

Interpretation zu Abb. 83 a-c bzw. Abb. 84.

Es wird von zwei Annahmen ausgegangen:

1) Das Auftreten von neuen Astreisern und neuen Klebästen wird als **Hinweis auf mehr Licht** in der unteren Kronenhälfte gewertet: Sowohl die Achsen der Schattenäste als auch der Stamm nutzen das größere Lichtangebot mit diesen neuen Trieben. Mehr Licht in der unteren Krone eröffnet die Chance für eine größere Nettophotosynthese (vgl. Kapitel IX/4).

2) Diesem veränderten Lichthaushalt steht ein veränderter Wasserhaushalt entgegen. Denn kommt mehr Licht in die untere Kronenhälfte, so wird es dort trockener durch mehr Wärme und größere Luftzirkulation. Die **Transpiration steigt**.

Beide, mehr Licht und erhöhte Transpiration wirken sich unterschiedlich auf die Nettophotosynthese der Tannenäste aus. Drei hypothetische Fälle sind denkbar: Die Nettophotosynthese wird größer oder wird kleiner oder sie bleibt gleich groß.

These I. Die Nettophotosynthese wird größer. Ein Teil der Tannenäste wird mit mehr Licht und auch längere Zeit mit Licht versorgt. Ausreichend Wasser steht zur Verfügung. Die Jahrringe sollten breiter werden.

These II. Die Nettophotosynthese wird kleiner. Obgleich mehr Licht zur Verfügung steht, hungern die Nadeln zeitweise, da Wasser fehlt. Die Stomata müssen sich verengen, da nicht genügend Wasser in der Nadel ankommt (zu kleine Leitflächen oder die Wurzel ist dem vergrößerten Wasserbedarf nicht gewachsen). Damit mangelt es an CO_2 innerhalb der Nadel, die Ausbeute an Assimilaten bleibt kleiner, der Zuwachs verringert sich. Es werden engere Jahrringe angelegt.

These III. Die Nettophotosynthese bleibt gleich. Die Fälle der These I und II halten sich die Waage: Die Nadeln liefern dem Baum so viel Assimilate wie zuvor. Die Jahrringe sind ebenso breit wie zuvor.

Verringert sich die Nettophotosynthese sehr stark, so fallen die Nadeln vorzeitig ab (vgl. auch Kapitel XII).

Der Übergang zwischen zwei Wachsepochen kann also sehr verschiedenartig sein. Diese Übergänge werden im Folgenden vier Gruppen zugeordnet.

Übergang A: Die Primärbenadelung überwiegt, die Krone hat keine oder nur geringe Nadelverluste.

Fall 1. Zunächst ein **Sonderfall**. Er stellt keinen Übergang dar. Die Zuwachsrate bleibt konstant, es treiben keine Astreiser aus. Dies ist das normale Wuchsverhalten einer jungen, gutwüchsigen Tanne, die sich in ihren Wuchsraum noch ausdehnen kann. Die Primärtriebe genügen, neue Astreiser sind nicht erforderlich (z.B. HW Ta1).

Fall 2. (These II) Die wenigen neuen Astreiser weisen auf ein vergrößertes Lichtangebot in der Krone hin, doch die zusätzliche Lichtmenge wird überwiegend von der Primärbenadelung genutzt. Da die Nadeln nicht abfallen, werden sie offensichtlich ausreichend mit Wasser versorgt. Insgesamt erzeugen die vorhandene und die neu hinzuwachsende Nadelmasse mehr Assimilate als zuvor, denn die Jahrringe werden breiter. Diesen Fall erhofft man sich von jeder Durchforstung.

Fall 3. (These II u.I) Dies ist der interessanteste Fall. Obwohl die Krone nur unwesentlich Nadeln verloren hat und nur wenig neue Astreiser (und Klebäste) ausgetrieben haben, sind die Jahrringe in 1,3m Stammhöhe **zunächst schmaler als zuvor**. Verschiedene Ursachen lassen sich vermuten.

- Der Baum verteilt seine Assimilate anders (z.B. mehr für Wurzelspitzen oder für neue Jahrestriebe).

- Störungen im Assimilattransport (z.B. durch Viren- ??).

- Die Nettophotosynthese in den Ästen verringert sich, da sich an den Ästen der unteren Krone das Kleinklima geändert hat: mehr Licht und größere Transpiration. Vielleicht reicht zunächst die bisherige Wasserversorgung der Äste nicht aus. Als Folge verringert sich die Nettophotosynthese etwas, doch die Nadeln bleiben weitgehend erhalten. Die geringere Nettophotosynthese äußert sich allein in den Jahrringen, die nicht mehr so breit sind wie zuvor.

Nach einigen Jahren verändert sich diese Situation. Die Jahrringe werden wieder breiter. Dies läßt sich als eine Anpassung verstehen: Die größte Menge der Assimilate stammt von den Primärnadeln. Die Äste haben sich an die neuen kleinklimatischen Bedingungen angepaßt (dickere Astachsen, neue Nadeln usw.).

Übergang B: Die Primärbenadelung überwiegt, die Krone hat aber mittelstarke Nadelverluste.

Kronen mit mittelstarken Nadelverlusten sind meist "durchscheinend", d.h. die inneren, beschatteten Astteile sind entnadeln, doch die Nadeln an der Astperipherie bleiben meist erhalten vorhanden. Es fehlen kahle Äste in der mittleren und oberen Krone (vgl. auch Kapitel XV/2).

Fall 4. (These III) Hierzu liegt nur ein Beispiel vor (HW Ta3). Die Astreiser weisen auf ein größeres Lichtangebot hin. Trotz erkennbarer Nadelverluste bleibt die Zuwachsrates aber unverändert, auch in den darauffolgenden Jahren.

Vermutlich begrenzt die Wurzel den Wassernachschub und damit auch eine größere Nettophotosynthese (im vorliegenden Falle steht die Wurzel in Konkurrenz mit der einer Buche). Kommen durch die jährlich neuen Primärtriebe vorne neue Nadeln hinzu, fallen die Nadeln der hinteren Astachsen sukzessiv ab (vgl. auch Kapitel XII/19).

Fall 5. (These II u. I) Der zeitweilige Zuwachsrückgang läßt sich sowohl mit einem vorzeitigen Nadelverlust als auch mit einer verringerten Nettophotosyntheseleistung der einzelnen Nadeln erklären.

Interessant ist, daß nach einigen Jahren die Jahrringe breiter sind als zuvor. Das Mehr an Assimilaten stammt dabei wohl aus der Primärbenadelung, vermutlich aus den neuen Primärtrieben an der Astperipherie.

Übergang C: Die Anteile an Primär- und Folgebenedelung sind etwa gleich groß, die Tannenkronen hat aber nur geringe Nadelverluste.

Im Vergleich zu den bisherigen Tannen hat sich die Nadelausstattung der Krone deutlich verändert. Viele Astreiser und Klebäste sind dazugekommen.

Da starke Nadelverluste noch lange Zeit einer Krone anzusehen sind, ist zu vermuten, daß bisher nur geringe Nadelverluste aufgetreten sind. Jedenfalls sind heute nur geringe Nadelverluste vorhanden.

Fall 6. (These III u. I). Der Holzzuwachs bleibt unverändert, die Nadelverluste sind gering, doch zusätzlich gibt es viele neue Astreiser und Klebäste (HW Ta 232, SK Ta 33). Anscheinend blieb die Nettophotosyntheseleistung der Äste gleich groß, so daß die geringen Nadelverluste durch die neuen Triebe kompensiert wurden.

Nach einigen Jahren wächst die Tanne besser. Dies läßt sich damit erklären, daß die Tanne erst nach dieser Zeitspanne ihre Strukturen und ihren Stoffwechsel dem größeren Lichtangebot angepaßt hat. Die größere Assimilatmenge dazu stammt vermutlich aus den neuen, angepaßten Primärtrieben und aus den neuen Astreisern und Klebästen.

Fall 7. (These I). Dies ist der zweite interessante Fall. Die Jahrringe werden in zwei Schüben breiter. Die breiteren Jahrringe des ersten Schubs könnten sowohl von den Assimilaten der älteren Astreiser wie auch der Primärbenadelungen stammen (ähnlich Fall 2).

Die noch breiteren Jahrringe, die in dem zweiten Schub erst nach einigen Jahren auftreten, lassen sich **wie in Fall 6** mit einer Anpassungszeit erklären. (Ähnlich sind auch die Fälle 9,13, 15).

Übergang D: In der Krone hat sich ein deutlicher Wechsel von Primär- zu Folgebenedelung vollzogen.

Mit dieser Umstrukturierung ist auch immer ein erheblicher Nadelfall verbunden (Kapitel X/1 u.2). Zwar läßt sich der genaue Zeitpunkt des Nadelfalls nicht mehr rekonstruieren. Doch extrapoliert man die bekannten Fälle (beschrieben im Kapitel über Astsymptomatologie), kann man vermuten, daß die Nadeln in den ersten Jahren der neuen Wuchsepoche abfielen.

Fall 8, 10, 12, 14. (These II). Mit dem Auftreten von neuen Astreisern und neuen Klebästen werden die Jahrringbreiten schmäler als zuvor. Dies läßt sich wie im Fall 3 mit einer verringerten Nettophotosynthese erklären, wobei die neuen Astreiser und Klebäste zunächst den Zuwachsrückgang nicht kompensieren können.

Fall 9, 11, 13, 15. (These III). Der Holzzuwachs ist unverändert trotz deutlicher Nadelverluste und neuer Astreiser. Vermutlich kompensieren die neuen Astreiser und Klebäste die Nadelverluste, ähnlich **wie in Fall 6**.

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.

1) Spezifische Symptome der Walderkrankung. In den letzten 8 Kapiteln wurden verschiedene Aspekte zur Biologie der Tanne deutlich. Neben der Walderkrankung können auch Lichtmangel in der Krone und Wassermangel in der Wurzel das Wachstum und die Gestalt einer Tanne enorm beeinträchtigen. Recht unerwartet war, wie tiefgreifend waldbauliche Pflegemaßnahmen (Durchforstungen) in die Struktur einer Tanne eingreifen. Doch das eigentliche Ziel all dieser Kapitel war eine Antwort auf die Frage: **Welche spezifischen Merkmale und Parameter kennzeichnen eine walderkrankte Tanne?** Und die Antwort dazu lautete: Speziell zu den spezifischen Symptomen der Walderkrankung ließ sich in den letzten 9 Kapiteln nicht viel Neues "herausdestillieren". Im Gegenteil, manche Symptome wurden fragwürdig. **Das Einzige, was wir zweifelsfrei als "Walderkrankung" bezeichnen können, ist der "vorzeitige Nadelverlust".** Vorzeitig heißt: Trotz genügend Licht wirft ein Ast seine Nadeln ab.

Die **Wuchsstockungen des Stamms** können hier zunächst nicht als ein **vollständiges und allgemeingültiges** Symptom der Walderkrankung herangezogen werden. Zu viel ist dabei noch ungeklärt oder sogar widersprüchlich. Zwar kennzeichnet der plötzliche und starke Rückgang des Wachstums eine stark geschädigte, walderkrankte Tanne (vgl. Kapitel II). Doch mit den "Phasen mit schmalen Jahrringen" wurden nur die Extremfälle, starke Schäden herausgegriffen. Schwierig ist es, eine Grenze hin zu den weniger gravierenden Wuchsstockungen zu ziehen: Was kann noch als regulär angesehen werden, was ist schon pathologisch?

Ungeklärt blieb bislang auch der Fall der Tanne 2, Standort Rauwäldle (Kapitel III/16): Als die Krone abzuflachen begann und vorzeitiger Nadelverlust auftrat, wurden zum selben Zeitpunkt die Jahrringe im Stamm deutlich breiter, breiter als jemals zuvor.

Zu den Minimalwerten des Wachstums sollte noch etwas ergänzt werden. Durch Lichtmangel beeinträchtigt, weisen unterständige Tannen, die regulär benadelt sind z.T. **noch geringere Wachstumsraten** auf als so manche stark geschädigte, walderkrankte Tanne. Bemerkenswert dabei ist, daß in den Bauernwäldern des Schwarzwalds gerade solche unterständigen Tannen über Jahrhunderte hinweg die Ausgangsbasis für jene starken Altannen bildeten, deren Stämme später geflößt wurden. Dies läßt sich heute noch z.T. in den Balken von alten Fachwerkhäusern feststellen. In diesen Hölzern sind die Jahrringe in den ersten Jahrzehnten sehr eng, ein Hinweis darauf, daß solche Tannen zunächst unter Lichtmangel aufwuchsen (sog. "Schattkern").

2) Details zum vorzeitigen Nadelverlust.

a) **Wie erkennt man vorzeitigen Nadelverlust an einem Tannenast?** Ein solcher Ast wird in seiner **natürlichen Position** weder durch die eigene Krone noch durch den Schatten der umgebenden Bäume wesentlich beeinträchtigt. Und trotz genügend Licht ist die Benadelung an einem solchen Ast nicht mehr vollständig. Von diesen Nadelverlusten sind überwiegend die Primärtriebe betroffen. Dabei ist nicht entscheidend, ob ein Tannenast nur 7 oder 8 oder gar 12 oder 16 Nadeljahrgänge hat. Bei der Walderkrankung macht sich ein vorzeitiger Nadelverlust schon am 3., 4. oder 5. Nadeljahrgang bemerkbar. Mehr dazu in Kapitel XII.

b) **Warum ist ein vorzeitiger Nadelverlust als pathologisch anzusehen?** In dem gemäßigten Klima Mitteleuropas sind die meisten Pflanzen das ganze Jahr über ausreichend mit Wasser versorgt. Zum begrenzenden Ökofaktor wird dagegen sehr rasch das Licht. Daran haben sich viele heimische Pflanzen sowohl morphologisch als auch physiologisch gut angepaßt, z.B. mit Sonnen- und Schattenblättern, verschieden schlanken Astachsen (Studium des l/d-Wertes), usw.

Ein Nadelverlust - trotz genügend Licht - ist daher bei einer Schattbaumart wie der Tanne sehr ungewöhnlich, abnorm. Denn warum sollte ein wüchsiger Tannenast plötzlich einen Teil seiner Nadeln abwerfen, wenn dieselbe Holzart an anderer Stelle jahrelang mit ihren Schattennadeln auch noch die geringsten Lichtenergien ausnutzt?

c) **Verfärbungen der Nadeln und Nadelfall.** Der Nadelfall ist ein **aktiver Vorgang**, der von der Tanne selbst gesteuert wird. Dazu einige Beispiele:

- Bricht ein Tannenast ab oder wird die Rinde eines Astes durch Fegeschäden verletzt, so vertrocknen seine Nadeln. Erfolgt dies rasch, z.B. im Sommer, so werden die Nadeln nur grau-grün. Ansonsten verfärben sich solche Nadeln einheitlich braun, fallen aber nicht oder aber erst sehr spät ab (Beobachtungen, Standort Kleemisse, Klosterreichenbach).

- Im Gegensatz dazu stehen das reguläre Abnadeln und der vorzeitige Nadelverlust an walderkrankten Ästen. In beiden Fällen vertrocknen die Nadeln nicht, sondern fallen im frischen Zustand ab. Sie können dabei noch grün oder aber gelb oder gelbbraun verfärbt sein. Mehr dazu in Kapitel XII/19.

- Daß die Nadeln beim Abfallen noch turgeszent sind, ist ein wichtiges Argument **gegen** eine Schädigung der Spaltöffnungen (Stomata). Wenn sich nämlich die Stomata nicht mehr schließen, so müßten die Nadeln der Theorie nach vertrocknet abfallen, z.B. bei starken SO_2 -Schäden (HÄRTEL, 1976).

Die beschriebenen Vorgänge passen daher eher zu jener Vermutung, die bereits in Kapitel X/3 als Erklärung herangezogen wurde: Walderkrankte Nadeln sind anscheinend weniger produktiv. Es ist denkbar, daß als Folge einer verringerten Nettophotosynthese ähnliche biochemische Prozesse eingeleitet werden, wie sie auch dem regulären Nadelfall durch Lichtmangel oder Altern zu Grunde liegen (Kapitel XII/16 ff).

- **Pilzinfektionen** können hinzukommen, sowohl beim regulären als auch beim vorzeitigen Abnadeln. Doch sie sind in der Regel nicht die Hauptursache. Das Aussehen der betroffenen Nadeln, das Ausmaß und der Verlauf des Nadelfalls sprechen dagegen (vgl. SCHWERDTFEGER, 1981; BUTIN, 1983; HARTMANN et al., 1988).

Weiterhin schloß EICHORN (1985) tierische Parasiten als Ursache für die neuartigen Tannenschäden aus (vgl. auch REISCH, 1974; BRAUN, 1976).

d) Astgrößen. Die längsten Quirläste mit Primärbenadelung werden als erste und am stärksten von vorzeitigen Nadelverlusten betroffen (vgl. Kapitel IX/9,10,12). Dabei begrenzt die Astlänge sicher nicht die Lebensvorgänge. Ein Primärtrieb kann anscheinend sehr lang werden. In Todtmoos/Südschwarzwald fand der Autor einen Tannenast mit Primärbenadelung, der länger als 7m wurde.

e) Schlüsselbeispiel Tanne SG (Baiersbronn, Standort Stöckerkopf).

- **Plötzlicher Nadelverlust.** Diese Tanne war jahrelang als "gesunder" Vergleichsbaum angesehen worden. Doch innerhalb weniger Monate verlor sie vorzeitig einen Teil ihrer Nadeln. Das Schadbild "zonierter Nadelverlust" am Ast verwies eindeutig auf die Walderkrankung (vgl. Kapitel XII). In der Beurteilung rutschte die Krone innerhalb kurzer Zeit von Schadstufe 0 in Schadstufe II (1989/90).

- **Wuchsstockungen am Ast.** Der Stamm dieser Tanne war zwar in den letzten Jahren etwas weniger gewachsen, doch die Krone war immer noch spitz, die Jahrringe vergleichsweise breit. Im Gegensatz zum Stamm hatten die walderkrankten Äste in den letzten Jahren deutliche Wuchsstockungen. Damit läßt sich der vorzeitige Nadelverlust mit einem anderen wichtigen Merkmal in Verbindung bringen, nämlich den Wuchsstockungen am Ast.

f) Aus dem Dargestellten ergeben sich neue Zielsetzungen. In den weiteren morphologischen Untersuchungen über Tannenäste orientieren wir uns nämlich sowohl an vorzeitigen Nadelverlusten als auch an plötzlichen Wuchsstockungen am Ast.

In Kapitel XI wird untersucht, ob sich das Wachstum einer walderkrankten Tanne gleichzeitig und überall am Stamm und an den Ästen verringert, oder ob einige Baumteile davon verschont bleiben. Im Kapitel XII werden die einzelnen Tannenäste genauer analysiert.

XI/2. Der zeitlich-räumliche Wechsel von Primär- zu Folgebenedelung.

In den Kapiteln VIII, IX und X waren vier Wechselwirkungen deutlich geworden und zwar zwischen (1) verändertem Höhenwachstum, (2) verändertem Dickenwachstum (größer oder kleiner), (3) neuen Folgetrieben (Astreiser und Klebäste) und (4) vorzeitigem Nadelfall. Wie vollzieht sich nun der Benadelungswechsel zeitlich und räumlich? Oder konkreter: Wie alt sind jene Quirläste, deren Nadeln vorzeitig abfallen und welches Alter haben im Vergleich dazu die neu ausgetriebenen Astreiser?

In den **Abb. 85** wird nach zwei Kriterien gefragt, nämlich einerseits nach zeitlicher Abfolge der Schädigung und Regeneration und andererseits nach deren räumlicher Verteilung.

Zur zeitlichen Abfolge der Schädigung und der Regeneration. Auf der Abszisse der Teilabbildungen ist das Alter der jeweiligen Äste aufgetragen. Die erste Zeile zeigt die Qualität der Primärbenadelung: (●) regulär benadelt; (△) mit vorzeitigem Nadelverlusten; (Z) "zonierte Nadelverluste", also die ersten pathologischen Anzeichen. In

den Spalten darüber ist halbquantitativ die Anzahl jener Astreiser und Klebäste verzeichnet, die gleich alt sind wie der jeweilige Quirlast. Die Astreiser und Klebäste waren fast immer regulär benadelt.

Zur räumlichen Verteilung der Schädigung und der Regeneration. Gesucht ist der Nachweis, warum in einer walderkrankten Krone kahle oder stark geschädigte Äste entstehen. Dabei sind zwei gleichgerichtete Prozesse zu beachten: Nadelverluste und Astreiser; beide breiten sich in einer Krone von unten nach oben aus. Die Frage ist nun, was breitet sich schneller aus? Hierzu vergleicht man die erste Zeile, in der die Qualität der Primärbenadelung verzeichnet ist und sucht dann jenen obersten, jüngsten Quirlast, der die ersten Astreiser trägt (rechteckiger Kasten: "1.Astreiser").

Befund (Abb.85 a-b auf Seite 172 und 173):

1. Der zeitliche Vergleich: ein epochenartiger Benadelungswechsel. Schaut man sich das Alter jener Quirläste an, die an der Grenze zwischen dem regulär benadelten und dem walderkrankten Kronenbereich sind, so läßt sich diesem Astalter ein vermehrtes Austreiben von Astreisern und Klebästen zuordnen, z.B. bei Ta 1,3,4,7,33.

Erklärung: Ab einem bestimmten Zeitpunkt paßt sich die Krone physiologisch an neue Lebensbedingungen an. Nicht nur die neuen Folgetriebe, sondern auch die neu gebildeten Quirläste haben bessere Überlebenschancen. Demgegenüber sind die älteren Äste anfälliger und verlieren eher vorzeitig ihre Nadeln.

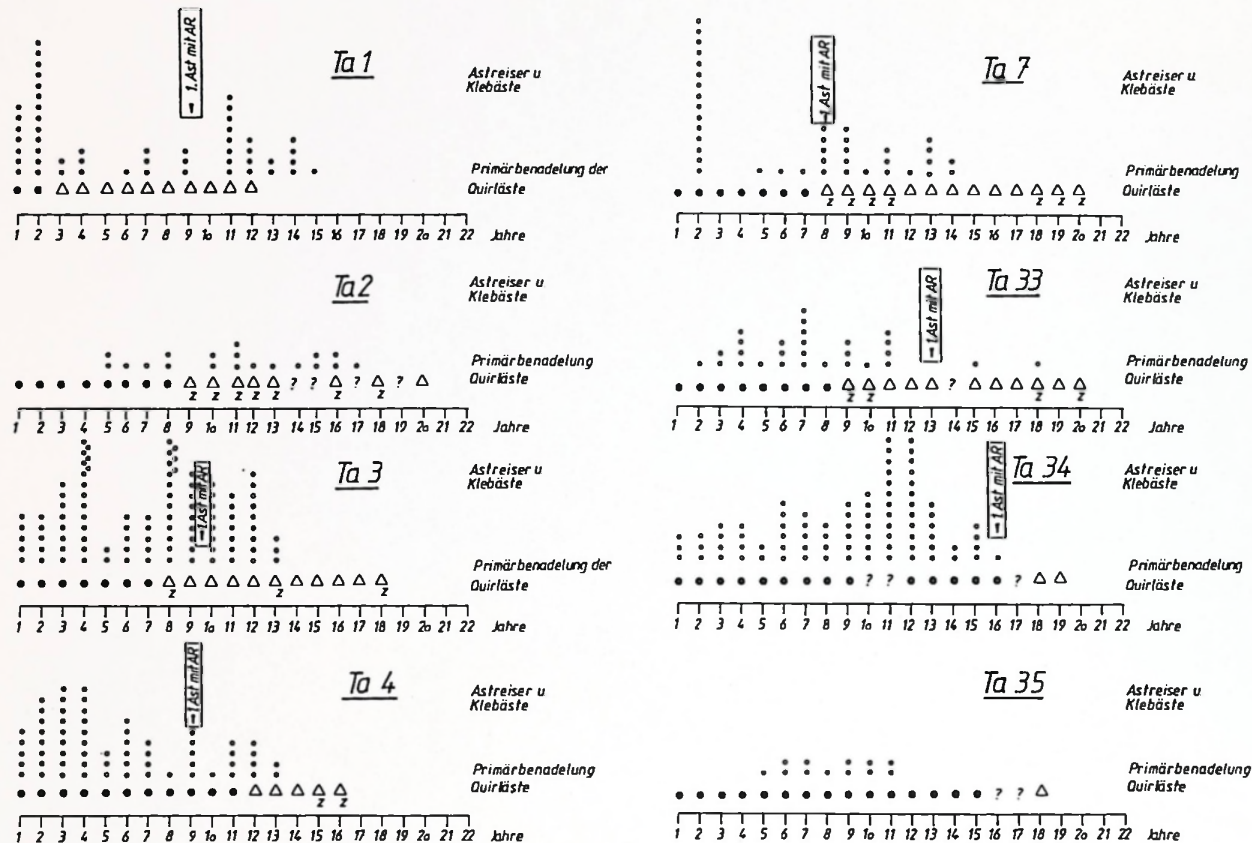
Doch bei denselben Tannen gibt es zu anderen Zeitpunkten weitere Häufungen von Astreisern und Klebästen. Dies läßt sich mit weiteren Anpassungen erklären, denen aber nicht immer zwangsläufig ein vorzeitiger Nadelverlust folgen muß.

2. Bezieht man zusätzlich die Ergebnisse von Kapitel IX/4 (Baumstümpfe und Astreiser) ein, so ist eine praktische Schlußfolgerung möglich: Nicht jede Veränderung in der Bestandesstruktur zieht zwangsläufig auch einen Nadelverlust nach sich. Dies entspricht auch sonstigen Beobachtungen des Autors.

3. Zur räumlichen Verteilung von Primär- und Folgebenadelung. Auf andere Weise zeigt sich hier bereits Bekanntes. Walderkrankt sind nur die benadelten Primärtriebe an den Quirlästen in der unteren Krone.

In Kapitel X/3 wurde bereits vermutet, und dies wird hier auch deutlich, daß die kahlen oder stark geschädigten Äste einer erkrankten Tannenkrone dadurch entstehen, daß die Nadeln schneller abfallen als neue Astreiser entstehen, oder daß die abnadelnden Äste zu jung sind, als daß an ihnen Astreiser entstehen könnten (vgl. Kapitel IX/2).

Ergänzung: Auf andere Weise läßt sich jener waldbauliche Ratschlag verstehen, der u.a. auch von DANNECKER, 1956, geäußert wurde: Möchte man einer Tanne mehr Wuchsraum geben, so sollte man sie langsam daran gewöhnen und dies mit mehreren, kleineren Durchforstungen machen. In Bezug auf die Kronenstruktur heißt das: Die Tannenäste können sich dadurch in mehreren Schüben an ein neues Kleinklima anpassen. Damit wird nicht nur die obere Krone mit mehr neuen, physiologisch angepassten Primärnadeln ausgestattet, sondern auch die untere Krone wird mit neuen Astreisern stabilisiert.



• voll benadelte Quirläste
△ Quirläste mit Nadelverlust

◦ Alter und Menge an
Astreiser u. Klebästen
(halbquantitativ erfasst)

Abb. 85 a: Die Umstrukturierung der Tannenkronen von Primärbenadelung zu mehr Folgebenadelung in zeitlicher und räumlicher Darstellung am Beispiel der gefällten Tannen aus Besenfeld (vgl. Text).

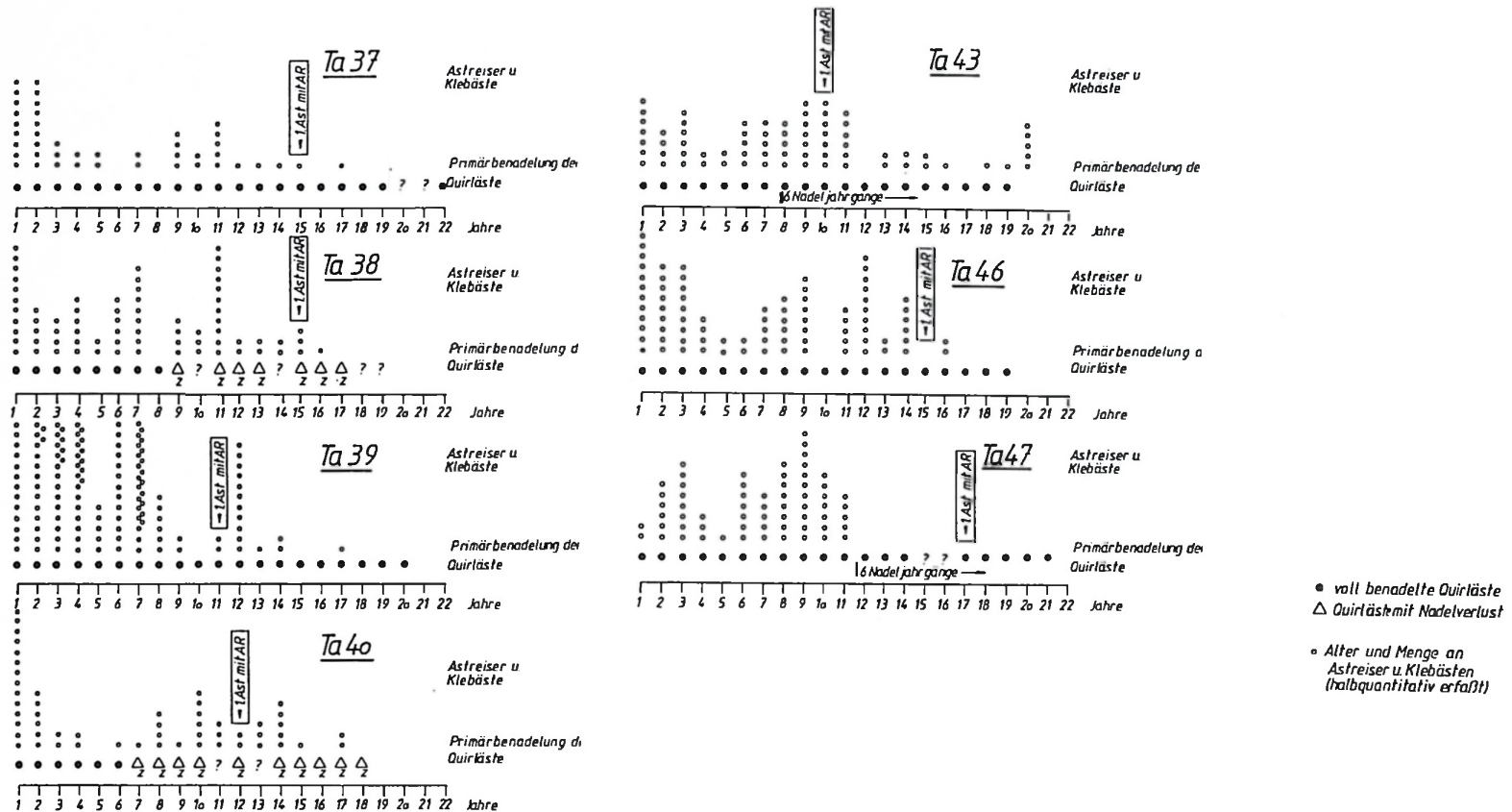


Abb. 85 b: Die Umstrukturierung der Tannenkronen von Primärbenadelung zu mehr Folgebenedelung in zeitlicher und räumlicher Darstellung am Beispiel der gefälltten Tannen aus Besenfeld (vgl. Text).

XI/3. Zur Struktur der Tannenkronen. Die Länge der Jahrestriebe und ihre Benadelung.

Die walderkrankten Kronenteile werden hier weiter eingegrenzt. Es geht um die Frage: An welchen Astachsen werden die Jahrestriebe plötzlich kürzer und an welchen Astachsen treten vorzeitige Nadelverluste auf?

Zu den Abb. 86 a-o: Senkrecht ist die Stammachse; die Jahresmarken zeigen die Lage der Quirle (jährlichen Höhentriebe). Waagrecht die Astachsen der Quirläste (1. Ordnung) mit den Längen der Jahrestriebe. Pro Quirl ist immer nur ein Quirlast dargestellt. Der Stamm-Ast-Winkel wurde vereinfacht mit 90 Grad gezeichnet. Oberhalb der Jahrestriebe der Äste sind Menge und Alter der Astreiser aufgeführt. Zusätzlich ist auf den Astachsen **die Benadelung** eingezeichnet. Ihre Qualität bezieht sich immer auf die gesamte Fläche des Astes. **Vollständig benadelte Jahrgänge:** dicke schwarze Balken; nur eine doppelte Linie ohne schwarzen Balken: Nadeln an diesem Jahrgang sind **nur teilweise abgefallen**. Bei Abschnitten ohne zusätzliche Linie sind **bereits alle Nadeln abgefallen**. Das Zeichen (⌒) weist auf einige isoliert übrig gebliebene Restnadeln hin, "zonierte Nadelverluste", ein spezifisches Merkmal für die Walderkrankung (vgl. Kapitel XII/6, 7, 15ff).

Kurz zum Entwicklungsgang dieser Bäume aus Besenfeld:

Tanne 39 wuchs gut in die Höhe und ist "gesund". Ihre Äste zeigen keine vorzeitigen Nadelverluste.

Tanne 4 wuchs ebenfalls gut in die Höhe, ist aber geringfügig walderkrankt. Einige Äste zeigen die ersten Anzeichen eines vorzeitigen Nadelverlustes.

Tanne 1 wuchs zwar früher gut in die Höhe, doch flachte ihre obere Krone in den letzten Jahren ab ("Storchennest"). Durch die Walderkrankung sind die Nadeln weitgehend abgefallen ("starke Schäden").

Tanne 3 wurde durch gleichaltrige Tannen seitlich begrenzt. Unter diesem langwährenden Konkurrenzdruck wurde Tanne 3 **mitherrschend** mit kurzer Krone und schlankem Stamm. Darüber hinaus hat ihre Krone vorzeitige Nadelverluste. Tanne 3 ist auch **walderkrankt**. An diesen vier Tannen werden im Folgenden einige auffällige Ergebnisse demonstriert. Im Anhang sind auf Faltblättern weitere Beispiele aufgeführt.

Befund (Abb. 86 a-o auf Seite 177 bis 180 und im Anhang):

1. Verschiedene Astentwicklungen. Selbst bei diesen vereinfachten Darstellungen ist erkennbar: Die Jahrestriebe an einer Astachse sind zwar nicht immer gleich lang, doch die Unterschiede in den Triebblängen sind meist nicht sehr auffällig. An diesen Astachsen werden verschiedene Entwicklungen deutlich:

a) Die Jahrestriebe sind **nur für wenige Jahre kürzer** und werden anschließend wieder etwas länger. Z.B. bei Tanne 4 ist der Jahrestrieb 1979 kürzer an den Ästen der Quirle 1974, 1976, 1977.

b) Die Jahrestriebe an den Astachsen werden fast **unmerklich Jahr für Jahr etwas kürzer**. Z.B. bei Tanne 39 an den Ästen der Quirle 1972, 1974, 1975.

Da diese Äste regulär benadelt sind, ist anzunehmen, daß dieses allmähliche Kürzerwerden auf eine zunehmende Beschattung der Astfläche zurückzuführen ist: weniger

Energie, weniger Assimilate, weniger Wachstum, d.h. dies ist ein ganz natürlicher Vorgang.

c) Die Asttriebe werden von einem Jahr aufs andere **plötzlich kürzer und anschließend nicht wieder länger.**

z.B. bei Tanne 4.	Quirlast 1973	ab Jahrgang 1981, 1986
	Quirlast 1975	ab Jahrgang 1986
bei Tanne 1	Quirläste 1970, 1971, 1972	ab Jahrg. 1981
	Quirlast 1973	ab Jahrg. 1983
bei Tanne 3	Quirläste 1965-1972	
bei Tanne 39	Quirlast 1971, 1973	ab Jahrg. 1985.

2. Wuchsstockungen und vorzeitige Nadelverluste. Nur einige Teilaspekte werden hervorgehoben.

a) Werden die Jahrestriebe an den Astachsen plötzlich kürzer, so kann dies an vorzeitige Nadelverluste gekoppelt sein, z.B.:

Tanne 4	Quirlast 1975 und 1976
Tanne 1	Quirlast 1976 bis 1979

b) Daß mit diesen Wuchsstockungen am Ast nicht immer zwangsläufig auch ein vorzeitiger Nadelverlust verbunden ist, zeigt Tanne 39 mit Quirlast 1971 und 1973.

c) Schwierig wird es bei Tanne 3. Ihre Asttriebe sind durch Konkurrenzdruck bzw. Lichtmangel insgesamt schon etwas kürzer.

Trotz vorzeitigem Nadelverlust ist an diesen Astachsen (1.Ordn.) keine deutliche Verkürzung erkennbar. In Kapitel XII werden daher weitere Merkmale für Wuchsstockungen herangezogen. Dort wird das Thema Wuchsstockungen und vorzeitiger Nadelverlust noch einmal aufgegriffen und differenzierter bearbeitet.

3. Zur Dauer des Absterbens walderkrankter Tannenäste. Um im Gelände einen walderkrankten Ast besser beurteilen zu können, interessiert nun: Nach wieviel Jahren stirbt ein Tannenast frühestens ab, wenn seine Jahrestriebe plötzlich verkürzt sind?

Dazu ein Vorgriff auf Kapitel XII. Dort wird die Astsymptomatologie genauer beschrieben. Es bestätigt sich dabei das Einzelbeispiel von Kapitel XI/1: Wenn ein Ast vorzeitig seine Nadeln verliert, so wuchs dieser Ast zuvor schon schlechter, erkennbar an den Verzweigungen und an der Länge der Jahrestriebe (1., 2., 3. Ordnung). Ein walderkrankter Ast kann dabei mehrere Wuchsstockungen aufweisen.

Da wir bei den vorliegenden Abbildungen 86 a- xxx von einem Ast nur die Astachse beurteilen können, vereinfachen wir hier die Auswertung und gehen von folgender **Hypothese** aus: Ein abgestorbener Tannenast wird dann als walderkrankt angesehen, wenn seine Jahrestriebe an den Astachsen plötzlich kürzer wurden und bis zum Schluß so verkürzt blieben. In der Zeichnung wird abgezählt, wieviel Jahre ein abgestorbener Tannenast seit der letzten Wuchsstockung noch wuchs. Eigene Beobachtungen zeigen, daß walderkrankte "Kümmeräste" im letzten Wuchsjahr meist auch absterben. (Im Gegensatz dazu wachsen Schattenäste bei extremen Lichtmangel nicht mehr in die Länge, bleiben aber noch mehrere Jahre vollständig benadelt; Beobachtungen am Standort Königswart, Klosterreichenbach).

a) Datierung des Absterbens in Bezug auf Wuchsstockungen.

Tanne 1.	Quirlast 1970 bis 1976:	3-4 Jahre
Tanne 2.	Quirlast 1969, 1971, 1973:	4-5 Jahre.
Tanne 3.	Quirlast 1965, 1967, 1969:	3-4 Jahre.
	Quirlast 1968, 1971:	5-6 Jahre.
Tanne 7.	Quirlast 1970	6 Jahre.
Tanne 33.	Quirlast 1968, 1969	4 Jahre.
Tanne 40.	Quirlast 1972, 1973	4 Jahre.
Tanne 42.	Quirlast 1970	4 Jahre.
Tanne 47.	Quirlast 1967, 1968, 1969	4 Jahre.

Zusammenfassend können wir sagen, daß walderkrankte Tannenäste nach einer deutlichen Wuchsstockung an der Astachse im schlechtesten Falle noch mindesten 3-6 Jahre leben.

b) Datierung des Absterbens in Bezug auf "isolierte Restnadeln". Auch die isoliert übrigbleibenden Restnadeln markieren präzise eine allgemeine Stockung am Ast. Nochmals werden die Äste dahingehend überprüft, nach wieviel Jahren nach dieser Stockung ein Ast absterben kann.

Tanne 2.	Quirlast 1971	5 Jahre
Tanne 7.	Quirlast 1970	6 Jahre
Tanne 33.	Quirlast 1968, 1969	5 Jahre
Tanne 38.	Quirlast 1966	4 Jahre
Tanne 40.	Quirlast 1970	3 Jahre
	Quirlast 1971	4 Jahre
	Quirlast 1973	5 Jahre
Tanne 42.	Quirlast 1969	8 Jahre
	Quirlast 1970	6 Jahre
	Quirlast 1972	3 (7) Jahre
Tanne 47.	Quirlast 1968	12 Jahre

Da diese isoliert übrigbleibenden Restnadeln ein spezifisches Merkmal für die Walderkrankung darstellen (vgl. Kapitel XII u. XIII), kann man davon ausgehen, **daß im schlechtesten Falle ein walderkrankter Ast mit "zonierten Nadelverlusten" noch etwa 4-6 Jahre überlebt, daß allerdings auch 12 Jahre möglich sind.**

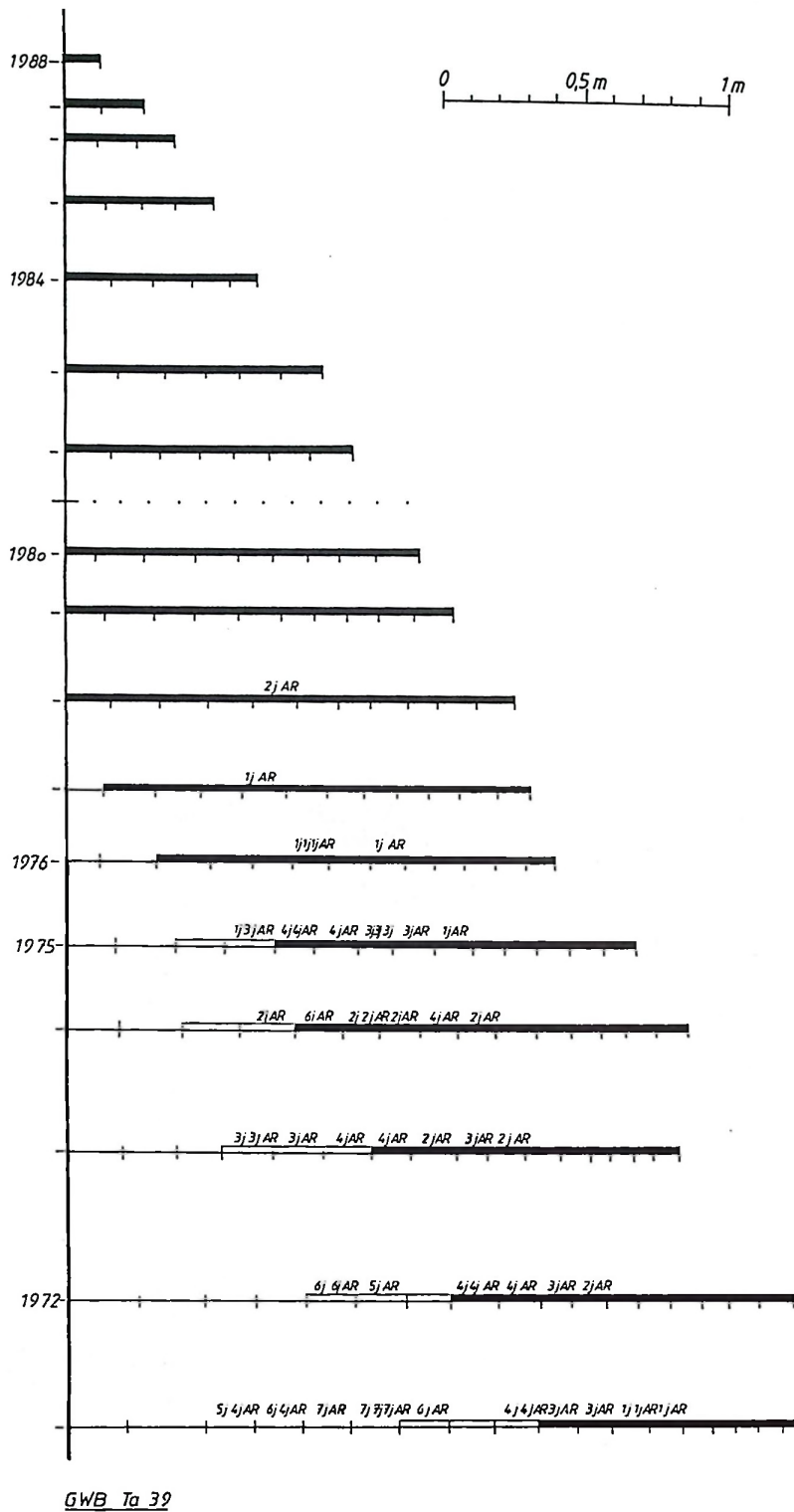


Abb. 86 a: Die Struktur der Tannenkronen in jährlichen Wachstumsschritten des Stamms und der Astachsen und die jeweilige Benadelung (vgl. Text). Besenfeld Tanne 39.

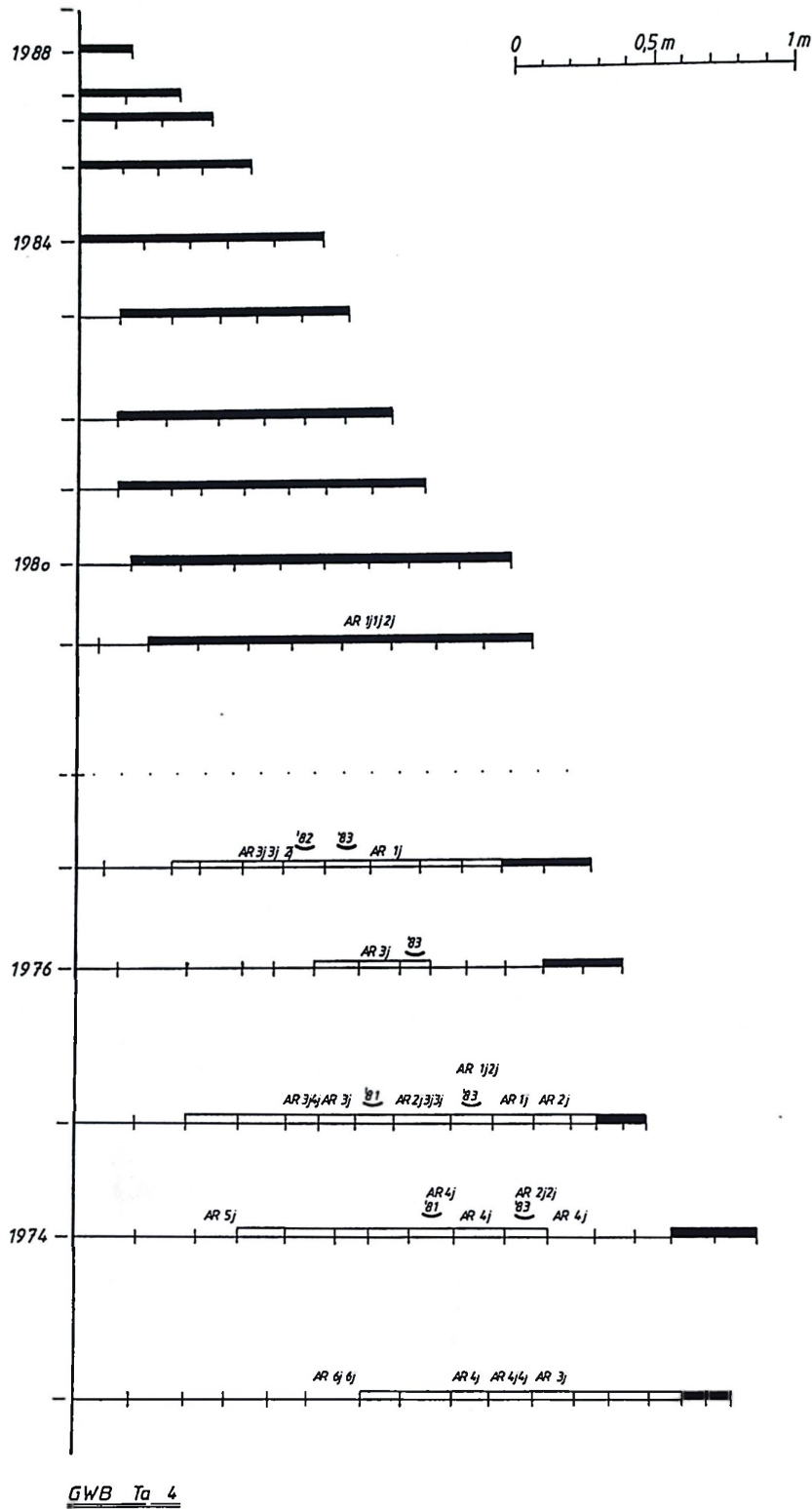


Abb. 86 b: Die Struktur der Tannenkronen in jährlichen Wachstumsschritten des Stamms und der Astachsen und die jeweilige Benadelung (vgl. Text). Besenfeld Tanne 4.

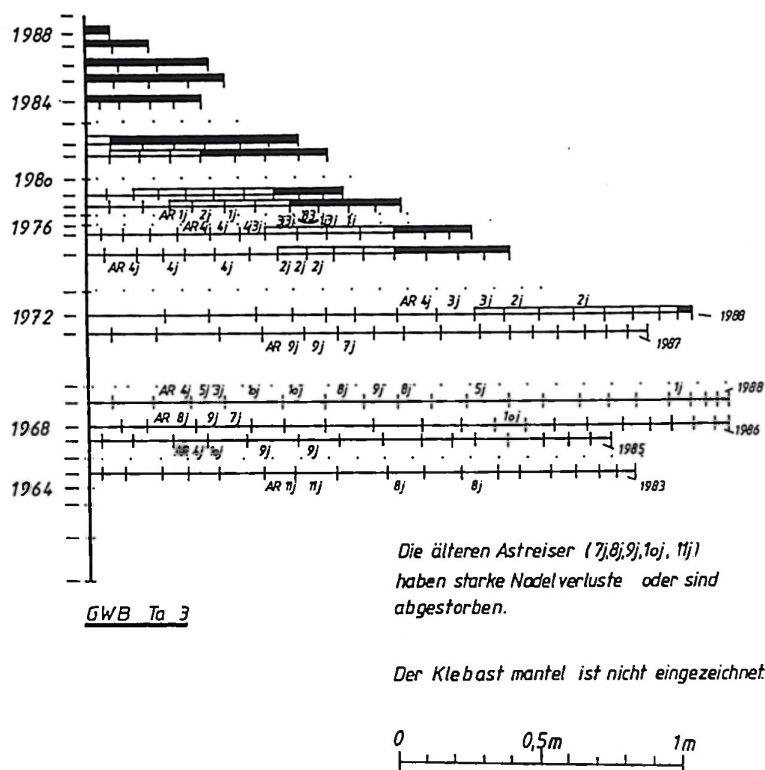


Abb. 86 d: Die Struktur der Tannenkronen in jährlichen Wachstumsschritten des Stamms und der Astachsen und die jeweilige Benadelung (vgl. Text). Besenfeld Tanne 3.

XI/4. Zur Struktur der Tannenkronen. Von der Gleichzeitigkeit der Wachstumsänderungen.

