuviel beschattet werden (vgl. ASSMANN, 1957; eigene Beobachtungen).

- Andererseits, entnadeln bei der Walderkrankung speziell diese Astspitzen auch ohne Beschattung und ohne seitlichen Konkurrenzdruck (Kapitel XII). Sind die Kronenschäden durch die Walderkrankung stark, so zieht sich dieses Entnadeln, Kümmeren und Absterben der Astperipherie (Primärbenadelung) über mehrere Quirle hinweg nach oben.

- Ob die Äste anschließend ganz kahl sind oder nicht entscheidet ihr Alter. Astreiser treiben erst ab einem Mindestalter von 7-15 Jahren aus.

Das folgende Kapitel befaßt sich mit der Umstrukturierung der Krone und dem Entstehen der Walderkrankungssymptome: Nadelverlust und plötzliche Wuchstockungen.

Kapitel X

Der Wechsel von Primär- zu Folgebenaedelung und das Auftreten von Symptomen der Walderkrankung.

Die Tannenkronen paßt sich mit ihrer Folgebenaedelung an veränderte Wachstumsbedingungen an. Bei diesem Umstrukturierungsprozeß von der ursprünglichen Primärbenaedelung hin zu mehr Folgebenaedelung können u.U. auch die spezifischen Symptome der Walderkrankung auftreten.

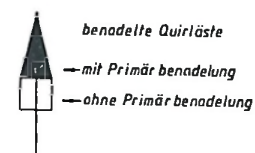
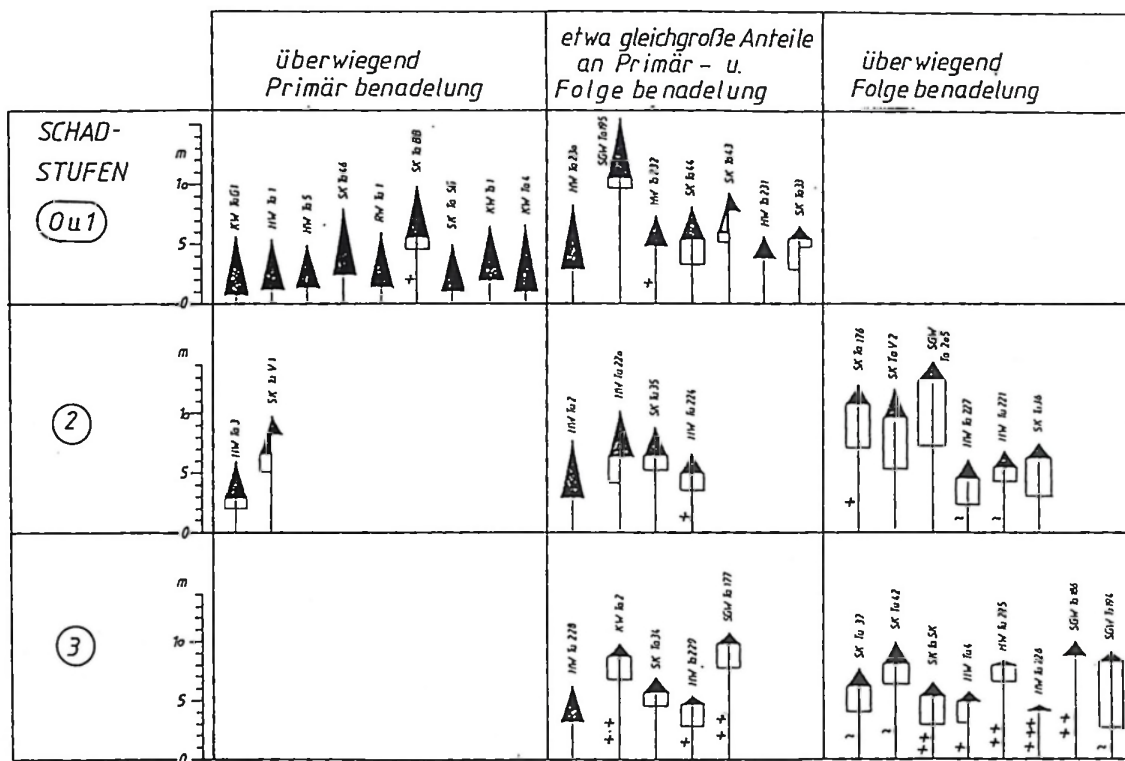
X/1. Der prozentuale Anteil an Primär- und Folgebenaedelung und die Schadstufe der Kronen.