Die Frage ist: **Ändert sich das Wachstum von Stamm und Ast immer ab dem selben Zeitpunkt?** Besonders mehrjährige Verkürzungen sind für die Symptomatologie der Walderkrankung interessant.

Befund (Abb. 87 a-o auf Seite 182 bis 185 und im Anhang):

1. Das Wachstum ändert sich am Stamm und an den betroffenen Ästen immer etwa im selben Jahr. Die Quirläste der unteren Krone werden von den Wuchsminderungen stärker erfaßt als weiter oben. Die verschiedenen Entwicklungsverläufe an den Astachsen wurden schon in Kapitel XI/3 deutlich.

2. Erholung von einer Wuchsstockung. Interessant ist unter dieser Fragestellung nun der Vergleich von Stamm und Ästen. Das Höhenwachstum erholt sich häufig innerhalb von wenigen Jahren. Doch die neuen Jahrestriebe der unteren Quirläste bleiben meist kurz und werden zu Kümmerästen.

3. Veränderung der äußeren Kronenform (Silhouette). Da im vorliegenden Falle mit dünnen Linien die Enden der Jahrestriebe miteinander verbunden wurden, läßt sich nachvollziehen, wie sich die äußere Form einer Krone Jahr um Jahr verändert hat. Die Kronenform stimmt dabei nicht ganz genau, da der Stamm-Ast-Winkel einheitlich immer mit 90 Grad gezeichnet wurde. Auch standen die dargestellten Äste am Baum nicht alle genau übereinander.

Am Beispiel von Tanne 1 wird deutlich, wie innerhalb weniger Jahre eine spitze Kronenform in eine abgeflachte Form übergeht. Dabei wird das Höhenwachstum deutlich geringer, aber auch die oberen Asttriebe sind nicht mehr ganz so lang wie in den Jahren zuvor.

Im nächsten Abschnitt werden dieselben Ast- und Stammachsen jahrgangsweise direkt untereinander gezeichnet, um sie besser miteinander vergleichen zu können.

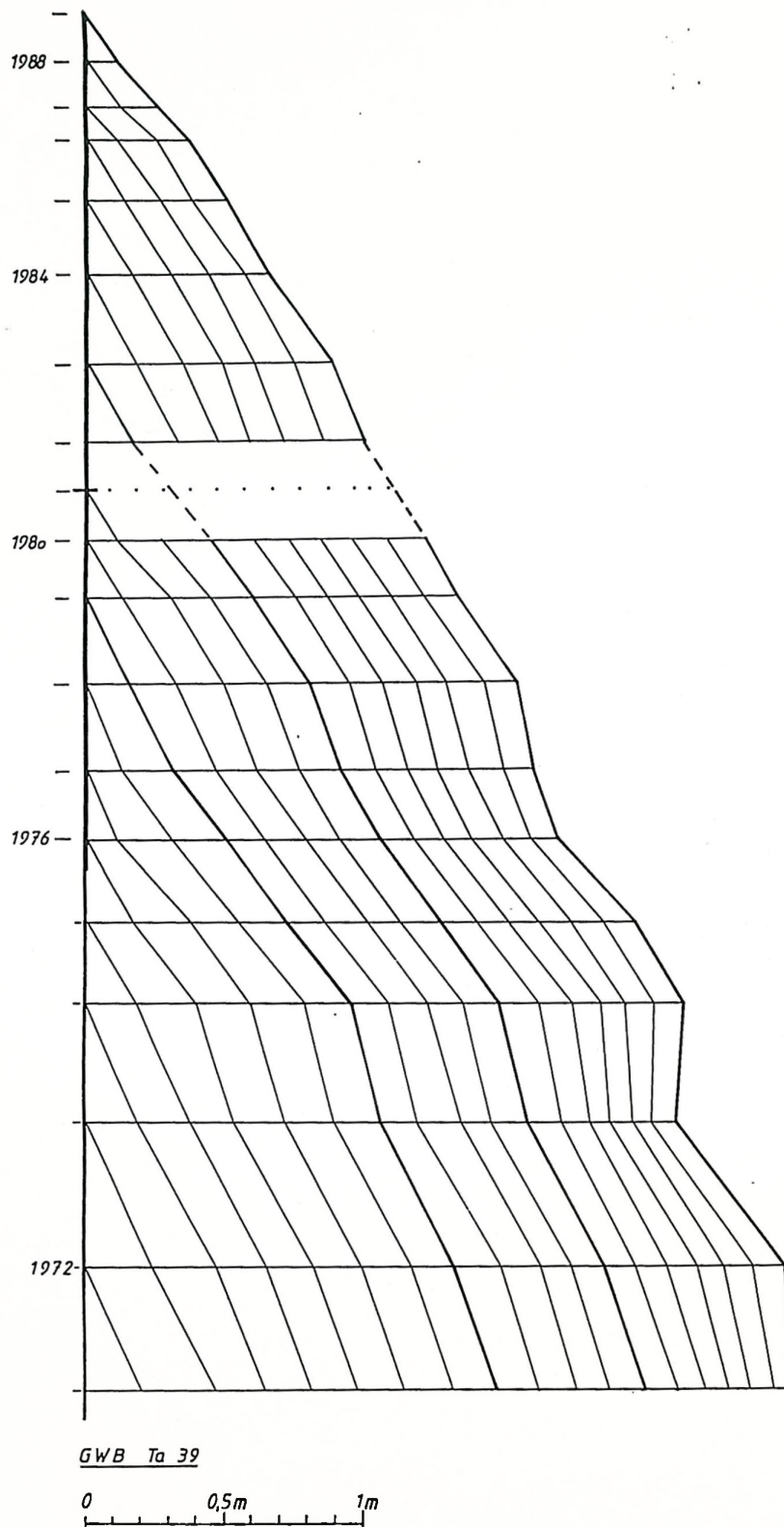


Abb. 87 a: Das jährliche Längenwachstum innerhalb der Krone an den Astachsen und am Stamm. Es handelt sich um dieselben Tannen wie zuvor. Diesmal sind die Enden der Jahrestriebe durch dünne Linien miteinander verbunden. Astreiser und Benadelung wurden weggelassen. Besenfeld **Tanne 39**.

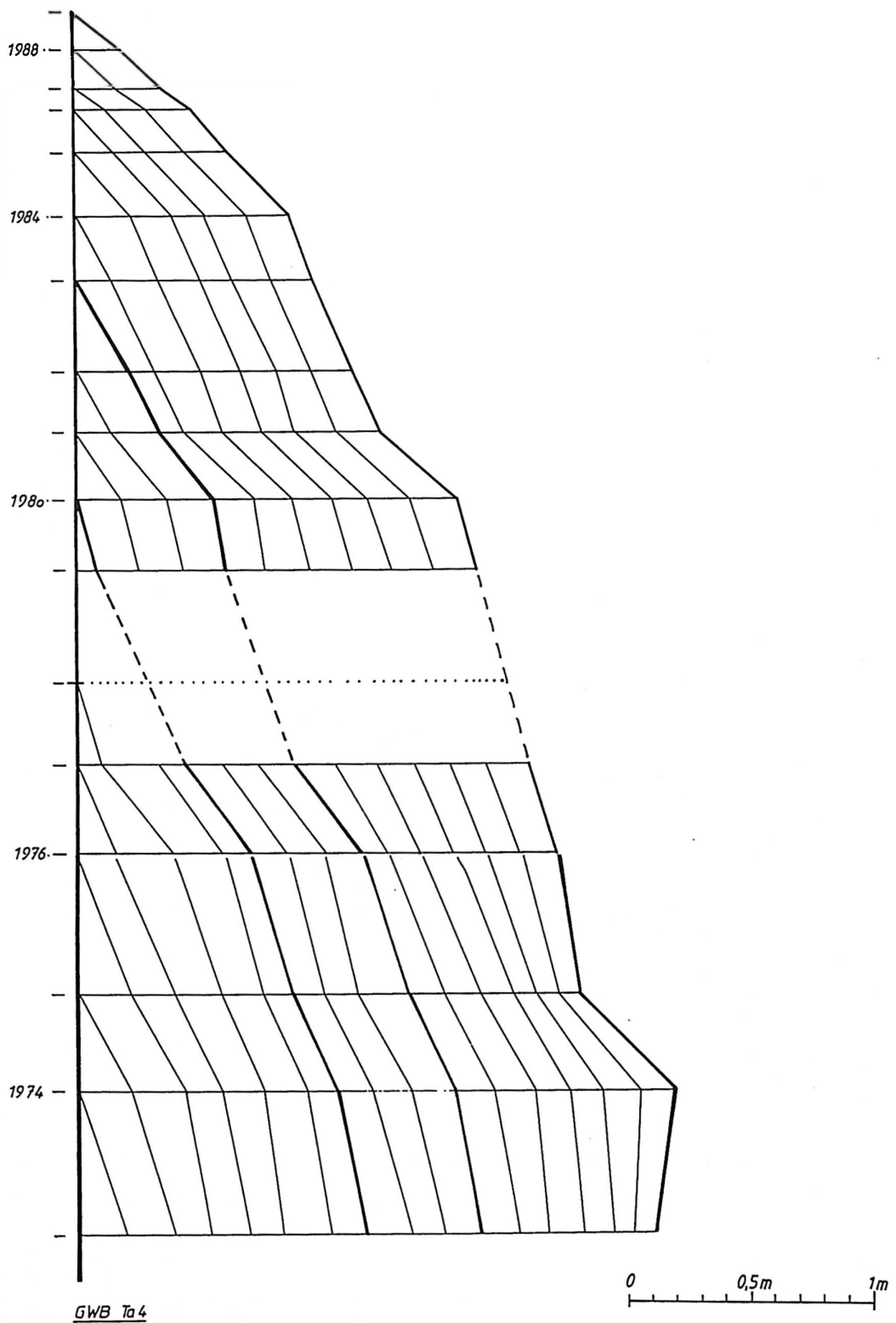


Abb. 87 b: Das jährliche Längenwachstum innerhalb der Krone an den Astachsen und am Stamm. Es handelt sich um dieselben Tannen wie zuvor. Diesmal sind die Enden der Jahrestriebe durch dünne Linien miteinander verbunden. Astreiser und Benadelung wurden weggelassen. Besenfeld Tanne 4.

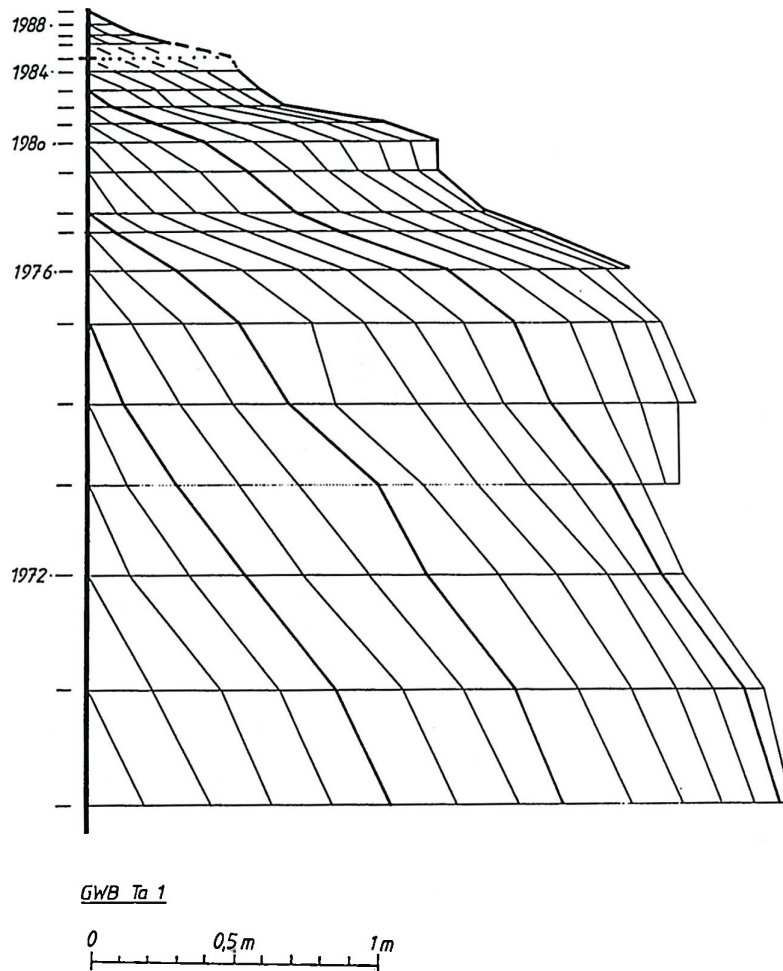


Abb. 87 c: Das jährliche Längenwachstum innerhalb der Krone an den Astachsen und am Stamm. Es handelt sich um dieselben Tannen wie zuvor. Diesmal sind die Enden der Jahrestriebe durch dünne Linien miteinander verbunden. Astreiser und Benadelung wurden weggelassen. Besenfeld **Tanne 1**.

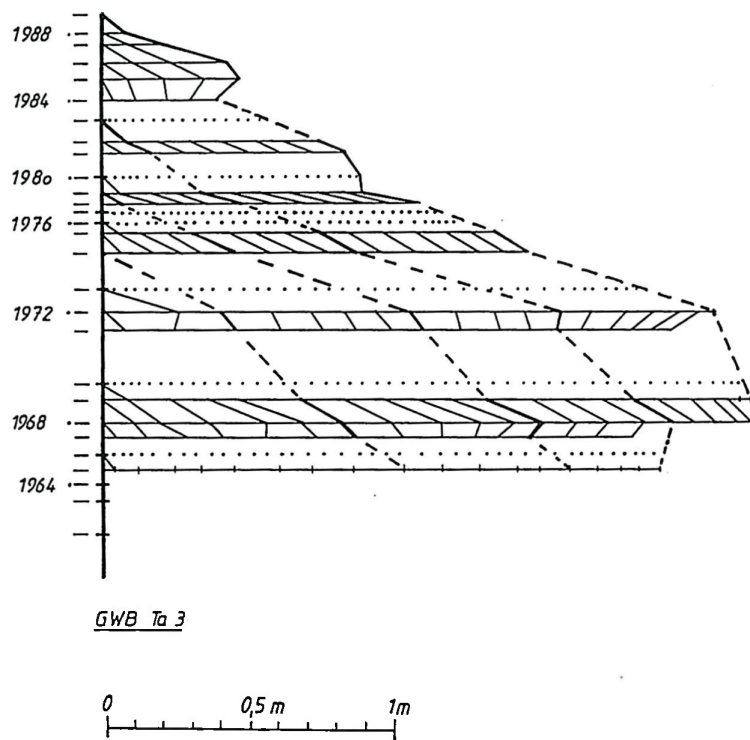


Abb. 87 d: Das jährliche Längenwachstum innerhalb der Krone an den Astachsen und am Stamm. Es handelt sich um dieselben Tannen wie zuvor. Diesmal sind die Enden der Jahrestriebe durch dünne Linien miteinander verbunden. Astreiser und Benadelung wurden weggelassen. Besenfeld Tanne 3.

XI/5. Überlegungen zum Assimilattransport. Vergleich der Trieb- längen bei Stamm und Ästen.

Hintergrund dieser Auswertung ist die Frage nach den Ursachen der Wuchstockungen: **Läßt sich das verringerte Wachstum walderkrankter Tannen auf Blockaden im Phloem-Transportweg zurückführen oder produzieren die Tannenäste nur zu wenig Assimilate ?** In diesem und dem folgenden Abschnitt werden Wachstumsänderungen als Hinweise für eine größere oder geringere Assimilatversorgung gewertet.

Zu den Abb. 88 a-o: Es wurden dieselben Daten zum Längenwachstum wie in den beiden vorangegangenen Abschnitten verwandt. Die Trieb-längen eines Jahrgangs sind hier direkt untereinander angeordnet. Oben an der Spalte steht der Jahrgang, darunter die Anzahl der ausgetriebenen Quirläste. Der dicke schwarze Balken zeigt, wie lang der Höhentrieb war. Dieser Höhentrieb wird mit den Jahrestrieben der Quirläste unterhalb verglichen (dünne Balken). Ein fatter Punkt bedeutet, daß der Ast in dem betreffenden Jahr nicht gewachsen ist. Seitlich ist die Quirlbezeichnung. Im unteren Teil sind noch Klebäste bzw. Astreiser aufgeführt. Der Maßstab für all diese Längen ist ganz unten zu finden. Ebenfalls an der Seite wird angegeben, ob ein Ast noch vollständig benadelt war oder ob er Nadelverluste aufwies. Blühte ein Ast, wird dies extra angegeben. Ergänzende Daten sind aus den Diagrammen in Kapitel XI/7 zu entnehmen.

Befund (Abb. 88 a-o auf Seite 188 bis 191 und im Anhang):

1. Generelle Schlußfolgerungen.

- Die Jahrestriebe der Äste wachsen am besten etwa zwischen dem 5. und 7. Quirl.
- Die Tannenäste scheinen in Bezug auf Assimilate autonom zu sein, denn sie spiegeln in ihrem Wachstum das lokale Lichtangebot und dessen Ausnutzung wider (abgeleitet aus ökologisch-morphologischen Beobachtungen).
- Hinweise auf eine zusätzliche Assimilatversorgung durch andere Äste wurden nicht entdeckt.
- Die Jahrestriebe der Astachsen werden kürzer durch Beschattung (vgl. unten 2.a, Ta39), durch regulären oder vorzeitigen Nadelverlust (vgl. unten 2.c, d; Ta 1, Ta 3) und durch Blühen (vgl. unten 2.e, Ta 46).
- Hinweise auf eine mögliche Blockade im Phloem-Transportsystem wurden nicht gefunden.
- Sowohl das Blühen wie auch die Walderkrankung gehen vom einzelnen Ast aus und verringern seine Wuchsleistung. Je nach Ausmaß wird nur der einzelne Ast oder auch der Stamm beeinträchtigt.

2. Die Befunde im Einzelnen.

a) Tanne 39 zeigt den Normalfall einer regulär benadelten, gesunden Krone, die im unteren Kronenbereich beschattet wurde.

- Obwohl regulär benadelt, haben die einzelnen Quirle immer nur wenige Äste. Dies weist auf Lichtmangel in weiten Teilen der Krone hin.
- Das Höhenwachstum unterliegt starken jährlichen Schwankungen. Wie bereits in Kapitel III/12 erkannt, reagieren die jährlichen Höhentriebe sehr empfindlich.

- Im Vergleich dazu wachsen die Astachsen über viele Jahre hinweg einigermaßen gleichmäßig.

- Nur im unteren Kronenbereich sind die Jahrestriebe der Astachsen wohl infolge des damaligen Lichtmangels kürzer.

Daß dort Lichtmangel die Ursache für kürzere Jahrestriebe ist, läßt sich nachträglich noch mit dem l/d -Wert überprüfen (vgl. Kapitel XI/7). Z.B. ist der l/d -Wert bei Quirl 1973 größer als bei den übrigen Ästen. Bei Quirl 1962 kommt die Beschattung durch ein allmähliches Kürzerwerden der Jahrestriebe zum Ausdruck.

- Die Äste wachsen am besten zwischen dem 5. und 7. Quirl.

b) Tanne 4 ist herrschend und geringfügig walderkrankt. Insgesamt ist der Nadelverlust sehr gering.

- Beeindruckend sind hier die raschen Veränderungen im Höhenwachstum und in der Anzahl der Quirläste. Die Länge des Höhentriebs bestimmt ungefähr, wieviele Quirläste im folgenden Jahr gebildet werden. Wie schon in Kapitel IX/1 erkannt, sind diese beiden Parameter jedoch nicht streng gekoppelt.

- Auffallend ist der Jahrgang 1981. Der Höhentrieb und die Asttriebe waren nur in diesem Jahr kürzer. Da Tanne 4 im Jahre 1981 nicht blühte, ist zu vermuten, daß zu wenig Assimilate gebildet wurden bzw. klimatische Einflüsse beeinträchtigten.

c) Tanne 3 ist mitherrschend und stark walderkrankt. Das Wachstum von Stamm und Ästen ist vergleichsweise stark eingeschränkt. Ob im Einzelfall Lichtmangel oder die Walderkrankung zugrunde liegt, läßt sich bei diesen vereinfachten Zeichnungen nur schwer nachweisen.

d) Tanne 1 ist herrschend bis mitherrschend, die Primärbenadelung ist weitgehend abgefallen.

- Wachsen der Stamm und die Äste bis Anfang der 80er Jahre noch vergleichsweise gut, so wurden ihre Jahrestriebe ab 1984 deutlich kürzer bzw. starben ab. Ursache waren mehrere Walderkrankungsschübe: 1981, 1986. Diese Schübe lassen sich durch verringertes Höhen- und Dickenwachstum, durch vorzeitigen Nadelverlust und durch neue Astreiser nachweisen.

- Obgleich auch die Klebäste nur noch 3-4 Nadeljahrgänge haben, behalten sie erstaunlicherweise fast unverändert ihre Längenwachstum bei. Dies ist ein wichtiger Gesichtspunkt: **Geht es den Quirlästen schlecht, wachsen die Klebäste dennoch fast unverändert weiter.** Eine Verlagerung der Assimilate von den Quirlästen hin zu den Klebästen ist daher nicht zu vermuten. Hinweise auf fehlgesteuerte Phytohormone wurden nicht gefunden.

e) Das Blühen bei Tanne 46. Das Blühen verkürzt die Jahrestriebe lokal an den Ästen, in dem betroffenen und in dem darauffolgenden Jahr (vgl. auch Kapitel XV, Teil B).

f) Vergleich der Wuchsstockungen durch Blühen und durch die Walderkrankung. Durch beide Vorgänge wachsen die betroffenen Äste weniger. In beiden Fällen gilt: Sind nur wenige Äste betroffen, so macht sich dies beim Stammwachstum fast nicht bemerkbar. Sind jedoch viele Äste beeinträchtigt, so wächst auch der Stamm weniger. **Dies legt den Schluß nahe, daß in beiden Fällen die Ursache in den einzelnen Ästen und nicht im gesamten Baum zu suchen ist.** Als Erklärung könnte gelten: Blühen verbraucht Assimilate, während die Walderkrankung vermutlich die Assimilatproduktion an einigen Ästen verringert (vgl. Kapitel XII).

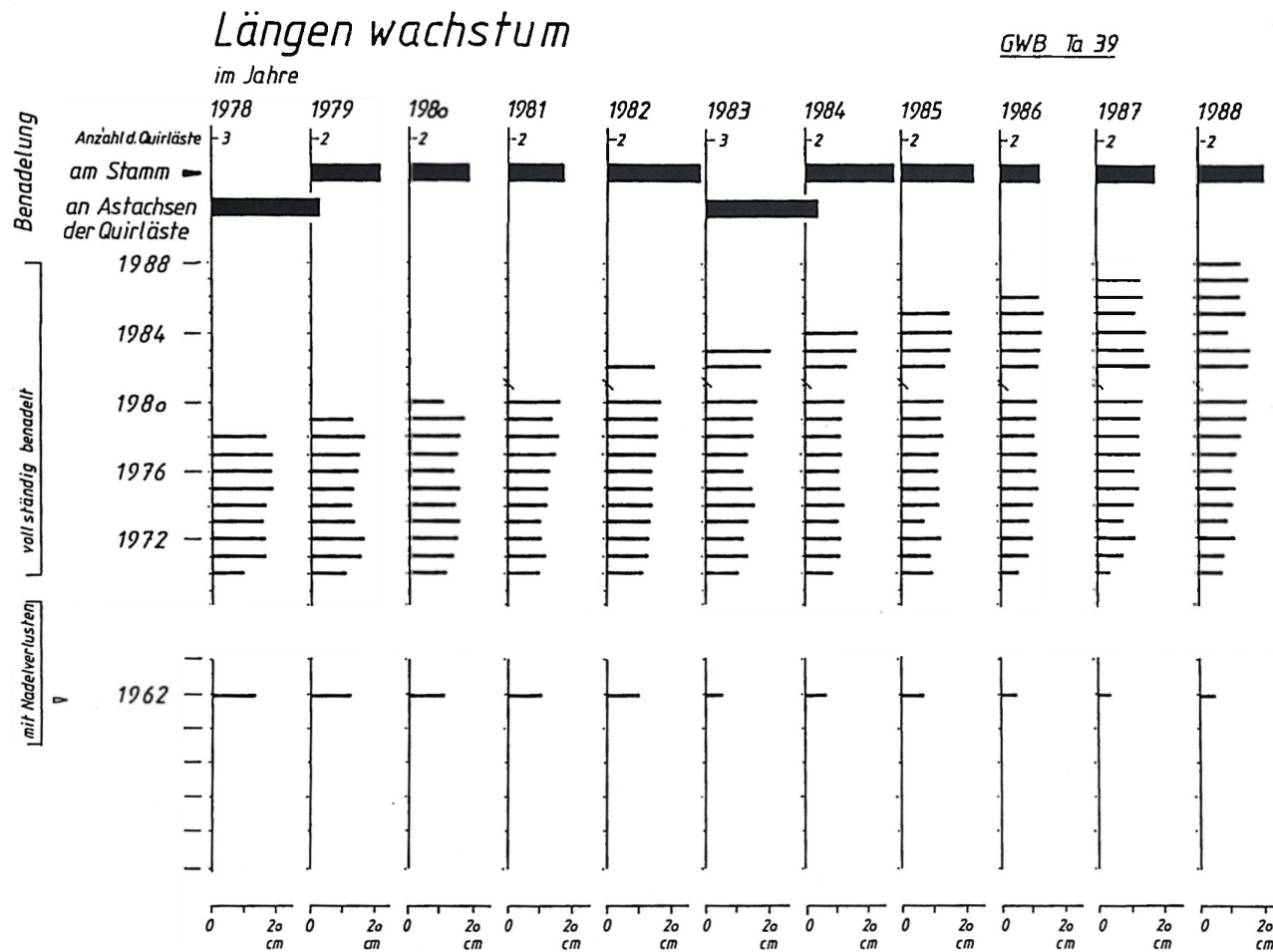


Abb. 88 a: Vergleich der jährlichen Trieb­längen bei Stamm und Ästen; Besenfeld Tanne 39. Vgl. Text.

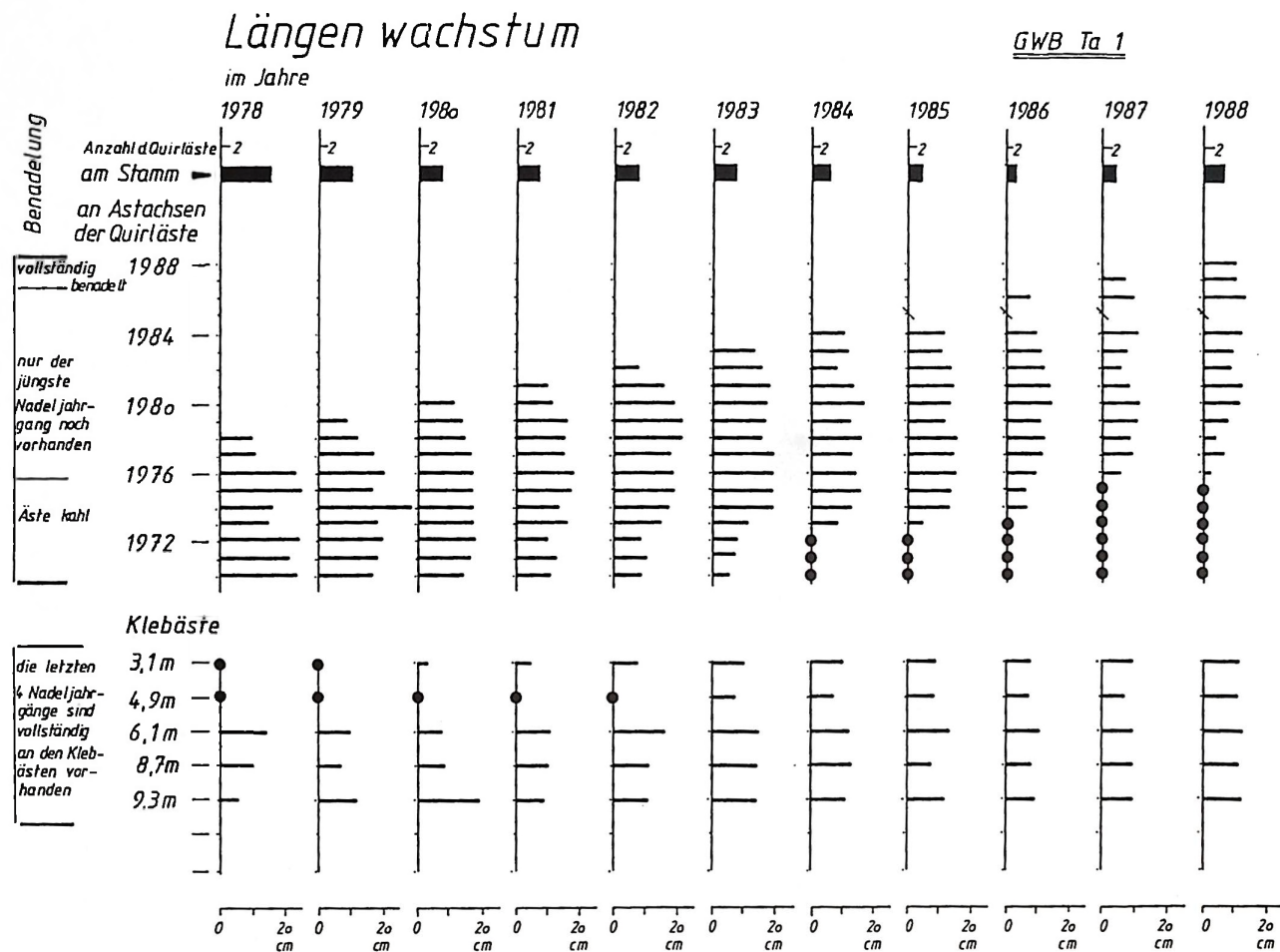


Abb. 88 b: Vergleich der jährlichen Trieb­längen bei Stamm und Ästen; Besenfeld Tanne 1. Vgl. Text.

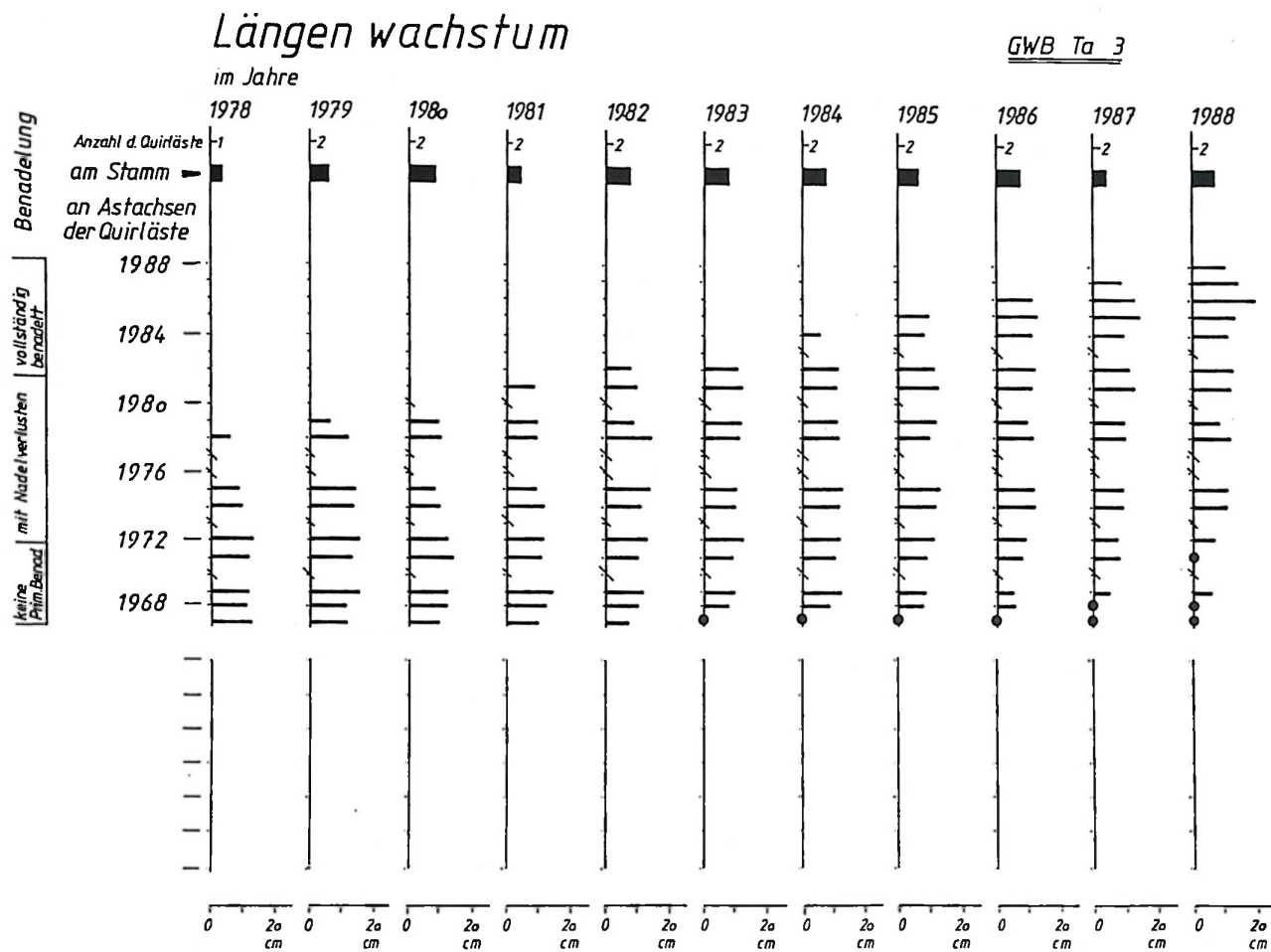


Abb. 88 c: Vergleich der jährlichen Triebblängen bei Stamm und Ästen; Besenfeld Tanne 3. Vgl. Text.

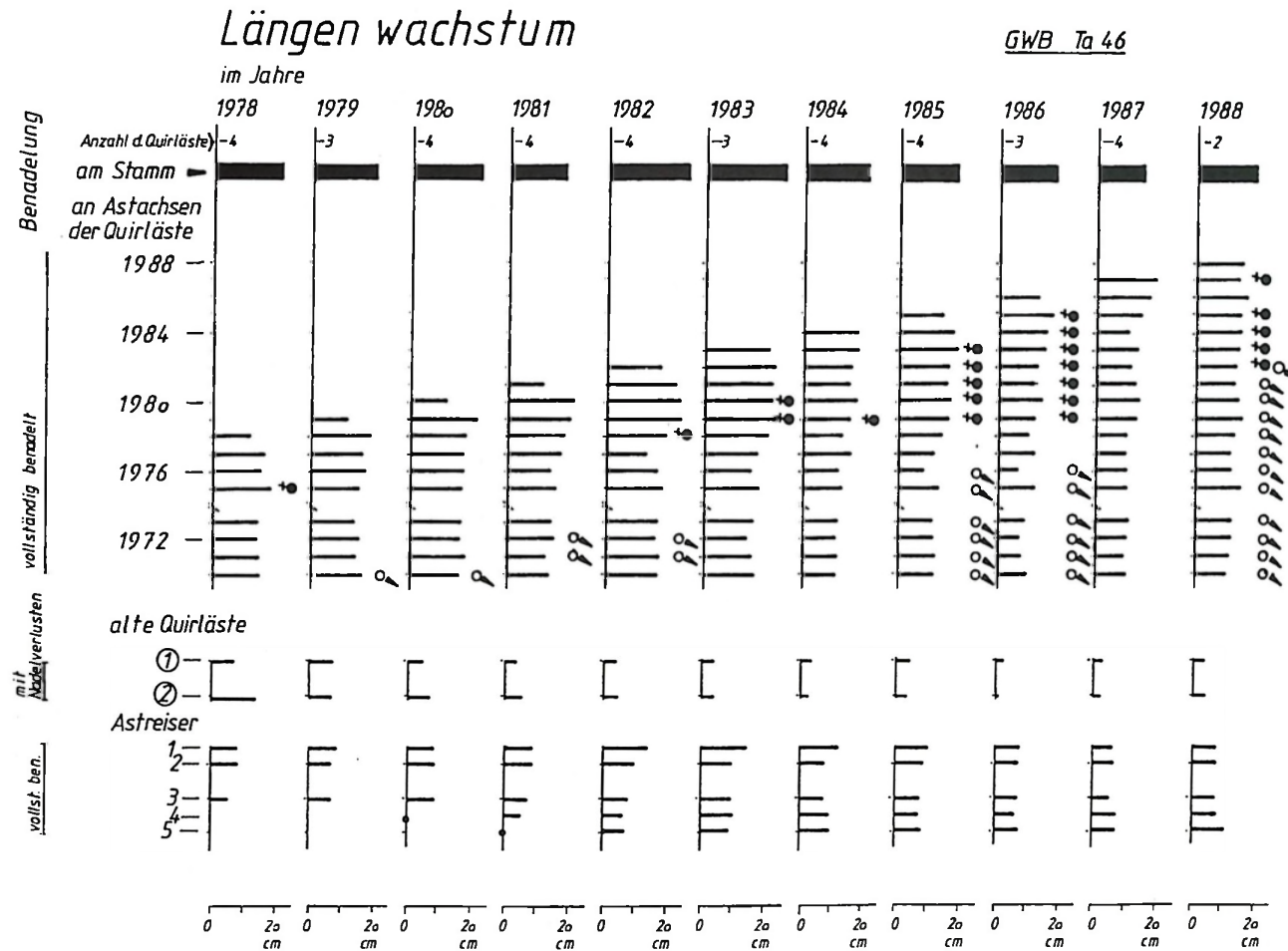


Abb. 88 d: Vergleich der jährlichen Triebblängen bei Stamm und Ästen; Besenfeld Tanne 46. Vgl. Text.

XI/6. Der jährliche Stammzuwachs in verschiedenen Höhen. Überlegungen zum Assimilattransport.

Angenommen sei, daß in einer Tannenkrone einige Äste weniger Assimilate liefern, da sie walderkrankt sind. Dies könnte zu lokalen Unterschieden im Stammwachstum führen. **Zu den Abb. 89 a-l:** Jede Spalte ist einem Jahrgang zugeordnet. Durch weiße, waagerechte Balken wird die Breite der Jahrringe angezeigt (Mittel aus vier Radien). Seitlich ist verzeichnet, in welchem Quirlabschnitt gemessen wurde. Daneben ist rechts noch die Qualität der Benadelung angegeben. Die schraffierten Balken unterhalb zeigen die Ringbreiten in anderen Stammhöhen an. Zusätzliche Bezeichnungen: Mit einem kleinen, schwarzen Punkt wird angegeben, daß an dieser Stelle kein Jahrring gebildet wurde. Die Buchstaben "RA" stehen für auskeilende Jahrringe ("Ringausfälle"). Neben dem Maßstab für die Breite der Jahrringe folgen unten zwei weitere Angaben zum Stammwachstum: die Anzahl der Quirläste, die in diesem Jahr austrieben und die Länge des jeweiligen Höhentriebs.

Befund (Abb. 89 a-l auf Seite 193 bis 196 und im Anhang):

1. Es stellt sich zunächst die Frage, wo bei einer regulär benadelten Tanne die Jahrringe am beitesten sind. Die Tannen 1, 3, 4 und 46 werden miteinander verglichen. Der jüngste Jahrring sei vernachlässigt. Die breitesten Jahrringe sind meist bei den 7-9-12jährigen Quirlästen. Doch gibt es auch Abweichungen.

Dieser Kronenbereich ist interessant, denn hier erreichen die Sonnenäste ihre reguläre Anzahl von Nadeljahrgängen, die ersten Astreiser treten auf (Mindestalter der Quirläste), das Holz beginnt zu vergrauen und die ersten Harzkerne versiegeln das Zentrum der Astansätze (Kapitel IX/2 u. 3).

2. Wie wirkt sich ein Erkrankungsschub auf die Ringbreite in den verschiedenen Baumhöhen aus? Tanne 1 gibt hierzu Aufschluß: Wie bereits festgestellt, hatte sie 1981 und 1986 einen Walderkrankungsschub, erkennbar u.a. am verringerten Höhenwachstum. In den Jahren nach 1981 wuchsen besonders die unteren Stammteile weniger. Dies könnte als Hinweis darauf gewertet werden, daß die Assimilatmengen zu gering waren, so daß bei großem Abstand zu den Nadeln nur noch wenig für das Stammwachstum oder gar die Wurzeln übrig blieb (Kapitel VII/8 und 9).

Weitere Rückschlüsse auf den Assimilat-Transport liefert der Erkrankungsschub 1986. Im Jahr 1987 wurde am Stammfuß zum 1. Mal kein Jahrring gebildet. Im Jahr 1988 fehlten zusätzlich auch die Jahrringe unterhalb der Quirlastkrone. Doch im selben Jahr wurden auf der Höhe der Klebäste im Stamm noch Teile eines Jahrrings gebildet !!!

Dies ist ein wichtiger Hinweis. **Wächst eine Tanne insgesamt wenig, so werden im Stamm nur noch dort Jahrringe angelegt, wo auch benadelte Äste in der Nähe sind.** In jenen Stammbereichen, wo benadelte Äste fehlen, fehlen auch Jahrringe im Stamm.

Zusammenfassung zu den Überlegungen zum Assimilattransport. Hinweise auf Blockaden im Assimilat-Transport-System (Phloem) ließen sich nicht entdecken. Auch fehlen Hinweise auf eine Assimilat-Verschiebung durch eine hormonelle Fehlsteuerung, wie sie etwa bei den sog. Hexenbesen auftreten. Die Veränderungen in der Breite der Jahrringe deuten alle eher darauf hin, daß die Äste durch die Walderkrankung weniger Assimilate produzieren.

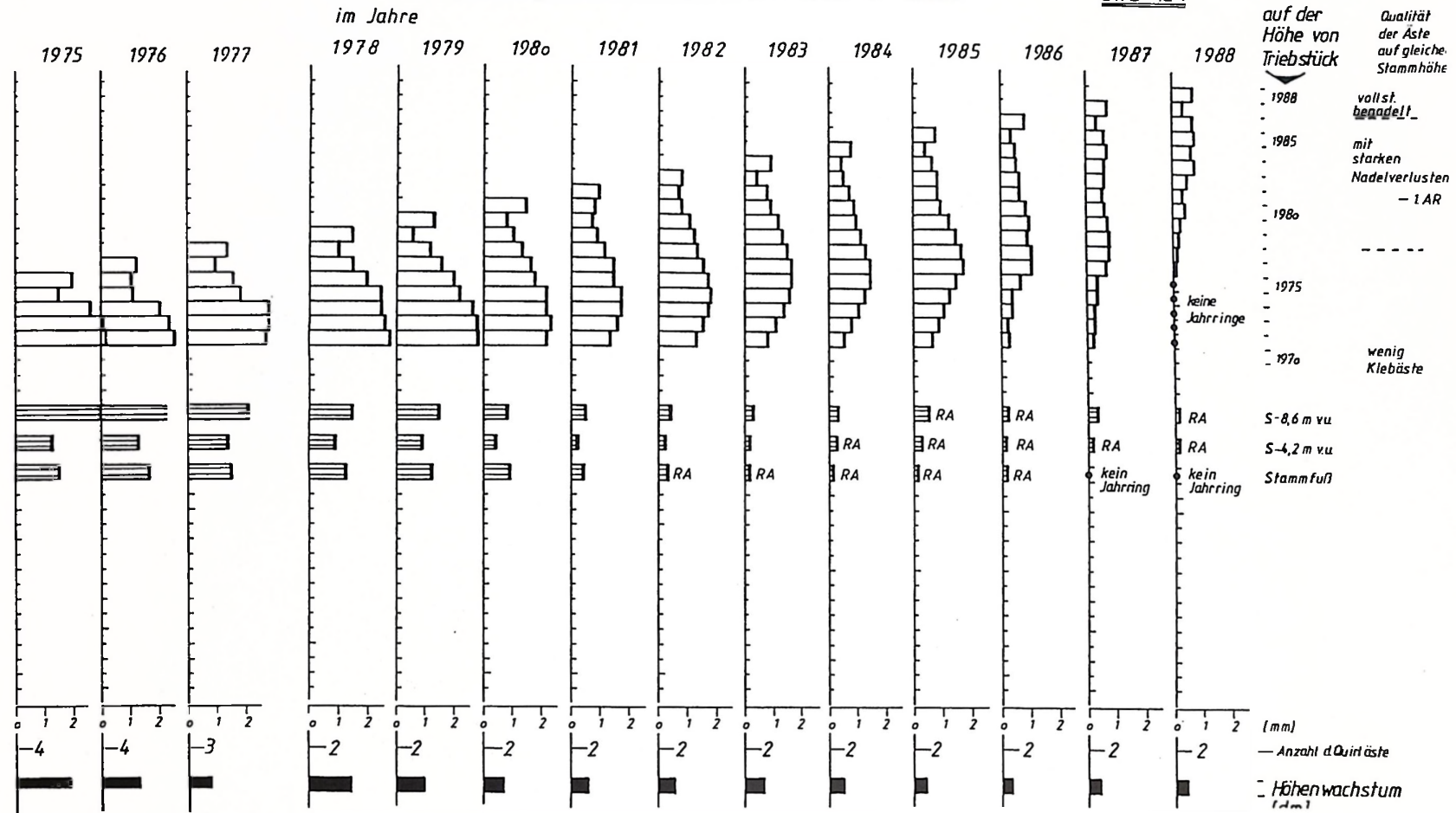


Abb. 89 a: Die jährlichen Ringbreiten in den verschiedenen Stammhöhen; Besenfeld **Tanne 1** (vgl. Text).

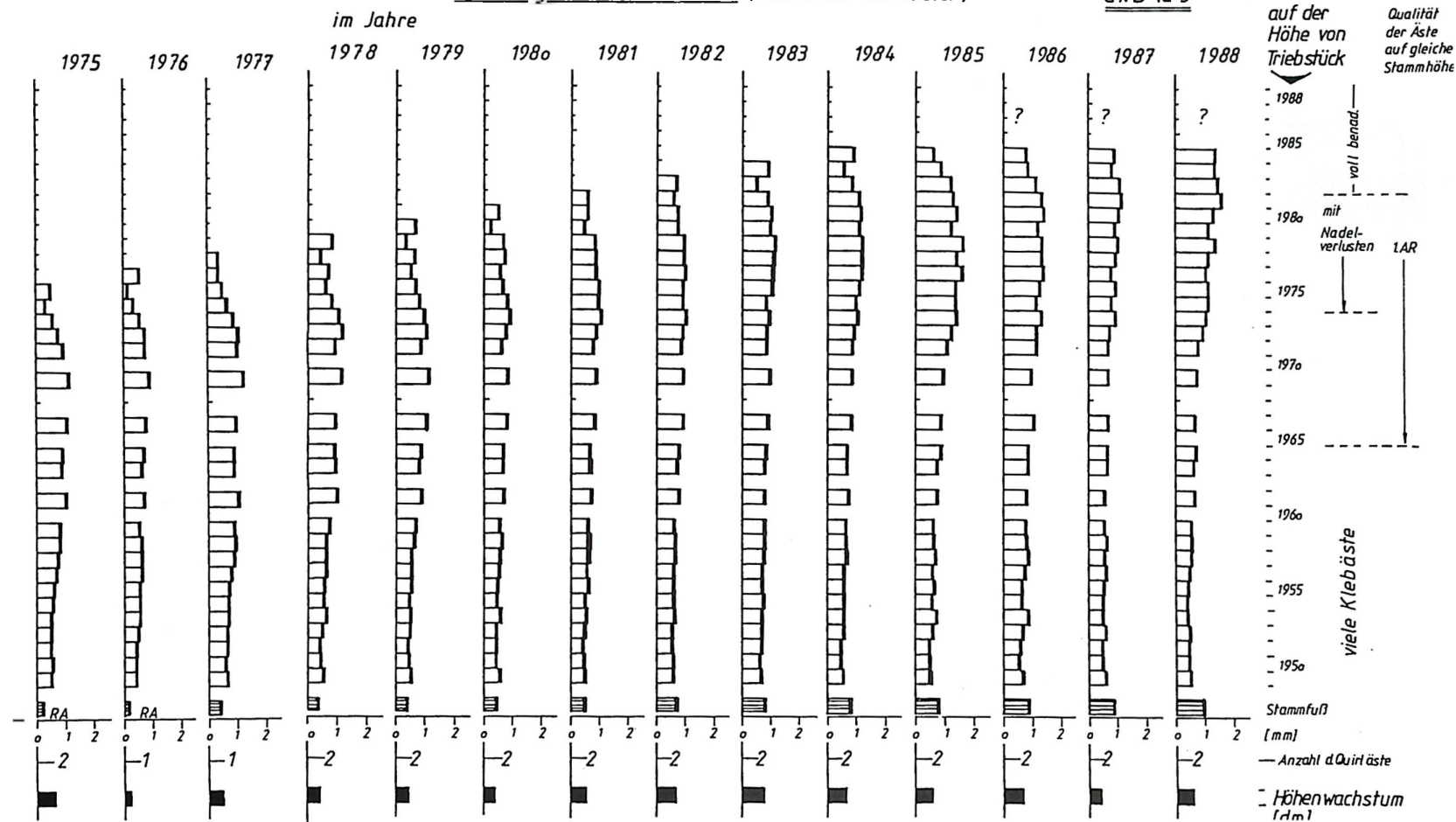


Abb. 89 b: Die jährlichen Ringbreiten in den verschiedenen Stammhöhen; Besenfeld Tanne 3 (vgl. Text).

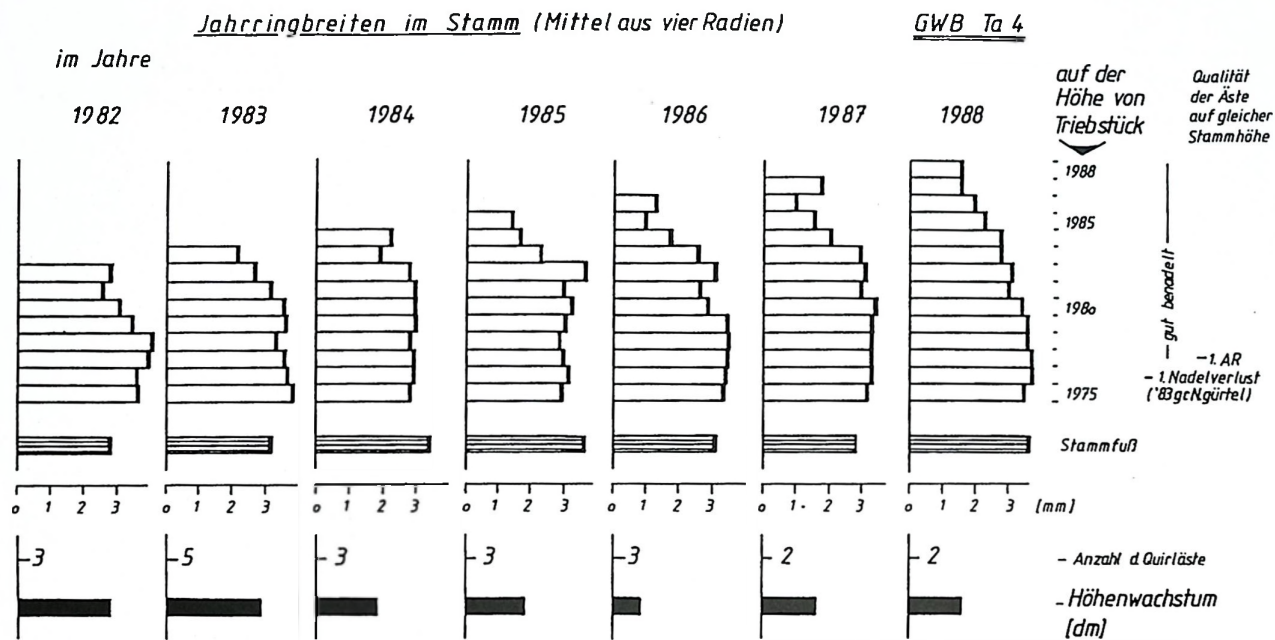


Abb. 89 c: Die jährlichen Ringbreiten in den verschiedenen Stammhöhen; Besenfeld **Tanne 4** (vgl. Text).

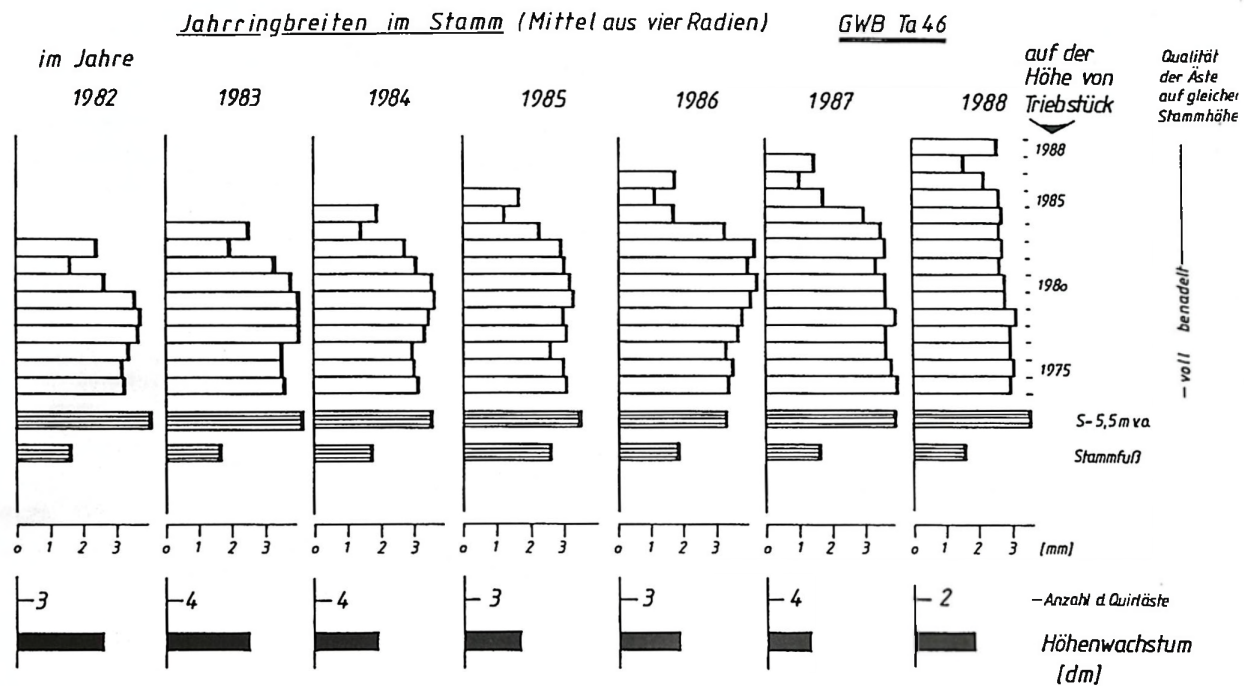


Abb.89 d: Die jährlichen Ringbreiten in den verschiedenen Stammhöhen; Besenfeld Tanne 46 (vgl. Text).

XI/7. Wachstum und Wachstumsänderungen in den verschiedenen Baumteilen.

Zur Beantwortung dieser Frage wird das jährliche Wachstum einer Tanne anhand verschiedener Parameter über lange Zeit zurückverfolgt. In den Abb. 90 a-xxx werden dazu sieben Diagramme mit derselben Zeitachse übereinandergestellt.

- Die **Wüchsigkeit des Stamms** wird dargestellt durch die **Jahrringbreiten** in verschiedenen Stammhöhen, **durch das jährliche Höhenwachstum, den Durchmesser des 1. Jahrrings (mit Mark)** und die **Anzahl der Quirläste**, die in diesem Jahr ausgetrieben haben.

- Als Hinweise für das langfristige Lichtangebot in der Krone wird der **l/d-Wert der Quirläste** herangezogen. (Quotient aus Astlänge zu Astdurchmesser). Schattenäste haben den größeren l/d-Wert.

- Vorzeitige Nadelverluste lassen sich mit der **Anzahl von intakten Nadeljahrgängen** gut erfassen. Dazu zählt man die Nadeljahrgänge von der Peripherie aus. Vorzeitig abfallende Nadeln gibt es meist am 3., 4. oder 5. Jahrgang (Kapitel XII/ 6, 7, 15ff). Bleiben dabei noch ältere Nadeljahrgänge übrig, so werden sie hier vernachlässigt.

- Ändern sich die Lichtverhältnisse, so treiben vermehrt **Klebäste und Astreiser** aus. Diese neuen Folgetriebe sind halbquantitativ erfaßt.

- Der **längste Asttrieb** repräsentiert die maximale Wuchsleistung der Quirläste.

Befund (Abb. 90 a-q auf Seite 199 bis 202 und im Anhang):

1. Wuchsleistung der Stammspitze. Unabhängig davon, ob eine Tanne walderkrankt ist oder nicht, der Durchmesser des 1. Jahrrings läuft weitgehend parallel zum Höhenwachstum. Wächst eine Tanne nur wenig, so werden regelmäßig nur 2 Quirläste gebildet. Ist das Höhenwachstum größer als 20 cm pro Jahr, so ist bei geringfügigen Wachstumsänderungen auch die Anzahl der Quirläste ein sensibler Parameter.

2. Die Jahrringbreiten im Stamm. Am Stammfuß gibt es methodische Probleme. Hier sind die Jahrringe meist ungleichmäßig breit, "verzogen" und taugen daher als Vergleichsgröße nicht viel (vgl. auch BURGER, 1941).

Wie auch schon in Kapitel XI/6 deutlich wurde, kann der Zuwachs in den verschiedenen Stammhöhen sehr unterschiedlich sein.

3. l/d-Wert. Je älter die Quirläste, desto größer ihr l/d-Wert. Die Wirkung des Schattens wird deutlich, wenn man die vorherrschende Tanne 46 und die mit-herrschende Tanne 3 miteinander vergleicht. Die stärker beschatteten Äste der Tanne 3 sind schlanker, haben die größeren l/d-Werte.

Ein Vergleich mit Sonnenästen von Solitär-bäumen fehlt.

4. Mit dem Parameter "intakte Nadeljahrgänge" lassen sich schnell walderkrankte Äste aufspüren. Z.B. geht der vorzeitige Nadelverlust bei Tanne 1 bis zur Stammspitze hoch, während bei Tanne 4 nur die unteren Quirläste von der Walderkrankung erfaßt werden.

5. Mehr Licht und ein verändertes Stammwachstum. Treiben neue Astreiser und Klebäste aus, so weist dies auf mehr Licht in der Krone hin (vgl. Kapitel IX/4). Damit sind auch langfristig Änderungen im Höhen- und Dickenwachstum des Stamms verbunden. Gut und schlecht wachsende Tannen reagieren dabei unterschiedlich.

Als einen ersten Ansatz dazu, wie man die Wechselwirkung von Höhen- und Dickenwachstum verstehen könnte, diene die folgende Betrachtung.

Tanne 4 ist ein gut wachsender, herrschender Baum, fast "gesund". Treiben vermehrt Astreiser aus, so wird das jährliche Höhenwachstum kleiner und das Dickenwachstum bleibt fast gleich groß, z.B. 1985.

Tanne 39 wächst insgesamt weniger, ist aber nicht walderkrankt. Bei ihr werden mit dem Austreiben sowohl das Höhen- wie auch das Dickenwachstum geringer, z.B. 1985 ff.

Tanne 1 wurde durch die Walderkrankung stark beeinträchtigt und wächst extrem schlecht. Hier reagiert der Stamm fast nur noch mit dem Dickenwachstum: Die Jahrringe werden noch schmaler als zuvor, Ringausfälle treten auf, während das Höhenwachstum fast unverändert klein bleibt, z.B. 1986 ff.

Um die unterschiedliche Sensibilität dieser beiden Parameter in einer ersten Näherung aufzuzeigen, seien diese Einzelbeispiele - unzulässigerweise - verallgemeinert.

Höhenwachstum: Die Benadelungsstruktur einer Tannenkronen verändert sich durch neue Astreiser und Klebäste. Bei gutem Höhenwachstum (Ta4, Ta39) reagiert das Höhenwachstum sensibel, die Höhentriebe werden kleiner. Wächst eine Tanne dagegen nur noch sehr wenig, wie z.B. bei Ta1, so können die neuen Höhentriebe fast nicht noch kürzer werden, das Höhenwachstum reagiert nicht mehr so sensibel.

Dickenwachstum: Wächst eine Tanne gut, so reagiert das Dickenwachstum nicht oder nur wenig, evtl. werden die Jahrringe sogar breiter (z.B. auch RW Ta2).

Doch wächst eine Tanne insgesamt schlecht, so reagiert bei Wachstumseinbrüchen hauptsächlich das Dickenwachstum sensibel, die Jahrringe werden schmaler, bis hin zu Ringausfällen (Ta1).

6. Neue Astreiser und die längsten Asttriebe. Treiben vermehrt neue Astreiser aus, so wird am besten Ast nicht mehr jene maximale Trieblänge erreicht, wie noch in den Jahren zuvor.

Dies könnte darauf hinweisen, daß zu Beginn der neuen Wuchsperiode eine physiologische Anpassung erfolgt und z.T. die Nettophotosynthese an den Ästen verringert ist (Kapitel X/3).

Weiterhin wäre denkbar, daß das Austreiben der Astreiser die Assimilatverteilung innerhalb eines Astes sehr wesentlich beeinflussen kann; da jedoch die wüchsigsten Jahrestriebe etwa zwischen dem 5. und 7. Quirl sind, sind genau diese Äste i.d.R. zu jung für Astreiser (Mindestalter, Kapitel IX/2).

GWB Ta 1

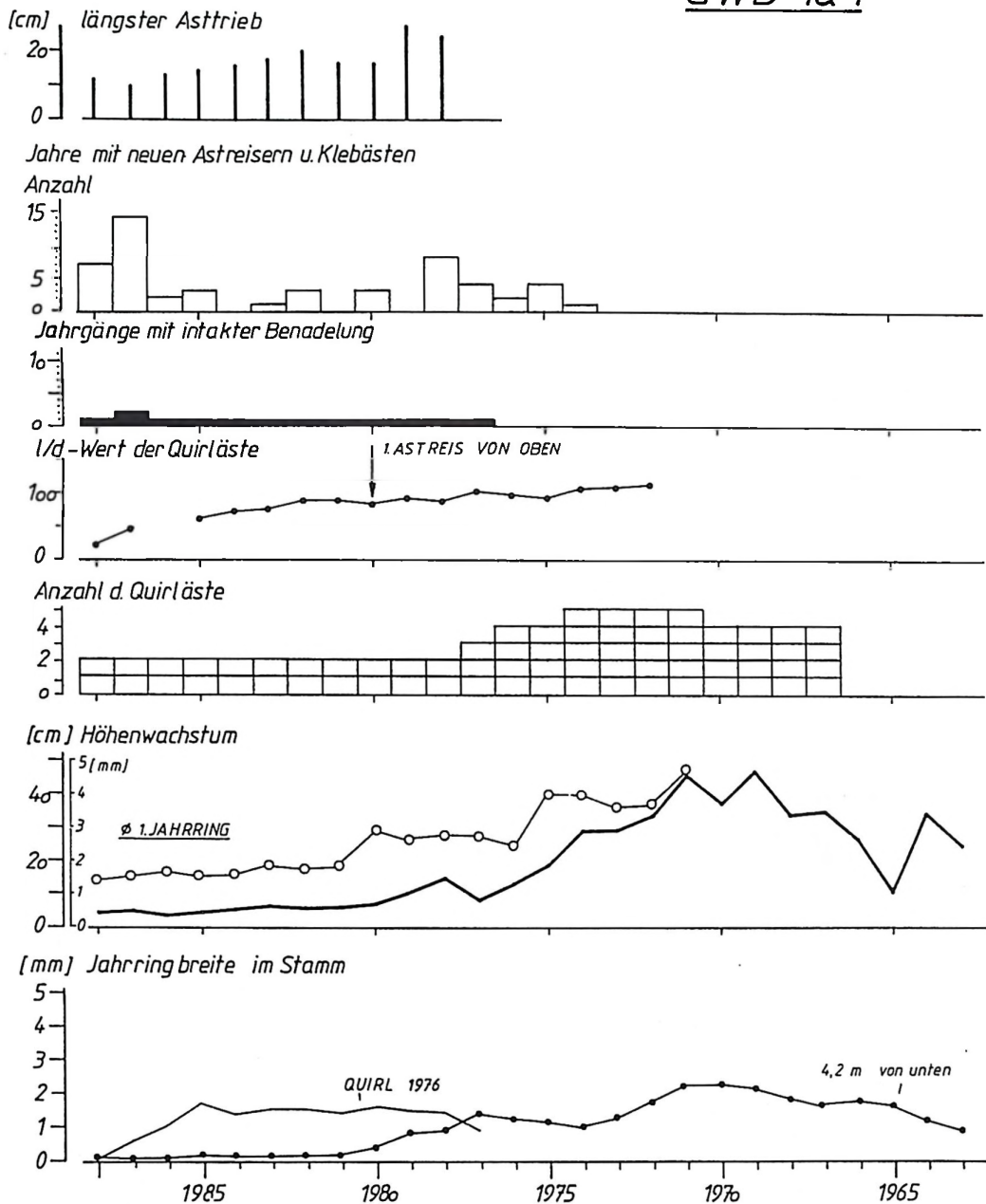


Abb. 90 a. Die Benadelung und das Wachstum in Jahresschritten bei Stamm und Ästen; Besenfeld Tanne 1 (vgl. Text).

GWB Ta 4

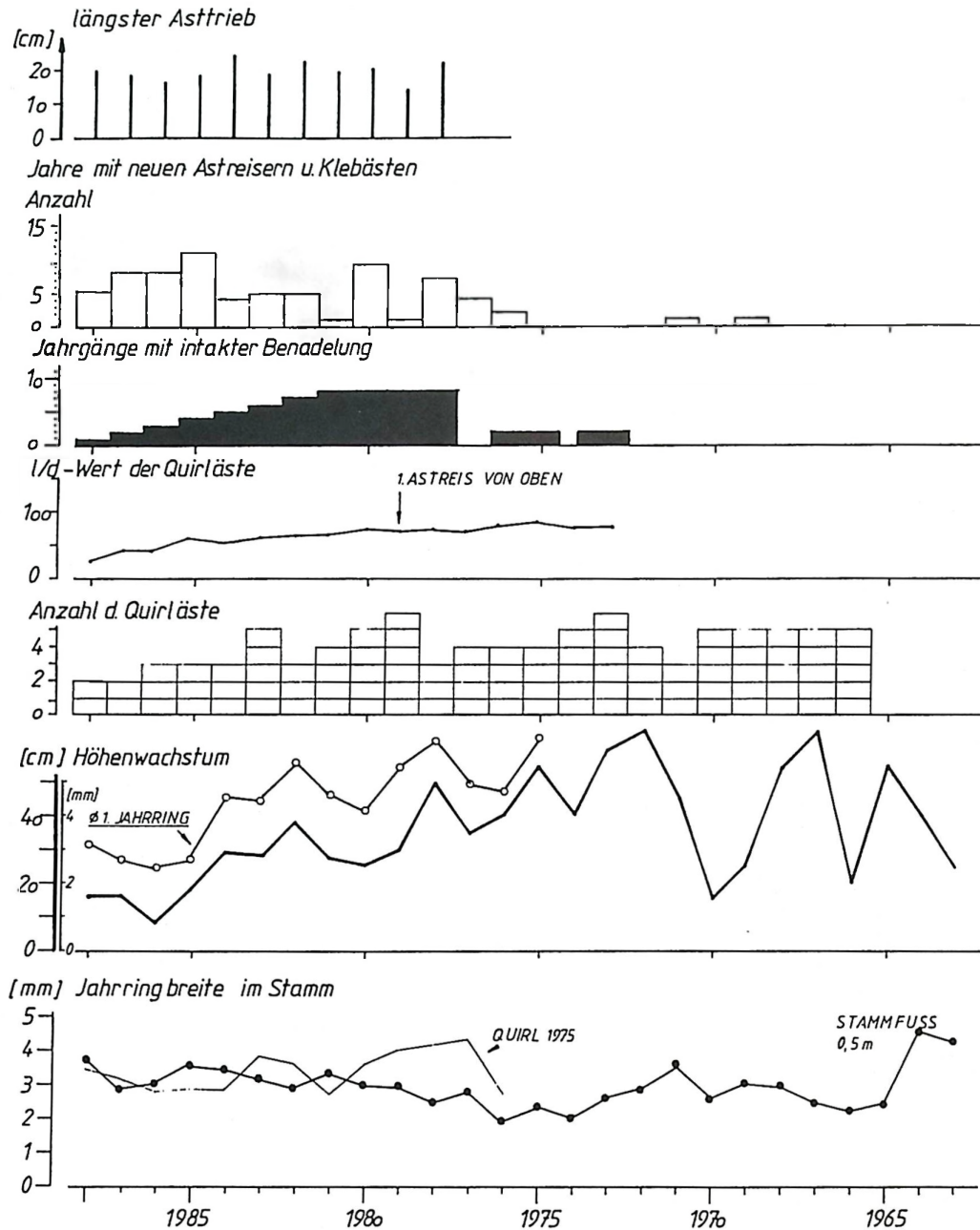


Abb. 90 b. Die Benadelung und das Wachstum in Jahresschritten bei Stamm und Ästen; Besenfeld Tanne 4. (vgl. Text).

GWB Ta 39

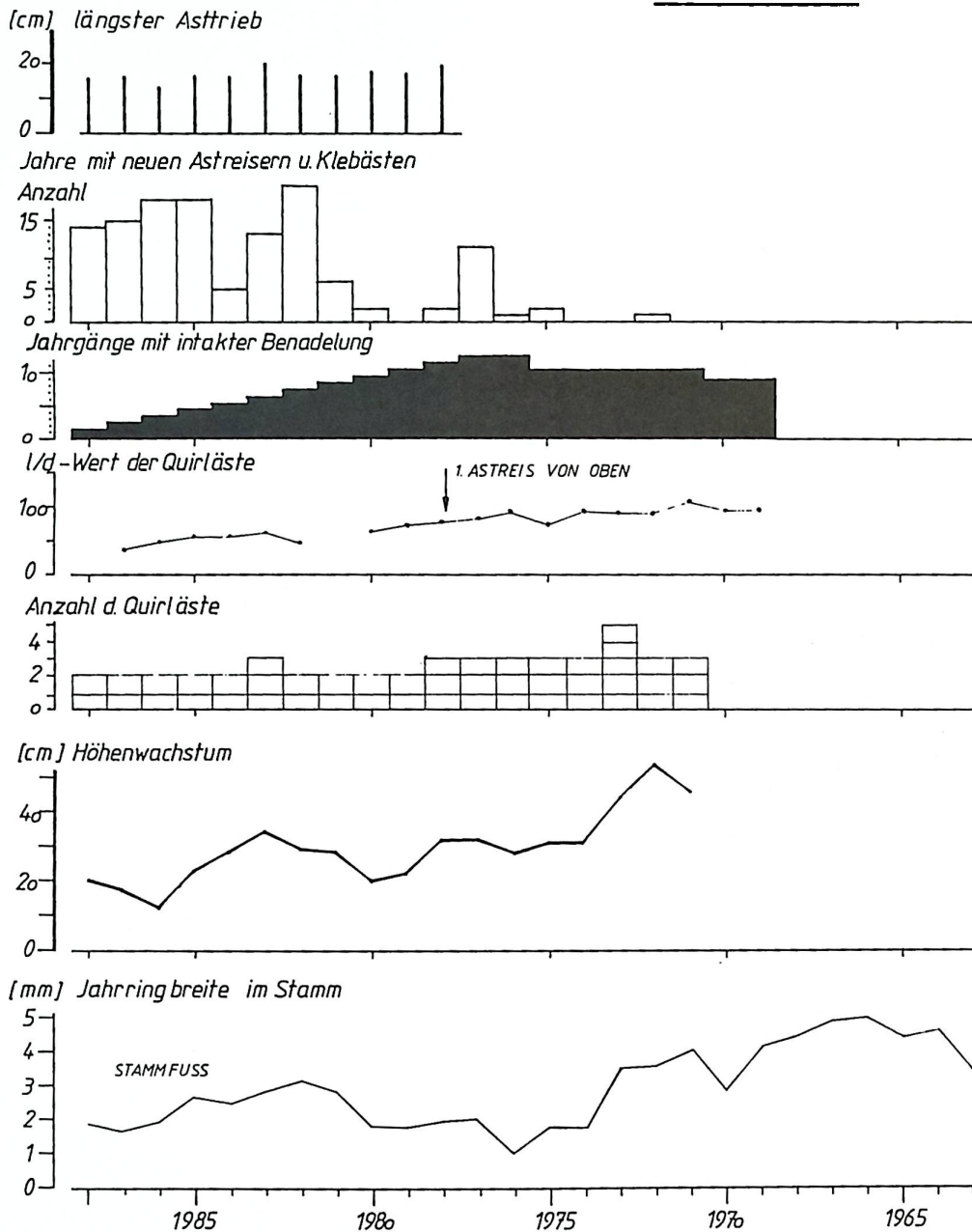


Abb. 90 c. Die Benadelung und das Wachstum in Jahresschritten bei Stamm und Ästen; Besenfeld Tanne 39 (vgl. Text).

GWB Ta46

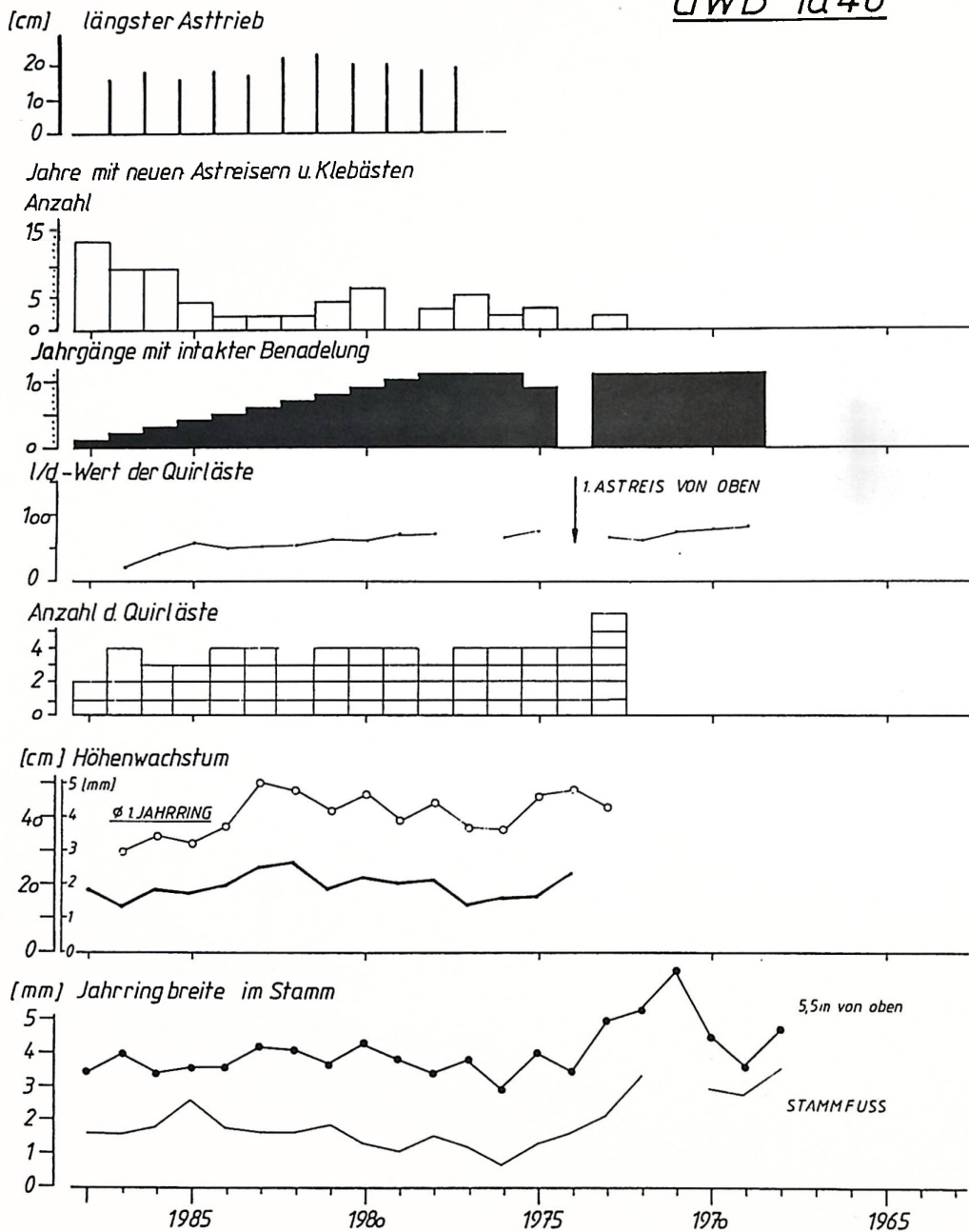


Abb. 90 d. Die Benadelung und das Wachstum in Jahresschritten bei Stamm und Ästen; Besenfeld Tanne 46. (vgl. Text).

XI/8. Zusammenfassung. Das Wuchsverhalten von "gesunden" und walderkranken Tannen.

- 1) Eine Tanne kann dann morphologisch als walderkrankt bezeichnet werden, wenn an ihr das allgemein gültige und sicherste Symptome an mehreren Ästen erkennbar ist: der vorzeitige Nadelverlust. D.h. trotz genügend Licht fallen an diesen Ästen die Nadeln ab. Weiteres zur Astsymptomatologie in Kapitel XII.
- 2) Ist die Beeinträchtigung durch die Walderkrankung so groß, daß die Tanne deutlich schlechter wächst als zuvor, so tritt dieser Wechsel hin zur Walderkrankung **sehr plötzlich, schubweise**, auf.
- 3) Wächst eine walderkrankte Tanne deutlich schlechter als zuvor, so entspricht dieses Wachstum weitgehend dem einer Tanne unter Lichtmangel: Das Höhen- und Dickenwachstum sind gering, der Durchmesser des 1. Jahrrings ist vergleichsweise klein, nur noch zwei Äste pro Quirl werden angelegt, die neuen Asttriebe sind etwas kürzer als üblich.
- 4) Die Kriterien für eine gut und eine schlecht wachsende Tanne sind: (Ursache Lichtmangel oder Walderkrankung; extreme Standortbedingungen lagen nicht vor).

	gut wachsend	schlecht wachsend
Höhenwachstum	20-35cm	kleiner 10cm
Durchmesser 1.Jahrring	größer 2mm	kleiner 2mm
Anzahl der Äste pro Quirl	3-4-5	2 -(1)
Dickenwachstum Stamm	2-4 mm/Jahr	kleiner 1mm
Länge der Jahrestriebe an den Astachsen	größer 15cm	kleiner 15cm

Ergänzungen: Zur raschen Beurteilung der Wüchsigkeit einer Tanne eignen sich die Zwischenquirle am Stamm. Zwischenquirle, sofern vorhanden, sind vermutlich die empfindlichsten morphologischen Indikatoren für Wachstumsänderungen. Verringert sich das Wachstum, so wird auch die Anzahl ihrer kleinen Äste geringer. Dieses Kriterium bewährte sich im Gelände. Doch fehlt noch ein quantitativer Nachweis dazu.

Auf Grund von Beobachtungen ist der Autor der Ansicht, daß das Wachstum einer Tanne dann als eingeschränkt zu bezeichnen ist, wenn eine Tanne keine Zwischenquirle mehr anlegt. Ohne Zwischenquirle reagiert eine Tanne empfindlich und wirft u.U. leicht ihre Nadeln vorzeitig ab (unabhängig von der Anzahl der Quirläste oder des Höhenwachstums).

Ausblick: Trotz differenzierter Betrachtungsweise läßt sich allein aus dem Wuchsverhalten nicht immer mit Sicherheit beurteilen, ob eine Tanne vorzeitige Nadelverluste hat, d.h. walderkrankt ist oder nicht. Es bleibt daher nichts anderes übrig, als sich noch mit der Biologie und Symptomatologie der einzelnen Tannenäste auseinanderzusetzen.

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.

Es wurden insgesamt sehr viele Tannenäste vermessen, differenziert beschrieben und kritisch beurteilt. Doch einige wesentlichen Aspekte der Astsymptomatologie stellten sich erst in den letzten Monaten heraus. Diese Erkenntnisse wurden daher an dem bisherigen Datenmaterial, an Fotografien von Ästen und an lebenden Tannen der Forstbezirke Klosterreichenbach und Besenfeld nochmals überprüft. Erfreulich war dabei, daß sich die zentrale Aussage dieses Kapitel durchweg ohne Ausnahme bestätigte: **Ein vorzeitiger Nadelverlust ist immer eng an plötzliche Wuchstockungen des jeweiligen Astes gekoppelt.**

Einige Abschnitte in diesem Kapitel, wie die Beobachtungen über den zeitlichen Verlauf des Nadelfalls, über den Zusammenhang zwischen Nadelfall und Stärke im Zweigholz, über die Jahrringbreiten an einer walderkrankten Astspitze u.a. sind nur Einzeluntersuchungen und liefern keine abgesicherte Aussagen, passen aber als Mosaiksteine zu den anderen Untersuchungen und zeichnen damit ein erstes Gesamtbild der Astsymptomatologie.

Mit wie wenig Merkmalen läßt sich beurteilen, ob eine Tanne walderkrankt ist?

Allein mit der Information über das Stammwachstum in den **letzten** Jahren läßt sich diese Frage nicht beantworten (Jahrringbreiten, Höhenwachstum, Anzahl der Äste pro Quirl), denn auch Lichtmangel kann das Wachstum enorm verringern (Kapitel III, IV, XIII).

Allerdings kann man mit einer weiteren Information die **schweren Formen** der Walderkrankung herausfiltern: Wuchs eine Tanne früher wesentlich besser und verringerte sich plötzlich sehr stark ihr Wachstum, so hat eine solche Tanne auch meist die anderen drei wichtigen Hauptsymptome der Walderkrankung: abgeflachte Krone, sog. Kümmeräste und insgesamt große Nadelverluste (Schadstufe 3; Kapitel II.)

Doch für die **leichteren Fälle** der Walderkrankung reichen diese Informationen über das Stammwachstum nicht aus. Denn bei der Zwischenbilanz in Kapitel XI wurde deutlich, daß das einzig sichere Kriterium für die Walderkrankung der vorzeitige Nadelverlust ist. Vorzeitiger Nadelverlust heißt, daß trotz genügend Licht die jüngeren Nadeln eines Tannenastes abfallen. Doch für diese Beurteilung muß man die Tannenäste morphologisch weiter differenzieren.

Es galt daher zunächst zu klären, ob die Walderkrankung eine Baum- oder Asterkrankung ist. Bei der morphologischen Beurteilung walderkrankter Tannen in Kapitel XI stellte sich heraus, daß meist nur ein Teil der Äste vorzeitige Nadelverluste hat. Dagegen kann der Stamm Walderkrankungssymptome, wie das Abflachen der Krone oder ein plötzlich verringertes Dickenwachstum aufweisen - oder auch nicht.

Zu welchen Abweichungen in der Beurteilung dies führen kann, sei an drei Extrembeispielen demonstriert: Besenfeld, Tanne 4, Tanne 49; Hardtwald Ta5 (Klosterreichenbach). Bei den drei Tannen war das Stammwachstum zwar nicht ganz gleichmäßig, doch wuchsen sie insgesamt gut und waren auch weitgehend regulär benadelt. Das Besondere war, daß diese Tannen drei oder vier typisch walderkrankte Kümmeräste hatten, wie sie schon in Kapitel II beschrieben wurden.

Aus diesen wenigen, charakteristischen Kümmerästen läßt sich der Schluß ziehen, **daß es sich bei der Walderkrankung in erster Linie um eine Asterkrankung und nicht immer um eine Baumerkrankung handelt.** Erst wenn genügend viele Äste betroffen sind, wirkt sich die Schädigung auf den gesamten Baum aus. Damit wäre endlich ein Bild von der Walderkrankung skizziert, in dem auch die vielen widersprüchlichen Symptom-Kombinationen von Kapitel II/2 und 3 Platz finden könnten.

Hieraus ergab sich eine neue Vorgehensweise: Die "gesunden" und walderkrankten Tannenäste werden jetzt genauer angeschaut. Es werden beurteilt: (1) ihre Ausmaße, ihre Struktur und ihre Benadelung, (2) ihre Astentwicklungen. Durch einfaches Vergleichen wird deutlich, welche Veränderungen als regulär und welche als pathologisch anzusehen sind. Zum Abschluß werden die verschiedenen Aststrukturen modellhaft zu Entwicklungsverläufen zugeordnet.

In den vorangegangenen Kapiteln wurden immer wieder verschiedene Detailspekte der Tannenäste erwähnt. Hier werden sie nochmals in einer kleinen Übersicht zusammengefaßt und ergänzt.

XII/2. Zur Morphologie der Tannenäste (Zusammenfassung).

1) Strukturelemente einer Tannenkrone. **Primärtriebe** entstehen durch apikales Spitzenwachstum. Sie haben sich immer aus Knospen an der Peripherie des Verzweigungssystems entwickelt (Apikalmeristem). Hierzu zählen alle Quirläste und die Stammspitze. Dagegen entstehen **Folgetriebe** immer aus verborgenen Meristemen an älteren Verzweigungsachsen (FINK, 1980; GRUBER, 1989). Alle Folgetriebe treiben aus sog. "schlafenden Knospen" aus. Entsprechend ihren Ansatzstellen an den Quirlästen, am Stamm innerhalb und unterhalb der Quirlastkrone unterscheidet man **Astreiser, Stammreiser und Klebäste**. Mit neuen Folgetrieben reagiert eine Tanne auf günstigere Lichtverhältnisse (Kapitel IX/4). Strukturvergleiche lassen vermuten, daß diese "schlafenden Knospen" die ursprünglichen Anlagen für Zwischenzweige, Zwischenquirltriebe und für Quirläste sind.

2) Sonnen- und Schattenäste. Ob ein Tannenast nun viel oder wenig Licht erhalten hat, äußert sich in verschiedenartigen Strukturen:

- **In den Astachsen.** Sonnenäste, die viel Licht erhalten, haben eine relativ dicke Astachse, Schattenäste eine schlanke. In dem Quotienten Astlänge zu Astdicke, dem l/d-Wert, lassen sich diese Unterschiede mit Zahlen beschreiben.
- **In der Verzweigungsstruktur der Äste** (Kapitel XII/5 ff).
- **In der Größe der Knospen**, insbesondere der Endknospen. Knospen an Schattenästen mit weniger als 2,5 mm Durchmesser treiben meist nicht mehr aus. Einfacher und deutlicher ist dies am Durchmesser der Astachsen erkennbar. Sind die

3jährigen Triebe noch nicht dicker als 3mm geworden, so verkümmern meist die Endknospen (Beobachtungen im Forstbezirk Klosterreichenbach und Besenfeld).

- **In der Stellung der Nadeln.** Sonnennadeln stehen büstenartig von der Astachse ab, oben mit einem schmalen, unten mit einem breiten Scheitel. Im Vergleich dazu sind Schattennadeln flächig orientiert (KIRCHNER, 1908; TAUBERT, 1926).

- **In der Länge der Nadeln.** In der flächigen Anordnung der Schattennadeln sind oben immer kurze, unten längere Nadeln. Dagegen sind an gut belichteten Sonnenzweigen alle Nadeln immer ungefähr gleich lang. Bei manchen walderkrankten Ästen und bei Tannen auf extremen Trockenstandorten können die Nadeln insgesamt wesentlich kürzer sein.

- **In der Gestalt der Nadeln.** Extreme Sonnennadeln sind dick und derb, extreme Schattennadeln dünn und weich (KIRCHNER, 1908; TAUBERT, 1926).

- **In der ökophysiologischen Leistungsfähigkeit.** Schattenäste haben eine geringere Nettophotosyntheseleistung als Sonnenäste. Dies veranschaulicht eindrucksvoll eine Untersuchung an einer anderen schattenresistenten Nadelbaumart, an der Fichte (MITSCHERLICH et al., 1968). Bei ihr lassen sich etwa 20% der Quirläste in der unteren (Schatten-) Krone entfernen, ohne daß sich dieser Verlust an Assimilationsflächen im Holzzuwachs bemerkbar macht. Der Lichtmangel in der unteren Schattenkrone ist offensichtlich derart groß, bzw. die Nettophotosynthese derart gering, daß diese Schattenäste ihre meisten Assimilate für ihr jährliches Wachstum und ihre Atmung selbst verbrauchen. Für Stamm und Wurzel bleibt offensichtlich nur noch sehr wenig übrig.

XII/3. Die Größe der Astachsen "gesunder" und walderkrankter Äste

Es geht um die Frage, ob sich "gesunde" und walderkrankte Tannenäste außer in den vorzeitigen Nadelverlusten auch noch in anderen morphologischen Parametern unterscheiden. Daher wird die Qualität der Benadelung mit der Länge und Dicke der Astachsen verglichen. Als "gesund" werden hier jene Äste bezeichnet, die regulär benadelt sind. Sind an diesen Ästen Nadelverluste vorhanden, so lassen sie sich immer auf Lichtmangel zurückführen. Dagegen hat die Astfläche bei einem walderkrankten Ast mit vorzeitigem Nadelverlust immer genügend Licht. Dies wurde an 12 Tannen bei Besenfeld untersucht (Abb. 91). Für jede der 12 Tannen ist ein Diagramm gezeichnet worden.

Zu Abb. 91: Jedes einzelne Diagramm enthält von jedem Quirl der Krone einen Ast. Die Ordinate gibt jeweils die Astlängen (1.Ordnung) an, die Abszisse den Astdurchmesser nahe am Astansatz.

Verschiedene Asttypen. Ist nur ein Punkt eingezeichnet, so handelt es sich um den Primärtrieb eines Quirlasts. Ein Quirlast mit intakten Astreisern hat zusätzlich das Zeichen "&". Wurden Folgetriebe vermessen, sind folgende Buchstaben angegeben: Astreiser ("A"), Klebäste ("K") und Stammreiser ("S"). **Die Qualität der Benadelung** wird in drei Stufen unterteilt: (●) Dieser Ast ist **regulär** benadelt.

(△) Die Primärbenadelung hat vorzeitige Nadelverluste und ist somit **walderkrankt**.

(7) Alle Nadeln der Primärtriebe sind bereits abgefallen. Sind keine zusätzlichen Astreiser vorhanden, so ist ein solcher Ast ganz abgestorben.

Die **Lage eines Punkts oder Symbols im Diagramm** erlaubt einige Rückschlüsse. Die Steigung einer Mittelpunktsgeraden durch einen der Punkte auf dem Diagramm entspricht dem jeweiligen l/d -Wert des Astes (Quotient aus Astlänge zu Astdurchmesser). Sind die Punkte mehr der Ordinate zugewandt als der Abszisse (eine Mittelpunktsgerade durch diesen Punkt hätte eine große Steigung), dann sind diese Astachsen vergleichsweise schlank. Schlanke Astachsen sind charakteristisch für wenig Licht (Schattenäste). Ist ein Punkt von der Ordinate relativ weit entfernt (geringere Steigung einer Mittelpunktsgeraden), so ist die Astachse vergleichsweise dick. Es handelt sich um einen Sonnenast. Die untersuchten Äste lassen sich sowohl innerhalb einer Krone wie auch zwischen den verschiedenen Tannen miteinander vergleichen.

Befund (Abb. 91 auf Seite 208):

1. Allgemeiner Vergleich aller Äste von allen untersuchten Tannen. Wie bereits aus Kapitel IX u. XI bekannt, bestätigt sich auch hier wieder: Vor allem die langen Quirläste sind bevorzugt von Nadelverlusten betroffen. Doch allein die **Größe einer Astachse** zeigt noch nicht an, ob dieser Ast walderkrankt ist oder nicht. Denn weder aus der Länge noch aus der Dicke einer Astachse, noch aus dem Schlankheitsgrad (l/d -Wert) läßt sich ein Zusammenhang mit vorzeitigen Nadelverlusten herstellen.

2. Astvergleich innerhalb einer Tannenkronen. Sind Äste walderkrankt, so haben sie, wie erwähnt, im Vergleich zu den anderen Ästen dieser Krone immer relativ schlanke Astachsen. Offen bleibt zunächst, ob diese Äste durch die Walderkrankung oder durch Lichtmangel so schlank geblieben sind. Vergleicht man bei einer geschädigten Tanne **alle Äste gleicher Länge** miteinander, so zeigt sich, daß die Klebäste und Astreiser immer besser benadelt sind als die Primärtriebe der Quirläste mit gleicher Länge.

3. Verschiedene Kronenentwicklungen. Bezieht man die Lagepläne ein und rekonstruiert daraus, wie sich die Lichtverhältnisse entwickelt haben, so lassen sich die l/d -Werte auf eine einfache, allgemein bekannte Gesetzmäßigkeit zurückführen: **Das relative Lichtangebot an einem Ast spiegelt sich im l/d -Wert wider.** Dazu der Nachweis im Einzelnen.

a) Bei Tanne 3, 37, 40, 46 liegen die Punkte **fast alle auf einer geraden Linie**. Diese Tannen hatten in weiten Kronenteilen über viele Jahre hinweg ein konstantes Lichtangebot, sei es nun viel oder wenig.

b) Bei Tanne 1, 4, 33 ist diese Punktekurve zweigeteilt, hat **zwei Steigungen**. Es zeigt sich eine deutliche Trennung in eine Sonnen- und in eine Schattenkrone. Die kürzeren und damit jüngeren Quirläste haben die relativ dicken Astachsen; sie sind eher Sonnenäste. Die längeren Äste haben relativ dünne Achsen und sind eher Schattenäste.

c) In anderen Fällen liegen die Punkte nicht schnurgerade auf einer Linie wie bisher, sondern die Werte **streuen**. Interessant ist, daß bei diesen Bäumen vermehrt Astreiser und Klebäste auftreten (Tanne 2, 7, 42).

Die unterschiedlichen Dicken der Astachsen lassen sich auf zwei Weisen werten: Das Lichtangebot hat sich mehrfach geändert oder aber ein Teil der untersuchten Äste war zum Bestand hin orientiert, der andere zu einer Bestandeslücke.

4. Nadelfall und l/d -Wert. Das Lichtangebot spiegelt sich in den l/d -Werten der Äste wider. Fallen die Nadeln vorzeitig ab, so sind die walderkrankten Äste relativ schlank, vergleichbar mit Schattenästen (vgl. auch Kapitel IX/ 12 und 13).

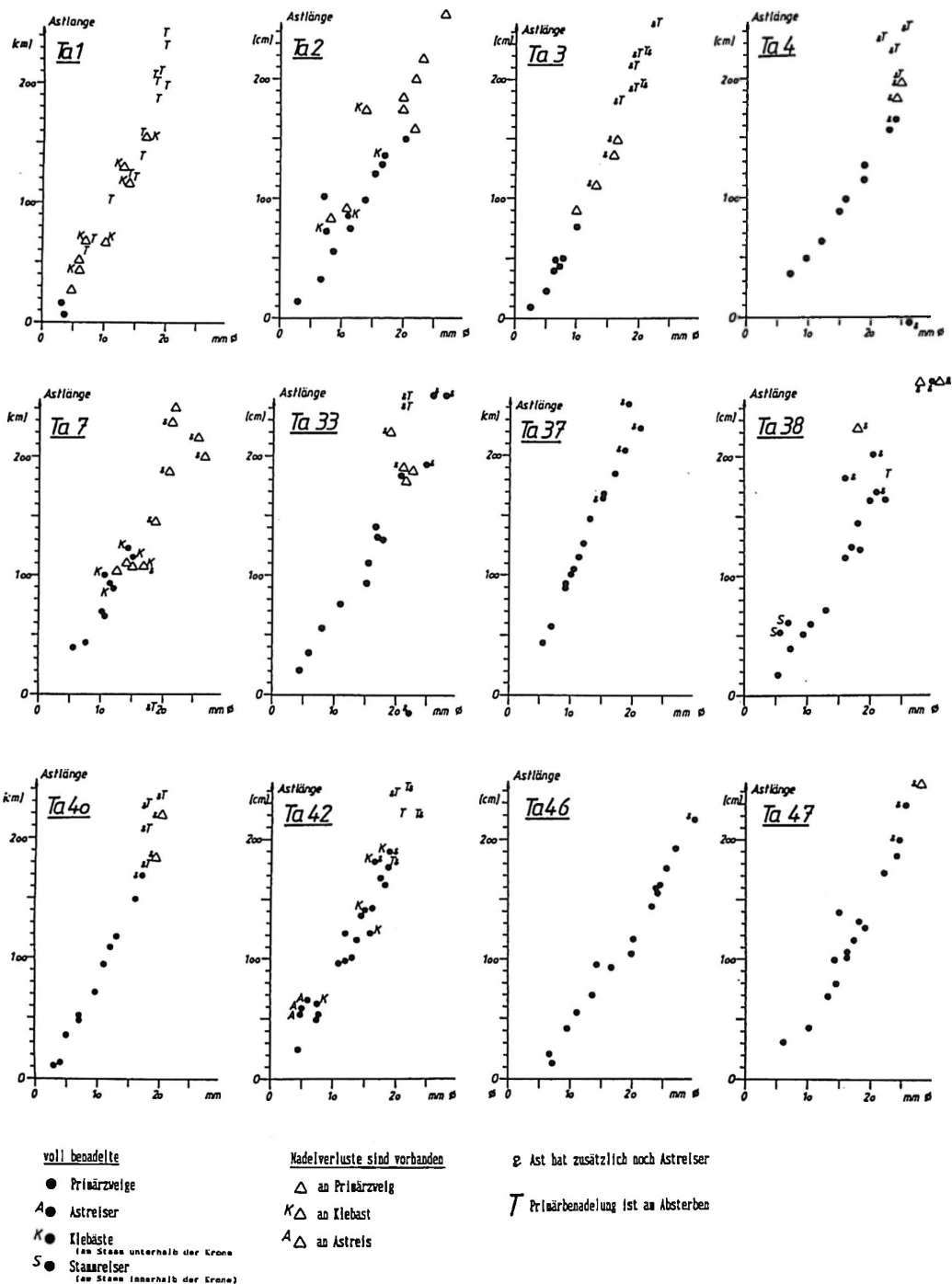


Abb. 91: Länge und Dicke der Astachsen von zwölf Tannenkronen aus Besenfeld, nach Asttyp und Benadelungsqualität unterschieden (vgl. Text).

XII/4. Zur Wuchsleistung "gesunder" und walderkrankter Äste während der letzten acht Jahre.

Zur weiteren Unterscheidung wird als ein Merkmal die physiologische Leistungsfähigkeit der Äste herangezogen: das Wachstum der Astachse während eines festgelegten Zeitabschnitts. Da ein regulär benadelter Ast meist etwa acht Nadeljahrgänge hat, wurde dieser überschaubare Entwicklungszeitraum von acht Jahren ausgewählt. Nach den Beobachtungen des Autors und nach Informationen aus der Literatur (DIETRICH, 1973) bekommen schlecht wachsende Tannenäste keine oder nur wenig Assimilate von anderen Baumteilen.

In Abb. 92 wurden dieselben Tannen, Parameter und Bezeichnungen wie zuvor verwandt. Doch jetzt wurde nur jener Astteil vermessen, der in den letzten acht Jahren neu dazugewachsen ist.

Befund (Abb. 92 auf Seite 210):

- 1. Wuchsleistung.** Hat ein Ast seine Nadeln vorzeitig verloren, so wächst er insgesamt nicht mehr so gut wie ein regulär benadelter Ast. Diese triviale Aussage hat weitreichende Konsequenzen. Da regulär benadelte Tannenäste besser wachsen, sind aus morphologischer Sicht nicht alle Äste einer Tanne gleichwertig. Dies ist ein sehr wichtiger Gesichtspunkt bei der Probenahme für physiologische Untersuchungen (vgl. Fragestellungen in der Einleitung).
- 2. Wechselbeziehung zwischen Astreisern und Primärtrieben.** Astreiser beeinflussen nicht merklich das Längenwachstum der Quirläste (Primärtriebe), anscheinend weder durch massive Assimilatverlagerung noch durch Phytohormone (ergänzend dazu Kapitel IX/5, "benadelte Astflächen" und Höhenwachstum).
- 3. Bevorzugte Wüchsigkeit von Primärtrieben.** Quirläste wachsen immer besser als die Astreiser und Klebäste derselben Tanne - reguläre Benadelung vorausgesetzt. Doch falls ein Quirlast nur noch gerade so gut wie ein Klebast oder ein Astreis wächst, so hat dieser Quirlast vorzeitige Nadelverluste. D.h. durch die Walderkrankung verlieren Primärtriebe ihre bevorzugte Wüchsigkeit (Kapitel IX/12 a-c).
- 4. Keine Beurteilungskriterien.** Ebenso wenig wie aus der Größe einer Astachse läßt sich aus der Wuchsleistung der letzten acht Jahre zwingend ablesen, ob ein Ast regulär benadelt ist oder nicht.

Wachstum der Äste in den vergangenen 8 Jahren.