Diese Untersuchungen basieren auf Tannen, die mehrere Jahre lang im Forstbezirk Klosterreichenbach seit 1989 beobachtet wurden.

Befund (Abb. 81):

1. Hat eine Krone nur Primärbenaedelung, so fehlen auch die großen Nadelverluste.
2. Hat eine Krone viele Astreiser und Klebäste und damit viel Folgebenaedelung, so steigt auch der Nadelverlust in der Krone. Oder umgekehrt: Mit erhöhtem Nadelverlust steigt auch der Anteil der Folgebenaedelung.
3. Auffallend ist, daß es bei dieser Untersuchung keine Tannen gab, die nur geringe oder keine Nadelverlust-Schäden hatten (Schadstufe 0 oder I) und bei denen die Folgebenaedelung überwog. Andererseits hatte keine Tanne der Schadstufe III überwiegend nur Primärbenaedelung.
4. Je geringer der prozentuale Anteil an Primärbenaedelung, bzw. je größer der prozentuale Anteil an Folgebenaedelung, desto größer sind insgesamt die Nadelverlustschäden.
5. Die typischen Nadelverluste der Walderkrankung scheinen daher immer einherzugehen mit einem Wechsel von Primär- zu Folgebenaedelung.

Wie die Beobachtungen zeigen, gibt es jedoch ab und zu auch nicht so eindeutige Beispiele: Bei Altannen mit langem, gut benadeltem Klebastmantel läßt sich u.U. die Länge der Quirlastkrone nur schlecht bestimmen. Hier kann es vorkommen, daß bezogen auf die gesamte Nadelmenge, insgesamt nur wenig Nadelverluste auftreten und das Dickenwachstum gut ist. Wie das Alter der Klebäste zeigt, hat in diesem Fall der Benadelungswechsel schon vor längerer Zeit stattgefunden und die früheren Nadelverluste an der Quirlastkrone werden durch Klebäste und Astreiser weitgehend überdeckt (z.B. GWB Ta43).



Klebäste

- ~ vereinzelt
- + mittel
- ++ viele

Abb. 81: Die Zusammensetzung der Benadelung und die Schadstufe der jeweiligen Tannenkronen. Zusätzlich sind die Baumhöhe, die Länge der Quirlastkrone mit und ohne Primärbenadelung und das Ausmaß des Klebastmantels eingezeichnet.

X/2. Die Bedeutung der soziologischen Stellung im Bestand, der Wechsel der Benadelungsart und die Gesamtschädigung der Krone (%Nadelverlust).

Die Grundlagen für diese Untersuchung sind entnommen dem

- (1) **Kapitel V:** Mitherrschende Tannen werden bevorzugt von Nadelverlusten betroffen.
- (2) **Kapitel X/1:** Nadelverluste gehen mit einem Wechsel von Primär- zu Folgebenedelung einher.
- (3) **Kapitel II:** Starke Nadelverluste (Schadstufe III) sind als ein Symptom der Walderkrankung anzusehen.

Befund (Abb.82):

Werden die Tannen nach der Stärke der Schädigung geordnet, dann ergibt sich das Folgende:

1. **Tannenkronen ohne oder mit nur geringen Schäden:** Diese Tannen sind meist vorherrschend und haben überwiegend Primärbenadelung.
2. **Tannenkronen mit großen Nadelverlustschäden:** Solche Tannen sind meist herrschend oder mitherrschend und sie beziehen ihre Assimilate überwiegend aus Astreisern bzw. Klebästen. Diese Kronen haben im Vergleich zur gesamten Nadelmenge relativ wenig benadelte Primärtriebe.
3. Die bisherigen Ergebnisse aus dem Fällungsprogramm BW 1984/85 bestätigen sich somit auch bei den langjährig beobachteten Tannen im Forstbezirk Klosterreichenbach.

Es fällt generell auf, daß sich mitherrschende bzw. herrschende Tannen von vorherrschenden Tannen hauptsächlich durch die Größe ihrer Krone, insbesondere der Sonnenkrone unterscheiden. Je größer die Sonnenkrone, desto größer die absolute Menge an benadelten Primärtrieben (walderkrankte Tannen seien hier ausgeschlossen).