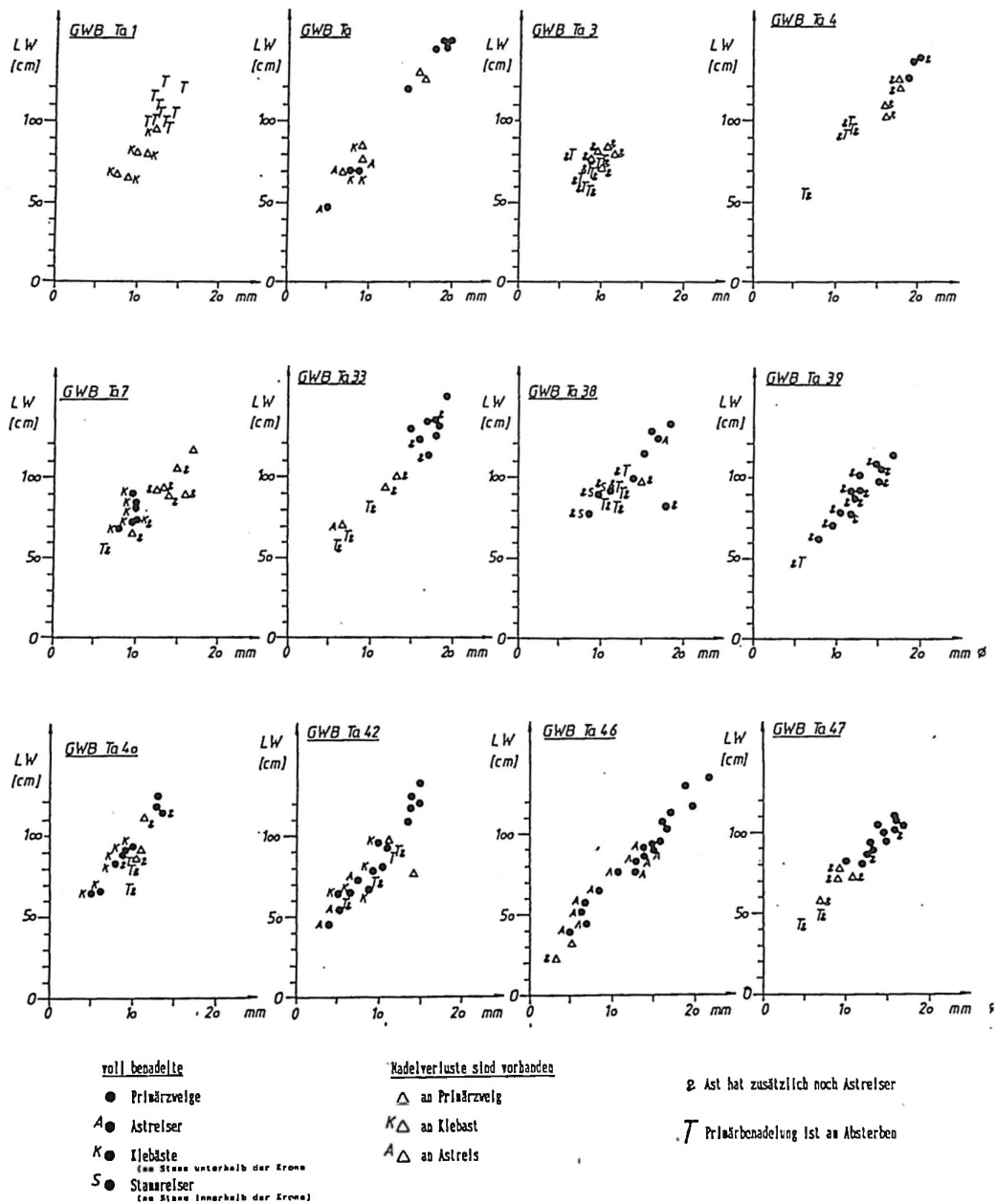


Abb. 92: Wuchsleistung der Astachsen in Länge und Dicke während der zurückliegenden acht Jahre, nach Asttyp und Benadelungsqualität unterschieden (vgl. Text).

XII/5. Weiterführende Überlegungen zu spezifischen Walderkrankungssymptomen am Ast.

1) Lichtmangel oder Walderkrankung. Aus den Beobachtungen und Kapitel XII/3 und 4 ging hervor, daß sich weder an der Größe eines Astes, noch an seiner Wachstumsleistung ablesen läßt, ob der Ast walderkrankt ist oder nicht. Damit steht man bei der Beurteilung eines einzelnen Astes vor dem selben Problem wie bei der eines ganzen Baums (Kapitel VIII bis XI). Denn sowohl Lichtmangel wie auch die Walderkrankung können das Wachstum enorm verringern. Diese quantitativen Größen allein erlauben also noch keine Rückschlüsse auf vorzeitige Nadelverluste.

Als Ausweg aus diesem Dilemma werden nun die **Entwicklungsabläufe an den Ästen** untersucht. Dabei gilt es, die vorzeitigen Nadelverluste, das einzige allgemeingültige Symptom der Walderkrankung, auf verschiedene Weise mit der Wachstumsentwicklung des Astes zu vergleichen.

2) Wachstumsentwicklungen. Bei den Entwicklungsverläufen der Jahrringbreiten im Stamm ließen sich drei Fälle von geringem Wachstum erkennen. Bei Lichtmangel sind die Jahrringe von Anfang an schmal, z.B. bei unterständigen Tannen. Tritt der Lichtmangel erst später in der Konkurrenz mit gleichalten Bäumen auf, so werden die Jahrringe erst im Laufe der Zeit allmählich schmaler. Im Gegensatz dazu ist die Walderkrankung durch plötzliche Veränderungen, meist plötzliche Wuchsstockungen gekennzeichnet.

3) Wie steht es nun mit den Wuchsstockungen am Ast? Tanne SG (Baiersbronn) mag als Beispiel dienen. In Kapitel XI wurde deutlich: Verliert ein Ast seine Nadeln vorzeitig, so wuchs dieser Ast bereits seit einigen Jahren vorher deutlich schlechter. Dieser Zusammenhang zwischen vorzeitigem Nadelverlust und Wuchsstockung bestätigte sich an weiteren Beispielen (Kapitel XI/5).

4) Suche nach weiteren sensiblen Parametern. Allerdings bei Tanne 3, deren Jahrestriebe insgesamt schon kurz waren, ließ sich an der Astachse diese deutliche Wachsminderung nicht erkennen. Neben den verkürzten Trieben an der Astachse werden daher weitere, sensible Parameter für Wuchsstockungen am Ast gesucht. Das angestrebte Ziel ist, den Zeitpunkt einer Wuchsstockung ohne viel Aufwand an einem Ast abzulesen. Dazu werden drei Parameter genauer überprüft:

- a) Wuchsstockungen an den Durchmessern der Astachsen.
- b) Wuchsstockungen bei den Jahrringen nahe am Astansatz
- c) Wuchsstockungen an den Verzweigungsstrukturen der Äste.

XII/6. Wuchsstockungen an den Durchmessern einer Astachse und vorzeitige Nadelverluste am selben Ast.

Der Durchmesser einer Astachse wird vom Astansatz bis zur Astspitze von Jahrestrieb zu Jahrestrieb gleichmäßig kleiner. Abgesehen von den Ansatzstellen der Seitenzweige ist die Achse eines Jahrestriebs fast zylindrisch. Bei walderkrankten Ästen fällt nun auf, daß der Durchmesser der Jahrestriebe oft nicht so gleichförmig kleiner wird. Vielmehr gilt, daß der Durchmesser der Astachse von einem Jahrestrieb zum nächsten plötzlich wesentlich dünner wird. Innerhalb eines Jahrestriebs ist die Astachse nicht mehr zylindrisch, sondern verjüngt sich konisch. Beide Phänomene sind nicht sehr auffällig und kommen auch nicht immer vor. Die Astachsen der Kronen von Tanne 2 und Tanne 4 (Besenfeld) mögen dies verdeutlichen (Abb. 93).

Zu Abb. 93 a und b. Die Achsen wurden auf den Durchmesser ihrer Jahrestriebe hin untersucht. Aus der Krone ist pro Quirl jeweils eine Astachse herausgezeichnet. Der jüngste Jahrestrieb ist jeweils oben, der Astansatz unten. Der Durchmesser der Jahrestriebe ist im Verhältnis zur Länge 5fach größer gezeichnet. Die Schraffur auf den Astachsen zeigt die Qualität der Benadelung.

Im linken Teil des Bildes ist das Höhenwachstum des Stamms und die Anzahl der Quirläste angegeben. Damit läßt sich der Zeitpunkt von Wuchsstockungen im Stamm feststellen und mit den Wuchsstockungen und Nadelverlusten an den Quirlästen zeitlich-räumlich vergleichen (kurze, schräge Pfeile).

Befund (Abb. 93 a und b):

- 1. Reguläre Entwicklungen.** Je älter die Äste werden, desto mehr werden sie durch ihre Umgebung beschattet. Dadurch wachsen sie von Jahr zu Jahr gleichmäßig weniger. Der Durchmesser der Astachse nimmt gleichförmig ab. Regulär benadelte Äste haben normalerweise keine plötzlichen Wuchsstockungen (Ta4).
- 2. Wuchsstockungen im Längenwachstum und in den Durchmessern der Astachsen.** Walderkrankte Äste erkennt man daran, daß die jüngeren Nadeln schon abgefallen sind und daß z.T. an einem Jahrgang "isolierte Restnadeln" übrig bleiben. Bei einem Teil dieser walderkrankten Äste wird die Astachse nicht nur plötzlich kürzer, sondern auch wesentlich dünner. Derselbe Effekt läßt sich z.T. auch an den Seitenzweigen erkennen, wurde jedoch hier nicht dargestellt.
- 3. "Isolierte Restnadeln".** Jahrgänge mit isoliert übrig gebliebenen Restnadeln stehen am Anfang einer Wuchsstockung (Abweichungen von 1-2 Jahren kommen allerdings vor).

XII/7. Das Wachstum an einer walderkrankten Astspitze: Bast, Holz und Mark.

Welche Anteile einer Astachse führen zu einer solchen Verkleinerung des Astdurchmessers? Um dies zu ermitteln, wurden in einem Extremfall diese Orte der Wuchsstockungen untersucht.

Zu Abb. 94. Ausgewählt wurde dazu eine kümmernde, walderkrankte Astspitze von Tanne SG (Baiersbronn). Dieser Ast wurde im November 1990 abgeschnitten, eine Vegetationsperiode nach den ersten vorzeitigen Nadelverlusten. Von dieser walderkrankten Astspitze wurden die Querschnittsflächen mehrerer Jahrestriebe vermessen: der Durchmesser des Holzteils, die Dicke des Basts, der Durchmesser des 1. Jahrrings (mit Mark), der Durchmesser des Marks und die Breite der einzelnen Jahrringe. Zum Vergleich seitlich ein Maßstab.

Befund (Abb. 94):

1. Verringeretes Wachstum. An der Astspitze nimmt das Wachstum in den letzten Jahren ab. Die Jahrringe an einem solchen Aststück werden von Jahr zu Jahr schmaler. Das Mark der neuen Triebe wird von Jahr zu Jahr kleiner, ebenso der Durchmesser des 1. Jahrrings (mit Mark). Bast und Borke bleiben etwa gleich breit.

Dieses Einzelbeispiel zeigt, daß das verringerte Wachstum nicht zu Lasten des Phloems (Bast) geht, sondern zu Lasten des Xylems (Holzteil). Es ist daher zu vermuten, daß an diesen kümmernden Astteilen eher der Wasserhaushalt und nicht der Assimilationstransport zum physiologischen Engpaß werden könnte.

Zu Beginn der Untersuchungsarbeiten gab es allerdings die Vermutung, daß die Wuchsstockungen der Walderkrankung durch Blockaden im Phloem verursacht sein könnten. In Kapitel XI/5 wurde dieser Verdacht nicht bestätigt. Denn bei der extrem geschädigten Tanne 1 wuchsen die Jahrringe im Stamm nur noch dort, wo in der Nähe benadelte Äste waren: im Bereich der oberen Krone und im mittleren Stammabschnitt nahe der Klebäste.

Ähnlich auch bei Tanne SG. Die unterschiedliche Breite der Jahrringe spiegelt näherungsweise die Benadelung in der letzten Vegetationsperiode wider. Die Nadeljahrgänge 1987 und 1988 waren bereits im Winter 1989/90 abgefallen. Sowohl die jüngeren wie auch die älteren Triebstücke waren benadelt und wuchsen besser. Trotz dieser Wuchsstockungen im Holz war der Bast immer etwa gleich dick. Bei einer massiven Blockade im Phloem und bei gleichzeitig ungeschädigten Wachstumsabläufen wäre ein anderes Astwachstum zu erwarten, je nachdem, wo die Blockade einsetzt.

2. "Isolierte Restnadeln". Eine Besonderheit fällt am Übergang zu der Wuchsstockung auf. Dort bleiben noch lange Zeit die isolierten Restnadeln übrig (1986). Der Durchmesser des 1. Jahrrings hat hier den größten Wert erreicht.

Unbeantwortet bleibt die Frage, warum gerade an diesem dickeren Achsenabschnitt die Nadeln länger überleben. Die Untersuchungen zum Nadelfall (Kapitel XII/19) lassen vermuten, daß neben der Nettophotosynthese auch der Stärkespeicher im Zweigholz über den Nadelfall entscheidet.

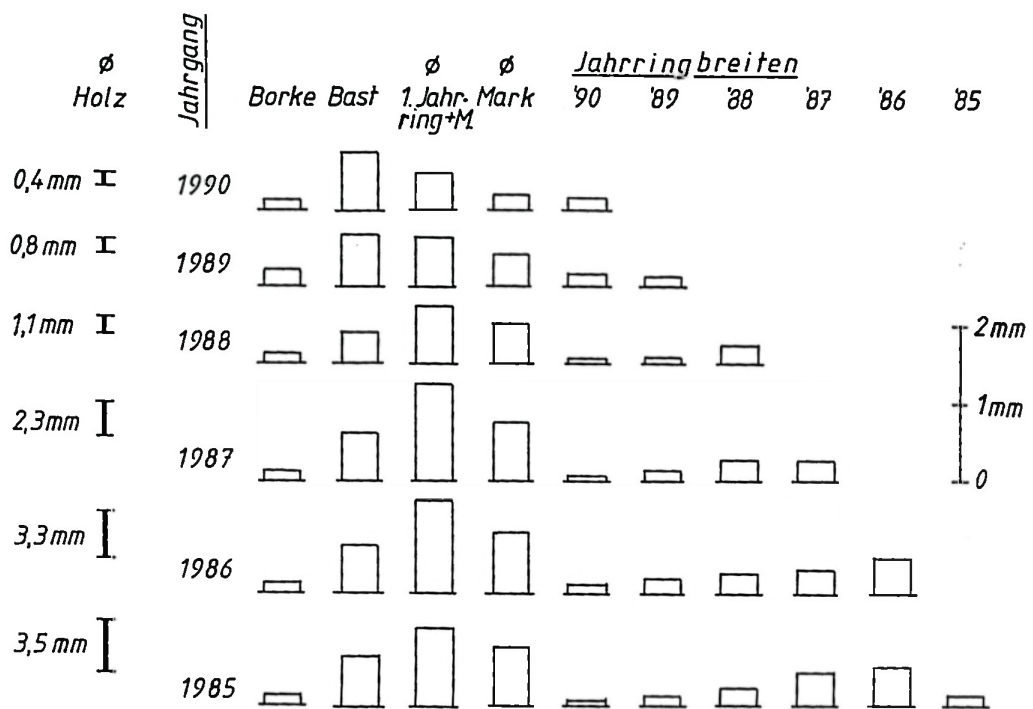


Abb. 94: Das jährliche Wachstum einer walderkrankten Astspitze. Weitere Hinweise für Wuchsstockungen am Ast. Tanne SG, Baiersbronn, Nov.1990; (vgl. Text).

XII/8. Wuchsstockungen in den Jahrringbreiten am Astansatz und die vorzeitigen Nadelverluste am selben Ast.

Die Jahrringbreiten in der Astachse wurden etwa 20cm vom Stamm entfernt beurteilt. Von mehreren Tannen aus Besenfeld wurden Zeiten mit Wuchsstockungen ausgewählt.

Abb. 95 zeigt in einer Tabelle, in welchem Jahr eine mehrjährige Wuchsstockung begann und wie sie sich im Stamm (Höhenwachstum und Anzahl der Äste pro Quirl) und bei einem Teil der Äste in der unteren Krone auswirkte (Längen- und Dickenwachstum der Astachse, neue Astreiser). Diese Wachstumsänderungen wurden in einem weiteren Schritt mit der Qualität der Benadelung verglichen.

Befund (Abb. 95):

1. Sensibilitätsreihe für Wuchsstockungen. Durch Vergleichen zeigt sich, daß das Dickenwachstum der Astachse wohl der empfindlichste Parameter für Wuchsstockungen an einem Tannenast ist. Nach den bisherigen Kenntnissen sind das Längenwachstum und die Verzweigungen an den älteren Seitenzweigen und die Anzahl der neuen Zwischenquirle am Stamm ähnlich empfindlich.

Wächst eine Tanne sehr gut in die Höhe, so reagiert bei einer schwachen Wuchsstockung die Tanne auch mit weniger Ästen pro Quirl. Etwas weniger empfindlich ist die Länge des Höhentriebs. Dagegen ist das Längenwachstum der Astachse (1.Ordnung) deutlich unempfindlicher.

2. Nadelfall. Der vorzeitige Nadelfall ist schwieriger zu beurteilen. Auf Grund von Beobachtungen im Gelände ist davon auszugehen, daß der Nadelfall durch die Walderkrankung immer etwa vier bis sechs Vegetationsperioden nach einer starken Wuchsstockung am Ast auftritt (Kapitel XII). Diese Zeitdifferenz ist nicht bei allen hier angeführten Beispielen erreicht. Der Nadelfall läßt sich daher nicht mit Sicherheit beurteilen, doch kann man normalerweise davon ausgehen, daß Äste mit plötzlich verkürzten Trieben (1.Ordnung) meist auch vorzeitige Nadelverluste haben (dies ergibt sich aus Hinweisen aus Fotografien von Tannenästen und Astvermessungen der Tannen 1-47 in Besenfeld). Die Wuchsstockungen lassen sich zusätzlich durch mehr Astreiser in den darauffolgenden Jahren bestätigen.

MEHRJÄHRIGE WUCHSSTOCKUNGEN

	<u>STAMM</u>		Beginn der Stockg.	<u>ÄSTE in der unteren Krone (Primbr.)</u>				vorzeitige Nadelverluste
	Anzahl Quirläste	Höhen- wachst.		Dicken- wachst.	Längen- wachst.	Ast- reiser		
Tanne 37	↓	(↓)	1984	↓	(↓)	+1 J. +2 J.	keine	
	↓	(↓)	1977/8	(↓)	=	+2 J. +3 J.	keine	
Tanne 39	=	=	1981	(↓)	=	+1 J. +2 J.	ja	
	↓	↓	1984	↓	(↓)	+1 J. +2 J.	keine	
Tanne 40	=	(↓)	1984	↓	↓	+1 J. +2 J.	ja	
Tanne 42	=	=	1982	↓	(↓)	+2 J.	ja	
Tanne 43	=	(↓)	1985	↓	=	+0 J. +1 J. +2 J.	keine	
Tanne 46	=	(↓)	1981	(↓)	=	+0 J. +1 J.	keine	
	=	(↓)	1984	↓	↓	+1 J. +2 J. +3 J.	keine	
Tanne 47	=	↓	1984	↓	↓	+0 J. +1 J. +2 J.	ja	

↓ deutlich weniger Wachstum als zuvor
 (↓) geringfügig weniger Wachstum
 = gleiches Wachstum wie zuvor

Abb. 95: Wuchsstockungen am Stamm und an den Astachsen in der unteren Quirlastkrone. Die aktuelle Benadelung zum Zeitpunkt der Fällung ist angegeben (Besenfeld 1988/89).

XII/9. Zur Verzweigungsstruktur der Tannenäste. Eine Übersicht.

Das Ziel der folgenden Abschnitte ist, den Zeitpunkt einer Wuchsstockung ohne viel Aufwand an einem Ast ablesen zu können. Einen Ansatz dazu lieferte die Beobachtung, daß ein Schattenast sich weniger verzweigt als ein Sonnenast (vgl. auch KIRCHNER, 1908). In den folgenden Abschnitten werden zuerst die verschiedenen Bezeichnungen der Zweige definiert (**Kapitel XII/10**). Dann wird die Verzweigungsstruktur eines Sonnenastes mit der eines Schattenastes verglichen. Dabei wird deutlich, daß der Verzweigungsgrad eines Triebstücks eng mit seiner Wüchsigkeit zusammenhängt (**Kapitel XII/11**). Diese Gesetzmäßigkeit wird an zwei alten Quirlästen überprüft, die anfangs viel Licht hatten, später aber nach und nach beschattet wurden (**Kapitel XII/12**).

Ein walderkrankter Ast ist durch vorzeitigen Nadelverlust charakterisiert. Die dazugehörige Wuchsstockungen am Ast machen sich u.a. auch an den Verzweigungen bemerkbar. Je nach Ausmaß der Wuchsstockungen verändern sich nur die älteren Seitenzweige oder aber der ganze Ast wird davon erfaßt. Zahlreiche Beobachtungen zeigen: **Je weniger gut ein Zweigstück zuvor in die Länge gewachsen oder je dünner es relativ ist, desto eher wird es von Wuchsstockungen und vorzeitigen Nadelverlusten betroffen.** Schattenäste sind daher besonders gefährdet (**Kapitel IX/12**).

XII/10. Zur Namengebung der Zweige eines Tannenastes.

In **Abb. 96** zeigen die gepunkteten Zweigteile, welche Triebe innerhalb einer Vegetationsperiode neu hinzukommen. Diese verschiedenen Zweigteile lassen sich auf zwei Weisen bezeichnen:

- Nach dem **Verzweigungsgrad**. Die Verzweigungen 1., 2., 3. usw. Ordnung errechnet sich vom Stamm bis zu den letzten Zweiggenerationen.
- Nach **Trivialnamen**. Man unterscheidet zwischen den Verzweigungen an den Endknospen (Seitenzweige oder unterständige Zweige) und im mittleren Teil der Triebe (Zwischenzweige). Diese Zwischenzweige an der Astachse reagieren sehr empfindlich auf Wachstumsänderungen.

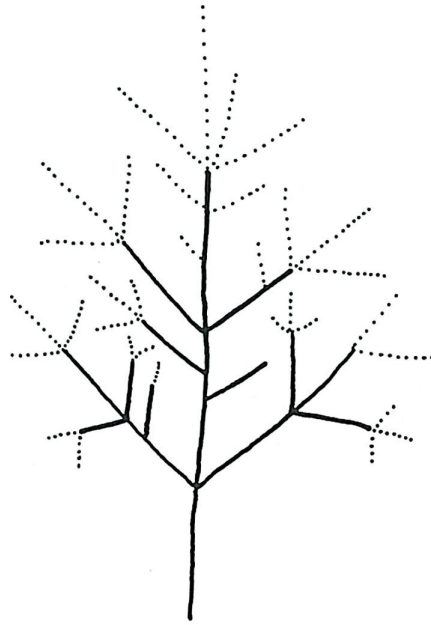


Abb. 96 a: Die gepunkteten Zweigteile zeigen die neuen Jahrestriebe.

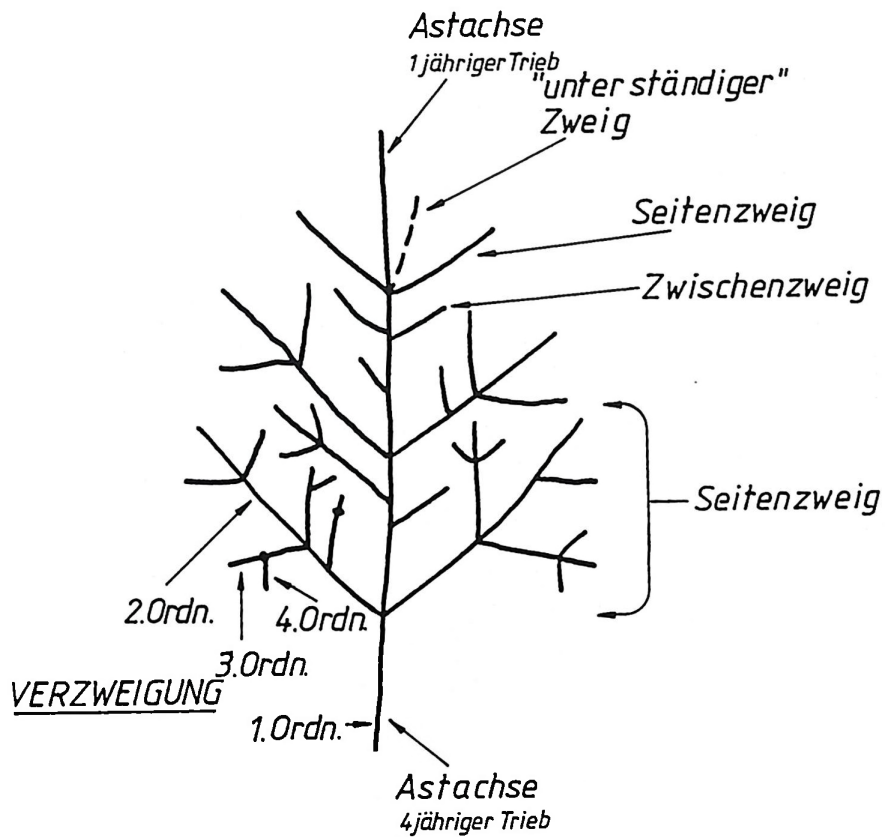


Abb. 96 b: Zur Nomenklatur der Zweige. Die Namen der verschiedenen Zweigteile am Beispiel einer wüchsigen Astsspitze.

XII/11. Die Verzweigungsstrukturen eines Tannenastes bei viel und bei wenig Licht .

In Abb. 97 a und b wird die Verzweigungsstruktur eines Sonnenastes mit der eines Schattenastes verglichen (jeweils ohne Nadeln). Der **Sonnenast** hatte während seiner Entwicklung genügend Licht, wurde allerdings später durch neue Äste oberhalb geringfügig beschattet. Als **Schattenast** wurde ein Astreis ausgewählt, das im Schatten groß wurde.

Zu Abb. 98: In einem Schema wird dann zusammengefaßt, wie sich durch fortschreitende Beschattung ein Triebstück immer weniger verzweigt. Das Längenwachstum wurde in diesem Schema überall gleich groß gezeichnet.

Befund (Abb.97 a und b; Abb.98):

1. Wuchsleistung. Vergleicht man das Längenwachstum des Sonnen- und des Schattenasts, so stellt sich heraus, daß innerhalb von sechs Jahren die Astachse des Sonnenasts 92cm wuchs, die Astachse des Schattenasts nur 48cm. Bei sonst gleichen Standortsbedingungen wächst also dieser Schattenast nur etwa halb so viel in die Länge wie der Sonnenast.

2. Verzweigungsstruktur. Das geringere Lichtangebot wirkt sich auch in der Verzweigungsstruktur aus. Wächst ein Ast gut, so hat die Astachse Zwischenzweige. Erhält ein solcher Ast nach und nach weniger Licht, so werden an den neuen Jahrestrieben auch weniger Zwischenzweige gebildet. An der Astachse eines Schattenasts fehlen diese Zwischenzweige. Wächst ein Schattenast sehr schlecht, so hat er vorne nur noch einen Seitenzweig, oder er verzweigt sich überhaupt nicht mehr. **Wie oft sich ein Triebstück verzweigt, hängt offensichtlich davon ab, wieviel Licht ein Ast bekommt, oder genauer ausgedrückt, wieviel Licht ein Ast nutzen kann.** Diese verallgemeinerte Aussage über die Verzweigungsstruktur, gewonnen aus zwei Ästen, soll nun weiter überprüft werden.

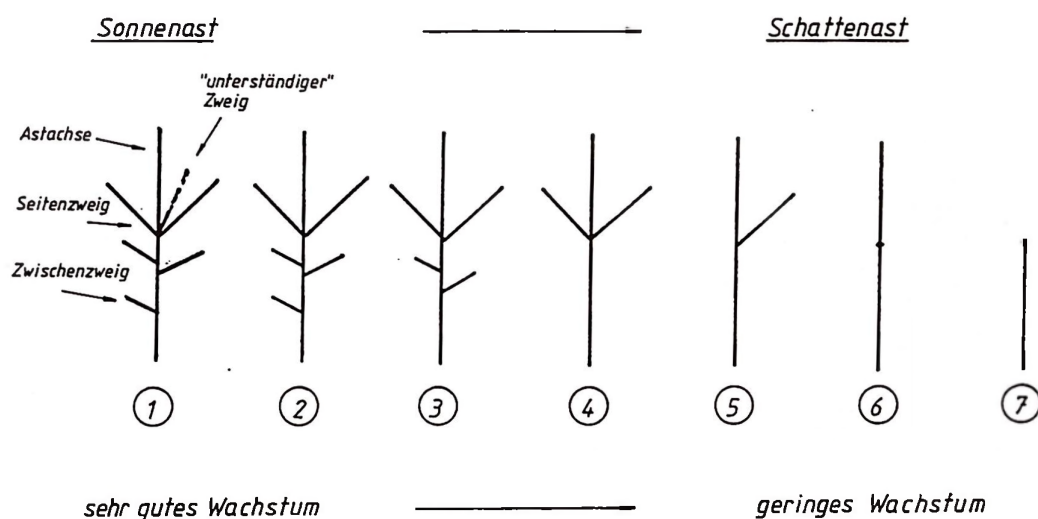


Abb. 98: In einem Schema wird hervorgehoben, welche Zweige bei einer zunehmenden Beschattung an der Astachse nicht mehr ausgebildet werden (an Zweigen 2. Ordnung fehlen normalerweise Zwischenzweige).

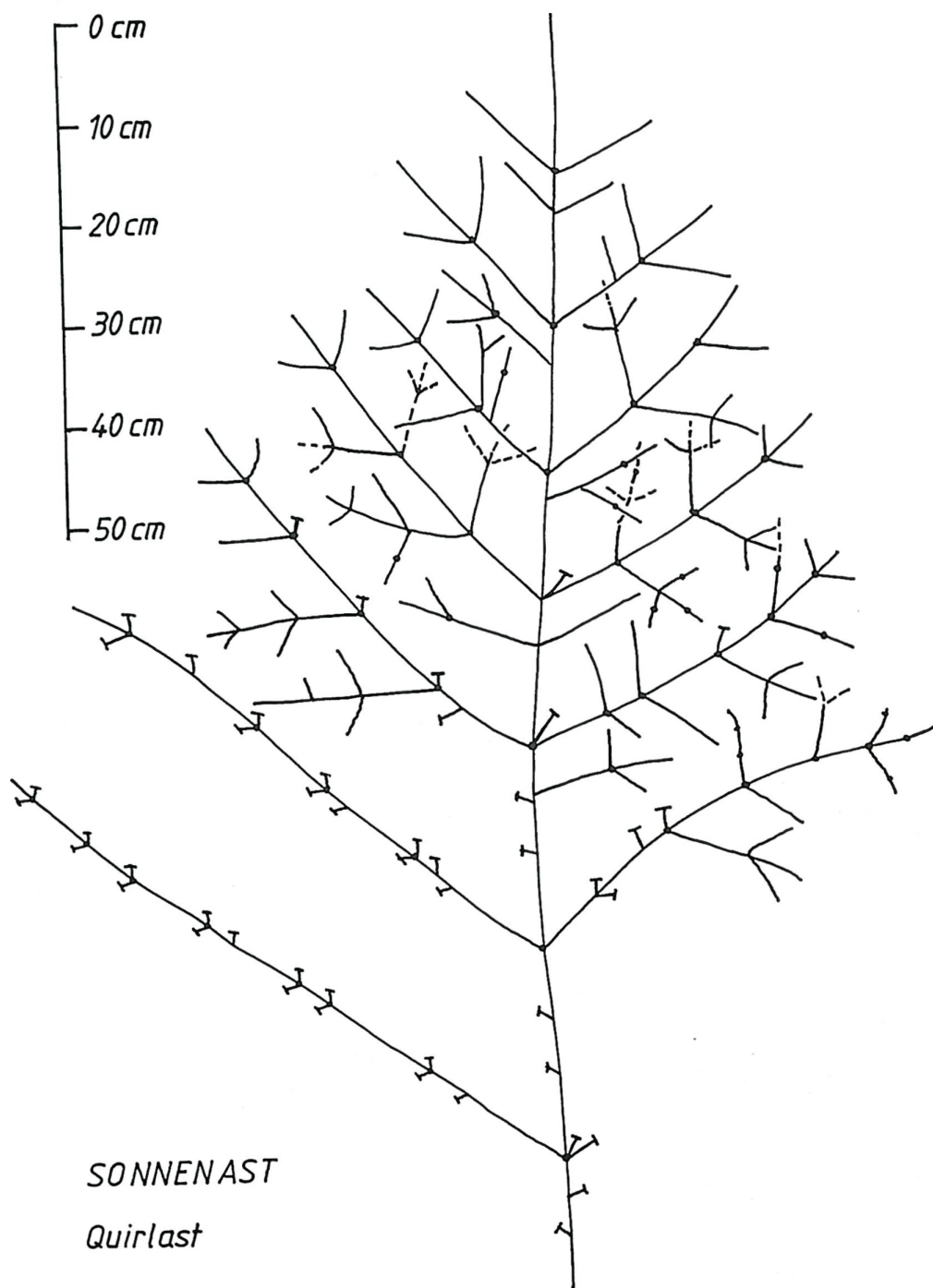


Abb. 97 a: Die Verzweigungsstruktur eines Sonnenastes.

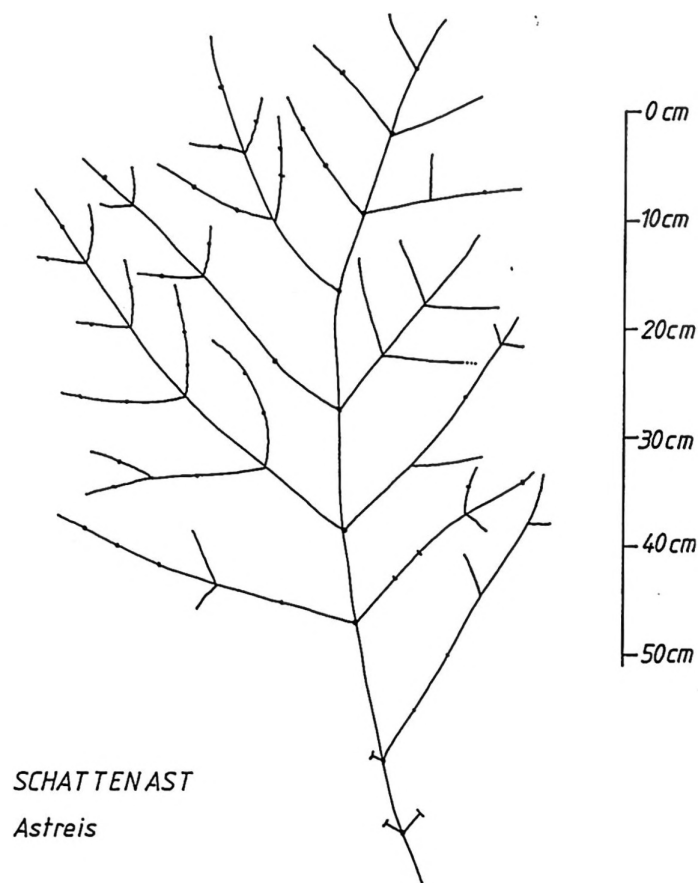


Abb. 97 b: Die Verzweigungsstruktur eines Schattenastes.

XII/12. Allmähliche Beschattung von Quirlästen.

Zu Abb. 99 Ausgewählt wurden die Astachsen von zwei langjährigen Beobachtungstannen auf dem Standort Kleemisse, Forstbezirk Klosterreichenbach. Beide Tannen waren etwa 10m hoch und hatten über viele Jahre hinweg nie Symptome der Walderkrankung gezeigt. Die Nadeln waren immer nur durch Lichtmangel regulär abgefallen.

- Der Quirlast von Beobachtungstanne 2 wurde frühzeitig schon durch angrenzende, gleichhohe Fichten nach und nach beschattet und starb vermutlich 1986 ab.

- Der Quirlast der Beobachtungstanne 7 stammt von einer fast solitär stehenden Tanne, die hauptsächlich durch ihre eigenen Äste oberhalb beschattet wurde. Zusätzlich kam im Laufe der Jahre seitlich noch Fichten-Jungwuchs auf und beschattete ebenfalls diesen Ast. Die Beschattung erfolgte wesentlich später und langsamer. Beim Vermessen hatte dieser Quirlast noch 8 komplette Nadeljahrgänge (Schattennadeln). Die Anzahl der Zwischenzweige pro Jahrestrieb der Achse ist angegeben. Zusätzlich sind Astreiser, stärkere Seitenzweige und eine Durchforstung vermerkt.

Befund (Abb. 99):

Die Verallgemeinerungen von Kapitel XII/11 bestätigen sich:

1. Durch weniger Licht werden die Zwischenzweige weniger, die Jahrestriebe etwas kürzer.

Interessant ist, daß ein etwas stärkerer Seitenzweig anscheinend Assimilate abzieht und dadurch an der Astachse 1.Ordnung vorübergehend weniger Zwischenzweige ausgebildet werden.

2. Kommt nach einer Durchforstung wieder mehr Licht an einen solchen Quirlast, so verzweigt er sich wieder besser.

Wie ergänzende Beobachtungen zeigen, kommt dieser Zusammenhang selbst bei extremen Schattenzweigen noch zum Tragen. Jahrestriebe mit 3-4cm Länge und nur einer Endknospe, treiben durch geringfügig mehr Licht mit 1-2 Seitenknospen aus, auch wenn dadurch die neuen Jahrestriebe nur noch halb so lang werden wie zuvor (Standorte Königswart u. Besenfeld). Doch dieses gesetzmäßige Verhalten funktioniert nicht mehr (oder nur selten) bei walderkrankten Kümmerästen und Kümmerzweigen.

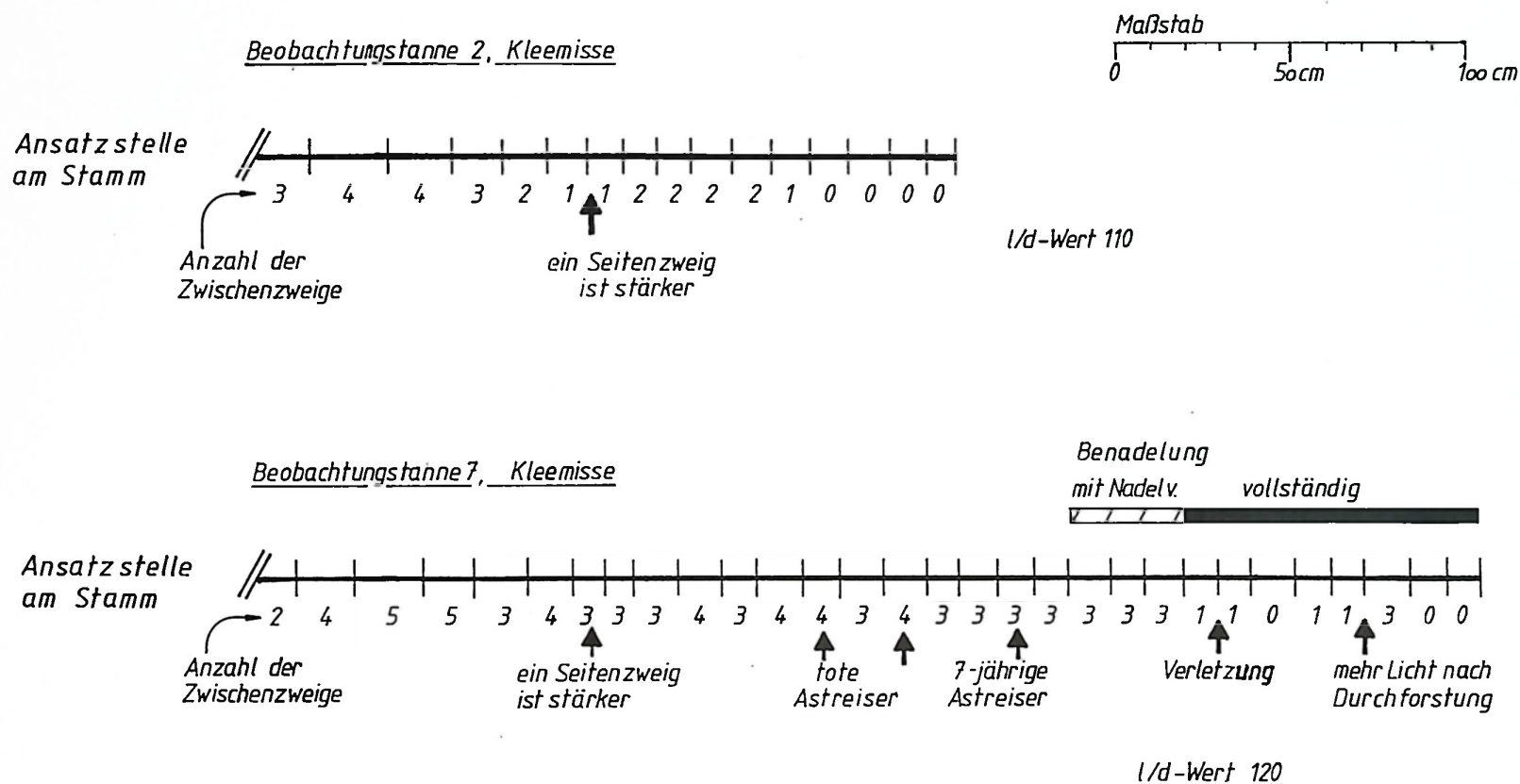


Abb. 99: Langsam zunehmende Beschattung eines Astes und die Veränderungen seiner Struktur. Die waagrecht verlaufende Linie mit ihren senkrechten Querstrichen symbolisiert die Astachse 1. Ordnung mit der Länge der Jahrestriebe. Die Zahlen unterhalb geben die Anzahl der seitlichen Verzweigungen an (Zwischenzweige und Seitenzweige); vgl. Text. a) Kleemisse Tanne 2 ; b) Kleemisse Tanne 7.

XII/13. Die Verzweigungsstruktur von walderkrankten Ästen.

Gesucht ist der Zusammenhang zwischen vorzeitigem Nadelverlust und Wuchsstockungen am Ast. Dazu werden zwei Extremfälle untersucht, nämlich ein stark geschädigter Ast und ein schwach geschädigter Ast, bei dem erst wenige Nadeln vorzeitig abgefallen sind. Zur Beurteilung der Wuchsstockung werden zwei praktische Kriterien herangezogen: Die Jahrestriebe in 3., 2. oder 1. Ordnung werden überprüft, ob sie **plötzlich deutlich kürzer oder dünner** sind als in den Jahren zuvor, und ob sie sich **plötzlich auch weniger verzweigen**.

Abb. 100 zeigt einen **stark geschädigten Ast**, einen sog. walderkrankten Kümmerast. Mit Ausnahme von ein bis zwei Nadeljahrgängen sind alle Nadeln vorzeitig abgefallen (trotz genügend Licht). Links ein Foto des Astes, rechts daneben die Verzweigungsstruktur ohne Nadeln. Die Pfeile markieren jene Stellen, bei denen sich das Wachstum plötzlich verringerte. (Besenfeld, Tanne neben Ta3, 1993/94).

Abb. 101 stellt einen **walderkrankten Ast mit geringen Nadelverlusten** dar (Besenfeld Tanne 4, 1988/89). Links ein Foto des Asts. Rechts die Verzweigungsstruktur ohne Nadeln. Mit Pfeilen ist die Wuchsstockung am Ast angezeigt. Nach der Wuchsstockung treiben am Stamm auch keine Zwischenquirle mehr aus.

Befund (Abb.100 und 101):

1. Treten an einem Ast plötzliche Wuchsstockungen auf, so sind davon nicht immer alle Zweige gleichermaßen stark betroffen.
2. Die plötzlichen Wuchsstockungen finden sich bevorzugt an jenen Zweigteilen eines Astes, die auch zuvor schon weniger gut wuchsen, erkennbar an den sehr schlanken Achsen, z.B. an älteren Seitenzweigen.
3. An dem Ast mit den ersten Nadelverlusten zeigt sich, wie bereits bei Tanne SG, Baiersbronn (Kapitel XII/5), daß dem Nadelverlust immer eine plötzliche Wuchsstockung zeitlich vorangeht.

Bei der Beurteilung walderkrankter Äste sollte man umsichtig vorgehen, da an diesen Stellen oft auch mit regulären Nadelverlusten auf Grund von Lichtmangel zu rechnen ist.

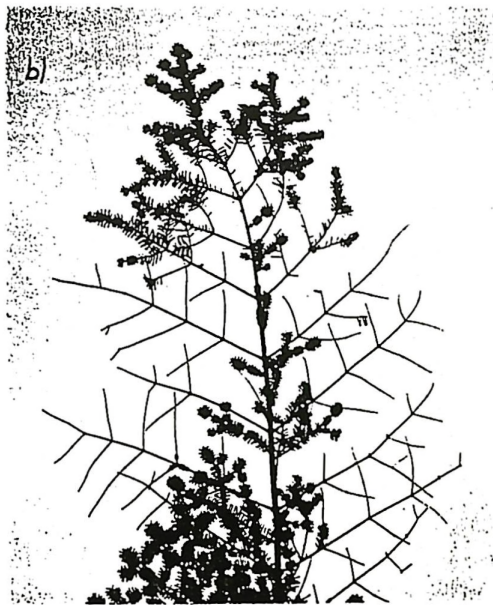
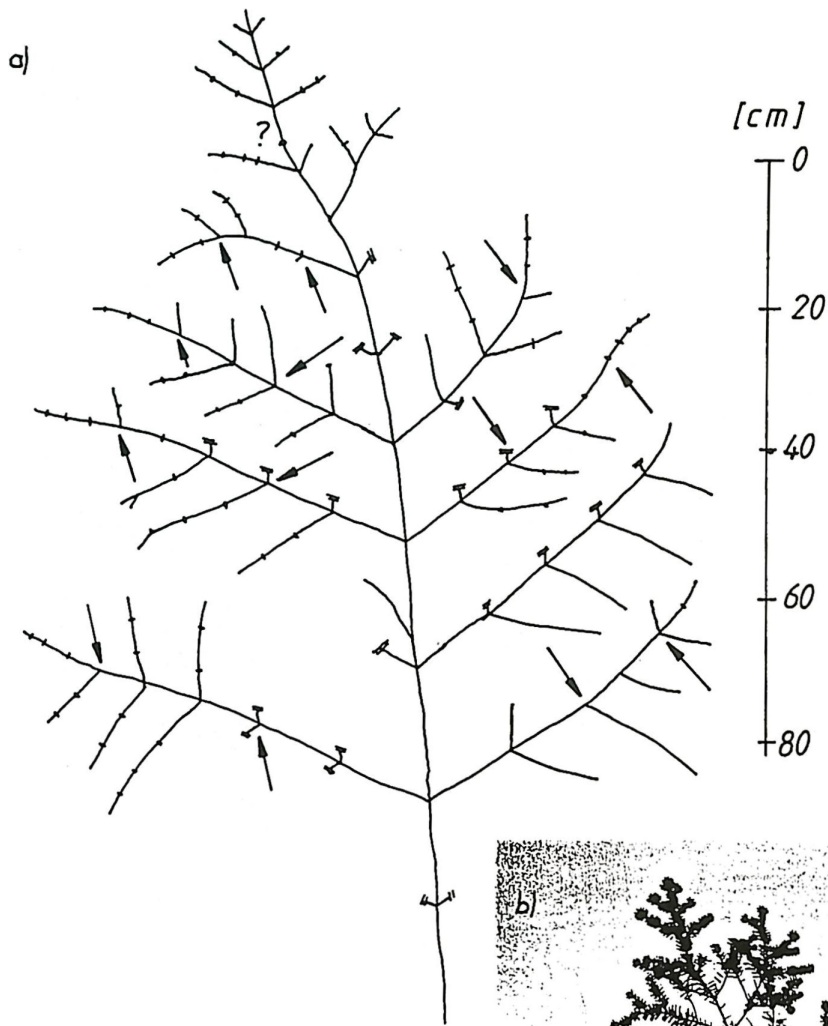


Abb. 100: Die Verzweigungsstruktur eines walderkrankten Tannenasts mit starken Nadelverlustschäden (sog. "Kümmerast"). Wuchsstockungen sind mit Pfeilen markiert. Besenfeld Tanne neben Tanne 3, 1993/94. a) Aststruktur ohne Benadelung b) Foto des Astes mit Nadeln; vgl. Text.

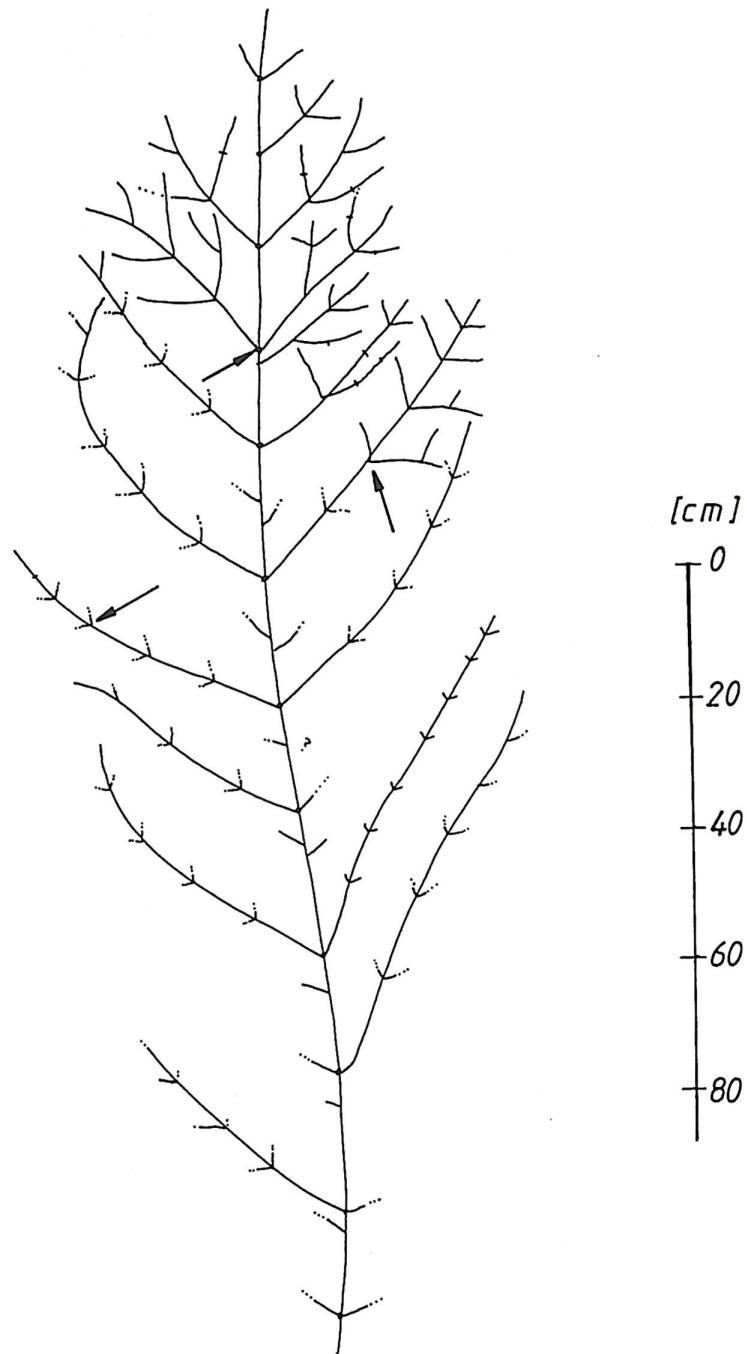


Abb. 101: Die Verzweigungsstruktur eines walderkrankten Tannenasts mit ersten Nadelverlusten ("zonierte Nadelverluste"). Wuchsstockungen sind mit Pfeilen markiert. Besenfeld Tanne 4, 1988/89; vgl. Text.

XII/14. Überprüfung der Äste auf Wuchsstockungen und vorzeitige Nadelverluste (Auswertung von Astfotos).

Ziel ist die Absicherung der Aussage: Jedem vorzeitigen Nadelverlust geht eine Wuchsstockung am Ast voraus. Dazu wurden die Astfotos der untersuchten Tannen nochmals überprüft (Forstbezirke Klosterreichenbach und Freudenstadt). Bei diesen Ästen interessierten folgende Merkmalkombinationen:

- (1) **ohne** Wuchsstockungen **und ohne** vorzeitige Nadelverluste. Dies sind nach der morphologischen Definition der Walderkrankung "**gesunde**" Äste.
- (2) **mit** Wuchsstockungen, aber **ohne** vorzeitige Nadelverluste. Diese Äste können nur als **gefährdet**, aber nicht als walderkrankt bezeichnet werden.
- (3) **ohne** Wuchsstockungen, aber **mit** vorzeitigen Nadelverlusten. Diese Äste waren ein großes Problem bei der Beurteilung der Walderkrankung. Denn dann hätte man es mit einer weiteren Form der Walderkrankung zu tun und die morphologische Abgrenzung zu der bisherigen Walderkrankung würde weitere Differenzierungen erfordern.
- (4) **mit** Wuchsstockungen **und mit** vorzeitigen Nadelverlusten. Diese Äste sind als **walderkrankt** zu bezeichnen.

Befunde aus der Beurteilung zahlreicher Astfotos: Das bisherige Bild der Ast-symptomatologie bestätigte sich.

1. Bei etwa 70 Tannenästen mit vorzeitigen Nadelverlusten ließen sich immer jeweils auch deutliche Wuchsstockungen entdecken, besonders an den älteren Seitenzweigen.
2. Es konnte zwar immer eine Wuchsstockung am Ast mit einem vorzeitigen Nadelverlust in Verbindung gebracht werden. Auch fielen an jenen Zweigteilen die Nadeln ab, an denen Wuchsstockungen erkennbar waren. Jedoch war nicht immer an jedem entnadelteten Zweigstück eines Astes auch eine Wuchsstockung von außen zu erkennen. Zur Klärung der Frage, ob ein vorzeitiger Nadelfall immer eng an eine lokale Wuchsstockung geknüpft ist, müßte man vermutlich das Dickenwachstum der Äste und den Stärkehaushalt des Zweigholzes miteinbeziehen (Kapitel XII/19).
3. Bei den Astserien einer ganzen Tannenkrone, war immer dasselbe Nadeljahr an einem Baum betroffen z.B. FDS Ta 13, 14, 16, KW Ta 4; (Entsprechendes ist bereits von Tannen aus Besenfeld bekannt, Kapitel XI.)
4. Bei weiteren Tannen bestätigte sich, daß **immer zuerst die Wuchsstockung auftrat, der dann mit einer zeitlichen Verzögerung von drei bis sechs Jahren der erste Nadelverlust folgte**. Als belegte Beispiele seien hier aufgeführt: 1983: KW Ta1, KW Ta B15, KW Ta B17, 1984: KW Ta U4, KW Ta K2, Röter Kopf Ta, 1985: Kan Ta1, FDS Ta13, FDS Ta14, FDS Ta16.
5. Vereinzelt ließ sich feststellen, daß nicht jeder plötzlichen Wuchsstockung auch ein vorzeitiger Nadelverlust folgen muß (ähnlich wie bei Tanne 37, Besenfeld).
6. Vor dem unter (3.) aufgeführten schwierigen Fall blieb der Autor verschont: Bei vorzeitigem Nadelverlust war immer eine Wuchsstockung am selben Ast erkennbar, doch traten an Schattenästen z.T. Übergänge zu regulärem Nadelfall auf.

XII/15. Überlegungen und Beobachtungen zu der Frage: Welche Anteile eines geschädigten Baumes sind als "gesund" und welche als "walderkrankt" zu bezeichnen?

a) Wuchsstockungen und Nadelverluste. In Kapitel XI wurde dargelegt, daß nur die vorzeitigen Nadelverluste als wirklich abnorm, als ein pathologisches Merkmal anzusehen sind. In Kapitel XII/5-15 wurde deutlich, daß diese vorzeitigen Nadelverluste immer an Wuchsstockungen an demselben Ast gekoppelt sind. Oder, wie walderkrankte Äste im Stadium der ersten Nadelverluste zeigen: **Dem Nadelverlust der Walderkrankung geht immer eine Wuchsstockung voraus.**

Unter dem Gesichtspunkt einer morphologischen Vorgehensweise müssen Äste ohne Wuchsstockungen und ohne vorzeitigen Nadelverlust als "nicht-walderkrankt", als "gesund" bezeichnet werden. Hat eine Tanne walderkrankte Äste, so sagt dies noch lange nichts über den Zustand des restlichen Baums aus. Die übrigen Äste dieser Tanne können morphologisch gesund sein. Der Stamm kann zur selben Zeit gleich gut wie bisher wachsen, jedoch aber auch besser oder schlechter.

b) Ein einheitliches Erkrankungsbild. Viele Beobachtungen und detaillierte Überprüfungen im Nordschwarzwald und in anderen Gebieten zeigen nun, daß es sich bei der Walderkrankung um eine einzige Erkrankungsform handelt, die sich verschieden stark auswirken kann.

(1) Von vorzeitigen Nadelverlusten sind hauptsächlich die älteren benadelten Primärtriebe betroffen (Kapitel IX/12).

(2) Und diese nicht-regulären Nadelverluste lassen sich auf Wuchsstockungen am Ast zurückführen (Kapitel XII).

(3) Je nach Ausmaß der Wuchsstockungen an den Ästen können auch Stamm und Wurzel davon betroffen sein (Kapitel II und VII).

(4) Mit den verschiedenartigen Wuchsstockungen, der ersten Reaktion im Prozeß der Walderkrankung, treten immer neue Folgetriebe auf (Kapitel IX und X).

(5) Dabei wird in Kapitel XIII noch gezeigt, daß die Astreiser bei höherem Lichtangebot austreiben und nicht unmittelbar an die Wuchsstockungen gekoppelt sind.

c) Astbeurteilungen. Durch die Unterscheidung in walderkrankte und gesunde Äste lassen sich Tannen differenzierter diagnostizieren. Dabei werden allerdings die älteren Quirläste noch weiter in Astreiser und Primärtriebe unterteilt. Nicht mehr der Gesamteindruck einer Krone, angegeben in prozentualem Nadelverlust, ist das alleinige Kriterium für die Schädigung der Krone, sondern auch anhand der einzelnen Äste läßt sich beurteilen, ob eine Tanne walderkrankt ist oder nicht.

Wie stark diese differenziertere Beurteilung von den gebräuchlichen Verfahren abweichen kann, zeigt das Beispiel von Tanne 49 (Besenfeld). Üblicherweise wird eine solche Tanne als ungeschädigt eingestuft. Da diese Tanne aber etwa fünf charakteristisch geschädigte Äste hat, ist sie aus der Sicht der morphologischen Symptomatologie als walderkrankt anzusehen. Für die praktischen, forstwirtschaftlichen Belange ist diese weitere Unterscheidung unerheblich. Doch für die Ursachenforschung und die Kenntnis der Biologie der Tanne ist diese differenziertere Symptomatologie nötig.

d) Physiologische Veränderungen. Der vorzeitige Nadelverlust ist offenbar eine langfristige Folge physiologischer Veränderungen. Dabei sind es vermutlich dieselben physiologischen Prozesse, die an einem Ast die Wuchsstockungen auslösen und auch den Nadelfall einleiten (Kapitel XII/ 17-19). Diese Wuchsstockungen können sich entweder auf einzelne Seitenzweige beschränken oder über den ganzen Ast ausbreiten und evtl. auch noch nachhaltig das Stammwachstum beeinträchtigen.

e) Morphologische Definitionen. Insgesamt betrachtet gelangen wir damit zu der folgenden wichtigen Erkenntnis: In der vorliegenden Arbeit wird die Walderkrankung durch den vorzeitigen Nadelverlust definiert. Wie nun aber z.B. Tanne 39 (Besenfeld) zeigt (Kapitel XI/5), muß nicht jede Wuchsstockung am Ast auch zu einem vorzeitigen Nadelverlust führen. Tritt an einem Ast eine plötzliche Wuchsstockung auf, so kann sich u.U. dieser gefährdete Ast zu einem walderkrankten Ast entwickeln. Dies muß aber nicht sein. Daher werden die Äste in drei Qualitäten unterteilt: gesund, gefährdet und walderkrankt.

(1) Ein **gesunder Tannenast** ist regulär benadelt und hat auch an den älteren Seitenzweigen keine plötzlichen Wuchsstockungen (kürzere Triebe, weniger Verzweigungen).

(2) Ein **gefährdeter Tannenast** hat zwar plötzliche Wuchsstockungen, doch (noch) keine vorzeitigen Nadelverluste.

(3) Ein **walderkrankter Ast** zeigt sowohl plötzliche Wuchsstockungen als auch vorzeitige Nadelverluste.

f) Methodische Grenzen. Aus dem Gesagten ergibt sich die weitere Frage: **Läßt sich die morphologische Unterscheidung in gesunde und walderkrankte Baumteile noch weiter vorantreiben?** Diese Unterscheidung wäre sehr hilfreich. Denn die verschiedenen Teile eines Astes können sich langfristig sehr verschiedenartig entwickeln. So können bei einem walderkrankten Ast die älteren Seitenzweige alle Anzeichen der Walderkrankung tragen und trotz genügend Licht absterben, während die jüngeren Seitenzweige und die Astachse noch viele Jahre lang gut wachsen und regulär benadelt sein können (z.B. KW Ta B15, KW Ta1).

Da sich diese beiden Astteile morphologisch unterscheiden, ist zu vermuten, daß sie jeweils auch einen anderen Stoffwechsel haben. Untersucht man nun mit physiologischen oder ultrastrukturellen Mitteln einen solchen walderkrankten Ast (FRENZEL, 1983; FRENZEL et al., 1987; KETTNACKER, 1987; ZAVELBERG, 1987; KOCH, 1990; CHRISTMANN, 1993), so ist zu vermuten, diese morphologische Heterogenität eines Tannenastes auch sehr heterogene physiologische Ergebnisse zeitigt.

Ein Ansatzpunkt, um aus dieser Schwierigkeit herauszukommen, wäre eine weitere morphologische Differenzierung. Doch stößt man dabei auf methodische Probleme. An zwei Beispielen sei dies veranschaulicht.

- Ein sog. walderkrankter Kümmerast hat Triebstücke, die früher gut gewachsen waren, bei denen aber die Nadeln vorzeitig abgefallen sind. Die kurzen, jüngeren Triebstücke resultieren zwar aus einer Wuchsstockung, sind aber im vorliegenden Beispiel z.T. (noch) benadelt. Die älteren Teile mit dem vorzeitigen Nadelverlust könnten daher als walderkrankt, die jüngeren als gefährdet bezeichnet werden. Dieser Fall tritt recht häufig auf.

- Schwieriger ist da der folgende Fall: Bei einem weniger stark geschädigten Ast kann man an einer Astachse ebenso diese walderkrankten bzw. gefährdeten Teile finden, doch mit der zusätzlichen Besonderheit, daß die Astspitze wieder durchtreibt. Bei einem solchen Ast hätte man an einer einzigen Astachse (laut Definition), walderkrankte, gefährdete und gesunde Astteile.

Doch diese morphologischen Beurteilungen gehen zu weit. Hier stoß man an die Grenzen der morphologischen Symptomatologie, denn solange man mit morphologischen Methoden nicht sicher beurteilen kann, ob an einem gefährdeten Ast die Nadeln in den nächsten Jahren abfallen werden oder nicht, solange kann man auch nicht beurteilen, ob ein Astteil walderkrankt bzw. gefährdet oder gar gesund ist.

Der Autor sieht im Augenblick keine realistische Möglichkeit, einen Tannenast weiter in gesunde und gefährdete bzw. walderkrankte Astteile morphologisch zu untergliedern. Mir scheint, daß die Frage nach gesunden und erkrankten Astteilen eines walderkrankten oder eines gefährdeten Tannenastes weniger wichtig ist. Denn nach den bisherigen Beobachtungen verliert ein Ast seine Nadeln nicht vorzeitig, wenn er keine Wuchsstockungen hat. Wichtiger wäre die Kenntnis darüber, wie sich walderkrankte Äste entwickeln können.

Die langfristigen, detaillierten Beobachtungen an Tannenästen zeigen, daß sehr verschiedenartige Astentwicklungen möglich sind (Kapitel XII/18). Dabei scheint der Wasserhaushalt des Astes eine entscheidende Einflußgröße zu sein (Kapitel XIV/4).

XII/16. "Zonierte Nadelverluste" (Beobachtungen).

Über viele Jahre hinweg verändern die meisten Tannen ihr Aussehen nicht, seien sie walderkrankt oder gesund. Dies bestätigen eigene Beobachtungen, photographische Vergleiche (LINER et al. - in Vorbereitung) und indirekt auch die offiziellen Ergebnisse der Waldschadensinventur (ANONYMUS, 1985, 1989, 1993): Die Schädigung der Wälder hat sich in den letzten 10 Jahren nicht wesentlich verändert.

Die Frage ist nun: Zu welchem Zeitpunkt beginnt die Walderkrankung, d.h. wann fallen an einem regulär benadelten Ast zum 1. Mal die Nadeln vorzeitig ab - trotz genügend Licht. Es wurde nun spezifische Entwicklungsstadien gefunden, zusammengefaßt unter dem Begriff "zonierte Nadelverluste". Diese Entwicklungsreihe wurde über mehrere Jahre hinweg an mehreren Einzelbäumen fast vollständig beobachtet: KW TaB15, KW Ta1, SK TaSG. Die spezifischen Teile dieser Entwicklungsreihe wurden außerdem seit 1983 bei vielen walderkrankten Tannen jeden Alters und Schädigungsgrades angetroffen.

Die **Abb. 102** zeigt schematisch an einer Astachse, wie die Benadelung einer Astfläche jahrgangsspezifisch abfallen kann. Die zeitliche Dauer dieser einzelnen Phasen kann aber auch wesentlich länger dauern, als seitlich angegeben.

Beschreibungen:

1. Etwa zur Zeit der ersten Anzeichen des regulären Nadelfalls werden zuerst vereinzelt, später gehäuft, die 3- oder 4-jährigen Nadeln an einem Tannenast gelb und fallen ab. Dabei ist der Ast relativ wüchsig, hat genügend Licht und sonst grüne, frisch aussehende Nadeln (die Wuchsstockungen am Ast sind vergleichsweise unauffällig, zeitliche Verschiebungen von einem Jahrgang kommen vor.)
2. Nach einigen Wochen verliert auch der andere dieser beiden Nadeljahrgänge (3- oder 4-jährig) seine Nadeln. Diese Nadeln fallen gelb oder grün ab.
3. In den darauffolgenden Wochen oder Monaten (evtl. auch Jahren ?) fallen in weiteren Schritten nach und nach die älteren Nadeln ab. Dabei bleibt ein älterer Nadeljahrgang (meist der 5-jährige) noch längere Zeit erhalten, hier als "isolierte Restnadeln" bezeichnet. An der Astachse (1.Ordnung) finden sich Spuren dieser Restnadeln u.U. noch nach 1-2 Jahren wieder. Wie inzwischen herausgefunden wurde, entspricht dieser Jahrgang dem Beginn einer Wuchsstockung am Ast (Kapitel XII/6 oder auch Kapitel XI/3 bei Tanne 47, Besenfeld).
4. Zeichnen sich an einem Ast diese "isolierten Restnadeln" deutlich ab, so sind etwa ab diesem Stadium zwei verschiedene Astentwicklungen möglich.
 - a) Der Ast wächst vorne gut weiter, obgleich die älteren Nadeln weitgehend fehlen.
 - b) Der Tannenast kümmerst, hat kürzere Triebe und wird zu einem walderkrankten Kümmerast, der möglicherweise bald abstirbt (zum Absterben von Tannenäste Kapitel XI/3).
5. Bevor an einem walderkrankten Ast mit "zonierten Nadelverlusten" die Nadeln abfallen, können sie sich gelbgrün, gelb oder gelbbraun verfärben oder aber grün bleiben. Auch wenn mehrere Äste an einer Tanne zur selben Zeit von einer Wuchsstockung betroffen werden, so laufen die einzelnen Entwicklungsschritte evtl. unterschiedlich schnell ab und in verschiedenen Abfolgen. **Ein Tannenast treibt**

dann eher durch, wenn die Wuchsstockung am Ast nur geringfügig war und an der Astspitze noch Zwischenzweige vorhanden sind.

Liegt die letzte Wuchsstockung erst vier bis acht Jahre zurück, so ist die Beurteilung dieser Entwicklungsreihe anhand der "isolierten Restnadeln" meist noch gut zu erkennen. Liegt die letzte Wuchsstockung jedoch länger zurück, so ist die Beurteilung oft nicht mehr möglich: Entweder hat man deutliche Kümmeräste (evtl. mit mehreren Wuchsstockungen) oder die Äste wachsen vorne gut, haben 7-8 Nadeljahrgänge, während die älteren Astteile kahl sind. An diesen alten, nadelfreien Astabschnitten läßt sich mit den bisherigen Kenntnissen nicht sicher beurteilen, ob die Nadeln durch Lichtmangel, oder durch die Walderkrankung abgefallen sind.

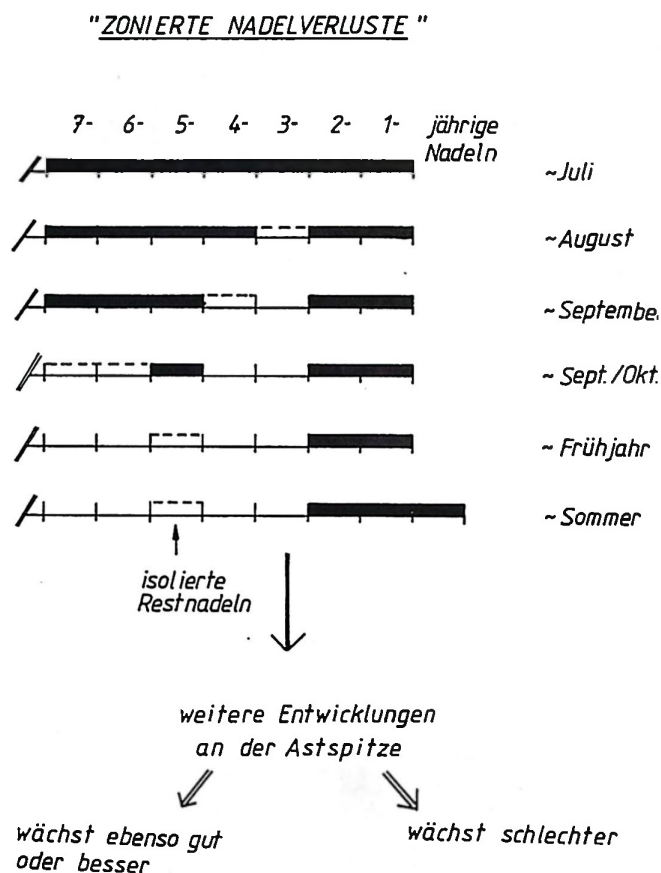


Abb. 102: Schema über die zeitliche Abfolge der "zonierten Nadelverluste" an der Peripherie eines Tannenastes; (↘) Astachse abgeschnitten; vgl. Text.

XII/17. Verschiedene Entwicklungen an Tannenästen mit vorzeitigem Nadelfall (Beobachtungen).

Die Einzelschritte dieser Veränderungen wurden an verschiedenen Tannenästen beobachtet und hier nun vereinfacht zu Entwicklungsstufen zusammengestellt.

Zu Abb. 103. Insgesamt sind sechs Entwicklungsreihen skizziert. Es fehlen evtl. in der Entwicklungsreihe 2 und 3 möglicherweise noch Zwischenstufen. Von einer Asteinheit (d.h. ganze Tannenäste oder auch nur Seitenzweige) ist jeweils nur die Achse gezeichnet. Die Jahrestriebe sind als gleich lang angegeben. Die Wuchsstockungen sind seitlich mit einem Punkt markiert. Allerdings kann die Wuchsstockung im Vergleich zu den Nadelverlusten um ein Jahr verschoben sein. In der Praxis kommen häufig auch mehrere Wuchsstockungen hintereinander vor.

Beschreibungen:

Fall 1: Ältere Nadeln werden etwa zur selben Zeit gelb (August/September) und fallen vermutlich erst im ausgehenden Winter oder Frühjahr ab. Die Astspitzen wachsen z.T. weiter, können aber auch absterben. Diese Entwicklungen treten auf bei extremen Freistellungen, z.B. wenn bei einer unterständigen Tanne alle umgebenden Altbäume entfernt werden (Ta9, Besenfeld, 1988, Kapitel XIII). Dasselbe Benadelungsmuster fand sich noch bei Schattenästen, die vermutlich regulär abgenadelt hätten, zusätzlich aber eine Wuchsstockung erlitten (FDS Ta14 u.16.)

Fall 2: Die "zonierten Nadelverluste" wurden in Kapitel XII/17 beschrieben. Solange die Spuren der Zonierung erkennbar sind, können sie als ein sicheres Symptom der Walderkrankung gewertet werden. Zu einem späteren Zeitpunkt ist diese Beurteilung u.U. schwierig oder unmöglich.

2a. Wächst die Astspitze gut weiter, ist es auch möglich, daß die älteren Astteile regulär abgenadelt hätten.

2b. Aber auch die Entwicklung hin zu einem Kümmerast ist möglich. In einem fortgeschrittenen Stadium sind "zonierte Nadelverluste" oft nicht mehr nachzuweisen. Evtl. liegt ein anderes Abnadelungsmuster vor.

Fall 3: Hier fehlen Beobachtungen, wie der Nadelfall vor sich ging. Dieser Fall trat sehr selten auf. Betroffen waren Schattenäste, die ohne die Walderkrankung sowieso bald regulär alle Nadeln abgeworfen hätten. Vermutlich war durch Lichtmangel das Astwachstum nach der Wuchsstockung sehr gering.

Fall 4: Dieses Einzelbeispiel stellt den Übergang zum regulären Abnadeln dar. Im September waren alle Nadeln gelb und fielen dann Ende September komplett ab. Der Unterschied zum regulären Abnadeln an Schattenästen ist, daß die Astachse deutliche Wuchsstockungen aufwies (Klebast vom Standort Rauwäldle, Forstbezirk Klosterreichenbach).

Die beschriebenen Einzelprozesse in Bezug zum gesamten Ast. Neben der walderkrankten Primärbenadelung entscheiden die jüngeren Astreiser, ob eine Astachse überlebt und sich wiederbenadelt oder ganz abstirbt. Astreiser treiben immer vor der Wuchsstockung an den dickeren Achsenabschnitten aus. Zusätzlich ist dabei zu bedenken, daß ein Quirlast ein Mindestalter erreicht haben muß, bevor an ihm Astreiser austreiben können (Kapitel IX/3). Diese jungen Astreiser gedeihen meist recht gut. Nur in wenigen Ausnahmefällen wuchsen die neuen Astreiser schlecht.

Hier war dann ein kleines Wurzelsystem allseits stark eingeschränkt und konnte keine neuen Bodenflächen erschließen (z.B. KW Ta2).

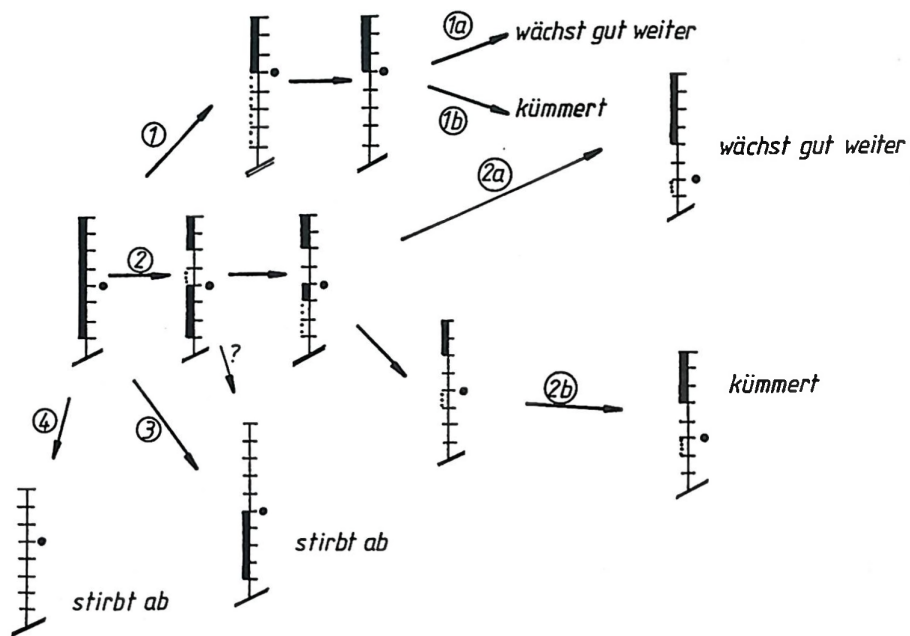


Abb. 103: Nadelfall trotz genügendem Licht („vorzeitige Nadelverluste“). Verschiedene Entwicklungen walderkrankter Äste in schematischer Darstellung. Nur die vorderen Astteile sind berücksichtigt. Die Zweigstrukturen sind auf eine einfache Astachse reduziert; vgl. Text. Schwarze Balken: benadelter Jahrgang; gepunktet: Jahrgang mit geringem Nadelverlust; weiß: keine Nadeln mehr am Zweig; fester Punkt: Beginn der Wuchsstockung am Ast; (⊥) Ansatzstelle an dem älteren Teil der Astachse.

XII/18. Nadelfall der Tanne (Beobachtungen).

1) Reguläres Abnadeln. Das reguläre Abnadeln wird durch physiologische Alterungsprozesse innerhalb der Nadel verursacht (LYR et al, 1992). Hat eine Nadel zu wenig Licht, so hungert sie. Dies beschleunigt enorm den Prozeß des regulären Abnadelns. Beim regulären Abnadeln lassen sich zwei Verlaufsformen unterscheiden:

a) Teilweises Abnadeln. Nur etwa drei alte Nadeljahrgänge fallen ab, während vorne der Ast mit etwa acht Nadeljahrgängen gut weiterwächst.

b) Vollständiges Abnadeln. Hier fallen innerhalb weniger Wochen alle Nadeln eines Tannenastes ab. Ein solcher Ast weist mit der Stellung und Morphologie seiner Nadeln und mit seiner Aststruktur schon viele Jahre auf Lichtmangel hin. Bei dieser Form des Nadelfalls stirbt der ganze Ast ab, da aus Lichtmangel keine Astreiser austreiben bzw. ältere Astreiser wegen Lichtmangels nicht überleben können.

Dem regulären Nadelfall der Tanne gehen viele physiologische und morphologische Prozesse voraus. Obgleich diese Prozesse bei der Tanne im Detail anscheinend nicht untersucht wurden, wird von folgenden Annahmen ausgegangen: Veratmen die Nadeln eines Zweigstücks mehr Assimilate, als sie in einem Jahr photosynthetisieren, so fallen diese Nadeln im Spätsommer und Herbst vom Ast. Dem Nadelfall geht häufig eine Nadelverfärbung voraus. Sie setzt meist in der zweiten Julihälfte ein.

Nach eigenen Beobachtungen nadelt eine Tanne regulär nur alle 3 bis 5 Jahre ab (vgl. auch KIRCHNER, 1908). Im Gegensatz dazu fallen bei der Kiefer jedes Jahr die alten Nadeln ab. In einem solchen Jahr mit regulärem Abnadeln sind auf einem Waldstandort meist viele Tannen vom regulären Abnadeln betroffen, während auf anderen Standorten desselben Forstbezirks das reguläre Abnadeln in diesem Jahr fehlen kann. Ein trockener Sommer scheint das reguläre Abnadeln zu fördern (z.B. im Jahre 1991).

2) Vergleich des Nadelfalls beim regulären Abnadeln und bei der Walderkrankung. Beim regulären Abnadeln und bei vorzeitigem Nadelfall durch die Walderkrankung scheinen sehr ähnliche physiologische Vorgänge zu arbeiten.

a) Das Ausmaß der Nadelverluste. In beiden Fällen des Nadelfalls können sowohl der ganze Ast oder wie auch nur Teile davon betroffen sein.

b) Verringerte Wachstumsleistung. Ob regulär abgenadelt wird, da die Äste zu wenig Licht haben oder ob die Nadeln durch die Walderkrankung abfallen, d.h. trotz genügend Licht, in beiden Fällen wachsen die Äste nicht mehr ganz so gut wie zuvor.

c) Das Fehlen von Stärke in den Markstrahlen. Der Nadelfall scheint sehr eng mit der Stärke in den Markstrahlen des Zweigholzes zusammenzuhängen (Schlußfolgerungen aus Einzeluntersuchungen). Wie Einzeluntersuchungen zum Zeitpunkt des Knospenaustriebs zeigen, haben gut benadelte Zweige reichlich Stärke. Zweigstücke ohne oder mit nur wenig Nadeln haben keine, oder nur sehr wenig Stärke in den Markstrahlen der jeweiligen Achsen. Dabei spielt es keine Rolle, ob die Nadeln durch Lichtmangel, durch die Walderkrankung, oder durch Freistellung abgefallen sind. Angenommen, dieser Zusammenhang zwischen Nadelfall und Stärke würde sich weiterhin bestätigen, hätte man ein weiteres Verdachtsmoment, daß der Walderkrankung eine verringerte Nettophotosynthese zugrunde liegt (vgl. auch Arbeitshypothese in Kapitel X/3).

d) Verfärbungen und Fall der Nadeln. Diesen beiden sichtbaren Vorgängen scheinen physiologische Prozesse zugrunde zu liegen, die sowohl beim regulären Abnadeln wie auch beim Abnadeln durch die Walderkrankung auftreten. Der zeitliche Verlauf der Nadelverfärbung und des Nadelfalls hängt vermutlich eng mit der Stoffwechselrate eines Astes zusammen:

(1) Je vitaler ein Ast zuvor war, desto vollständiger werden die Nadeln gelb, und desto plötzlicher und vollständiger fallen die Nadeln auf einmal Ende September ab.

(2) Je kümmernder ein Ast ist, desto länger dauern beide Prozesse, und desto unvollständiger laufen sie ab. Die Zeiten mit Nadelverfärbung und Nadelfall überschneiden sich immer mehr.

e) Verzögerter Nadelfall. Nach den bisherigen Beobachtungen läßt sich die Vitalität der Äste vorläufig etwa in folgender, absteigender Reihe ordnen:

- (1) Äste, die vorne noch gut wachsen (z.B. drei alte Nadeljahrgänge fallen ab).
- (2) Schattenäste, die insgesamt absterben (z.B. 12 Nadeljahrgänge fallen ab).
- (3) Manche extreme Schattenäste, deren Nadeln erst ab September und dann überwiegend grün abfallen.
- (4) Walderkrankte Äste mit den ersten Nadelverlusten.
- (5) Kümmernde, walderkrankte Äste, die schon über mehrere Jahre hinweg schlecht benadelt sind und schlecht wachsen.

Die **Abb. 104 a und b** zeigen in einem Schema einige Beobachtungsreihen von Tannenästen, zusammen mit Angaben wie sich ihre Nadeln verfärbten und abfielen. Die beobachteten Einzelbeispiele sind:

- Drei alte Nadeljahrgänge fallen ab: Beobachtungstanne 7, Kleemisse, 1984 (1).
- Alle Nadeln fallen ab (drei Äste): Beobachtungstanne 2, Kleemisse, 1983 (2), (3) u.(4).
- "Freistellung". Tanne 9, Besenfeld 1988 (5).
- "Zonierte Nadelverluste". Königswart an Tanne B15, B17, Ta1 u.a. 1983 (6).
- Der Nadelfall an walderkrankten Kümmerästen (7), Abb. 104 b im Anhang.

Neben der Baumbezeichnung sind die einzelnen Äste durchnummeriert. Am Anfang und Ende des angegebenen Zeitraums wurde eine Fotografie von dem jeweiligen Ast gemacht. Irgendwann in diesem Zeitraum fielen nachweislich Nadeln von den Zweigen. Diese angeführten Beispiele sind "Beobachtungstannen" aus dem Forstbezirk Klosterreichenbach. Die Beobachtungen fanden zwischen 1990 und 1993 statt.

Zusammenfassender Interpretationsversuch. Dem regulären Abnadeln liegt hauptsächlich Lichtmangel zugrunde. Dagegen ist das Abnadeln bei der Walderkrankung anscheinend auf eine zeitweilige Unterversorgung der Äste mit Wasser zurückzuführen (Kapitel XIV). Nun können sowohl Lichtmangel, als auch vermutlich ein zeitweiliger Wassermangel die Nettophotosynthese verringern (auch Arbeitshypothese in Kapitel IX). Und eine geringere Nettophotosynthese verringert die Wuchsleistung.

Abgesehen von der Morphologie und Stellung der Nadeln wachsen die betroffenen Äste jeweils wenig, bzw. weniger als zuvor. Die Prozesse des Nadelfalls selbst, wie

z.B. das Ausbilden der Trenngewebe, werden durch Phytohormone gesteuert (CHRISTMANN, 1993).

Neben der geringeren Nettophotosynthese scheinen für das Abfallen der Nadeln zusätzlich die Stärkereserven im Holz sehr wichtig zu sein. Mit dem Nadelfall verschwindet auch die Stärke in den dazugehörigen Markstrahlen (Einzelmessung Anfang Mai, siehe oben). Dabei scheinen dicke Achsen mehr Stärke speichern zu können. Dieser Umstand deckt sich mit der häufigen Beobachtung, daß an dünnen Zweigen die Nadeln früher abfallen als an den dickeren Achsen desselben Astes unter gleichen Bedingungen.

Die Zeit der Nadelverfärbungen beginnt nach den bisherigen Beobachtungen im Sommer. Die Nadelverfärbungen sind beim regulären Abnadeln und bei der Walderkrankung sehr ähnlich.

Beide Vorgänge, Nadelverfärbung und Nadelfall, werden durch Phytohormone gesteuert. Es entsteht der Verdacht, daß eine verringerte Stoffwechselrate bei extremen Schattenästen und bei walderkrankten Ästen sowohl die Nadelverfärbungen wie auch den Nadelfall verzögern.

Sind das Verfärben der Nadeln und der Nadelfall bei wüchsigen Sonnenästen zeitlich deutlich getrennt, so überlappen und verzögern sich bei extremen Schattenästen und bei walderkrankten Kümmerästen diese beiden Vorgänge sehr stark.

Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	März
-----	------	------	------	-------	------	------	------	------	------	------

pathologischer Nadelfall

Nadelverluste an walderkrankten

Kümmerästen.

(7)

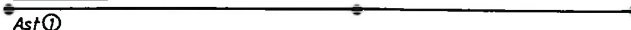
HESSL. Ta 1



HS 2



SGW Ta 194



HW Ta 225



Abb. 104 b: Nadelfall an stark geschädigten, walderkrankten Tannenästen. Vergleich von Astfotos (7), siehe Text. Waagerecht: Zeitachse. (●) schwarzer Punkt: Foto von einem sog. „Kümmerast“; Linie: während dieser Zeit fielen nachweislich Nadeln vom Ast - trotz genügend Licht.

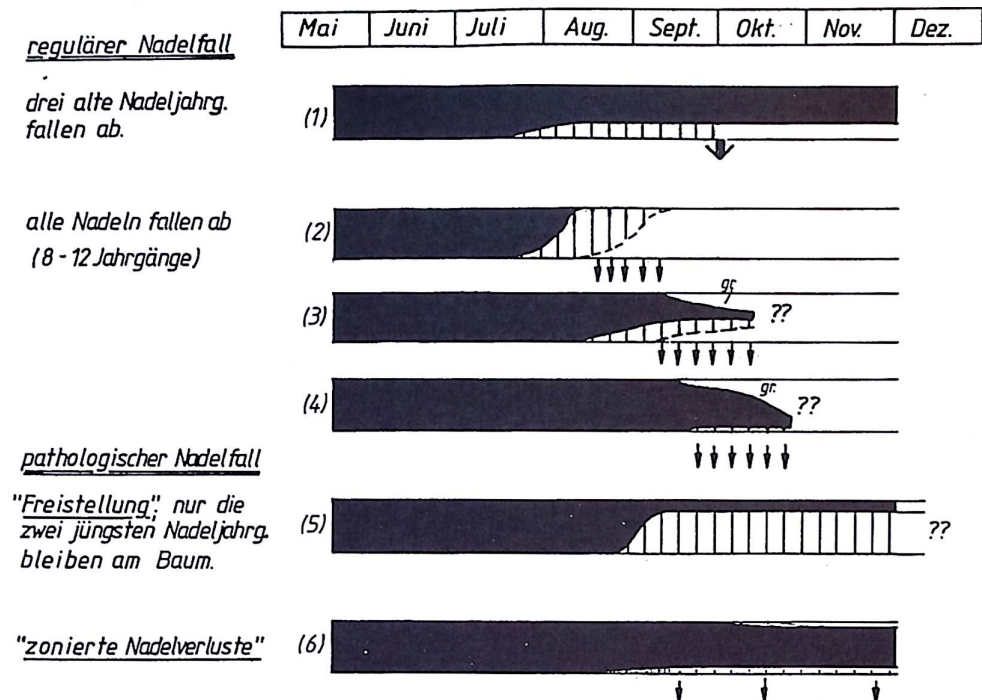


Abb. 104 a: Regulärer Nadelfall durch Lichtmangel und pathologischer Nadelfall durch die Walderkrankung bzw. Freistellung. Einzelbeispiele von Nadelverfärbungen und Nadelfall. 6 Fälle sind aufgeführt (1)-(6); Zeitachse von links nach rechts; (↓) kleine Pfeile: allmählicher Nadelverlust; (↓) großer Pfeil: alle Nadeln plötzlich abgefallen; schraffierte Fläche: Nadeln verfärbten sich zuerst gelb bevor sie abfielen; („gr.“) Nadeln fielen grün vom Ast.

XII/19. Zusammenfassung über die Astsymptomatologie.

1) Durch den engen Zusammenhang von vorzeitigem Nadelverlust und Wuchsstockungen am selben Ast wurde es möglich, gesunde Tannenäste einigermaßen sicher von gefährdeten oder walderkrankten Tannenästen zu unterscheiden. Bei der Beurteilung der Wuchsstockungen ist wichtig, daß die Wuchsstockungen im Stamm (Höhenwachstum, Zwischenquirle) und das Auftreten von neuen Astreisern einbezogen werden.

Am Ast lassen sich diese Wuchsstockungen durch schmalere Jahrringe in der Astachse (ca.15-20cm vom Astansatz entfernt), durch weniger Zwischenzweige an der Astachse, durch weniger Verzweigungen und kürzere Triebe zumindest an den älteren Seitenzweigen feststellen.

2) Mit der Trennung in gesunde und walderkrankte bzw. gefährdete Äste wurde es möglich, auch schwach geschädigte Tannen eindeutiger und differenzierter als walderkrankt, gefährdet oder gesund einzustufen.

3) Der vorzeitige Nadelverlust ist nur die Folge einer Wuchsstockung am selben Ast, nicht dessen Ursache (Kapitel XII/17, "zonierte Nadelverluste"). Findet man Wuchsstockungen an einem einzelnen Ast, so können u.U. auch weitere Äste und der Stamm von diesen Wuchsstockungen betroffen sein. Die Ursache der Wuchsstockung hängt nach den bisherigen Kenntnissen vor allem mit einem veränderten Bestandesklima zusammen, erkennbar an dem zeitgleichen Auftreten neuer Astreiser und Klebäste (Kapitel IX/4, 7, 8).

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 ihr umgebendes 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.

1) Das Bestandesklima verändert sich durch eine großflächige Freistellung. Das Kleinklima innerhalb eines geschlossenen Waldbestandes ist "ozeanisch", d.h. die Luft ist feucht und hat vergleichsweise geringe Temperaturschwankungen. Wird eine Waldfläche gerodet, so kommt mehr Licht auf die Kahlschlagfläche. Einstrahlung und Ausstrahlung werden größer, die Temperaturenschwankungen nehmen dadurch auch zu. Das Bestandesklima wird insgesamt kontinentaler und windiger, die Luft trockener.

Je näher ein Baum an einer solchen Freifläche steht, desto mehr ist er diesen kleinklimatischen Veränderungen ausgesetzt.

Im Winter 1988/89 entstand bei Besenfeld eine solche Freifläche. Dank der Mitarbeit durch Frau S. LINER gelang es, die bisherigen morphologischen Ergebnisse und weiterführende Überlegungen zur Walderkrankung im Blick auf das sich ändernde Bestandesklima zu überprüfen (vgl. auch BAADER, 1952; WEIMANN, 1979).

2) Die Tanne und ihr Kleinklima: Konkurrenzdruck und Walderkrankung. In den vorangegangenen Kapiteln wurde deutlich, daß sich die morphologischen Strukturen einer Tanne verändern, wenn das Lichtangebot sich verkleinert oder vergrößert.

Steht nun eine Tanne im Waldbestand, so wird mit der Zeit das Lichtangebot in der Krone von selbst kleiner, falls die Bäume mehr oder weniger gleich schnell wachsen. Denn durch das Größerwerden der Bäume wird der Wuchsraum immer intensiver genutzt bis hin zu jenem Extrem, bei dem dann Lichtmangel auftritt. Dieser Lichtmangel tritt erst allmählich auf. Dauert der Konkurrenzfaktor Lichtmangel lange Zeit an, so wird eine Tanne "mitherrschend". Die Auswirkungen lassen sich am Baum ablesen: am Stamm, in der Krone und an einem einzelnen Ast. Begrenzt ein zu kleiner Wuchsraum das Gedeihen einer Pflanze, so wird dies als Konkurrenzdruck bezeichnet. Diesem Konkurrenzdruck auf Grund von Lichtmangel steht die Walderkrankung der Tanne gegenüber (Kapitel V, XII/4 und XII/5). In den vorangegangenen Kapiteln wurde deutlich, daß vorzeitiger Nadelverlust das einzige allgemeingültige Symptom der Walderkrankung ist, und daß er immer mit einem plötzlichen Wechsel zu mehr Licht auftritt.

3) Aus den Tannen des Fällungsprogramm BW 1984/85 und aus den Untersuchungen im Gemeindewald Besenfeld (Tanne 1-47) läßt sich folgende **zeitliche Abfolge** zusammenstellen:

- (1) angrenzende Bäume werden gefällt (Datierung der Stubben),
- (2) neue Astreiser und Klebäste treiben aus (Kapitel IX/3),
- (3) das Höhen- und Dickenwachstum des Stamms ändert sich zum selben Zeitpunkt wie neue Folgetriebe austreiben (Kapitel IX/7);
- (4) das veränderte Stammwachstum tritt zum selben Zeitpunkt auf wie Wuchsstockungen an den Quirlästen (Kapitel XI/4);
- (5) bei einem Teil dieser Äste mit Wuchsstockungen fallen die Nadeln vorzeitig ab (Kapitel XII/8 und 15).

Vergleichbares ließ sich aus den Dauerbeobachtungsbäumen im Forstamt Klosterreichenbach ableiten. Hier beruhte die Argumentationsfolge auf einer halbquantitativen Abschätzung der **Anteile an Primär- und Folgebenadelung**, deren Alter und auf deren Bezug zum Dickenwachstum des Stamms (Kapitel X).

4) **Schlußfolgerung.** Sollte nun in allen Fällen die Walderkrankung bzw. der vorzeitige Nadelverlust mit einem Wechsel im Bestandesklima zusammenhängen, so müßte dies sich als ein Extremfall am Rande eines Kahlschlags bewahrheiten. Dort müßten walderkrankte Tannen entstehen. Dieser Kahlschlag in Besenfeld war für die Untersuchungen ideal: Der Zeitpunkt des Kahlschlags war bekannt, die Kahlschlagfläche war groß und es gab ausreichend unterständige Tannen, die einem solchen extremen Klimawechsel ausgesetzt waren. Die Beobachtungen seien im Folgenden erörtert.

XIII/2. Der Geländebefund.

Abb. 105 zeigt die topografische Situation. In dem Lageplan wurde der Abstand zum Waldrand durch 20m-Linien markiert. Die Tannen 51-64 sind zwischen 3m und 6m hoch. Sie standen bis dahin unter einem Fi-Ta-Altbestand und waren damit Lichtmangel ausgesetzt. Als im Winter 1988/89 der Wald nebenan entfernt wurde und eine große Kahlschlagfläche entstand, veränderte sich an diesen unterständigen Tannen das Bestandesklima. Je kleiner der Abstand zur Kahlschlagfläche, desto größer war der Klimawechsel von kühl-feuchter Umgebung hin zu einer kontinentaleren und zu größerer Luftzirkulation. Im ersten 20m-Abschnitt bekamen die unterständigen Tannen zusätzlich seitlich Licht von der Kahlschlagfläche her.

Meteorologische Untersuchungen über das Ausmaß der kleinklimatischen Veränderungen liegen hier in Besenfeld nicht vor. Jedoch zeigte ein Tagesgang unter vergleichbaren Bedingungen im Forstbezirk Klosterreichenbach, daß die Luft tagsüber bei guter Einstrahlung bis etwa um die Hälfte trockener wird (Kapitel XIV/6).

Unterständige Schatten tannen unter Fi-Ta-Altbestand

Lageplan. Besenfeld Ta 51 bis Ta 64.

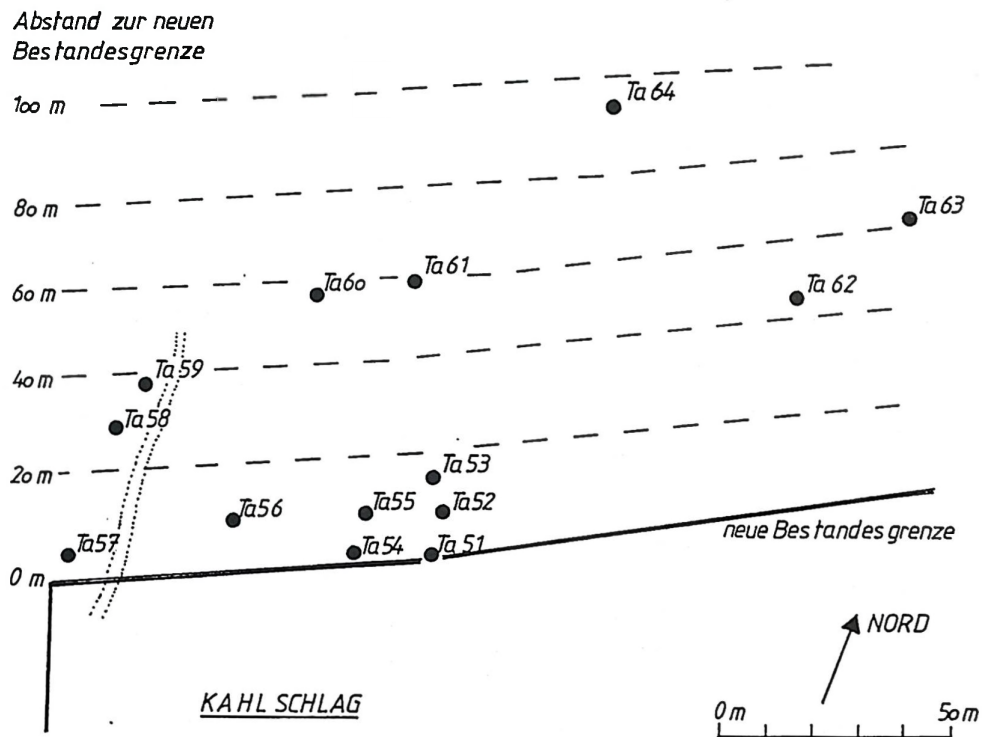


Abb. 105: Lageplan der unterständigen Tannen 51 - 64 in Besenfeld/ Nordschwarzwald und ihre Entfernung zum Rand der Rodungsfläche.

XIII/3. Die Reaktion der Bäume. Verringerter Höhenwachstum und neue Astreiser in Abhängigkeit von kleinklimatischen Änderungen.

Zu Abb. 106. Die Tannen 51-64 sind entsprechend ihrem Abstand zur Kahlschlagfläche in Gruppen zusammengefaßt: 0-20m, 20m-40m, usw.. Die Tannen im linken Diagrammteil standen näher zur Kahlschlagfläche und hatten daher auch den größeren kleinklimatischen Wechsel als die Tannen im rechten Diagrammteil. Auf den senkrechten Linien ist das Höhenwachstum dieser Tannen dargestellt. Die Markierungen geben die Quirlabstände wieder, oben der jüngste Jahrgang 1991.

Das Höhenwachstum der einzelnen Stämme ist so zueinander angeordnet, daß die Spitze des Jahrestriebs 1989 auf einer waagerechten Linie zu liegen kommt. In der Tabelle unterhalb sind Alter und Anzahl der Astreiser erfaßt. Das Bestandesklima änderte sich drei Vegetationsperioden zuvor, im Winter 1988/89.

Befund (Abb. 106):

1. **Der Einfluß des Lichts.** Nach dem Kahlschlag treiben mit einer zeitlichen Verzögerung von **zwei Jahren** gehäuft Astreiser aus. Innerhalb einer Krone haben nur jene Äste neue Astreiser, die dem Licht, also der Kahlschlagfläche, zugewandt sind. Bis zu etwa 20m tief in den Bestand hinein wirkt sich das größere Lichtangebot aus. Von der Seite dringt bis dorthin auch direktes Sonnenlicht vor. Die übrigen Häufungen von Astreisern lassen sich auf frühere Durchforstungen zurückführen, erkennbar an den umgebenden Stubben.