Dies erklärt sich mit den räumlichen Verhältnissen in der Krone. Vorherrschende Tannen ragen mit ihrer Krone über den Bestand hinaus. Ihre Krone wird auch unterhalb der mittleren Bestandeshöhe noch vergleichsweise gut mit Licht versorgt, da die angrenzenden Bäume etwas weiter entfernt sind. Dagegen erreichen mitherrschende Tannen meist nicht das mittlere Bestandesniveau (vgl. Kapitel IV/3) und sie werden seitlich stärker beschattet, da die angrenzenden Bäume näher stehen. Der Lichtmangel, der sich einerseits in einer kleinen Sonnenkrone äußert, beschränkt in ähnlicher Weise auch die Schattenkrone (vgl. ASSMANN, 1957; ROZSNYAY, 1979). Dies führt zu dem bekannten Kronenbau einer mitherrschenden Tanne mit weniger Nadeln und einer eingebuchteten Kronenschirmfläche.

		NADELVERLUST		
		viel Prim benad.	etwa gleich große Anteile	viel Folgebenad.
vor- herrschend	gering	●●●●●●●●	●●●●●●●●	●
	mittel		●●●●	●●
	stark		●	●
herrschend	gering	●●●●●	●●●●	●
	mittel	●●●●	●●●●	●●●●
	stark		●●●●	●●●●●
mit- herrschend	gering		●●	
	mittel			●●
	stark		●●	●●●●●●

Abb. 82: Die soziologische Stellung im Bestand, die Zusammensetzung der Benadelung und das Ausmaß der Nadelverluste. Selbe Tannen wie in Abb.81.

X/3. Die Entwicklung der Jahrringbreiten und das Austreiben neuer Astreiser und Klebäste in Abhängigkeit verschiedener Faktoren.

Diesen Untersuchungen lagen Beobachtungen zur soziologischen Stellung, zum Anteil der Primär- und Folgebenaedelung und zu den Nadelverlusten bei denjenigen Tannen zugrunde, die schon in den beiden vorangegangenen Abschnitten behandelt worden waren.

In Abb. 83 a-c sind die Jahrringkurven der einzelnen Tannen verzeichnet. In Abb. 84 wurden nur die Übergänge zwischen zwei verschiedenen Zuwachsepochen herausgegriffen und schematisiert. In einer anschließenden Interpretation wird versucht, die sehr unterschiedlichen Übergänge mit Hilfe von zwei Thesen zu erklären.

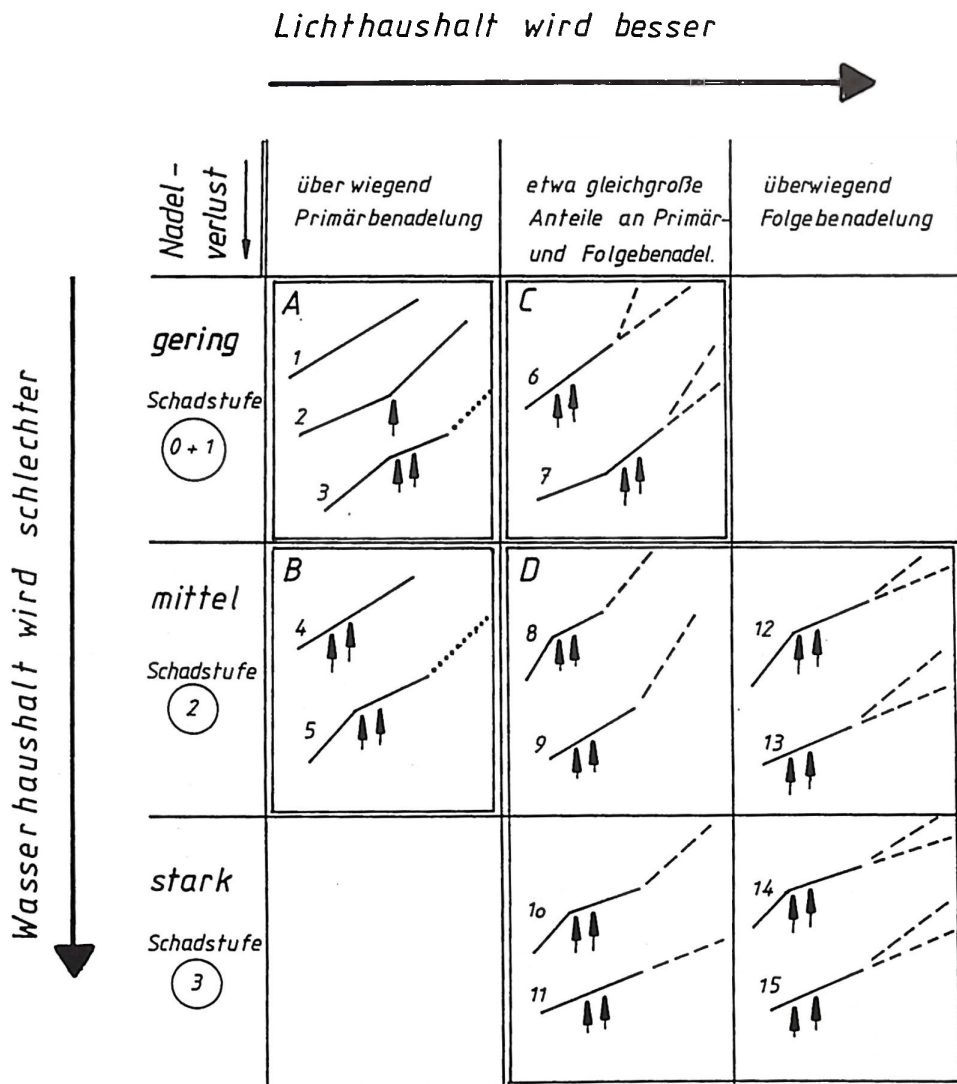


Abb. 84: In Abb. 83 wurden Phasen mit Wachstumsänderungen herausgegriffen und schematisiert.