2. **Änderungen im Höhenwachstum.** Mit der zeitlichen Verzögerung um **genau eine** Vegetationsperiode wird der neue Höhentrieb wesentlich kleiner als zuvor. Der Kahlschlag wirkt sich hier bis zu einer Bestandestiefe von etwa 40m aus. Ist der Abstand zum neuen Waldrand größer als 40m, so reagieren diese unterständigen Tannen nicht mehr auf den Kahlschlag (Ausnahmen lassen sich auf lokale Baumentnahmen zurückführen.)

3. Rückschlüsse auf die Baumphysiologie.

a) Da die Tannen erst ein Jahr später auf diesen klimatischen Wechsel reagieren, kann man daraus schließen, daß das **physiologische Programm für das Höhenwachstum (inklusive der Assimilatreserven) im Vorjahr festgelegt** wird und sich während der Vegetationsperiode nicht mehr verändert. Anscheinend werden für die neuen Triebe auch die Reservestoffe (Stärke) schon im Vorjahr bereitgestellt. Ähnlich wie das Längenwachstum des Höhentriebs verhält sich das Längenwachstum vieler Äste.

b) **Das Höhenwachstum ist physiologisch nicht direkt an die Astreiser gekoppelt.** Neue Astreiser treten nur bis zu einer Bestandestiefe von 20m auf. Doch das Höhenwachstum ist bis zu einer Bestandestiefe von etwa 40m verringert! Dieser Unterschied ist sehr aufschlußreich. Denn beide Parameter treten auch bei der Walderkrankung auf, lassen sich dort jedoch nicht voneinander trennen. Vergleichen wir noch einmal die Besonderheiten dieser beiden Symptome.

- Neue Astreiser sind eindeutig auf den vermehrten Lichteinfall zurückzuführen. Sie treten an den Tannen nur bis zu einer Bestandestiefe von etwa 20m auf. Auch am Baum selbst sind die Astreiser zur Kahlschlagfläche, zum seitlichen Lichteinfall, orientiert.

- Das deutlich geringere Höhenwachstum läßt sich nicht mit Licht erklären. Eine Vermutung ist, daß das Höhenwachstum auf die trockenere Luft reagiert, die von der

Unterständige Schattentannen ohne wesentliche Nadelverluste, drei Vegetationsperioden nach Kahlschlag.
Entwicklung des Höhenwachstums, Astreiser-Bildung und Abstand vom neuen Bestandesrand.

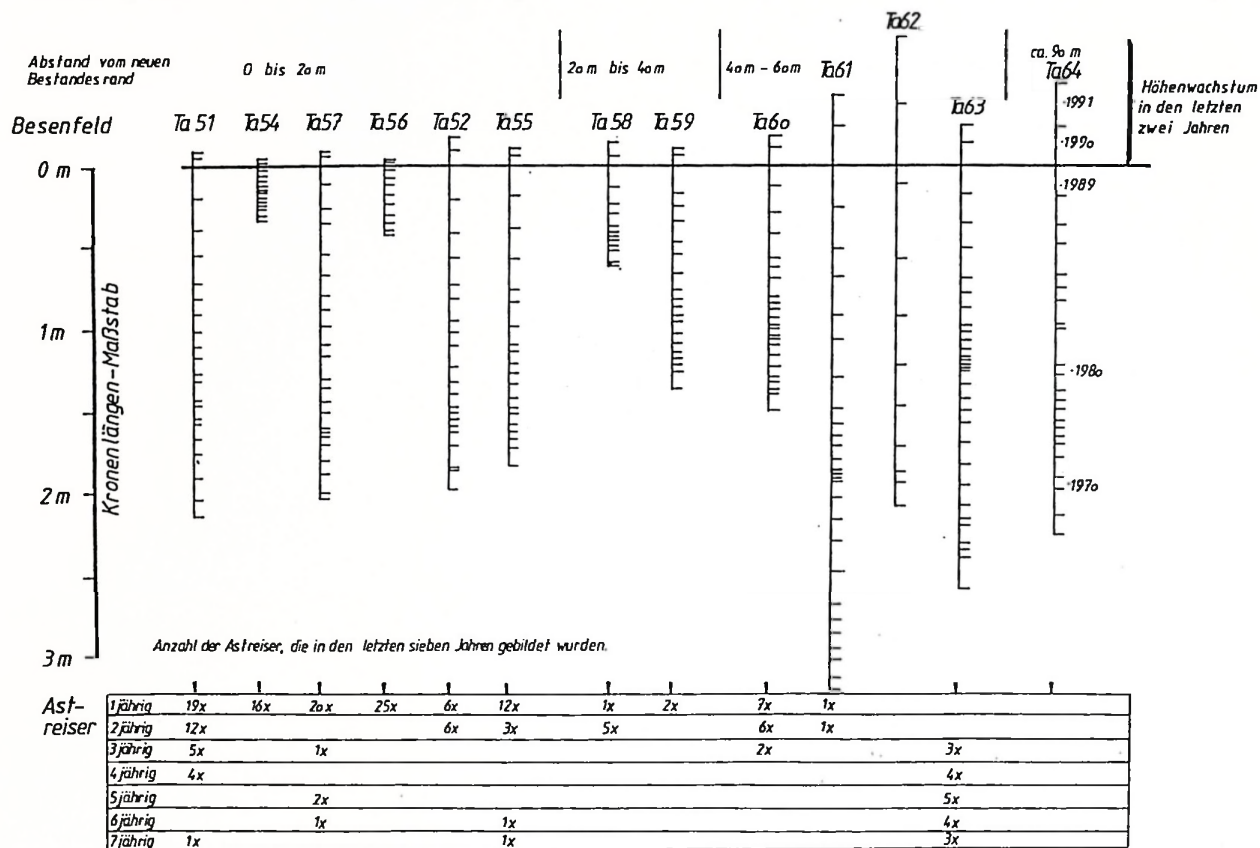


Abb. 106: Eine Rodung verändert das Kleinklima in einem angrenzenden Altbestand. Als Folge sind unter diesem Altbestand bei den unterständigen Tannen die jährlichen Höhentriebe kürzer, zusätzlich treiben neue Astreiser aus. Beispiel: Tannen 51-64, Besenfeld, 1992.

Freifläche in den Altbestand hereinzirkuliert (GEIGER, 1961), den Wasserhaushalt der Krone ändert und evtl. die Photosynthese beeinflusst. Bei diesen unterständigen Tannen innerhalb des Bestandes traten an einem Teil der Äste ebenfalls ab 1990 Wuchsstörungen auf.

XIII/4. Die Wuchsleistung von Astachsen in den vergangenen acht Jahren und die Benadelungsqualität dieser Äste nach einer Freistellung.

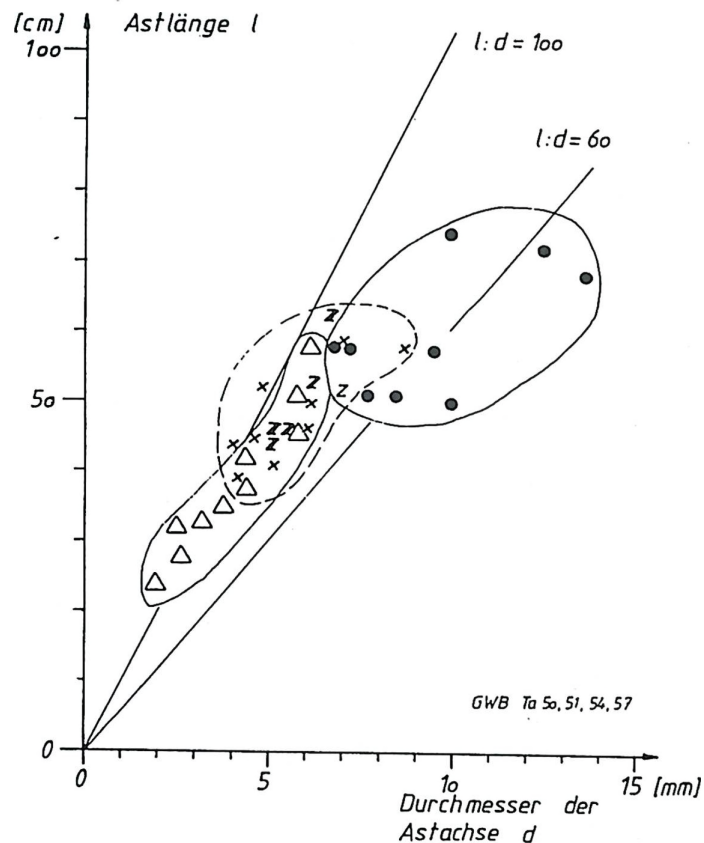
Direkt am Rande des Kahlschlags fielen bei einem Teil der Tannenäste die Nadeln vorzeitig ab. Die Frage ist nun, handelt es sich hierbei um ein ähnliches oder sogar um das identische Phänomen wie bei der Walderkrankung? Dazu wurde wie in Kapitel XII/4 vorgegangen und die Benadelung mit der Größe der Astachsen verglichen.

Zu Abb. 107. Vermessen wurde immer nur jener Teil eines Astes, der in den letzten 8 Jahren neu dazugewachsen war. Am Rande des Kahlschlags (Südost-Exposition) wurden alle erreichbaren Tannenäste erfaßt: Quirläste von den unterständigen Tannen und Klebäste von Alttannen. Auf der Abszisse ist die Dicke der Astachse aufgetragen, auf der Ordinate die dazugehörige Länge. Mit den Symbolen wird die Qualität der Benadelung angegeben. Zwei Linien zeigen die l/d -Werte 100 und 60 an. Liegt ein Punkt näher zur $l/d=100$ -Linie, so ist der jeweilige Ast eher ein Schattenast, näher zur $l/d=60$ -Linie eher ein Sonnenast.

Befund (Abb. 107):

1. **Ein kleinklimatischer Wechsel verursacht in Extremfällen walderkrankte Äste.** Äste mit vorzeitigem Nadelverlust wuchsen in den letzten 8 Jahren deutlich weniger. Ihre Achsen und die Stellung der Nadeln verraten, daß sie zuvor bereits an Schatten angepaßt waren. Sind jedoch die Äste regulär benadelt, so wuchsen sie in den letzten 8 Jahren deutlich besser. Ihre Astachsen und ihre alte Nadelstellung weisen auf ein besseres Lichtangebot am Ast hin.
2. Die vorzeitigen Nadelverluste treten anscheinend nur dort auf, wo der Klimawechsel am Ast sehr groß ist. Ist der Klimawechsel an einem Ast nicht so groß, z.B. bei kleinerem l/d -Wert und Sonnennadeln, so fallen die Nadeln nicht vorzeitig ab.
3. Wie bei den walderkrankten Tannen, sind auch hier Äste mit den Merkmalen von extremen Schattenästen besonders von vorzeitigem Nadelverlusten betroffen. Daß der vorangegangene Lichtmangel hier der entscheidende Faktor ist, läßt sich an der Verzweigung der älteren Astteile eindeutig ablesen (Kapitel XII/13).

Unterständige Tannen am Rand eines Kahlschlags.
3 1/2 Jahre nach der Freistellung.



- Äste voll benadelt und wüchsig
- △ Äste mit gelben Nadeln und absterbend
- × Äste mit nur 2 oder 3 jungen Nadeljahrgängen
- z Äste mit "Z"-Symptomen

Abb. 107: Das Wachstum der Astachsen während der **vergangenen 8 Jahre** und die Qualität ihrer Benadelung **3 1/2 Jahre** nach der Freistellung. Erfasst wurden Klebäste von Altannen und Quirläste von unterständigen Tannen direkt am Rande der Rodungsfläche (vgl. Text).

XIII/5. Veränderte Verzweigungsstrukturen nach einem plötzlichen Klimawechsel.

Auf der Suche nach Wuchsstockungen wird nun die Verzweigungsstruktur dieser Äste genauer angeschaut. In Kapitel XI und XII wurde festgestellt, daß vorzeitigem Nadelverlust immer Wuchsstockungen am Ast vorangehen, erkennbar u.a. auch an der Verzweigungsstruktur. Sind diese Äste nun vergleichbar mit den bisherigen walderkrankten Ästen oder gibt es evtl. andere Astentwicklungen mit vorzeitigem Nadelverlusten? Um nicht die z.T. extremen Lichtmangel-Äste der unterständigen Tannen mit den üblichen Ästen walderkrankter Tannen vergleichen zu müssen, wurden Äste einer freigestellten Altanne an der NO-Flanke des Kahlschlags ausgewählt.

Abb. 108. zeigt die Verzweigungsstruktur eines Astes von Tanne 11 (Besenfeld). Die Pfeile markieren die Wuchsstockungen. Das Foto nebenan zeigt die Benadelung desselben Asts.

Befund (Abb. 108):

1. Ähnlich wie bei den anderen walderkrankten Ästen, sind hier sowohl an der Länge der Jahrestriebe wie auch an der Verzweigungsstruktur Wuchsstockungen zu erkennen. Wie bei den unterständigen Tannen zuvor, treten die Wuchsstockungen erst mit einem Jahr Verzögerung auf. Die Wuchsstockungen an den Asttrieben sind größer als normalerweise bei den walderkrankten Ästen. In diesem extremen Fall der Freistellung wurden alle Verzweigungsteile kürzer, während bei vergleichbaren, walderkrankten Ästen häufig nur die Seitenzweige von diesen plötzlichen Verkürzungen betroffen sind.
2. Diese freigestellten Äste kann man daher in die Reihe walderkrankter Tannenäste eingliedern: Die vorzeitigen Nadelverluste kommen immer zusammen mit Wuchsstockungen am Ast vor und lassen sich auf einen Wechsel von dunkel-kühl-feuchtem Bestandesklima zu einem sonnig-warm-trockenen zurückführen. Dabei gilt: Sind in der unmittelbaren Umgebung nur wenige Bäume entnommen worden, erkennbar an wenigen, frischen Stubben, dann treten geringe Wuchsstockungen an den Ästen auf. Wurden aber viele Bäume in der unmittelbaren Umgebung beseitigt, sind also viele frische Stubben vorhanden, dann zeichnen sich große Wuchsstockungen an den Ästen ab.

*Quirlast von Tanne II, Besenfeld, 1993/4
freigestellt: 1988/9*

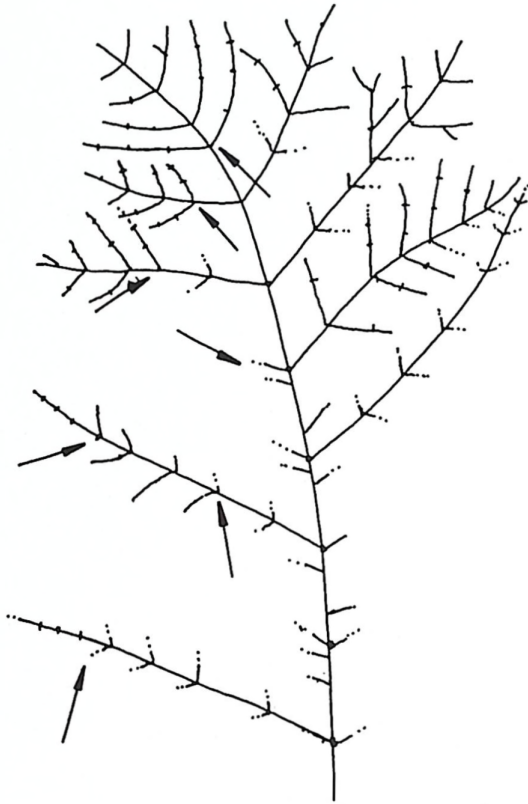
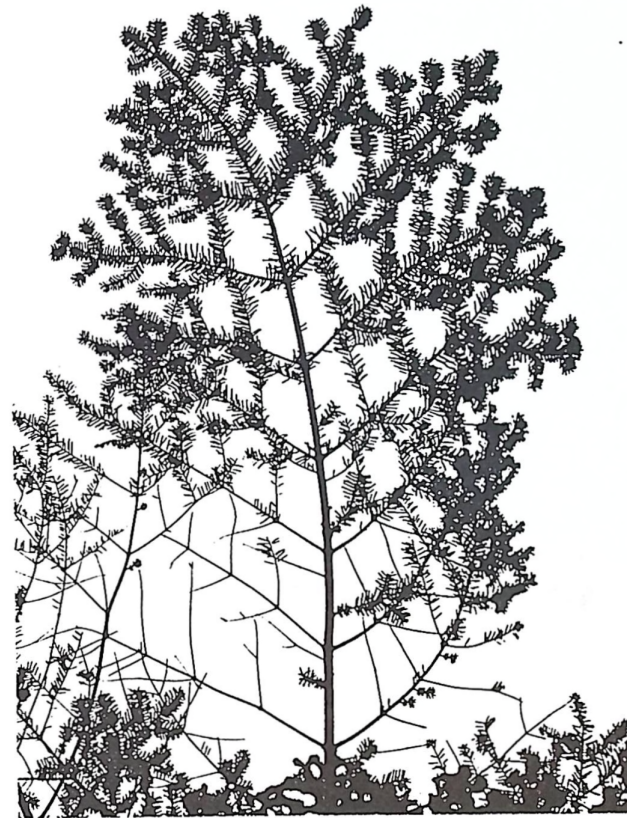


Abb. 108: Eine veränderte Verzweigungsstruktur nach einer plötzlichen Änderung des Bestandesklimas: Der Quirlast einer freigestellten Tanne zeigt Wuchsstockungen (Pfeile) und vorzeitige Nadelverluste. Links: Zeichnung der Verzweigungsstruktur ohne Nadeln; rechts: Foto des Astes mit Nadeln; (vgl. Text).

XIII/6. Verschiedene Arten von vorzeitigem Nadelverlust 3 1/2 Jahre nach einer Freistellung.

Daß Kahlschläge einer Tanne nicht gut bekommen, wurde schon oft in der Forstliteratur beschrieben (PFEIL, 1842; CARL, 1893; DANNECKER, 1955; MEYER, 1957; u.a.). Dem Vergleich von Freistellung und Walderkrankung soll hier nun auf eine weitere Weise nachgegangen werden. Die Benadelungsform der Äste am Rande des Kahlschlags wird mit der von walderkrankten Ästen verglichen.

Zu Abb. 109. Wie in Kapitel XII/17 und 18 werden die Äste auf eine Astachse mit gleichmäßigen Jahrestrieben vereinfacht. Die eingezeichnete Benadelung entspricht jener der Astfläche. Mit dem Pfeil seitlich ist der Wechsel im Bestandesklima markiert. Erfasst sind 39 Äste von Tannen direkt am neu entstandenen Waldrand, dort wo der klimatische Wechsel am größten war. Die Äste stammen alle aus 2m-4m Höhe, und zwar Klebäste von Altannen und Quirläste unterständiger Tannen.

Befund (Abb. 109):

Diese Momentaufnahme, vier Vegetationsperioden nach der Freistellung, zeigt eine ähnliche Vielfalt an Benadelungsformen wie die Äste von walderkrankten Tannen:

- (1) Es gibt Äste mit Wuchsstockungen, die aber regulär benadelt sind.
- (2) Es treten Äste auf, die schon fast alle Nadeln verloren haben und nun nach etwa vier Jahren am Absterben sind.
- (3) Es gibt aber auch Äste mit Wuchsstockungen, an denen die alten Schattennadeln abgefallen sind, bei denen allerdings zusätzlich z.T. auch die neuen Nadeln betroffen sind.
- (4) Interessant ist die Tatsache, daß sogar "zonierte Nadelverluste" sich ausbilden, bisher das eindeutigste Astsymptom der Walderkrankung.

Da sowohl die Freistellung wie auch die Walderkrankung vergleichbare Astsymptome bilden, wird diesem Problem im folgenden Abschnitt genauer nachgegangen. Es eröffnet sich die Möglichkeit einer zeitlichen Zuordnung (Datierung) von Astsymptomen.

Nadelverfärbungen und Nadelfall an Tannenästen 3 1/2 Jahre nach ihrer Freistellung.

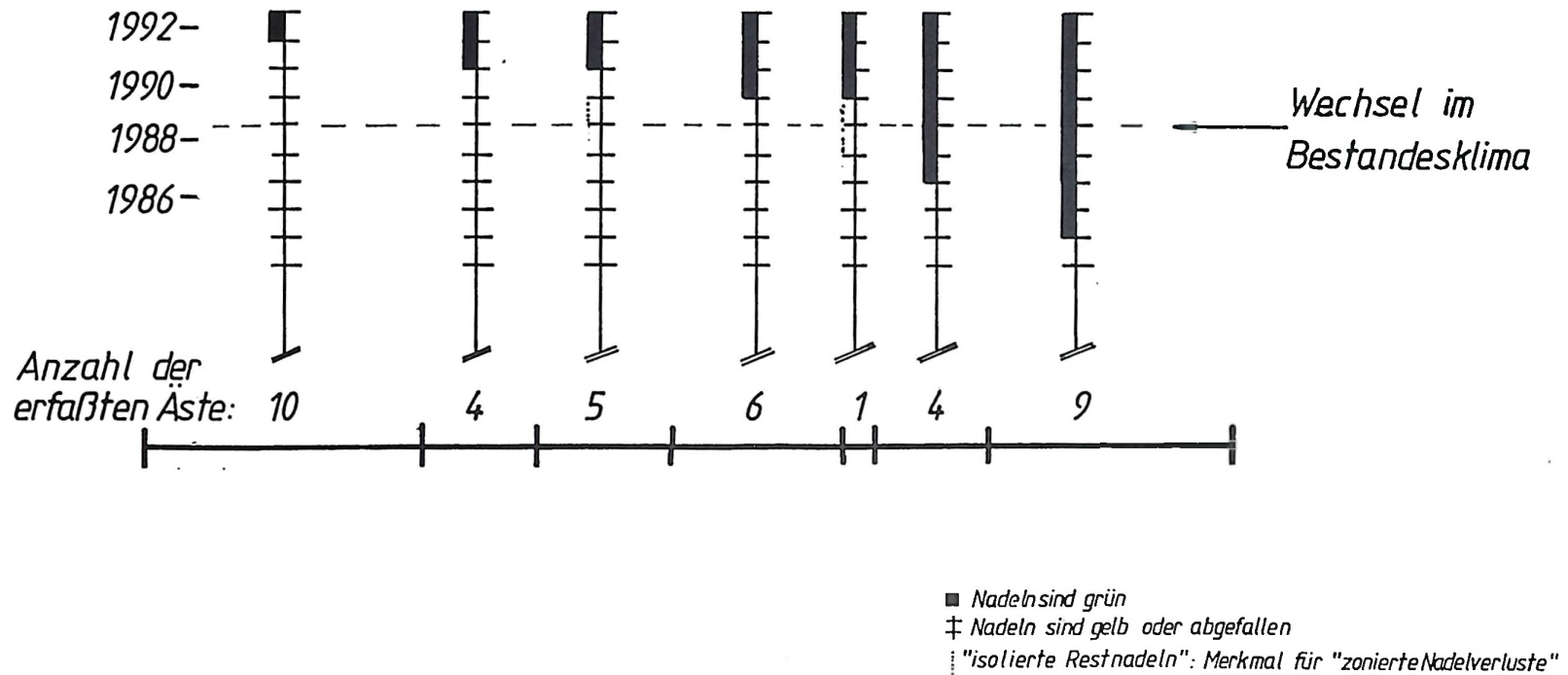


Abb. 109: Verschiedene Formen von Nadelverfärbungen und vorzeitigem Nadelfall direkt am Rande dieser Rodungsfläche, 3 1/2 Jahre später. Nur die vorderen Astteile sind berücksichtigt. Die Zweigstrukturen sind auf eine einfache Astachse reduziert. (↓) Astachse abgeschnitten.

XIII/7. Beschreibung der morphologischen Veränderungen nach einer Freistellung.

Hier seien zunächst die Beobachtungen der Jahre 1989 bis 1993 zusammengefaßt. Es handelt sich um dieselben Untersuchungsobjekte wie zuvor. Die Veränderungen an vielen Ästen werden in einem Schema zusammengefaßt.

Zu Abb. 110: Der morphologisch interessanteste Fall, die "zonierten Nadelverluste" sind als Schema dargestellt. In die Betrachtung einbezogen sind die Parameter Durchmesser der Astachse, Nadelverluste, Nadelstellung, Verzweigung und Längenwachstum. Vergleichbare Veränderungen findet man an den voll benadelten und an den absterbenden Ästen.

Beschreibung:

1. In der ersten Vegetationsperiode nach dem Kahlschlag bleibt das Längenwachstum wie zuvor; bleibt die Stellung der Nadeln wie zuvor (Schattennadeln); wird der Astdurchmesser z.T. konisch. Dieser Ast trägt später evtl. die sog. "isolierten Restnadeln". Da diese Nadeln u.U. noch recht lange am Ast verbleiben, läßt sich aus ihrem Alter das Jahr der klimatischen Veränderungen bestimmen. Dieser Jahrgang kann als jüngster Teil der Astachse noch Astreiser tragen.

2. In der zweiten Vegetationsperiode sind die Jahrestriebe am Ast oft kürzer und verzweigen sich weniger. Die Nadeln sind kürzer und nicht mehr flächig angeordnet. Ihre Stellung ist ähnlich den Sonnennadeln.

3. In der dritten Vegetationsperiode treiben vermehrt Astreiser aus. Bei wüchsigen Ästen können sich die Astspitzen vorne wieder besser verzweigen.

4. In der zweiten Hälfte der vierten Vegetationsperiode verfärbt sich meist zum 1. Mal ein Teil der Nadeln und fällt vorzeitig ab, ähnlich der Walderkrankung. Diese Äste lassen sich zwei Mustern zuordnen:

(1) Alle älteren Nadeln verfärben sich und fallen ab (vergleichbar Kapitel XII/18, Fall 4).

(2) "Zonierte Nadelverluste". Die Nadeln der zweiten, z.T. auch der dritten Vegetationsperiode, verfärben sich und fallen vorzeitig ab, die älteren Nadeln folgen. Oftmals bleiben "isolierten Restnadeln" übrig (vergleichbar Kapitel XII/18, Fall 2).

Dabei scheint für den vorzeitigen Nadelverlust der Durchmesser des entsprechenden Triebstücks entscheidend zu sein. Je dünner das jeweilige Triebstück ist (im Vergleich zu gleichaltrigen Zweigen ähnlicher Länge), desto früher und vollständiger fallen die Nadeln ab.

Auch hier besteht der Verdacht, daß dicke Astachsen mehr Stärke speichern und damit die Nadeln länger überleben (Kapitel XII/19, 2). Freigestellte Tannenäste verhalten sich also im Prinzip wie die Äste von walderkrankten Tannen.

5. Es können auch noch folgende Erscheinungen auftreten:

a) Im Extremfall einer total freigestellten, unterständigen Tanne können bereits im 3. Jahr alle alten (Schatten-) Nadeln abfallen (z.B. Tanne 9, Besenfeld; Kapitel XIII/8; Kapitel XII/18, Fall 1).

b) Bei Altannen, die durch den Kahlschlag solitär gestellt wurden, hat die besonnte Seite deutlich mehr Nadelverluste als die Schattenseite (z.B. GWB Ta 70 u. Ta 71 am nördlichen Rand des Kahlschlags). Dies kann als ein Hinweis gewertet werden, daß die Nadelverluste u.a. abhängig sind vom Ausmaß des Klimawechsels.

"ZONIERTE NADELVERLUSTE" NACH FREISTELLUNG

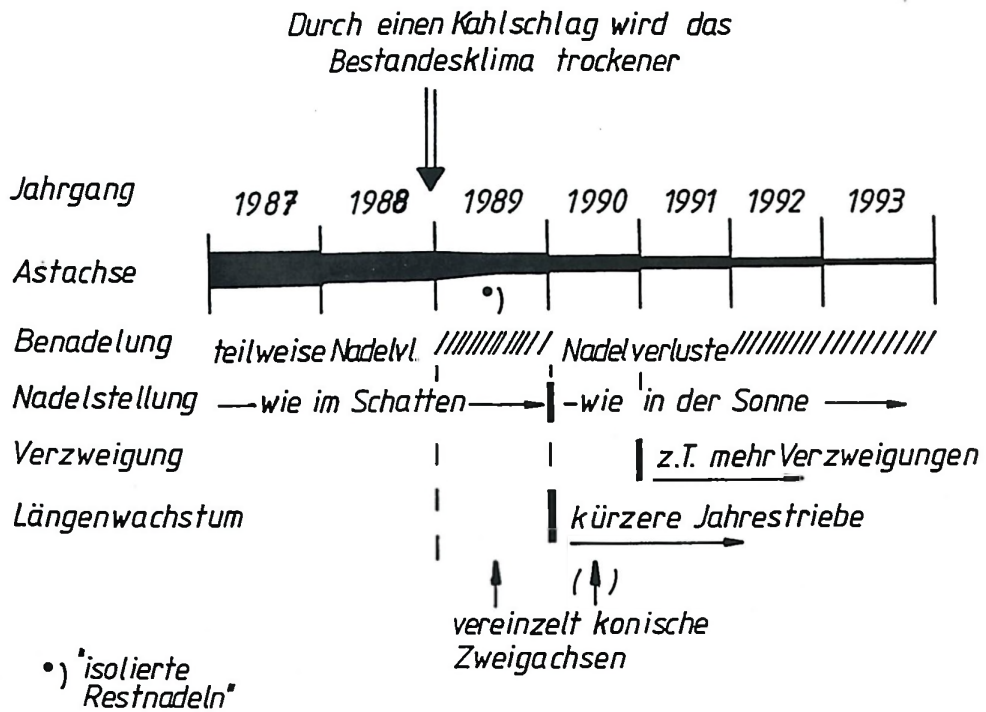


Abb. 110: „Zonierte Nadelverluste“. Schematische Darstellung der Veränderungen eines Tannenastes nach der Veränderung des Kleinklimas: (1) an Astachse, (2) an der Benadelung, (3) an der Nadelstellung, (4) an der Verzweigung und (5) am Längenwachstum; schaffiert: vollständig benadelte Jahrgänge.

XIII/8. Ausmaß der Nadelverluste nach einer totalen Freistellung.

Tanne 9 (Besenfeld) war über etwa 70 Jahre als unterständige Tanne im Lichtmangel nur 4,70m hoch gewachsen. Im Winter 1985/86 wurde der umgebende Fichten-Tannen-Altbestand entfernt und die Tanne 9 stand plötzlich solitär auf der Kahlschlagfläche vor dem angrenzenden Altbestand. Nach drei Jahren verfärbten sich im Spätsommer die alten Nadeln. Die zwei jüngsten Nadeljahrgänge blieben grün. Zwar begann das Gelbwerden etwa zum selben Zeitpunkt wie das reguläre Abnadeln, doch fielen bis zum Februar fast keine Nadeln ab. In diesem Zustand wurde dieser Baum gefällt. **Abb. 111** zeigt auf der Ordinate die Quirlabstände von Tanne 9 (Besenfeld) und wie sich die gelben und grünen Astflächen entlang des Stamms verteilten (Abszisse).

Befund (Abb.111):

Man erkennt das Folgende: An dieser Tanne verhielten sich alle Äste fast gleichartig. Alle alten Nadeln wurden im Spätsommer gelb. Nur die zwei jüngsten Nadeljahrgänge, die nach der Freistellung gebildet wurden, blieben grün. Durch den großen Wechsel im Bestandesklima verlor Tanne 9 damit ungefähr 2/3 ihrer Nadeln. Sie waren alle noch im Schatten gebildet worden. Die zwei jüngsten Nadeljahrgänge hatten kurze Triebe mit kurzen, grünen Nadeln und Sonnennadelstellung und waren an das neue Klima angepaßt (Kapitel XIII/7).

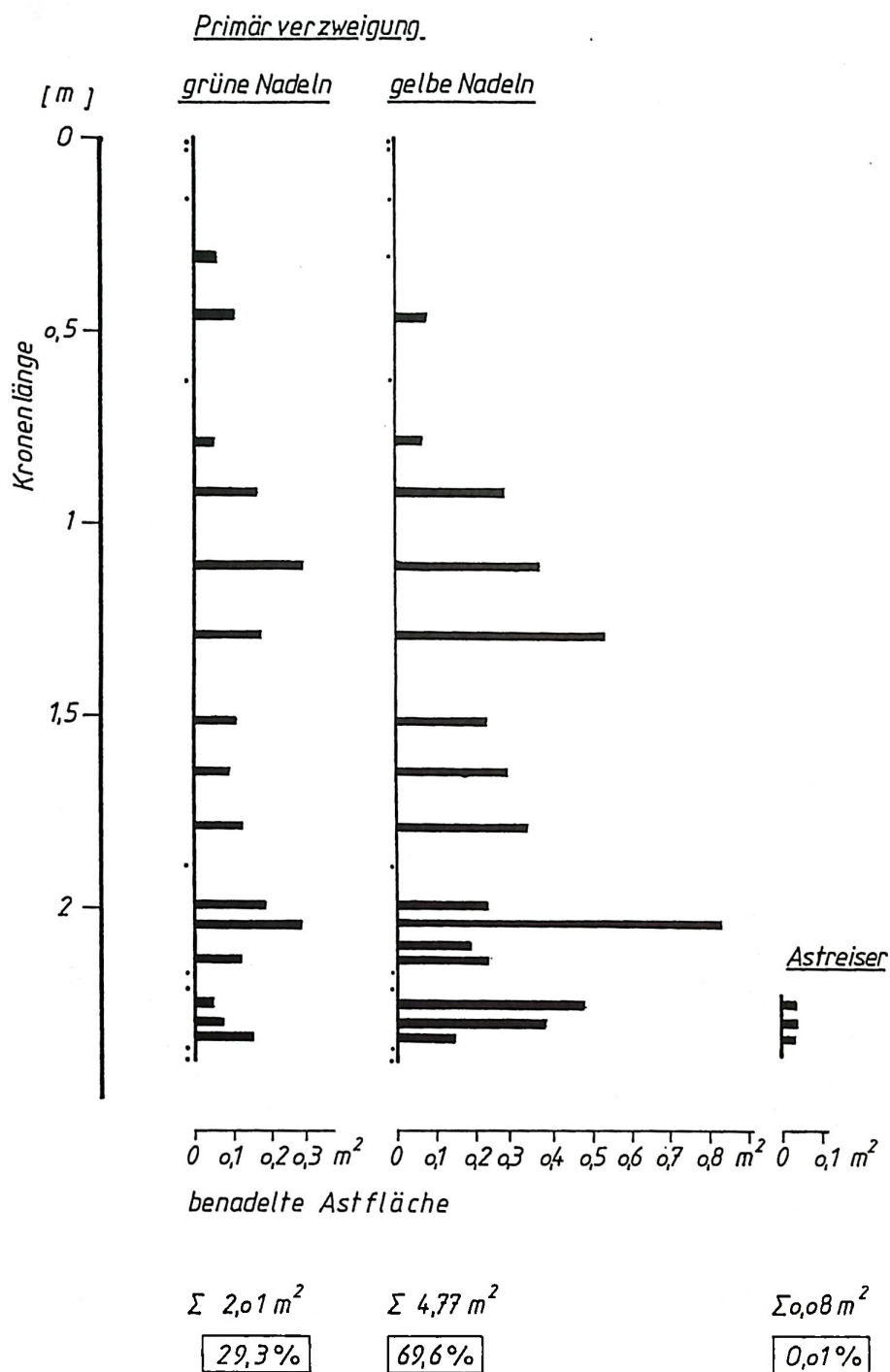


Abb. 111: Das Ausmaß der Nadelverfärbungen 3 Jahre nach der totalen Freistellung der vormals unterständigen Tanne 9; Besenfeld, Winter 1989. Links ist die „benadelte Astfläche“ für die grünen Nadeln, rechts ist für die gelb verfärbten Nadeln aufgetragen. Senkrecht: die Stammachse; unten: die addierten Flächen.

XIII/9. Höhenwachstum bei den Altbäumen am Rand dieses Kahlschlags in Besenfeld.

Einen Nachweis, daß auch alte Tannen und Fichten auf kleinklimatische Wechsel reagieren, liefert die folgende Beobachtung: Mit Hilfe eines Fernglases wurden die Wipfel der Altbäume am Rande des Kahlschlags auf das Höhenwachstum in den letzten Jahren hin genau angesehen.

Zu Abb. 112. Die Altbäume wurden nach ihren Nadelverlusten in der Krone den Schadstufen zugeordnet. Mit einem Pfeil wurde markiert, ob diese Altbäume ab 1990 - also ein Jahr nach der Freistellung - ein deutlich geringeres Höhenwachstum hatten. Die Fichten und Tannen wurden in Reihen parallel zum neuen Waldrand geordnet.

1.Reihe: Diese Bäume stehen direkt am neu entstandenen Waldrand. Ein Teil der unteren Schattenkrone wurde damit direkter Sonnenbestrahlung ausgesetzt.

2. Reihe: Ihre Kronen sind durch die Bäume der 1.Reihe weitgehend verdeckt.

3. und 4.Reihe: Diese Bäume sind durch die Kronen der anderen Bäume von Reihe 1 u. 2 vollständig verdeckt. In der Krone hat sich das Bestandesklima vermutlich nur geringfügig verändert.

Befund (Abb. 112):

1. Wuchsstockung mit zeitlicher Verzögerung um ein Jahr. Die Fichten und Tannen in der 1., 2. und 3.Reihe reagieren auf den Kahlschlag wie die unterständigen Tannen mit einer zeitlichen Verzögerung von einer Vegetationsperiode. Bei den Bäumen in der 3. und 4. Reihe wirkt sich dieser forstliche Eingriff nicht mehr so deutlich aus: Das Höhenwachstum ist in einigen Fällen gleichgeblieben.

Da alle diese alten Tannen und Fichten um **genau ein Jahr** nach dem Kahlschlag mit einem verringerten Höhenwachstum reagieren, wird deutlich, daß dieser kleinklimatische Wechsel die Ursache dafür ist.

2. Vergleich mit unterständigen Tannen. Reagieren die Altbäume in der 3.Baumreihe schon nicht mehr auf diese klimatischen Veränderungen, so sind die unterständigen Tannen auf derselben Fläche bis zu einer Bestandestiefe von etwa 40m von diesen Wuchsstockungen betroffen. Erklären läßt sich dies mit der Luftzirkulation, die unten in diesem Altbestand leicht eindringen kann, während oben die dichten Kronen ein großes Hindernis für diese Luftbewegungen darstellen (vgl. auch GEIGER, 1961, Seite 312ff).

Weiterführende Überlegungen. In der Vergangenheit wurde das Stagnieren des Höhenwachstums als ein Symptom der Walderkrankung gedeutet oder ließ sich dem Extremfall der Freistellung zuordnen (BAADER, 1952).

Doch ein plötzlich verringertes Höhenwachstum muß nicht immer solch dramatische Folgen nach sich ziehen. So fielen bis zum Frühjahr 1994 an den unterständigen Tannen **innerhalb des Bestands** fast keine Nadeln ab, obwohl die Äste z.T. Wuchsstockungen aufwiesen und an ihnen das Höhenwachstum seit 1990 kleiner war.

	SCHADSTUFE 0 + I		SCHADSTUFE II		SCHADSTUFE III	
	Fichte	Tanne	Fichte	Tanne	Fichte	Tanne
1. Reihe	↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↓ ↓	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↓ ↓	↓ ↓
2. Reihe	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓		↓ ↓ ↓ ↓ ↓		↓ ↓	
3. Reihe	↓ III					
4. Reihe	I	I				

↓ : deutlich kürzere Höhentriebe ab dem Jahr 1990
 I : das Höhenwachstum ist fast unverändert

Abb. 112: Am Rande der Rodungsfläche reagieren auch alte Fichten und Tannen mit verkürzten Höhentrieben. Etwa ein Drittel der Bäume konnte wegen Wipfelbrüchen u.ä. nicht beurteilt werden.

XIII/10. Zusammenfassung.

1) Eine Tanne wird aus ihrem Bestandesklima herausgelöst, wenn sehr viele umgebenden Bäume gefällt werden. Diese Freistellung einer Tanne kann als eine besonders heftige Version der Walderkrankung angesehen werden.

2) Diese starken Veränderungen im Bestandesklima, wie sie z.B. auch direkt am Rande eines Kahlschlags auftreten, können sämtliche Symptome der Walderkrankung hervorrufen: das Höhenwachstum wird (vorübergehend) geringer, das Astwachstum stagniert, vorzeitige Nadelverluste, das eindeutigste Symptom der Walderkrankung, treten auf.

3) Entscheidend für den vorzeitigen Nadelverlust ist, ob die Äste zuvor gut oder schlecht wuchsen. Wie die Beobachtungen zeigen, sind jene extremen Schattenäste, die zuvor nur dünne Zweigachsen und wenige Verzweigungen hatten, besonders gefährdet.

4) Innerhalb eines Altbestands fallen die Nadeln meist nicht vorzeitig ab, auch wenn das Höhenwachstum vorübergehend geringer ist und die Äste vereinzelt Wuchstockungen zeigen (vgl. auch BAADER, 1952; SEITSCHKEK, 1967).

5) Versäumt man die erste Phase mit "zonierten Nadelverlusten", so ist es schwierig, später die Nadelverluste an den Ästen zu beurteilen. An solchen kahlen Ästen läßt sich dann nicht mehr sicher feststellen, ob Lichtmangel oder die Walderkrankung bzw. Freistellung dazu führte.

6) Die untersuchten Tannen hatten zuvor keinerlei Anzeichen der Walderkrankung, waren "gesund".

Einschränkung: Das Dickenwachstum am Stamm und an den Astachsen wurde bei diesen unterständigen Tannen nicht hinreichend untersucht.

Kapitel XIV

Zum Wasserhaushalt von Tannenästen.

Die Symptome der Walderkrankung weisen 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.

1) Zur vorangegangenen Konkurrenzsituation (Kapitel V und VIII). Mitherrschende Tannen sind bevorzugt von starkem Nadelverlust betroffen. Eine mitherrschende Tanne kommt nur dadurch zu ihrem Status, daß sie lange Zeit von den umgebenden Bäumen dicht umschlossen wurde. Ihre Krone ist überwiegend von einem schattig-feuchten Bestandesklima umgeben. Dagegen sind vorherrschende Tannen einem trockeneren Kleinklima in der oberen Krone ausgesetzt. Sowohl seitlich wie auch in der oberen Krone haben solche Tannen mehr Wuchsraum; sie erhalten dadurch mehr Licht, trockenere Luft und Wind.

Werden bei einer mitherrschenden und bei einer vorherrschenden Tanne jeweils einige angrenzende Bäume entfernt, so ist die Krone einer mitherrschenden Tanne insgesamt einem größeren Wechsel von schattig-feuchtem zu sonnig-trockenem Klima ausgesetzt als die Krone einer vorherrschenden Tanne. Der Wasserhaushalt einer mitherrschenden Tanne wird dadurch im Vergleich mehr beansprucht als jener einer vorherrschenden Tanne.

2) Das Verhältnis von Primär- zu Folgebenaedelung (Kapitel X). Zu einem vergleichbaren Ergebnis gelangte eine andere Untersuchungsreihe im Forstbezirk Klosterreichenbach. Stark geschädigte Tannen hatten dort mehr Folgebenaedelung als Primärbenaedelung. Der große Nadelverlust durch die Walderkrankung ist offensichtlich direkt an einen bestandesklimatischen Wechsel gebunden, denn ohne ein Mehr an Licht würden keine Folgetriebe (Astreiser und Klebäste) an den alten Achsen austreiben. Auch hier wechselte das Bestandesklima von schattig-feucht zu sonnig-trocken.

3) Arbeitshypothese zur Stammentwicklung. Wie Kapitel X/3. zeigte, lassen sich sehr unterschiedliche Jahrring-Entwicklungen im Stamm mit diesen kleinklimatischen Veränderungen erklären. Außerdem ließ sich im Gemeindewald Besenfeld eine zeitliche Abfolge zusammenstellen (1) vom Entfernen benachbarter Bäume, (2) dem Auftreten neuer Astreiser, (3) einem veränderten Höhen- und Dickenwachstum, (4) den Wuchsstockungen bis hin (5) zu vorzeitigem Nadelverlust (Kapitel IX bis XIII; Tannen 1-47 und Tannen 51-64).

4) Zu den Ästen. Weiterhin kommt hinzu, daß innerhalb einer Tannenkronen die langen Äste von vorzeitigem Nadelverlusten bevorzugt betroffen werden (Kapitel XII/4). Aus dem Kronenaufbau läßt sich ableiten, daß dies diejenigen Quirläste in der

untersten Kronenhälfte sind, die außen an der Astperipherie noch Primärbenadelung haben. Bei Tannen, die innerhalb eines geschlossenen Bestandes stehen, sind diese Äste fast immer an der Grenze zum Lichtmangel, denn sonst befänden sich die längsten Quirläste weiter unten am Stamm. Da man aber bei walderkrankten Tannen solche Äste von weitem schon gut erkennen kann, muß sich offensichtlich die Lichtmangelsituation in der Zwischenzeit verändert haben. Somit hat an diesen walderkrankten Ästen ein extremer Wechsel hin zu einem sonnig-trockeneren Kleinklima stattgefunden.

Walderkrankte Äste waren zuvor häufig Schattenäste. Treten an einem Ast Nadelverluste auf, so sollte man sorgfältig prüfen, ob der Nadelverlust auf Lichtmangel oder auf die Walderkrankung zurückzuführen ist. Walderkrankte Äste lassen sich in der ersten Phase an den "zonierten Nadelverlusten" identifizieren. Sind die Nadeln weitgehend abgefallen, bleiben für die Beurteilung nur noch die plötzlichen Wuchstockungen übrig. Allein mit der Astsymptomatologie sind solche Äste schlecht zu beurteilen. Man kommt nicht umhin, noch andere Äste, die Stammentwicklung und das Alter der Folgebenedelung zu Rate zu ziehen.

5) Freistellung. Ein weiterer Hinweis war, daß eine Freistellung Walderkrankungssymptome verursacht (Kapitel XIII). Mit dem Kahlschlag bei Besenfeld im Winter 1988/89 wurde auf einer großen Fläche ein Wechsel von schattig-feuchtem zu sonnig-trockenem Kleinklima eingeleitet. Mit einer zeitlichen Verzögerung von einigen Jahren traten direkt am Rande dieses Kahlschlags Walderkrankungssymptome auf.

Hatte man in Kapitel IX aus der zeitlichen Abfolge, wie sich das Wachstum einer Tanne an vielen Stellen gleichzeitig ändert, auf einen kleinklimatischen Wechsel im Bestand geschlossen, so war mit den Untersuchungen zur Freistellung (Kapitel XIII) eine Art Gegenbeweis gelungen: Hier war der Zweitpunkt des klimatischen Wechsels bekannt und an den morphologisch gesunde Tannen begannen sich daraufhin nach und nach die charakteristischen Walderkrankungssymptome einzustellen.

Neben weiteren morphologischen Untersuchungen wird nun mit einfachen, ökophysiologischen Untersuchungen versucht, die entscheidenden, physiologischen Grenzen zu erkennen.

XIV/2. Splintfläche im Stamm, der h/d-Wert und die Benadelungsqualität der schlechtesten Äste.

Die Walderkrankung wird hierbei mit einer morphologischen Größe innerhalb des Wasserhaushalts, der Splintfläche im Stamm, in Verbindung gebracht. Die Splintfläche ist jener Teil des Stammquerschnitts, in dem das Wasser von der Wurzel zu den Nadeln transportiert wird.

Zu Abb. 113 - auf Seite 263: Das Diagramm zeigt den Zusammenhang von h/d-Wert (hier als Maß für die soziologische Stellung im Bestand) und der Splintfläche in 1,3m Stammhöhe. Die untersuchten Tannen sind in zwei Gruppen eingeteilt:

- (1) Tannen, deren Äste alle regulär benadelt sind, haben einen schwarzen Punkt (●).
- (2) Tannen, die z.T. stark geschädigte, walderkrankte Äste haben ("Kümmeräste"), sind mit einem Dreieck gekennzeichnet (△). Bei dieser Untersuchung wurde die Splintfläche aus zwei breiten Holzriegeln in 1,3m Stammhöhe errechnet. Unter-

suchungsobjekt ist ein Teil der Tannen aus dem Fällungsprogramm Baden-Württemberg 1984/85.

Befund (Abb. 113 - auf Seite 263):

Die Splintfläche im Stamm ist bei Tannen mit Kümmerästen oft nur halb so groß wie bei jenen, deren Äste alle regulär benadelt sind. Bei kleiner Splintfläche ist der h/d-Wert häufig größer.

Dies läßt darauf schließen, daß diese Tannen mitherrschend waren. Da nun mitherrschende Tannen bevorzugt starke Nadelverluste haben, ist zu vermuten, daß die Splintfläche nicht durch die Walderkrankung kleiner wurde, sondern schon immer vergleichsweise klein war (vgl. auch Kapitel V zur h/d-Wert-Entwicklung bei einer walderkrankten Tanne und Abschnitt D, Diskussion).

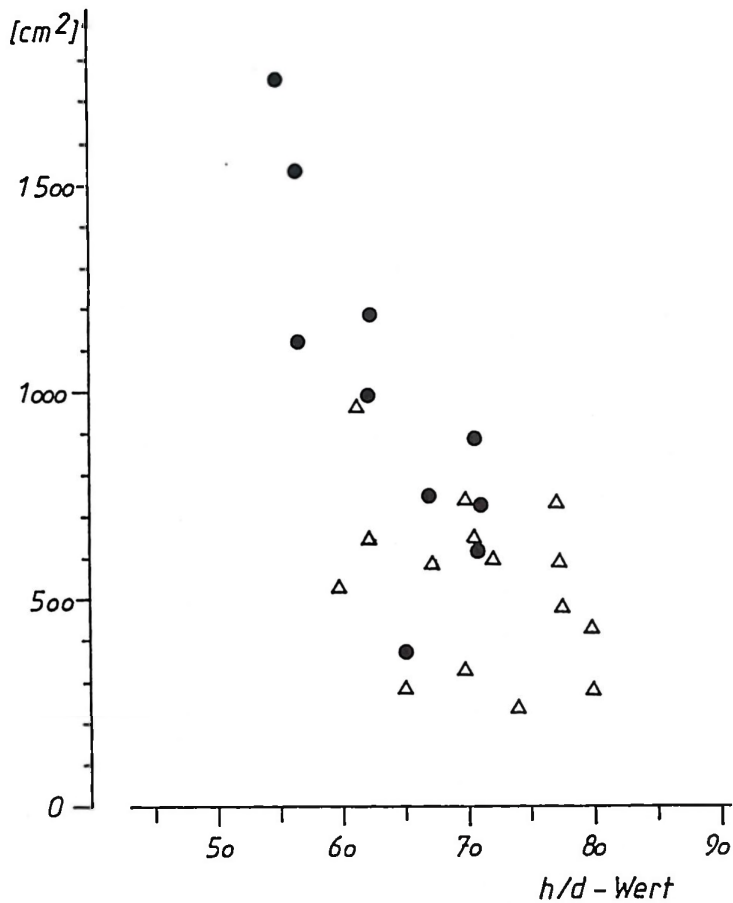
IV/3. Splint, Stärkespeicherung und lebende Markstrahlzellen.