ÜBER WIEGEND PRIMÄR BENADELUNG, wenig Folgebenaedelung

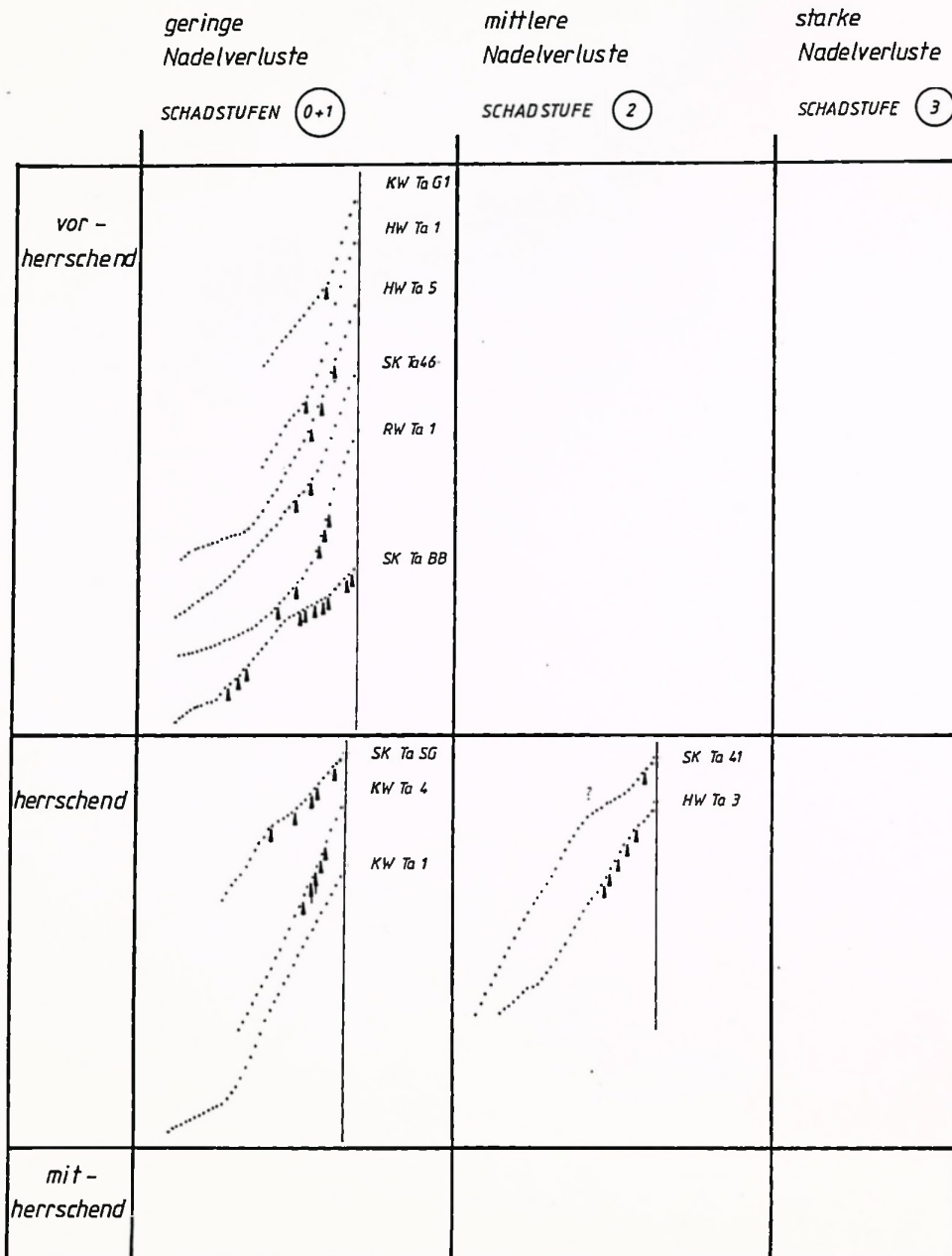


Abb. 83 a

Abb. 83 a-c: Der Entwicklungsgang der Jahrringbreiten (Stammhöhe 1,3m) in den letzten 40 Jahren (summierte Form) wird mit dem Alter der neuen Folgetriebe verglichen (schwarzen Keilen). Die Tannen sind nach ihren prozentualen Anteilen an Primär- und Folgebenaedelung und nach ihrer soziologischen Stellung im Bestand geordnet.