Angenommen sei jener Fall, daß ein erkrankter Splint Ursache für die Walderkrankung ist. Dann könnte sich dies u.U. in abgestorbenen Markstrahlzellen, oder in einer lückenhaften Stärkespeicherung, oder in einer abnorm veränderten Splintfläche äußern. Denn i.d.R. sind bei Tannen die wasserführenden Stammteile mit lebenden Markstrahlzellen durchzogen, die Stärke speichern können. Um diese Frage zu beantworten, werden das Stammholz auf diese drei erwähnten Parameter hin untersucht.

Lebende Zellen lassen sich mit einer 1%igen Tetrazoliumchlorid-Lösung nachweisen (TTC-Test; REISS, 1968). **Stärke** wird mit der Lugolschen Lösung (JK) sichtbar gemacht. Ist das Tannenholz frisch, so läßt sich das **feuchte Splintholz** gut vom Kernholz unterscheiden.

Im Dezember 1988 wurden im Forstbezirk Klosterreichenbach Alttannen gefällt, die unterschiedlich stark geschädigt waren. Unabhängig von den Walderkrankungssymptomen ließ sich bei den Tannen sowohl am Stammfuß (11 Stammscheiben) wie auch in der oberen Krone (12 Stammscheiben) immer Folgendes beobachten: **Auf der gesamten Splintfläche waren die Markstrahlzellen lebendig und speicherten durchgängig Stärke, unabhängig, ob die Tannen gesund oder walderkrankt waren. Dagegen fehlten im Kernholz sowohl Stärke wie auch lebende Zellen. Damit fanden sich im Splint keine offensichtlichen, pathologischen Veränderungen, die den Verdacht hätten nähren können, daß bei der Walderkrankung der Tanne der Stamm erkrankt ist. Andere morphologische Besonderheiten fielen im Stammholz nicht auf. Das Problem des Naßkerns wird noch in der Diskussion aufgegriffen.**

Splintfläche in 1,3m Stammhöhe



- alle Äste voll benadelt
- △ z.T. Äste mit nur
1 bis 2 Nadeljahrgängen

Abb. 113: Das Vorkommen oder die Abwesenheit von walderkrankten Kümmerästen in Tannenkronen, die Größe der Splintfläche im Stamm und der Schlankheitsgrad (h/d-Wert) des Stamms. Die Splintfläche wird als ein Parameter für die Wasserversorgung angesehen, ein großer h/d-Wert kann hier als Hinweis auf einen eingeschränkten Wuchsraum gewertet werden (Altersklassenwald). Tannen aus dem Fällungsprogramm BW 1984/85.

XIV/4. Einfache ökophysiologische Versuche zum Klimawechsel.

XIV/4.a. Aufgabenstellung. In Kapitel XIV/1 (5) wurde deutlich, daß Schattenäste dann bevorzugt walderkrankt werden, wenn sie später plötzlich Wind und Sonne ausgesetzt werden. Das heißt, wenn ein Schattenast auf Grund einer Durchforstung mehr Licht bekommt, so verändert sich innerhalb dieses Astes und in seiner näheren Umgebung der Wasserhaushalt. Es besteht die Frage, ob ein Schattenast bei diesem Wechsel zu sonnigen Bedingungen zeitweilig schlecht mit Wasser versorgt wird.

Falls dies zutrifft, hätte man Hinweise, warum Schattenäste ihre Nadeln vorzeitig verlieren, wenn das Kleinklima trockener wird. Denn ein zeitweiliger Engpaß in der Wasserversorgung drosselt die Nettophotosynthese. Langfristig ließe sich damit ein vorzeitiger Nadelverlust erklären.

XIV/4.b. Versuchsaufbau. Mit Evaporimetern und Potometern wurde versucht, das Ausmaß dieser Veränderungen unter natürlichen Bedingungen abzuschätzen. Bei der Auswahl der Meßstellen wurde darauf geachtet, daß der kleinklimatische Unterschied jenen natürlichen Bedingungen etwa entsprach, die ein Tannenast erfährt, wenn er auf Grund von einer Durchforstung aus dem Schatten ans Licht kommt.

Evaporimeter messen, wieviel Wasser ein feuchtes Filterpapier verdunstet. Mit **Potometer** mißt man, wieviel Wasser ein abgeschnittener Ast bei guter Wasserversorgung transpiriert (vgl. Kapitel "Material und Methoden").

Mit solchen Potometern wurde an einem wolkenfreien Sonnentag (13.7.1991) der Wasserverbrauch von Tannenästen im Nordschwarzwald gemessen (Forstbezirk Klosterreichenbach, Distrikt Hardtwald). Unter den Bedingungen eines Sonnenastes wurden auf einer kleinen, gut besonnten Freifläche in etwa 1m Höhe drei Sonnenäste, drei Schattenäste und drei Evaporimeter aufgehängt. Ein ähnliches Arrangement wurde innerhalb eines angrenzenden Fi-Ta-Altbestandes installiert, hier unter den Bedingungen eines Schattenastes. Zusätzlich wurden Licht, Luftfeuchte und Lufttemperatur gemessen.

XIV/4.c. Messungen: Unterschiede im Kleinklima zwischen Freifläche (Bedingungen der Sonnenäste) und Bestand (Bedingungen der Schattenäste). Die Diagramme (Abb. 114) zeigen den Verlauf der Lufttemperatur, der relativen Luftfeuchte, der absoluten Feuchte und des Lichts auf der besonnten Freifläche und im Schatten innerhalb eines Fi-Ta-Altbestandes.

Befund (Abb. 114):

In das Bestandesinnere drang nur etwa 1% der Tageshelligkeit ein. Die Lufttemperatur ist um die Mittagszeit auf der besonnten Freifläche um etwa 5 Grad Celsius höher als im Bestand. Sehr unerwartet ist, wie wenig sich die relative Feuchte zwischen Bestand und Freifläche unterscheidet.

Die geringen Unterschiede lassen sich vermutlich auf den geringen räumlichen Abstand von etwa 20m zwischen diesen beiden Meßstellen zurückführen. Dadurch war ein rascher Luftaustausch möglich. Dies entsprach weitgehend den natürlichen Bedingungen. Dennoch war sehr unerwartet, daß es auf der Freifläche nicht wesentlich trockener sein soll als im Bestand.

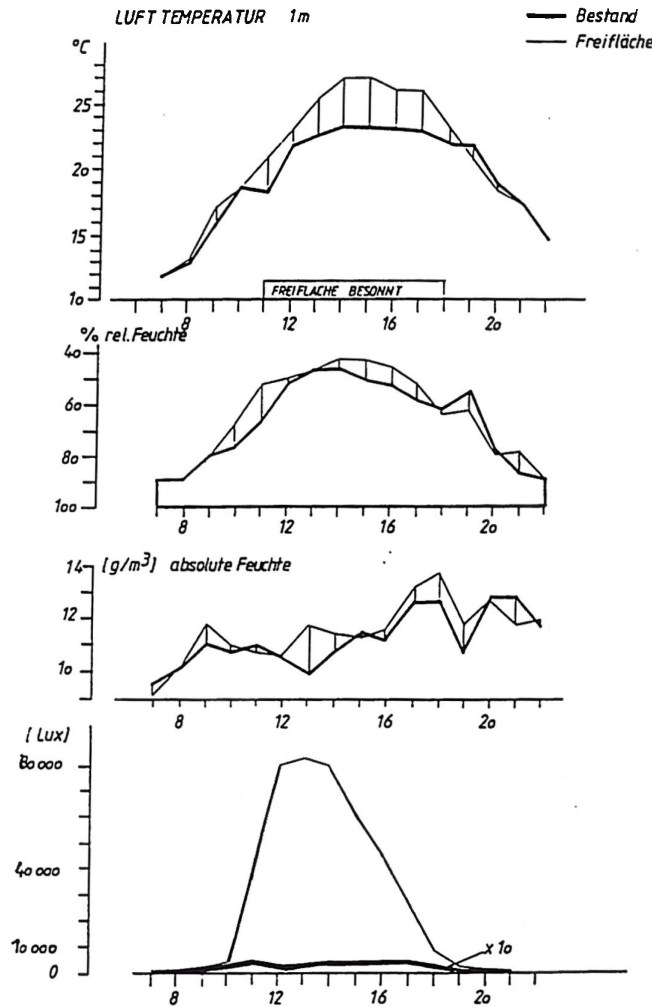


Abb. 114: Kleinklima-Unterschiede an einem Sonnenast (auf einer kleinen Freifläche) und an einem Schattenast (im Bestand), bei sonnigem Wetter. Dünne Linie: Freifläche ; dicke Linie: Bestand; schraffiert: Differenz zwischen beiden. Die Lichtmenge im Bestand wurde 10mal größer dargestellt.

XIV/4.d. Messungen: Wasserbedarf und Wasserverbrauch. Um dies weiter zu untersuchen, wurde der Wasserverbrauch von Evaporimetern und Potometern verglichen. Hier wurde zwischen besonnener Freifläche und schattigem Bestand unterschieden. Außerdem wurde der Wasserverbrauch der Evaporimeter (ungeregelte Verdunstung) mit dem relativen, stündlichen Verbrauch der Schattenäste verglichen (geregelter Transpiration bei guter Wasserversorgung).

Zu Abb. 115. Das Diagramm zeigt, wieviel die Evaporimeter im Bestand und auf der Freifläche an einem Sonnentag im Hochsommer verdunsten. Oberhalb der Abszisse ist mit einem kleinen Balken angegeben, wie lange diese Fläche direkt besonnt war. Durch die Potometer waren die Äste immer gut mit Wasser versorgt. Um den Wasserverbrauch im Bestand und auf der Freifläche miteinander vergleichen zu können, ist der stündliche Verbrauch in Prozenten des Tagesverbrauchs angegeben.

Befund (Abb. 115):

1. Die Trockenheit der Freifläche kommt durch die Evaporation wesentlich besser zum Ausdruck als durch die relative und absolute Luftfeuchte. **Um die Mittagszeit verdunsten die Evaporimeter etwa die Hälfte mehr als im Bestand.**

Als Ursache für die großen Unterschiede wird der Wind angesehen, der an einem Sonnentag ab der Mittagszeit regelmäßig auftritt. Dieser Wind war innerhalb des Bestandes kaum zu spüren.

2. Wird es im Bestand dunkel, dann drosseln die Äste ihren Wasserverbrauch (photoaktive Schließbewegungen).

3. Bereits in der Mittagszeit verdunsten die Schattenäste auf der Freifläche plötzlich nur noch etwa 1/3 so viel wie in der vorangegangenen Stunde.

Trotz guter Wasserversorgung durch die Potometer, wird durch direkte Sonne und Wind anscheinend die Atmosphäre auf der Freifläche so trocken, daß tagsüber die Verdunstung vorzeitig verringert wird. Es ist anzunehmen, daß damit auch die Netto-photosynthese geringer wird.

Damit ließe sich, ähnlich wie beim regulären Abnadeln, auch der vorzeitige Nadelverlust mit einem lokalen Assimilatmangel erklären. Doch diese Erklärung ersetzt keinen Nachweis. Dazu bedarf es weiterer, ökophysiologischer Untersuchungen.

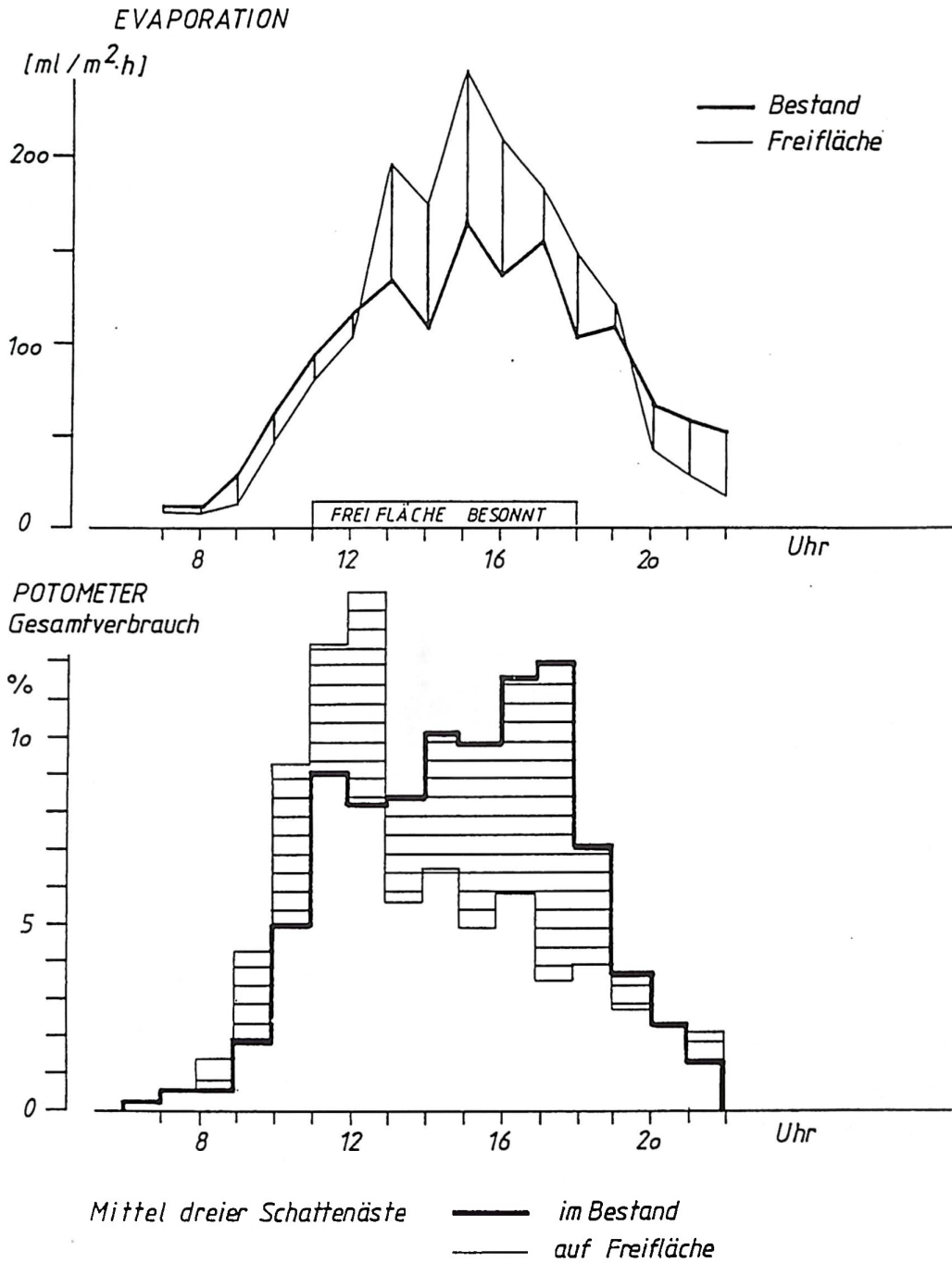


Abb. 115: Wasserverbrauch im Bestand und auf der Freifläche; oben: Evaporation; unten: Transpiration bei Sonnen- und Schattenästen von gesunden Tannen. Die schraffierten Flächen heben die Unterschiede zwischen Freifläche und Bestand hervor (vgl. Text).

XIV/4.e. Messungen: Maximaler Wasserverbrauch und der relative Durchmesser der Astachsen. Läßt sich nun der geringere Wasserverbrauch der Schattenäste mit morphologischen Merkmalen in Verbindung bringen? Oder konkreter: Begrenzen die Astdurchmesser eine rechtzeitige Wasserversorgung der Nadeln? Dazu wird der maximale Wasserverbrauch eines Tannenastes mit dem Durchmesser am Astansatz verglichen.

Zu Abb. 116. Um die verschiedenen Äste miteinander vergleichen zu können, werden sie umgerechnet und auf eine Astgröße von 1m benadelte Zweiglänge standardisiert. Von diesen standardisierten Ästen interessiert nun, wie groß ihr Durchmesser am Astansatz ist. Aber auch der Wasserverbrauch wird vergleichbar gemacht und ebenfalls auf 1m benadelte Zweiglänge bezogen. Durch diese Umrechnungen steht auf der Abszisse eine Vergleichsgröße für den Astdurchmesser und auf der Ordinate eine Vergleichsgröße für den maximalen Wasserverbrauch pro Stunde. 12 Äste werden miteinander verglichen: 3 Sonnenäste, 3 Schattenäste, jeweils auf der Freifläche und innerhalb des Bestands.

Befund (Abb. 116):

Bei kleinen Astdurchmessern ist auch der Wasserdurchfluß gering. Große Astdurchmesser können in derselben Zeit mehr Wasser weiterleiten.

Doch bei der Interpretation dieses Zusammenhangs ist Vorsicht geboten. Zwar läßt sich damit erkennen, daß die Schattenäste und Sonnenäste an ihren jeweiligen Wasserbedarf angepaßt sind. Doch läßt sich mit diesen Potometerversuchen nicht klären, ob der plötzlich verringerte Wasserverbrauch durch die Nadeln selbst, oder durch zu dünne Zweigachsen verursacht wird.

maximaler Wasserverbrauch pro Meter Zweiglänge
und Stunde
[ml/h·m]

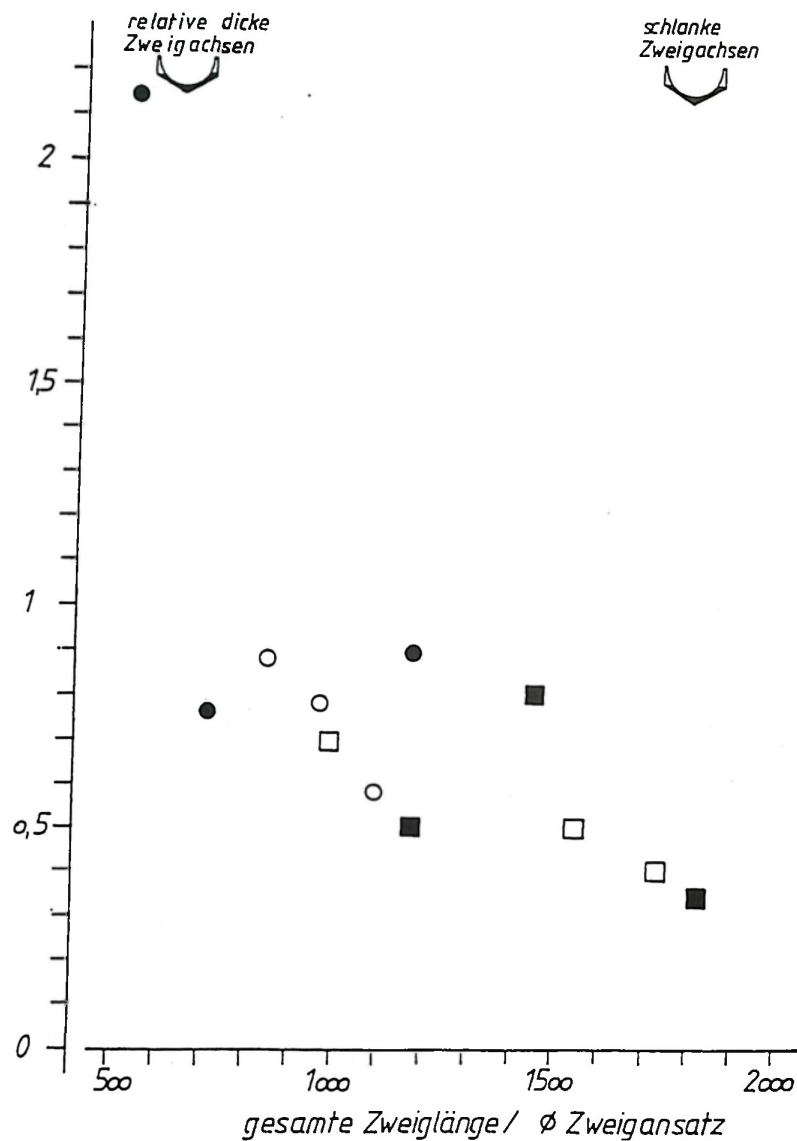


Abb. 116: Der maximale stündliche Wasserverbrauch von Tannenästen (Potometer) in Abhängigkeit von ihren Astdurchmessern . (○) Sonnenäste auf der Freifläche; (●) Sonnenäste im Schatten des Bestands; (□) Schattenäste auf der Freifläche; (■) Schattenäste im Schatten des Bestands.

XIV/5. Zusammenfassender Interpretationsversuch.

Da durch die bisherigen morphologischen und einfachen ökophysiologischen Untersuchungen der Verdacht entstanden war, daß zeitweilige Engpässe in der Wasserversorgung der Äste zu den Symptomen der Walderkrankung führen (Kapitel IX bis XIII), seien hierzu detaillierte Überlegungen und ergänzende Beobachtungen angeschlossen.

1) **Evaporation.** Die Experimente zeigen anschaulich: Wird im Extremfall eine unterständige Tanne plötzlich total freigestellt (Kapitel XIII), so muß die Wurzel einer solchen Tanne zeitweilig fast die Hälfte mehr an Wasser bereitstellen, wenn sie ihre Äste an einem Sonnentag ebenso gut versorgen soll wie zuvor.

2) Krone-Wurzel-Verhältnis

a) **Morphologische Vermessungen.** Daß das Fließgleichgewicht zwischen Wasseraufnahme und Wasserabgabe sehr sensibel aufeinander abgestimmt ist, wurde durch die morphologischen Untersuchungen in Kapitel VII deutlich. Dort zeigt sich, daß die Länge der Wurzeln und die Größe der benadelten Astflächen eng zusammenhängen (Kapitel VII/7).

b) **Dendrometer.** Wie dendrometrische Untersuchungen belegen, braucht eine Tanne nach einem sonnigen Tag fast die ganze Nacht, um ihre Wasservorräte in Stamm und Ästen wieder aufzufüllen (Loris, 1976). Auf den sandigen Böden im Nordschwarzwald gelingt dies bereits nach wenigen Tagen nicht mehr vollständig (DAMSOHN, 1983; ENDL, 1994). **Damit wurde gezeigt, daß unter normalen Bedingungen das Fließgleichgewicht von Wasseraufnahme und Wasserabgabe schon durch "normale" klimatische Einflüsse erheblich verschoben werden kann.** Werden nun Schattenäste auf Grund einer Durchforstung dem Bestandesklima eines Sonnenastes ausgesetzt, so kann dort die Trockenheit zeitweilig auf etwa das 1 1/2 fache ansteigen (Kapitel XIV/4). Dies beansprucht den Wasserhaushalt einer Tanne langfristig insgesamt stärker.

3) **Extremwetterlagen als Gefahr.** Im Normalfall wird eine freigestellte Tanne vermutlich ihren Wasserhaushalt hinreichend sichern können, wenn der Boden feucht ist und keine extreme Wetterlage herrscht. Doch bei sonnigem, windigem Wetter kann es sein, daß die Nadeln an schlanken Astachsen zeitweilig mit Wasser unterversorgt sind und die Stomata während der Hauptassimilationszeit sich weitgehend schließen müssen. Ein solcher Ast "hungert", und hat dann weniger Assimilate für sich selbst und für den Rest des Baums. Damit lassen sich der vorzeitige Nadelverlust und die verschiedenartigen Wuchsstockungen erklären.

Wie bereits erwähnt, können diese Vorstellungen letztlich nur mit ökophysiologischen Untersuchungen verifiziert oder falsifiziert werden. Es gilt außerdem, die folgenden Beobachtungen zu berücksichtigen.

4) Vorzeitige Nadelverluste treten immer bevorzugt an jenen Astteilen auf, die zuvor am stärksten beschattet waren. Dies sieht man nicht nur an der Nadelstellung und an der direkten Beschattung durch andere Äste, sondern auch an den dünnen Achsen und deren Verzweigungen. Im Zusammenhang mit neuen Astreisern (mehr Licht) fallen an diesen dünnen Zweigteilen die Nadeln bevorzugt ab (eigene Beobachtungen in den Forstbezirken Klosterreichenbach und Besenfeld).

5) Die Tanne² vom Standort Königswart, Forstbezirk Klosterreichenbach, war über viele Jahre hinweg unverändert stark geschädigt. Das Besondere war, daß ihre Astreiser sehr schlecht wuchsen, obgleich sie genügend Licht hatten. Im Jahre 1990 stürzten durch einen Sturm zwei angrenzende Tannen um. Daraufhin verlor Tanne² noch weitere Nadeln. Eine Erklärung, warum sich diese Tanne nicht erholte bzw. schlechter wurde, könnte in der besonderen Wurzelsituation begründet sein. Ermittelte man nach dem Modell von Kapitel VI die Größe des Wurzeltellers, so ergab sich, daß die Wurzel von Tanne² ringsherum von anderen Wurzelsystemen kleinerer Bäume und Baumstümpfe begrenzt wurde. Tanne² hatte anscheinend keine Möglichkeit, mit ihren Wurzeln eine größere Bodenfläche zu nutzen.

XIV/6. Schlußfolgerungen.

1) **Praktisches Überprüfungsverfahren.** Das folgende Verfahren hat sich im Gelände bewährt: Auf Grund der morphologischen Strukturen einer Tanne und ihrer näheren Umgebung läßt sich die Entwicklung des oberirdischen und des unterirdischen Wuchstraums näherungsweise rekonstruieren (Kapitel XVI). **Je günstiger die vorangegangene Entwicklung und je kleiner der Wechsel von Schatten zu Licht ist, desto weniger treten vorzeitige Nadelverluste auf.** Dies bezieht sich sowohl auf Krone und Wurzel, als auch auf die einzelnen Äste.

2) **Forstliche Literatur.** Auf Grund von Beobachtungen über das gute und schlechte Gedeihen von Tannen kamen bereits vor Jahrzehnten erfahrene Forstleute auf vergleichbare Erkenntnisse (ZEHNTGRAF, 1949; DANNECKER, 1955; WITZGALL, 1927; GRASER, 1931; OHLBERG und RÖHRIG, 1955; MEYER, 1957; SEITSCHKEK, 1967): z.B. Junge Tannen brauchen Windruhe. Eine Tanne erträgt keine starken Wechsel, sondern möchte langsam an mehr Licht gewöhnt werden, u.a. Dies entspricht weitgehend auch den vorliegenden Untersuchungen (vgl. Diskussion).

3) **Methodischer Vergleich.** Der Unterschied zu diesen sorgfältigen Beobachtungen der alten Forstleute und ihren Erfahrungen aus der Praxis besteht darin, daß mit der vorliegenden Arbeit in einem anderen methodischen Ansatz die morphologischen Strukturen der Tanne vermessen, quantifiziert und ökophysiologisch interpretiert wurden. Auf getrennten Wegen wurden dieselben Prinzipien erkannt. Allerdings fehlen für beide Vorgehensweisen, für die früheren Beobachtungen bzw. Beschreibungen und für die morphologisch-symptomatologischen Untersuchungen in der vorliegenden Arbeit noch die ökophysiologischen Grundlagen.

Kapitel XV

Ergänzungen.

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

Teil B: Das Blühen der Tanne

Teil C: Morphologische Besonderheiten

Teil A

Das frühere Tannensterben im Vergleich zur Walderkrankung der Tanne.

XV/1. Vorbemerkungen.

Lange Zeit wurde in der Waldschadensdiskussion die Frage erörtert, ob die Walderkrankung wirklich neuartig ist oder ob sie ähnlich oder gar identisch ist mit dem früheren Tannensterben in den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts. Eine hinreichende Antwort fehlt hierzu. Mit Hilfe der bisher gewonnen Erkenntnisse sollen nun das frühere Tannensterben bzw. andere ähnliche Phänomene analysiert und verglichen werden. Es konnten bisher die folgenden Erkenntnisse gewonnen werden:

- 1) Das einzige, allgemeingültige Symptom für die Walderkrankung ist der vorzeitige Nadelverlust an einem Ast: Trotz genügend Licht fallen die Nadeln ab (Kapitel XI und XII).
- 2) Auf verschiedene Weise wurde deutlich, daß das Ausmaß des vorzeitigen Nadelverlustes davon abhängt, wie groß der plötzliche, kleinklimatische Wechsel am Ast ist (Kapitel IX bis XIII).
- 3) Die Größe des Wuchsraums für Wurzel und Krone bestimmt, wie gut sich eine Tanne entwickeln kann. Konnte sich eine Tanne gut entwickeln, so ist sie vorherrschend bis herrschend. Bei Tannen mit solch guter "Konstitution" wirkt sich die Walderkrankung meist nicht so stark aus, Nadelverluste und Wuchsstockungen bleiben vergleichsweise gering (Kapitel IV und V).
- 4) Die Walderkrankung der Tanne kann plötzliche und weitreichende Wuchsstockungen nach sich ziehen (Kapitel III). Die während dieser Stagnationsphasen neu hinzuwachsenden Kronenteile tragen - von vorzeitigen Nadelverlusten und der Nadelstellung abgesehen - weitgehend jene Merkmale, die man auch bei Tannen findet, die durch Lichtmangel beeinträchtigt sind: weniger Quirläste und weniger Verzweigungen der Äste (Kapitel XI/4 und 7; Kapitel XII/ff).
- 5) Im Gegensatz zum Lichtmangel sind bei der Walderkrankung die verschiedenen Baumteile sehr ungleichmäßig von Wuchsstockungen betroffen. Die untersten Primärtriebe, d.h. die längsten Quirläste, reagieren am stärksten mit morphologischen Veränderungen (Kapitel XI/2; XII/3).
- 6) Hinweise auf pathologische Assimilatverschiebungen oder Blockaden im Phloem konnten mit den angewandten morphologischen Methoden, trotz intensiven Suchens, nicht gefunden werden (Kapitel XI/5).
- 7) Faßt man die morphologischen Untersuchungen zusammen, so weisen die Ergebnisse darauf hin, daß der Ausgangspunkt der Walderkrankung genau von jenen

Ästen ausgeht, die von vorzeitigen Nadelverlusten und von Wuchsstockungen am Ast betroffen sind (Kapitel XI).

8) Verknüpft man die morphologischen Untersuchungen mit ökophysiologischem Grundlagenwissen bzw. einfachen Potometerversuchen (Kapitel XIV/4), so verdichten sich die Hinweise, daß die Nadeln dieser walderkrankten Äste weniger produktiv sind, anscheinend verursacht durch einen gestörten Wasserhaushalt (Kapitel XIV/5).

XV/2. Zur Beurteilung von Tannen auf Fotografien.

Bei der Beurteilung von walderkranken Tannen sollte man zwei Gesichtspunkte berücksichtigen:

(1) Die Konstitution. Wie verlief die bisherige Entwicklung von Krone, Stamm und Wurzel? Wurde die Entwicklung durch einen Mangel an Wuchsraum in der Wurzel oder in der Krone eingegrenzt?

(2) Die Walderkrankung. Wie groß war ein plötzlicher Wechsel vom Schatten zu mehr Licht? Wie stark ist die Tanne durch die Symptome der Walderkrankung verändert bzw. beeinträchtigt? Möchte man den Zustand einer Tanne auf einer Fotografie differenziert beurteilen, so fehlen dazu i.d.R. die meisten Parameter. Doch für eine grobe Beurteilung genügen wenige, spezifische Merkmale.

In **Abb. 117** sind die wichtigsten Parameter für eine einfache Beurteilung von Baumfotografien zusammengestellt. Dazu wird eine Tanne mit guter Konstitution (herrschend oder vorherrschend) einer Tanne mit schlechter Konstitution gegenübergestellt.

Zur Bedeutung der dargestellten Parameter von Abb. 117.

1) Die Konstitution einer Tanne, d.h. ihre soziologische Stellung im Bestand, läßt sich näherungsweise durch folgende Parameter bestimmen:

(1) Größe der Sonnenkrone. Sie wird auf einem Bild mit der Strecke von der Baumspitze bis zu dem ersten der längsten Quirlästen der Krone beschrieben. Je länger die Sonnenkrone, desto geringer der vorangegangene Konkurrenzdruck, desto günstiger war der Wuchsraum für die Krone (BURGER; 1939; ASSMANN, 1956). Einschränkend muß gesagt werden, daß mit einer einzelnen Fotografie nicht die räumliche Ausformung der Krone deutlich wird, ein Makel der in Extremfällen zu gravierenden Fehleinschätzungen führen kann.

(2) Relative Kronenlänge. Die Länge der Quirlastkrone wird in Bezug gesetzt zur Baumlänge. Ist die Krone nur etwa 1/3 so lang wie der gesamte Baum oder gar kürzer, so ist eine solche Tanne besonders anfällig für die Walderkrankung. (vgl. OLBERG und RÖHRIG, 1956; Kapitel IV/2). Auch hier ist die gesamte räumliche Ausformung der Krone wichtig (siehe oben).

(3) Größe des Kronenradius bzw. Kronendurchmessers. Mitherrschende Tannen, die lange Zeit unter Konkurrenzdruck standen, hatten einen vergleichsweise kleinen Wuchsraum und damit auch einen vergleichsweise kleinen Kronendurchmesser, vorherrschende Tannen einen deutlich größeren (BURGER, 1939, ASSMANN, 1956).

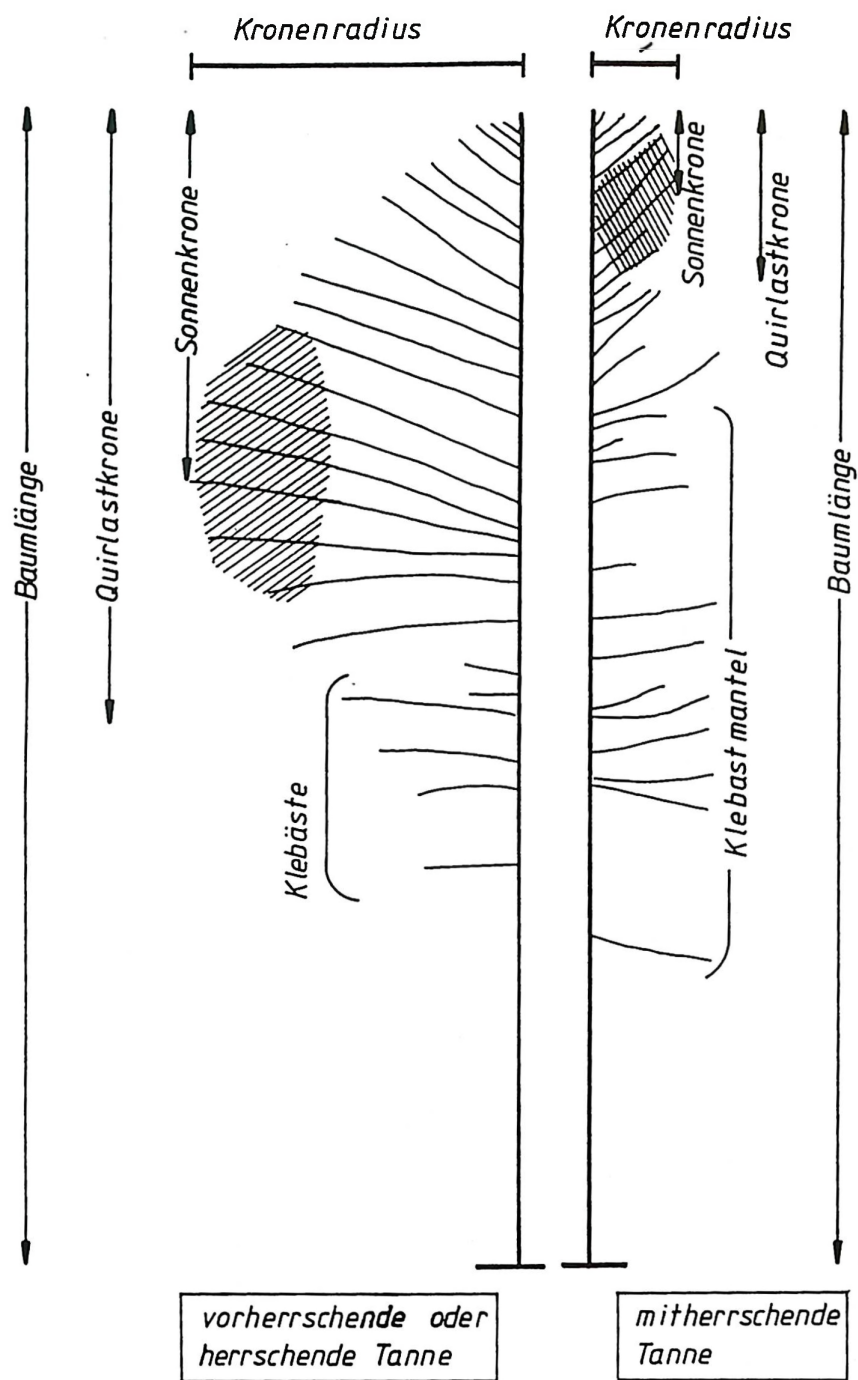


Abb. 117: Zum Vergleich der "Konstitution" einer vorherrschenden Tanne mit einer mitherrschenden. Geeignete Parameter sind (1) die Sonnenkrone, (2) die relative Kronenlänge und (3) der Kronenradius. Jene Äste, die als erstes von der Walderkrankung betroffen werden, sind mit Schraffur unterlegt.

2) Die Walderkrankung läßt sich an einer Fotografie durch ein Abflachen der Krone, zusammen mit dem vorzeitigen Nadelverlust an den Primärtrieben der Äste erkennen. Die entscheidenden Astbezirke sind in der Abb. 117 mit Schaffur unterlegt. Dabei gilt es, einige entscheidende Dinge zu beachten.

Die vorzeitigen Nadelverluste treten zuerst an den sehr langen Ästen auf (Kapitel XII/3). Diese Äste stehen aber (fast) immer an der Grenze zum Lichtmangel, denn sonst wären sich die längsten Äste der Krone weiter unten am Stamm. (Solitär-tannen, die bis zum Boden beastet sind, haben selbst in hohem Alter noch eine fast kegelförmige oder parabolische Krone.) Die Nadelverluste an den längsten Ästen lassen sich von der Ferne weder dem Lichtmangel noch der Walderkrankung zuordnen. Eine Beurteilung nach der Astsymptomatologie ist bei solchen Fotografien meist auch nicht möglich. Doch sehr spezifisch für die Walderkrankung ist, wenn zusätzlich die nicht so langen Äste direkt oberhalb auch deutliche Nadelverluste zeigen.

3) Abweichungen von der offiziellen Beurteilung der Nadelverluste. Doch hier sind wir schon am nächsten Problempunkt. Mehr als acht Nadeljahrgänge sind an den Astspitzen nicht zu erwarten. Dies entspricht in diesem Kronenabschnitt nur etwa 1m bis 1,5m Länge. Bei einer gesamten Astlänge von 2,5m - 3,5m ist dies etwa ein Drittel des Astes. Die übrigen zwei Drittel des Astes werden von Astreisern begrünt - oder auch nicht. **Möchte man die Astsymptomatologie (Kapitel XII) berücksichtigen, so dürfen die inneren zwei Drittel eines Astes nicht für die Beurteilung der Walderkrankung herangezogen werden.** In diesem Punkt weicht die dargelegte Beurteilung von der offiziellen Beurteilung der Waldschadensinventur ab.

Drei Gesichtspunkte widersprechen nun eine Tannenkronen, deren innere Bereiche "durchscheinend", d.h. unzureichend benadelt sind, als walderkrankt zu bezeichnen. Es sind die Gesichtspunkte Kronenausformung, Alter, Größe und Menge der Astreiser und die Helligkeit des Hintergrunds. Erst ein heller Hintergrund läßt die nicht benadelten Lücken in der inneren Krone deutlich hervortreten. Stand eine Tanne lange Zeit ohne äußere Veränderungen im Bestand, so konnte sie auch nicht viel Astreiser an den alten Quirlästen ausbilden. Kahle Astachsen dem Stamm zu sind daher natürlich. Dies findet man z.B. auch an solitären Tannen. Wurde die Krone von der rückwärtigen, abgewandten Seite zuvor noch stark bedrängt und ist in der Zwischenzeit dieser Baum entfernt, so ist die Kronenausformung schlecht. Der Durchsicht stellt sich nur die Hälfte der möglichen Nadelmenge in den Weg.

4) Größe und Häufigkeit der kleinklimatischen Änderungen um eine Tanne lassen sich vereinzelt aus der näheren Umgebung ableiten: Vorkommen von Baumstümpfen, ihre Größe, Größe des Jungwuchs, Größe und Ausformung eines Klebastmantels am Stamm, Bestandesstruktur und Ausformung der Kronen in der näheren Umgebung sind hier wichtig.

Hat eine Tanne viele Klebäste, so verweist dies auf zwei Dinge: Eine solche Tanne wuchs früher nicht sehr gut. Die Bestandesstruktur hat sich in der Zwischenzeit deutlich geändert und dadurch kommt mehr Licht an den Stamm (vgl. Kapitel IX bis XI). Eigene Beobachtungen zeigen, daß vorherrschende Tannen trotz genügend Licht am Stamm keine oder nur wenige Klebäste ausbilden, ganz im Gegensatz zu den mitherrschenden Tannen (eigene Beobachtungen). Als Ursache vermutet der Autor,

daß mit den schlafenden Knospen immer eine einheitliche, maximale Verzweigungsstruktur bei der Tanne angelegt wird. Bei vorherrschenden Tannen treiben sie alle aus, doch nur wenige bei mitherrschenden Tannen. Die restlichen schlafenden Knospen treiben erst später bei genügend Licht als Folgetriebe aus (vgl. FNK, 1980).

5) Anwendung dieses Beurteilungsverfahrens. Diese Kriterien haben sich im Gelände und an alten Fotografien immer wieder bewährt. Dabei kam die bekannte Tatsache heraus, daß vorherrschende Tannen meist nur wenig geschädigt sind, während stark geschädigte, walderkrankte Tannen schon früher durch Konkurrenzdruck beeinträchtigt waren.

XV/3. Zur Überlebensdauer von walderkrankten Tannen.

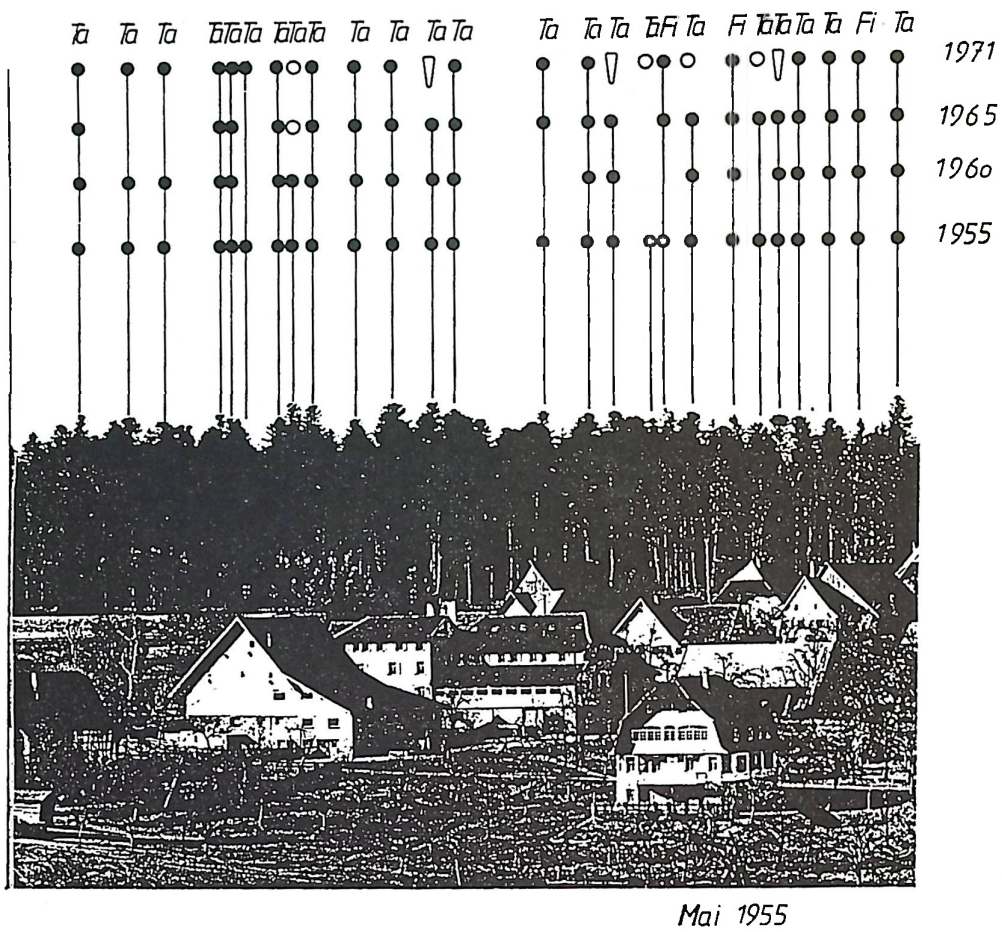
Dazu wurden alte Ansichtskarten ausgewertet. An dieser Stelle sei der Firma METZ, Tübingen, gedankt. Sie stellte für diese Untersuchungen ihr Archiv zur Verfügung, machte Ausschnittsvergrößerungen und erlaubte die Veröffentlichung in der vorliegenden Arbeit. Die Firma METZ fotografierte regelmäßig den Luftkurort Kälberbronn, Nordschwarzwald, und stellte Ansichtskarten her. Im Hintergrund dieser Dorfansicht war immer ein Waldsaum mit geschädigten und ungeschädigten Tannen und Fichten sichtbar. Die Perspektiven für diese Ansichtskarten waren meist sehr ähnlich. Mit Hilfe von vergrößerten Abzügen, Orientierungspunkten und genauer Ortskenntnis, gelang es, die auffälligen Bäume dieses Waldes in einer zeitlichen Abfolge auf mehreren Ansichtskarten wieder zu identifizieren.

Die beiden **Abbildungen 118 a und b** zeigen jeweils einen vergrößerten Ausschnitt des Luftkurorts Kälberbronn aus dem Jahre 1955. Mit einer senkrechten Linie wurden jene Tannen und Fichten aus dem Jahre 1955 markiert, die sich auf jenen aus dem Jahre 1960, 1965 und 1971 wiederfinden.

Befund (Abb. 118 a und b):

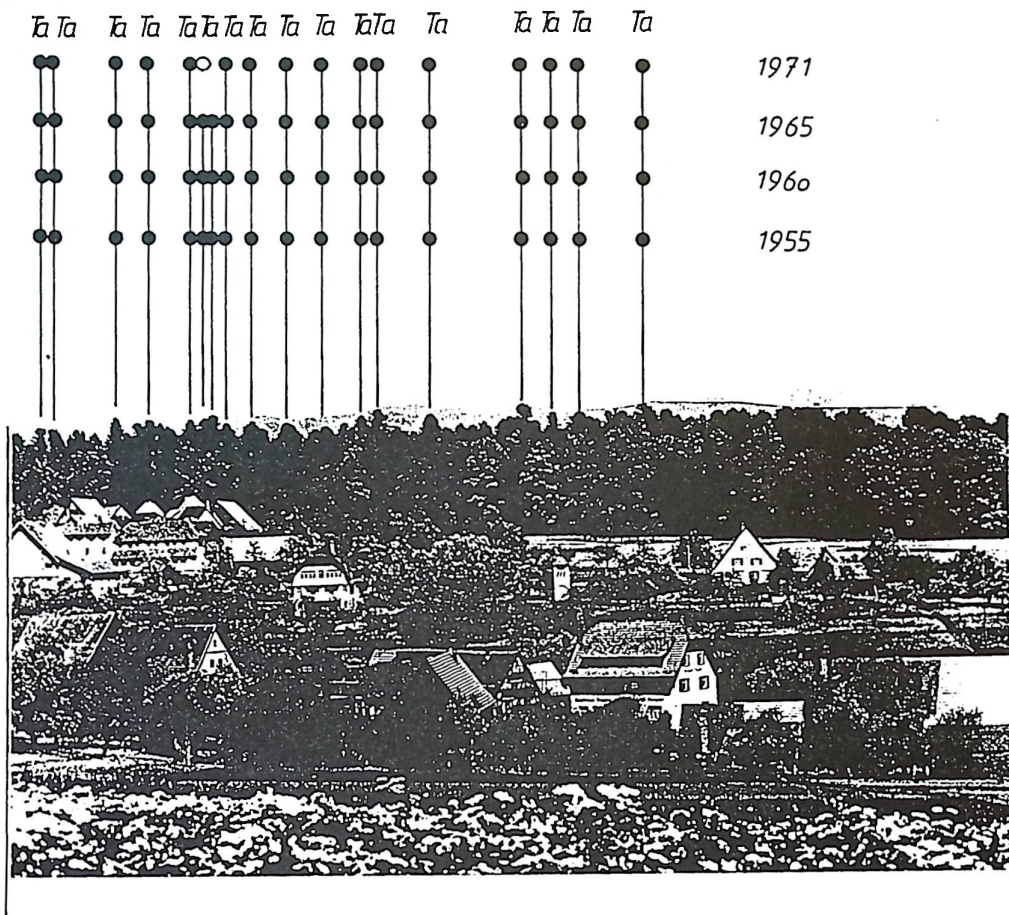
Geschädigte Tannen überleben offensichtlich viele Jahre. Der Luftkurort Kälberbronn hatte bereits im Jahre 1955 Tannen, die den stark geschädigten Tannen der sog. "neuartigen Waldschäden" bzw. der Walderkrankung sehr ähnlich sehen. Obgleich einige Tannen bereits damals sehr starke Nadelverluste hatten, fanden sich diese Bäume auf den Ansichtskarten 16 Jahre später wieder. Nur wenige Tannen hatten zwischenzeitlich neue, starke Nadelverluste erlitten. Ein kleiner Teil der Bäume wurde während dieses Zeitraums gefällt.

Die Kronenform dieser Alttannen zeigt, daß diese Bäume sicher nicht solitär standen, sondern in einem Bestand groß wurden (siehe oben). Da auf den Ansichtskarten diese Tannen vereinzelt stehen, fast wie Überhälter, kann man daraus schließen, daß der frühere Bestand weitgehend entfernt wurde. Vermoderte, große Stubben weisen darauf heute noch hin. Damit hat an den Ästen dieser Tannen ein Wechsel von Schatten zu Licht stattgefunden, vergleichbare Bedingungen wie bei der Walderkrankung heute (Kapitel X).



- Baum wurde auf Fotografie wiedergefunden
- ▽ Baum hat deutlich weniger Nadeln als auf dem Bild zuvor
- Baum fehlt, wurde vermutlich gefällt

Abb. 118 a: Zur Überlebensdauer von walderkrankten Tannen. Auf Ansichtskarten der Firma METZ, Tübingen, wurden dieselben geschädigten Tannen und Fichten von 1955, 1960, 1965 und 1971 identifiziert. Ansichtskarte vom Mai 1955.



Mai 1955

- Baum wurde auf Fotografie wiedergefunden
- Baum fehlt, wurde vermutlich gefällt.