Etwa gleichgroße Anteile an Primär – u. Folgebenadelung

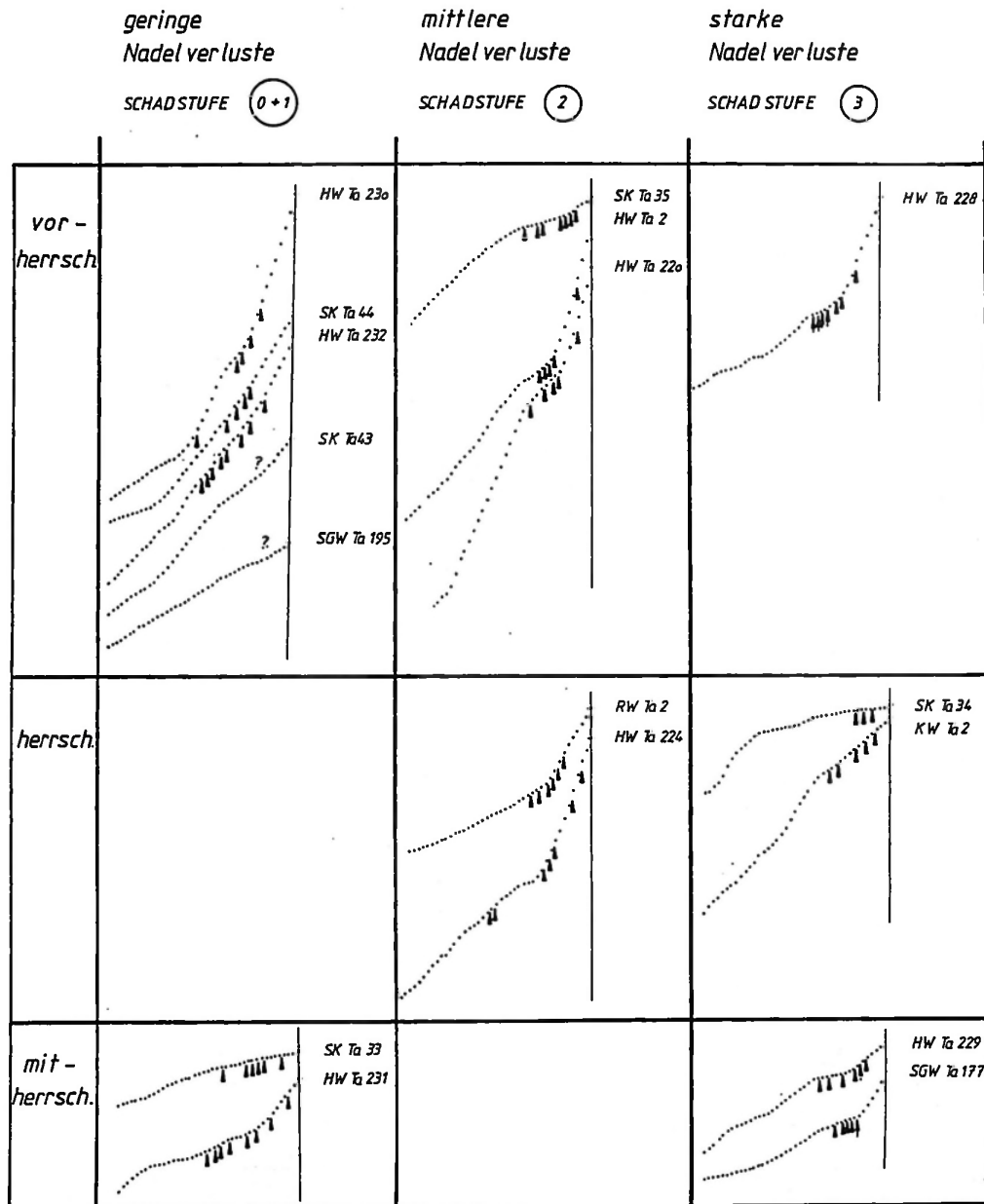


Abb. 83 b

ÜBERWIEGEND FOLGEBENADELUNG, wenig Primärbenadelung

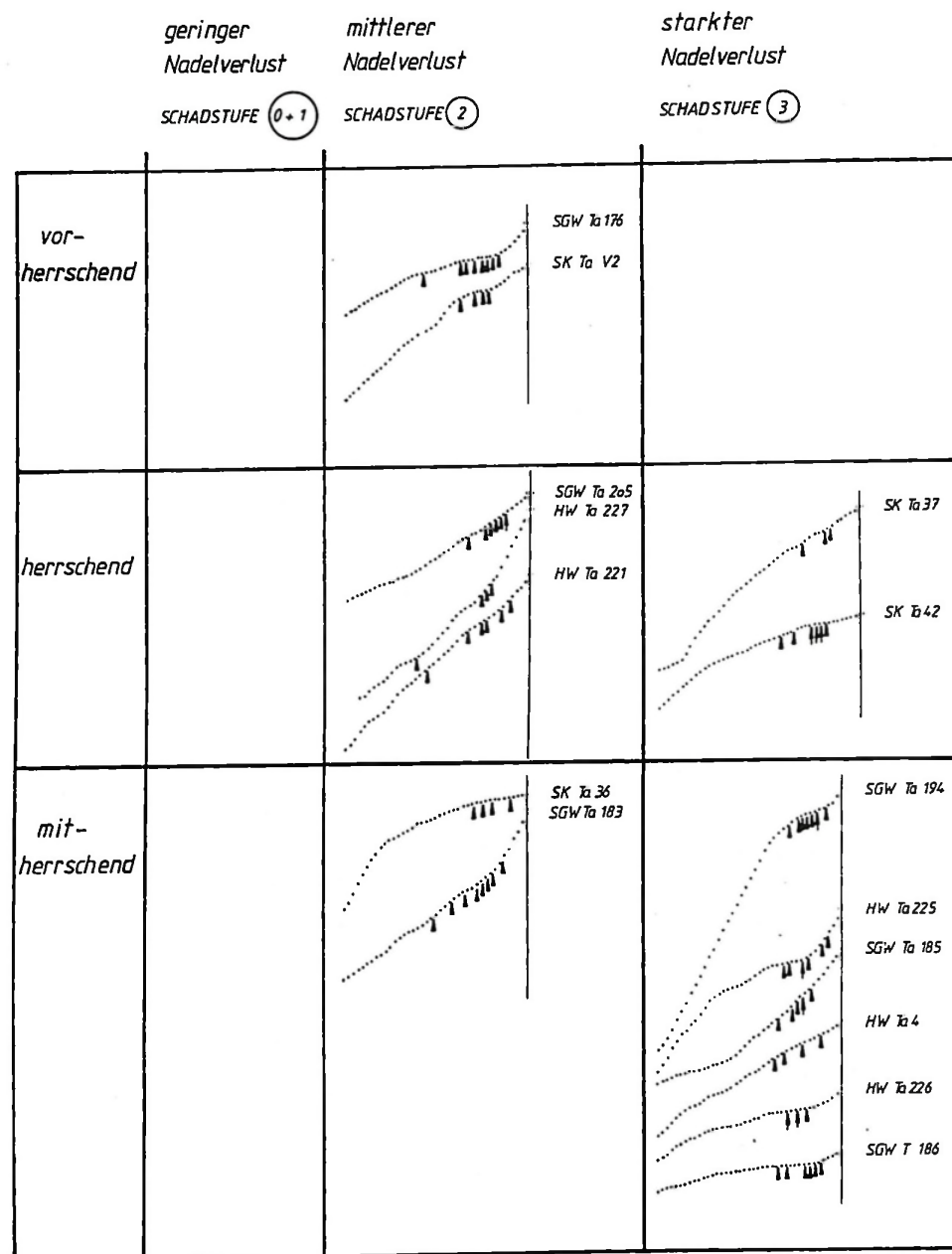


Abb. 83 c