Abb. 118 b: Zur Überlebensdauer von walderkrankten Tannen. Auf Ansichtskarten der Firma METZ, Tübingen, wurden dieselben geschädigten Tannen und Fichten von 1955, 1960, 1965 und 1971 identifiziert. Ansichtskarte vom Mai 1955.

XV/4. Vergleich einer stark geschädigten Tannenkronen aus dem Jahre 1927 und aus dem Jahre 1983.

Der zonierte Aufbau einer stark geschädigten Tannenkronen ist charakteristisch für die Walderkrankung. Von anderen Baumarten ist vergleichbares nicht bekannt (NEGER, 1919; REISCH, 1974; SCHWERDTFEGGER, 1981). Eine detaillierte Kronenbeschreibung aus dem Jahre 1927 von WIEDEMANN wird mit einem Foto aus dem Jahre 1983 verglichen. Dieses Foto wird von SCHÜTT als Beispiel für die neuartigen Waldschäden der Tanne angesehen (WIEDEMANN, 1927; SCHÜTT, 1983).

Befund (Abb. 119):

Es kann festgehalten werden, daß sich die Symptomatologie des "Tannensterbens" aus dem Jahre 1928 mit den neuartigen Waldschäden bzw. der Walderkrankung der 80er Jahre deckt, zumindest in jenen Teilen, die bei einer Gesamtansicht eines Baumes erkennbar sind.

1. Ganz oben das noch grüne Gipfelstück mit normaler dichter Benadelung, meist fast ohne Klebäste, das oft nur 0,5 bis 2 m lang ist. Der oberste Gipfel bleibt in der Regel sehr lange erhalten und macht mit seiner üppigen Benadelung und den langen Seitentrieben keineswegs einen kranken Eindruck; doch läßt meist das Höhenwachstum stark nach, so daß bei älteren Bäumen oder auch bei schwer kranken jüngeren Bäumen sich statt der normalen kuppelförmigen breiten, sehr dichten Tannenkronen das bekannte Storchennest bildet, in welchem die äußeren Äste oft sogar höher als der mittlere Teil liegen.

2. Darunter, scharf nach oben abgegrenzt, die absterbende Zone, die 3 bis über 6 m lang ist. In ihr nimmt der Grad der Erkrankung zwar im allgemeinen nach unten zu, doch finden sich hier in bunter Mischung einzelne noch grüne Äste mit wenigen dünnen Spitzen, andere Äste, deren ursprüngliche Zweige größtenteils tot sind, und die sich durch neugebildete "Klebzweige", die in eigenartiger Weise senkrecht auf den Ästen stehen, vor dem Tod zu retten suchen, andere Äste, mit ganz wenig grünen Nadeln und absterbende und tote Äste. Der Krankheitsgrad des einzelnen Astes scheint in dieser Zone von allerlei Zufälligkeiten abzuhängen. Hier sind meist zahlreiche nach unten immer stärker werdende Klebäste am Stamm vorhanden.

3. In allmählichem Übergang folgt die dritte Zone, in der - auch bei vollem Freiland - die ursprünglichen Äste sämtlich dürr, oft bis auf Stümpfe abgefallen sind, während die Klebäste sich oft zu einem dichten Mantel entwickelt haben. Oft ist ein allmähliches Absterben der untersten Klebäste und ihr Ersatz durch junge, neue Klebäste zu beobachten."



aus: WIEDEMANN (1927): Untersuchungen über das Tannensterben. Forstwissenschaftliches Centralblatt, Seite 761.

Abb. 119: Die differenzierte Beschreibung einer Tanne, die durch das Tannensterben stark geschädigt wurde (WIEDEMANN, 1927), wird mit der Fotografie einer walderkrankten Tanne verglichen (SCHÜTT, 1983).

XV/5. Zur langfristigen Regeneration walderkrankter Tannen.

Ein fotografischer Vergleich einer Tannengruppe aus dem Jahre 1955 und 1986, Kälberbronn, Nordschwarzwald, vermag hierzu einiges beizutragen: Die **Abbildung 120** zeigt links eine Guppe von Tannen neben einem Kahlschlag aus dem Jahre 1955 im Wald der Gemeinde Kälberbronn/Nordschwarzwald. Da das Originalfoto (**A**) der Firma METZ genau beschriftet worden war, konnte man die übrig gebliebenen Tannen wiederfinden und aus einer ähnlichen Perspektive im Jahre 1994 fotografieren (**B und C**). Die vordere Tanne auf dem Bild von 1955 wurde einige Jahre später gefällt.

Befund (Abb. 120):

Es zeigt sich, daß eine Regeneration von stark geschädigten Tannen möglich ist. Die älteren Quirläste waren im Jahre 1955 weitgehend entnadelt. Man erkennt die neuen kleinen Astreiser an den Quirlästen.

Im Vergleich dazu sind die alten Quirläste derselben Tannen im Jahre 1994 wesentlich besser benadelt: Ihre Astreiser sind in der Zwischenzeit größer geworden und haben damit die kahlen Astachsen wieder mit Nadeln versorgt (**C**).

Es lassen sich offenbar die folgenden Schlußfolgerungen ziehen: Da bei der Walderkrankung der Tanne die vorzeitigen Nadelverluste immer an der Bildung neuer Astreiser gekoppelt sind, ist anzunehmen, daß ein großer Teil der geschädigten Tannenkronen sich wieder erholt. Nach den bisherigen Beobachtungen erholen sich Tannen nur dann nicht oder sterben ab,

- (1) wenn die Tannen sehr kurzkrönig sind, so daß kahle Quirläste ohne Astreiser auftreten (wie z.B. HW Ta9),
- (2) wenn der Nadelverlust sehr rasch voranschreitet (SK Ta37),
- (3) wenn weitere Wuchsstockungen auftreten, bevor eine Tanne sich erholt hat und wieder durchtreibt, (GWB Ta1), oder
- (4) wenn ein kleiner Wurzelraum durch Stubben, Jungwuchs oder andere Bäume ringsherum bedrängt wird (KW Ta2) und dadurch nicht größer werden kann.

XV/6. Zusammenfassung: Das frühere Tannensterben und die Walderkrankung der Tanne heute.

Die Schadbilder des früheren Tannensterbens und der heutigen Walderkrankung sind in vielen Parametern gleich oder zumindest sehr ähnlich. Wesentliche Abweichungen ließen sich nicht finden, doch fehlen genügend detaillierte Vermessungen von Tannenkronen, die vom früheren Tannensterben geschädigt wurden. Da aber die bekannten Parameter und Beschreibungen gut übereinstimmen, kann man nach den bisherigen Recherchen davon ausgehen, daß jeweils ähnliche Entwicklungen bzw. dieselben Ursachen zugrunde liegen. (Im Anhang und in der Diskussion werden wichtige Beiträge aus der damaligen Zeit zitiert).

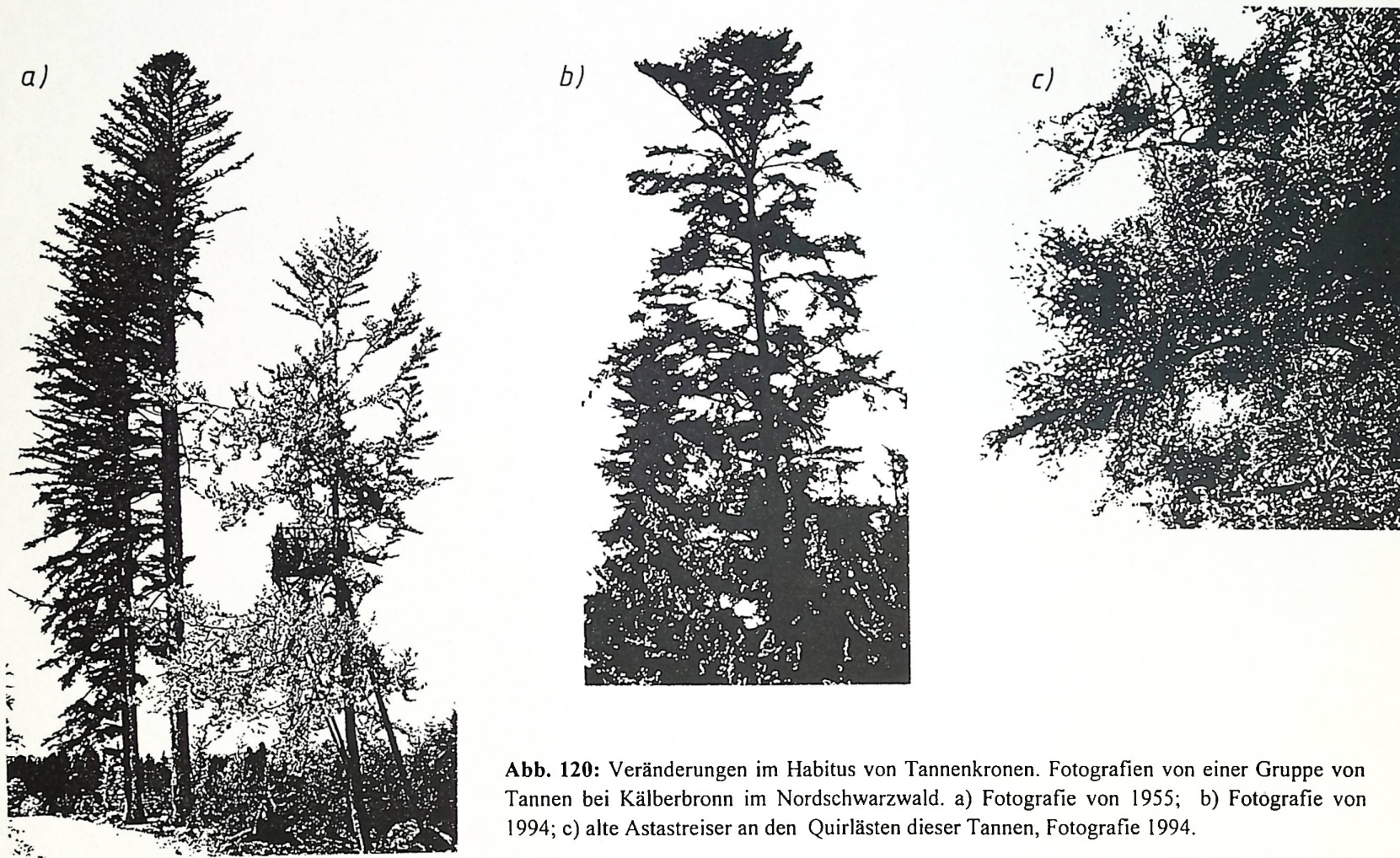


Abb. 120: Veränderungen im Habitus von Tannenkronen. Fotografien von einer Gruppe von Tannen bei Kälberbronn im Nordschwarzwald. a) Fotografie von 1955; b) Fotografie von 1994; c) alte Astastreiser an den Quirlästen dieser Tannen, Fotografie 1994.

XV/7. Die Jahrringbreiten in Tannenbalken alter Fachwerkhäuser und vergleichbare Stammentwicklungen heutzutage.

Die Originaldaten der historischen Hölzer stellte freundlicherweise Herr BLEYER, Metzingen, zur Verfügung. Wenn sich die Walderkrankung auf einen kleinklimatischen Wechsel zurückführen läßt, so ist anzunehmen, daß die Tannen bereits früher bei vergleichbaren Waldnutzungen ähnlich reagierten. In Kapitel III/7 wurde gezeigt, daß das Walderkrankungssymptom "Phase mit schmalen Jahrringen" schon früher vorkam. Dieser Vergleich mit alten Hölzern läßt sich weiter differenzieren, wenn man nicht nur diese Extremfälle herausgreift, sondern die Wachstumsverläufe über längere Zeit hinweg zugrunde legt. Dazu werden die Stammentwicklungen aus den Balken alter Fachwerkhäuser mit entsprechenden Entwicklungen von heute verglichen. Die Jahrringbreiten sind in der summierten Darstellungsform angegeben. Die Abb. 121 zeigt im Wechsel historische Stammentwicklungen aus Hirsau und rezente aus Besenfeld. Beide Orte liegen im Nordschwarzwald.

Befund (Abb. 121):

Obwohl sich sehr unterschiedliche Entwicklungen abzeichnen, sind die Stammentwicklungen früher und heute sehr ähnlich.

Interessant ist, daß diese Hölzer aus Besenfeld von einem alten Plenterwald stammten. Ein Vergleich zu den Tannen aus einschichtigen Altersklassenwäldern brachte nicht so viele verschiedenartige Stammentwicklungen zustande. Aus dem langfristigen Zuwachsverlauf ist daher zu vermuten, daß auch die historischen Hölzer aus Hirsau in plenterartigen Wäldern groß wurden. In Kenntnis, wie eine Tanne wächst, ist denkbar, aus solchen großen Balken die Krone und die Stammentwicklung zu rekonstruieren. Gekoppelt mit Pollenanalysen könnte man daraus auf die Art der Nutzungen in den damaligen Wäldern und die Strukturen der Baumbestände schließen.

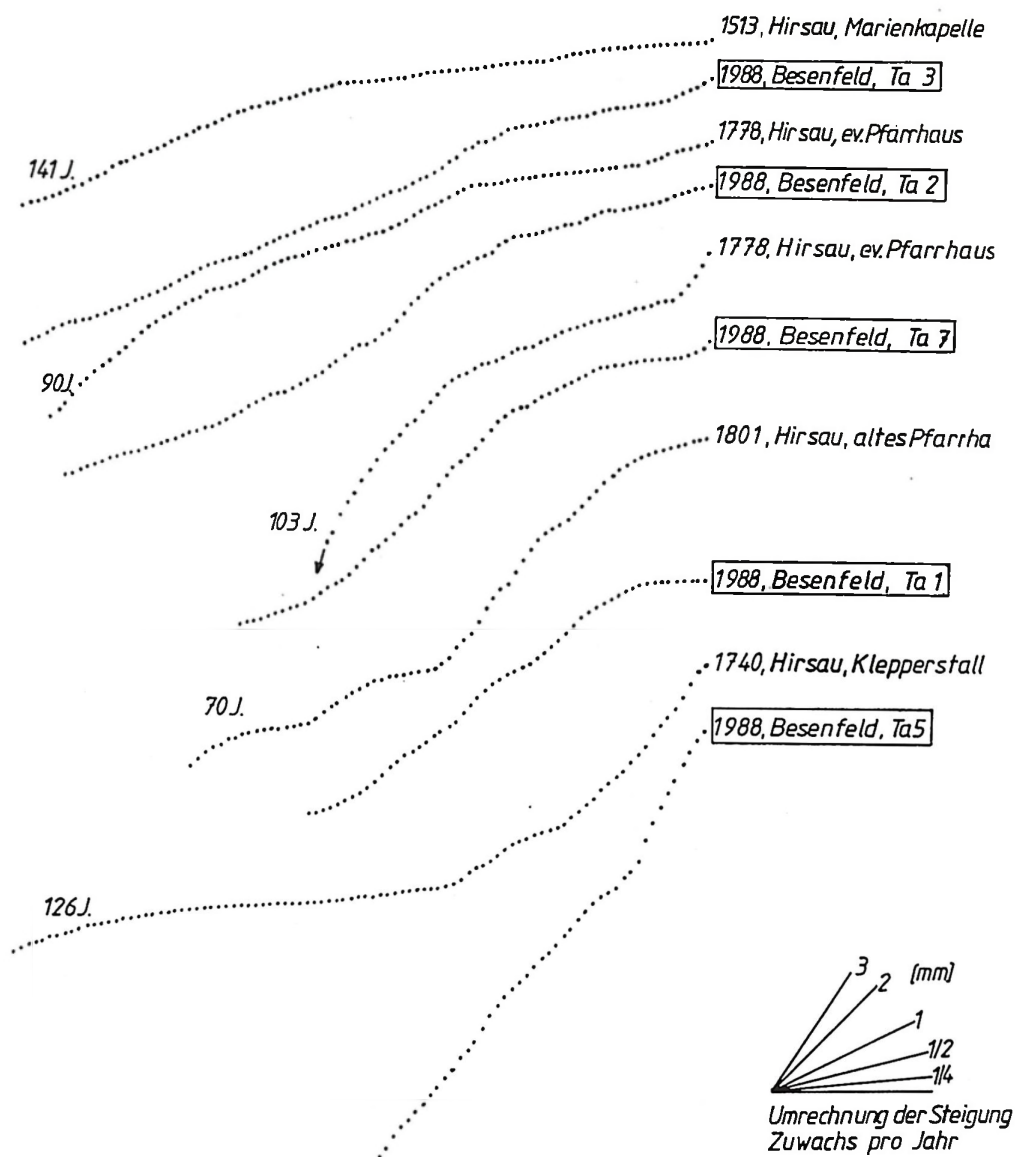


Abb. 121: Die Entwicklung der Jahrringbreiten aus den Tannenbalken alter Fachwerkhäuser in Hirsau und vergleichbare Stammentwicklungen in unserer Zeit. (Besenfeld). Die Originaldaten für die historischen Hölzer stellte Herr BLEYER, Metzingen, freundlicherweise zur Verfügung.

Teil B

Zum Blühen der Tanne

XV/8. Allgemeines.

1) Wachsminderung durch Blühen. Das Blühen und Fruchten benötigt Assimilate, die dann nicht mehr dem Holzwachstum zur Verfügung stehen. Je nach Ausmaß des Blühens und der Wüchsigkeit einer Tanne beschränkt sich das verringerte Holzwachstum auf das blühende Zweigstück oder es erfaßt weitere Teile des Baums, bis hin zu einem verringerten Stammwachstum.

- Blüht eine Tanne sehr stark und mehrere Jahre hintereinander, so ergreift die Wuchsstockung auch den Stamm: schmalere Jahrringe, kürzere Höhentriebe sind die Folge (Kapitel XI).

- Wuchsstockungen an den Astachsen (1.Ordnung) auf Grund von männlichen und weiblichen Blüten wurden bereits in Kapitel XI/5 nachgewiesen.

- An den Zweigen 2.Ordnung gibt es sog. "Blühstummeltriebe". Wird viel Pollen produziert, so verkürzen sich u.U. die neuen Jahrestriebe an jenem Zweigstück, das gerade blüht. Die neuen Nadeln sind dann gelbgrün, kurz und dicht gedrängt. Diese lokale Wuchsstockung kommt auch bei Tannen vor, die sehr gut wachsen und ungeschädigt sind (z.B. Rosenfeld Tanne 8, 1985). Auch bei weiblichen Blüten, den Tannenzapfen, verkürzen sich die angrenzenden Zweige.

In der Forstliteratur wird beschrieben, daß Nadelbäume, die in zu jungem Alter blühen, auch frühzeitig absterben (GUTSCHICK, 1971). Ungeklärt ist, ob diese Tannen zuviel Assimilate verbrauchen und damit dem Konkurrenzdruck unterliegen oder ob dabei irgendwelche andere Mechanismen wirksam werden.

2) Vitalität und Blühen. Aus der Forstwirtschaft ist die Beobachtung bekannt, daß vorherrschende Tannen mit großen Kronen stärker und öfter blühen als Tannen mit eingeschränktem Wuchsraum (KIRCHNER, 1908). Diese Gesetzmäßigkeit wurde schon früher bei der Jagdpflege bzw. bei der Waldweide praktisch genutzt. Um für die Mast viele Eicheln und Bucheckern zu erzielen, wurden in den vergangenen Jahrhunderten die Bäume möglichst solitär gestellt, eine der Aufgaben der sog. "holzgerechten Jäger"; Mantel, 1979).

- Die Gesetzmäßigkeit, daß ein Baum genügend Assimilate bilden muß, um blühen zu können, ist auch an den einzelnen Ästen noch gut zu erkennen. Tannenzapfen sind bei Bäumen im Bestand immer nur in der oberen Krone anzutreffen. Diese Äste haben viel Licht und wachsen sehr gut (Kapitel XV/10). Unterhalb kommen die männlichen Blüten nur an gut wachsenden Ästen vor, die genügend Licht haben. An Schattenästen findet man kaum männliche Blüten, dafür aber z.B. an gut wachsenden Klebästen und Astreisern (eigene Beobachtungen).

- Daß ein Ast zuvor gut wachsen muß, ehe er männliche oder weibliche Blüten bilden kann, zeigt sich auch an den Verzweigungsstrukturen. An einem Ast treten immer einige Jahre bevor er blüht sog. "unterständige Zweige" auf. Das sind zusätzliche, kurze Triebe an den Endknospen, die dort nach unten abstehen (unveröffentlichte Diagramme).

Nach Ansicht des Autors sind "unterständige Zweige" ein Zeichen guten Astwachstums und kein spezifisches Merkmal, das mit dem Blühen zusammenhängt. Denn diese "unterständigen Zweige" treten auch an jungen Tannen auf, die noch viele Jahre nicht blühen werden (Beobachtungen am Standort Königswart, Forstbezirk Klosterreichenbach).

XV/9. Die räumliche Verteilung der weiblichen und männlichen Blüten in der Tannenkronen.

In den Abb. 122 a und b sind ähnlich wie in Kapitel XI/3 die Kronenstrukturen in den jährlichen Wachstumsschritten aufgezeichnet. Zusätzlich sind die weiblichen und männlichen Blüten eingetragen. Da die Tanne eine einhäusige Pflanze ist, interessierte nun die Frage, ob sie zuerst weibliche oder männliche Blüten ausbildet oder ob beide Blüten gleichzeitig auftreten.

Befund (Abb.122 a und b):

1. Weibliche und männliche Blüten treten immer jahrgangsweise auf. Die weiblichen Blüten sind immer im obersten Kronenbereich. Unterhalb sind die männlichen Blüten. Diese räumliche Verteilung gilt für die Weißtanne allgemein.
2. Eine Tanne kann entweder "vormännlich" oder auch "vorweiblich" sein. Tanne 46 blühte zum ersten Mal im Jahre 1978 mit weiblichen Blüten, Tanne 47 dagegen zum ersten Mal mit männlichen Blüten (1979). Erst später kamen die andersgeschlechtlichen Blüten hinzu.
3. Doch die Mengenanteile an weiblichen und männlichen Blüten sind nicht gleich. Eine einseitige Bevorzugung von weiblichen bzw. männlichen Blüten zeigte sich auch bei anderen Tannen.

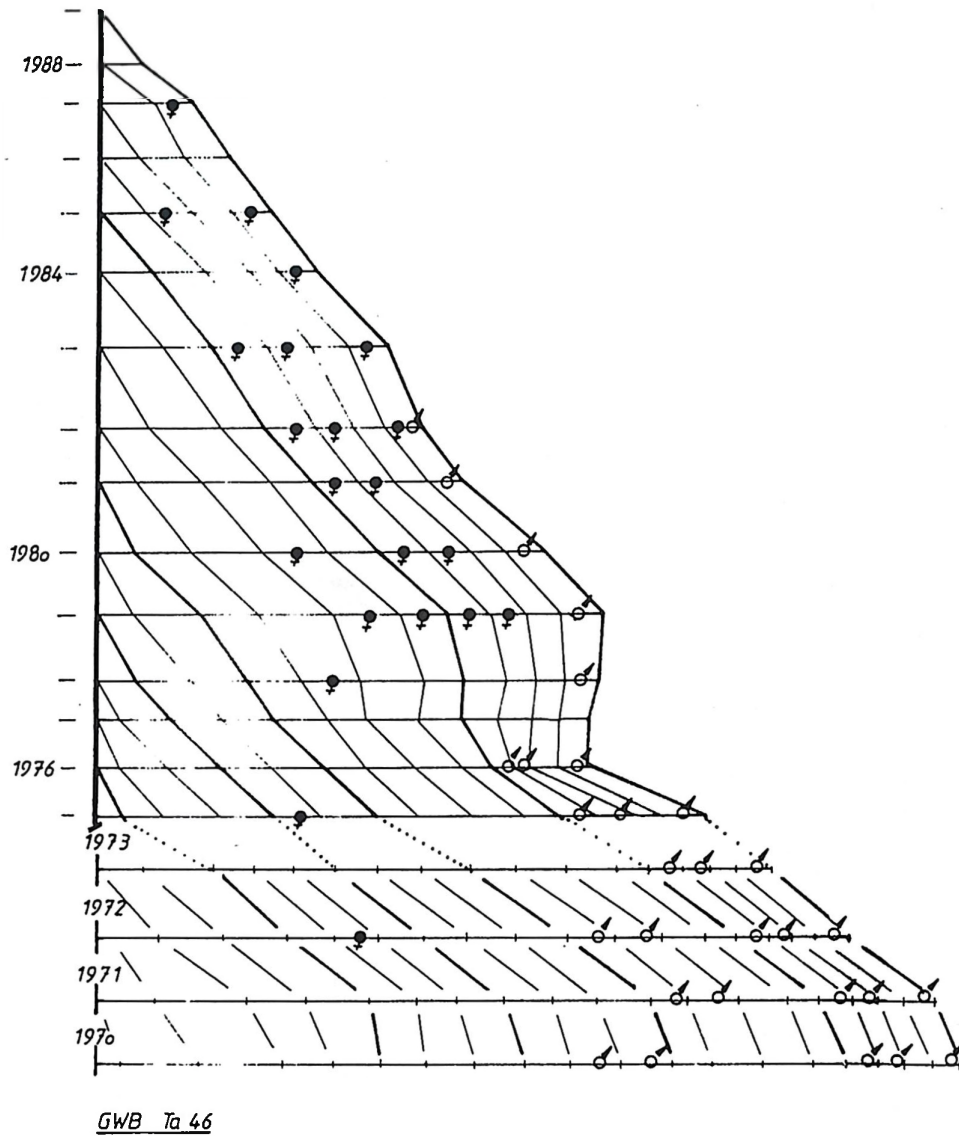


Abb. 122 a: Das Auftreten von weiblichen und männlichen Blüten bei der Tanne und ihre Verteilung in der Krone. Tanne 46, Besenfeld, 1988.

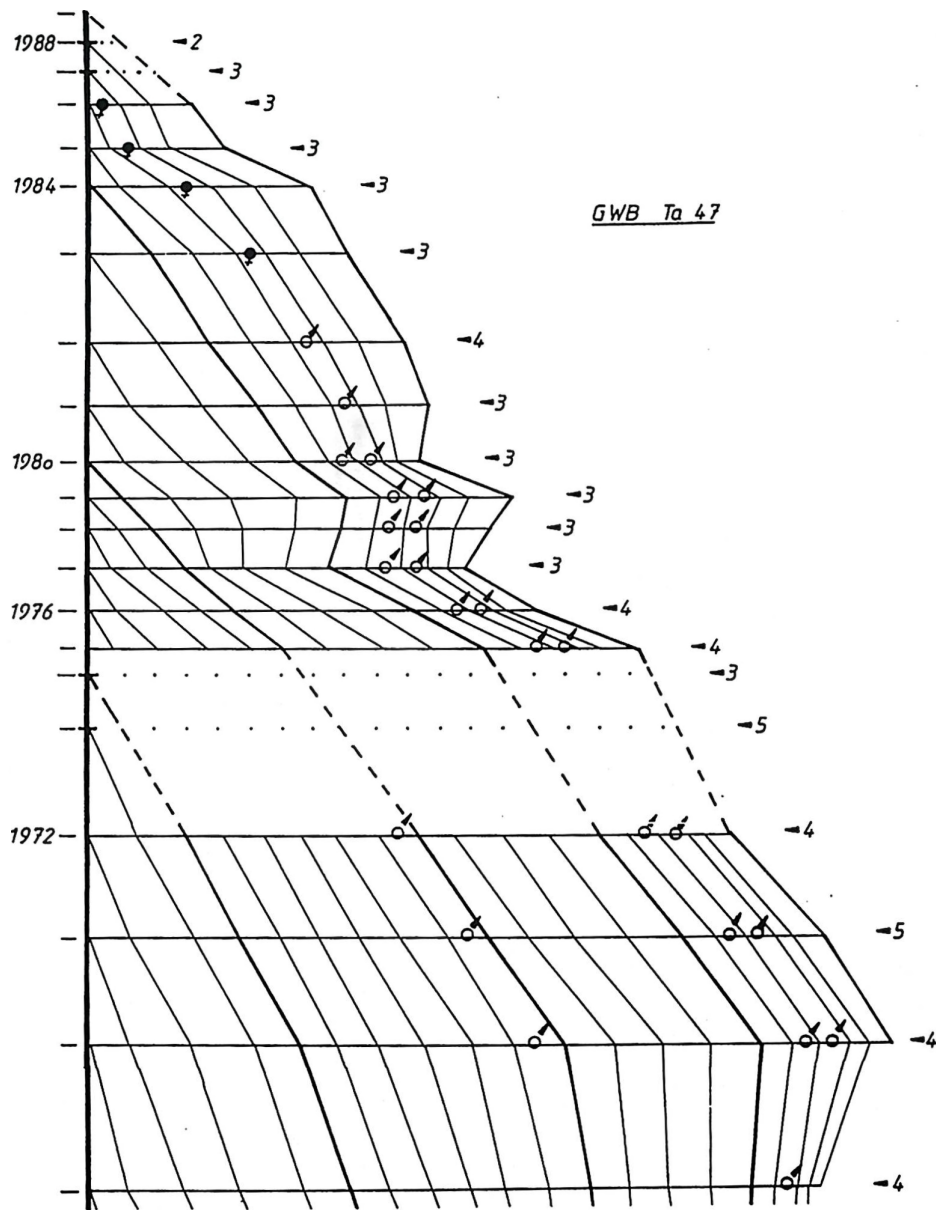


Abb. 122 b: Das Auftreten von weiblichen (♀) und männlichen (♂) Blüten bei der Tanne und ihre Verteilung in der Krone. Tanne 47, Besenfeld, 1988.

XV/10. Der Übergang zur reproduktiven Phase: spitze Tannennadeln und Zapfenbildung (Beschreibung).

Das äußere Nadelende einer Tanne ist im Normalfall mehr oder weniger gekerbt. Anders dagegen die Nadeln am Stamm. Sie haben vorne eine stabile, derbe Spitze. Ähnliche Nadeln, ebenfalls spitz, doch z.T. gekrümmt, kommen an den Astachsen älterer Tannen vor (KIRCHNER, 1908).

Nach den bisherigen Beobachtungen hängen diese spitzen Nadeln eng mit weiblichen Blüten bzw. mit der Zapfenbildung zusammen. Vom Stamm aus gesehen, sind die Astachsen (1.Ordnung) und die Seitenzweige bis hin zu den Zapfen mit diesen spitzen Nadeln bestückt. Bildet ein Ast zur Peripherie hin keine weiteren weiblichen Blüten, so fehlen ab dem letzten Zapfen diese spitzen Nadeln. Die jungen Nadeln an einem solchen Ast sind dann wieder gekerbt. Da die spitzen Nadeln nur auf dem Weg vom Stamm bis zu den Tannenzapfen hin vorkommen, ist zu vermuten, daß diese eine Schutzeinrichtung der Pflanze sind.

Umgekehrt, treten an einer Astachse spitze Nadeln auf, so blühte dieser Ast bereits, bzw. wird in den nächsten Jahren weibliche Blüten tragen. D.h. der Übergang zur reproduktiven Phase geschieht somit nicht plötzlich von einem Jahr auf 's andere, sondern kündigt sich bei den weiblichen Blüten mit der Umstellung auf spitze Nadeln allmählich an.

Teil C

Morphologische Besonderheiten.

XV/12. Das Wenden der Nadelunterseite nach oben.

Dieses Phänomen ist ein Kuriosum, aber auch ein Hinweis für vergleichsweise rasche physiologische Steuerungsvorgänge. In den Mitteilungen der Deutschen Dendrologischen Gesellschaft wurde diese Fehlreaktion schon im Jahre 1926 beschrieben (ZELLER, 1926; S.319). Eine Erklärung dafür fehlt bis heute.

Die eigenen Beobachtungen dazu sind: Wird der Stamm einer jungen Tanne (2-5m Höhe) im Winterhalbjahr schief gestellt, z.B. durch Fällarbeiten oder Windwurf, so drehen sofort in der darauffolgenden Vegetationsperiode viele neue Triebe ihre Nadeln mit der Unterseite nach oben. Dabei sind die Nadeln nicht optimal zum Licht ausgerichtet. Optimal zu Licht ausgerichtet sind erst die Nadeln der 2. Vegetationsperiode. Diese Fehlreaktion der Tanne könnte Hinweise für physiologische Steuerungsvorgänge an den Tannenästen liefern, ähnlich wie isolierte Restnadeln bei den "zonierten Nadelverlusten" und die verzögerte Reaktion der Tanne auf eine Freistellung (Kapitel XIII).

Orte, an denen einzelne Tannen mit schräggestelltem Stamm gefunden wurden und bei denen an den meisten Ästen ein Nadeljahrgang seine Unterseite nach oben drehte:

1983 bei Le Puy, Frankreich, Zentralmassiv

1984 bei Klosterreichenbach, Königswart

1986 bei Albstadt

1988 bei Besenfeld

1992 bei Nagold

1991 bei Klosterreichenbach, Hilpertsberg 1993 bei Klosterreichenbach, Hardtwald

Kapitel XVI

Merkmale zur symptomatologischen Beurteilung einer Tanne (Kriterienkataloge).

Teil A: Grundlagen

Teil B: Praktische Anwendung

Teil A Grundlagen

XVI/1. Vorbemerkungen.

In den vorangegangenen Kapiteln wurde nach und nach aus einer Serie von Untersuchungen, weiterführenden Überlegungen und gezielten Beobachtungen ein Mosaikbild zusammengesetzt, worin sich immer deutlicher abzeichnete, durch welche Merkmale sich eine gesunde von einer walderkrankten Tanne unterscheidet.

In diesem Kapitel werden nun jene Gesichtspunkte hervorgehoben, die erlauben, im Gelände eine Tanne auf die erkannten Gesetzmäßigkeiten hin zu überprüfen. Dazu werden zunächst drei verschiedenartige, "gesunde" Tannen und eine stark geschädigte, walderkrankte Tanne einander gegenübergestellt. Diese vier Musterbeispiele stecken ungefähr den Rahmen ab, innerhalb dessen sich die meisten Tannen einordnen lassen. Darüber hinaus ist es wichtig, ein Verständnis zu gewinnen, wie sich eine solche Tanne langfristig entwickelt hat. In einem weiteren Schritt wird versucht, den aktuellen Zustand innerhalb einer solchen Baumentwicklung zu erfassen und zu beurteilen.

XVI/2. Hintergründe zu diesem Vorgehen.

Eine morphologische Untersuchungsarbeit sollte nicht nur Strukturen auf verschiedene Art beschreiben, sondern auch ein Verständnis für die zugrunde liegenden Lebensvorgänge, für die Biologie der Tanne, vermitteln. In Bezug auf die Walderkrankung der Tanne muß die morphologische Symptomatologie durch die Ökophysiologie ergänzt werden. Dies war bisher nur in bescheidenem Umfang möglich. Für das ökophysiologische Erklärungsmodell wurde daher auf die allgemeinen Grundlagen der Ökophysiologie ausgewichen und mit vergleichenden Beobachtungen symptomatologisch sorgfältig überprüft. Dennoch ersetzen diese Bemühungen nicht einen ökophysiologischen Nachweis. Ist auch der morphologische Teil der Symptomatologie gut abgesichert, so muß das ökophysiologische Erklärungsmodell nur eine vorläufige Behelfsbrücke bleiben.

Aus verschiedenen Gründen widerstrebt es dem Autor, diesem umweltpolitisch so brisanten Thema ein neues Erklärungsmodell hinzufügen zu müssen.

(1) Es dient nicht der Glaubwürdigkeit des wissenschaftlichen Arbeitens, ein Thema mit einer Arbeitshypothese über die Ökophysiologie der walderkrankten Tanne abzuschließen und es in diesem unvollständigen Zustand einer interessierten Öffentlichkeit anzuvertrauen. Denn, wie in den Jahren zuvor, ist damit wieder allen

möglichen Spekulationen Tür und Tor geöffnet, wo doch von der Wissenschaft rundum abgesicherte Beiträge gefordert sind.

(2) Weiterhin ist es unangenehm, daß in den entscheidenden Punkten kein Vergleich zu anderen Untersuchungen über das "Waldsterben" möglich ist. Ursachen hierfür sind methodische Schwierigkeiten. Die meisten wissenschaftlichen Arbeiten beschäftigten sich nämlich mit physiologischen Untersuchungen. Man ging dabei meist von der Annahme aus, daß alle Äste gleichermaßen von der Walderkrankung betroffen sind. Doch aus der Sicht der morphologischen Symptomatologie trifft dies nicht zu. Und rückwirkend lassen sich diese physiologisch untersuchten Äste und Bäume nur schwerlich morphologisch beurteilen.

(3) Keines der anderen Erklärungsmodelle mit biotischen und abiotischen Schadensursachen (saurer Regen, NO_x, Ozon, Pilze, Viren usw.) kann die Vielzahl der Symptome, insbesondere der Astsymptome, und den zeitlichen Verlauf der Walderkrankung integrieren - oder falls doch, dann nur bruchstückhaft.

Als Ausweg aus diesem Dilemma versuchte der Autor daher, einen Katalog einfacher Kriterien zusammenzustellen, so daß auch jeder interessierte Laie die dargelegten Gesetzmäßigkeiten selbst überprüfen kann.

XVI/3. Merkmale zur Symptomatologie der Tanne.

1) Allgemeine Vorbemerkungen. Zuerst erfaßt man mit diesem Katalog die Konstitution einer Tanne und datiert anschließend jene neuen Lebensabschnitte, in denen sich die Krone umstrukturiert hat. Ein Sonderfall dieser morphologischen Umstrukturierungen bzw. Anpassungen ist die Walderkrankung. Parallel dazu läßt sich näherungsweise das entsprechende Geschehen an der Entwicklung des Wuchsrums ableiten.

2) Merkmalkatalog I: Wuchsraum und Bestandesklima (Abb. 123 auf Seite 294).

a) Eine **vorherrschende Tanne** hatte innerhalb des Bestands immer soviel Wuchsraum, daß die Astspitzen (fast) nie die Äste der angrenzenden Bäume berührten. Da aber eine solche Tanne von der Seite her kein Licht bekam, starben ihre unteren Äste ab. Der untere Teil des Stamms ist daher astlos. Dieser astlose Schaft unterscheidet eine vorherrschende Tanne von einer solitär stehenden. Solitär aufgewachsene Tannen sind bis fast zum Boden beastet. Solche Tannen wurden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

b) Eine vorherrschende Tanne hatte immer genügend Wuchsraum. Anders bei einer **mitherrschenden Tanne**. Hier paßte sich die Wuchsraumgröße **nicht** dem Größerwerden der Krone an. Dadurch wurde eine solche Krone immer enger von den angrenzenden Bäumen umschlossen. Der Abstand zu diesen angrenzenden Bäumen ist vergleichsweise klein.

Diesen Konkurrenzdruck um den Ökofaktor Licht (**Lichtmangel**) kann man noch lange an einer Tanne ablesen: Die Kronenschirmfläche ist mehrfach stark eingebuchtet, die Quirlastkrone ist kurz, der Kronendurchmesser klein und der Stamm vergleichsweise schlank. (Zwischen den Wuchsraumbedingungen einer mitherrschenden und einer vorherrschenden Tanne wird die herrschende Tanne eingeordnet.)

c) Wieder anders ist die Wuchsrumsituation bei einer **unterständigen Tanne**. Unter einem mehr oder weniger lückigen Altbestand hatte sich eine solche Tanne von Anfang an mit **Lichtmangel** zu arrangieren. Dort war das Kleinklima immer ozeanisch geprägt, d.h. die Luft war feucht und die Temperaturen ausgeglichen.

d) Diesen drei "gesunden", extremen Musterbeispielen wird nun **eine stark geschädigte, walderkrankte Tanne** gegenüber gestellt. Charakteristisch für die Walderkrankung ist ein kleinklimatischer Wechsel hin zu mehr Licht und Trockenheit, dem dann ein mehr oder weniger großer Nadelverlust folgen kann. Von diesen vorzeitigen Nadelverlusten werden besonders jene Astteile in der unteren Kronenhälfte betroffen, die zuvor an eine feuchte, schattige Umgebung angepaßt waren und die jetzt von einem deutlich trockeneren Kleinklima mit Wind und Sonne umgeben sind.

3) Merkmalkatalog II: Gutes und schlechtes Wachstum am Ast und am Stamm (Abb. 124 auf Seite 295). Gleichgültig, ob ein Ast oder ein Stamm wegen Lichtmangels oder wegen der Walderkrankung weniger wächst, in beiden Fällen sind die neuen Verzweigungsstrukturen der Tanne sehr ähnlich. Wuchs ein Ast oder ein Stamm zu einer bestimmten Zeit gut, so hatte er immer mehrere Zwischenzweige bzw. Zwischenquirltriebe. Fehlen diese Zwischentriebe an Ast oder Stamm, so war das Wachstum zu dieser Zeit eingeschränkt. Nach den bisherigen Beobachtungen sollte man einer Tanne, die momentan keine Zwischenquirltriebe ausbildet, keine zu großen Wuchsrumsänderungen zumuten.

4) Merkmalkatalog III: Äste (Abb.125 auf Seite 296). Drei verschiedene Äste werden einander gegenübergestellt.

a) Ein **Sonnenast** hatte immer genügend Licht und wurde mit Wasser gut versorgt.

b) Ein **Schattenast** bekam in den letzten Jahren immer wenig Licht (z.B. ein alter Quirlast) oder er wuchs schon die ganze Zeit im Schatten (wie z.B. ein Astreis, ein Klebast oder der Quirlast einer unterständigen Tanne). Die Wasserversorgung war offensichtlich dem Bedarf angepaßt und ausreichend, denn sonst hätte dieser Ast nicht so lange Zeit überlebt. Hiermit sind an einem Schattenast nur jene Astabschnitte beschrieben, die sich bei wenig Licht entwickelten.

c) Ein **walderkrankter Kümmerast** wächst momentan schlecht. Früher wuchs er besser. Ein solcher Ast hat das charakteristische Symptom der Walderkrankung, nämlich vorzeitigen Nadelverlust, und dies, obwohl er an seiner natürlichen Position am Baum zur Zeit genügend Licht hat. Vermutlich ist seine Wasserversorgung zeitweilig eingeschränkt. Ehemalige Schattenäste sind von solchen plötzlichen Wuchsstockung und vorzeitigen Nadelverlusten bevorzugt betroffen.

Unter natürlichen Bedingungen ist das Lichtangebot an einem Ast selten so konstant, wie es diese Beschreibungen vermuten lassen. Vielmehr gibt es sehr viele, stufenlose Übergänge. Diese Musterbeispiele sollen nur die wesentlichsten, morphologischen Unterschiede herausstellen (Astsymptomatologie, Kapitel XII).

5) Merkmalkatalog IV: Stamm und Krone (Abb.126). Aus der Kombination der aufgeführten Merkmale läßt sich die langjährige soziologische Stellung im Bestand, oder besser, die "Konstitution" einer Tanne, ablesen. Diese "Konstitution" wird durch die Walderkrankung meist nicht wesentlich verändert (vgl. h/d-Wert-Entwicklung, Kapitel V).

6) Anwendung. Diese vier Merkmalkataloge sind ein Hilfsmittel, eine Tanne etwas differenzierter zu beschreiben und einem aktuellen Zustand zuzuordnen. Darüber hinaus ist es aber wichtig, Verständnis zu gewinnen, wie sich eine Tanne langfristig entwickelte und welche Einflußgrößen sie gefördert oder beeinträchtigt haben. Diese Regelmäßigkeit kann man als die Biologie oder als die Autökologie einer Tanne bezeichnen. Die nun folgenden Abschnitte sollen einen Einblick in diese Wuchsdynamik zusammenfassend geben.

Merkmalkatalog I: Wuchsraum und Bestandesklima

	vorherrschende, gesunde Tanne	mitherrschende, gesunde Tanne	walderkrankte, stark geschädigte Tanne	unterständige, gesunde Tanne
Wuchsraum für die Krone	war immer gut	schon lange Zeit eingeschränkt	war zuvor meist eingeschränkt, jetzt größer	meist genügend Raum, jedoch immer mit Lichtmangel
Wuchsraum für die Wurzel	meist groß	oft eingeschränkt	ebenfalls oft eingeschränkt	variabel
Bestandesklima in der Krone	vergleichsweise sonnig und trocken	vergleichsweise schattig und feucht	jetzt trockener als zuvor	feucht und immer schattig
Veränderungen im Bestandesklima . Hinweise aus Stubben, Pflanzen, Folgetrieben, usw.	variabel	variabel; falls groß und 4-10 Jahre alt, Tanne dann meist walderkrankt	deutliche Veränderungen, oft mehrfach	meist keine Veränderungen oder nur geringfügige

Abb. 123

Merkmalkatalog II:

Gutes und geringes Wachstum von Ast und Stamm

	gutes Astwachstum	geringes Astwachstum	gutes Stammwachstum	geringes Stammwachstum
Längen- wachstum	etwa bei 15 cm/Jahr	etwa bei 8 cm /Jahr	etwa bei 20-60 cm /Jahr	etwa bei 5-10 cm/Jahr
Verzweigungen:				
Anzahl der Zwischentriebe	2-6 Zwischen- zweige	Zwischenzweige nur vereinzelt oder keine	2-4-8 Zwischen- quirltriebe	Zwischenquirltriebe nur vereinzelt oder keine
Anzahl der seitlichen Endverzwei- gungen	2-3 Seitenzweige	1-0 Seitenzweige	3-6 Quirläste	(1)-2 Quirläste

Die Daten wurden aus Kapitel XII/9 und IX/1 entnommen .

Abb. 124

Merkmalkatalog III: Äste

	Sonnenast	Schattenast	walderkrankter „Kümmerast“
Längenwachstum	lang	etwas kürzer	mit plötzlichen Wuchsstockungen
Wuchsstockungen am Ast (erkennbar am Längenw. und an der Verzweigung)	normalerweise klein	allmählich kürzer oder insgesamt kürzer	mit plötzlichen Wuchsstockungen
Zwischenzweige an der Astspitze	2 - 6; d.h. viele	keine oder nur vereinzelt	weniger als zuvor oder keine
Anzahl der Nadeljahrgänge an den Quirlästen	8 - 10	8 - 10 - 16	2 - 4 oder weniger, ältere Nadeln z.T. vorhanden
Stellung der Nadeln	bürstenartig mit Scheitel	flächig	Trend zu Sonnennadeln-Stellung
Gestalt der Nadeln	dick, derb, alle gleich lang	dünn, kurze und lange Nadeln	etwas dicker als Schattennadeln, z.T. kürzer
l/d-Wert des Astes (Quotient aus Astlänge und Achsendurchmesser)	vergleichsweise klein	vergleichsweise groß	fast unverändert, meist aber groß
Astreiser , falls d. Quirlast alt genug ist und später etwas mehr Licht erhielt)	keine oder wenige	keine oder viele	meist viele, setzen an der Astachse vor d. Wuchsstockung an

Abb. 125

Merkmalkatalog IVa: Stamm und Wurzel

	vorherrschende, gesunde Tanne	mitherrschende, gesunde Tanne	walderkrankte, stark geschädigte Tanne	unterständige, gesunde Tanne
Der Stamm				
Baumhöhe im Vergleich zur mittleren Bestandeshöhe	ragt über den Bestand hinaus	erreicht nicht die mittlere Höhe der anderen Bäume	erreicht oft nicht die mittlere Höhe	steht unter Altbäumen; variabel
Länge der jährlichen Höhentriebe	groß (20cm-60cm)	fast so groß wie bei den anderen Bäumen	während einer Wuchsstockung klein bis zum Extrem von 2cm	von normal bis zu sehr klein (2cm).
Anzahl der Äste pro Quirl	3-6	2-3	1-2 (-3)	1-2 (-3-4)
Anzahl der Zwischenquirltriebe	viele, 2-4-8	keine oder nur wenige	keine	meist keine
Jahrringbreiten im Stamm auf 1,3m Höhe (langfristiges Mittel)	breit 3-4-5 mm	schmal 1-2 mm	mit Wuchsstockungen, dann oft kleiner als 1mm	häufig kleiner als 1mm
h/d-Wert (Quotient aus Baumhöhe zu Stammdurchmesser)	vergleichsweise klein (unter 65 bei Altannen)	vergleichsweise groß (über 65 bei Altannen)	ähnlich wie vor der Wuchsstockung	klein !! zwischen 50-65
Die Wurzel				
Größe des Wurzeltellers	meist vergleichsweise groß	oft eingeschränkt	oft eingeschränkt	variabel
Expansionsmöglichkeiten für ein größeres Wurzelteller	häufig vorhanden	fehlen oft	variabel	variabel

Abb. 126 a

Merkmalkatalog IV b: Krone

	vorherrschende, gesunde Tanne	mitherrschende, gesunde Tanne	walderkrankte, stark geschädigte Tanne	unterständige, gesunde Tanne
maximaler Kronendurchmesser	ca. 5m - 7m (bis ca. 10m), - je nach Baumhöhe	2m - 5m - je nach Baumhöhe und Konkurrenz	meist fast unverändert	2m - 5m - je nach Baumgröße
Form der Kronenschirmfläche	zentrisch und rund	mehrfach eingebuchtet	unverändert	zentrisch, meist mit l-kanten Ästen
Freier Raum vom Kronenrand bis zur nächsten Krone	meist allseits deutlich vorhanden	gering; meist berühren sich die Äste	größer als viele Jahre zuvor	variabel
relative Kronenlänge (Länge der Quirlastkrone im Verhältnis zur Baumlänge)	länger als 30% der Baumlänge	kürzer als 30% der Baumlänge	kürzer als 30% der Baumlänge (bei starken Schäden)	variabel
Anzahl der benadelten Quirläste	vergleichsweise viele	vergleichsweise wenig	etwa so viele wie vor der Wuchsstockung, z.T. in der Kronenmitte weniger benadelte Äste	variabel
l/d-Wert der Äste	insgesamt vergleichsweise klein, da viele Sonnenäste	insgesamt vergleichsweise groß, da wenig Sonnenäste	wie zuvor, meist aber vergleichsweise groß	groß, da nur Schattenäste
Länge der Sonnenkrone: (von Baumspitze bis max. Kronendurchmesser)	vergleichsweise lang	vergleichsweise kurz	kurz	keine vorhanden
Anzahl der Sonnenäste	viele	vergleichsweise wenig	wenige	keine
Anzahl der Nadeljahrgänge (Primärbenadelung)	8 - 10	8 - 10	oft weniger als 3 vollständige Nadeljahrgänge	8 - 10 - 16
Klebäste unterhalb der Quirlastkrone	keine oder nur wenige	keine bis sehr viele	immer, z.T. sehr viele (mehr Licht kommt an den Stamm)	keine, da immer im Schatten
prozentualer Anteil von Primär- und Folgebenadelung	überwiegend Primärbenadelung	variabel	Trend hin zu mehr Folgebenadelung	fast nur Primärbenadelung
Blühen und Früchten von Altbäumen	oft und viel	wenig	meist wenig	nie, da Lichtmangel

Abb. 126 b

XVI/4. Zur Biologie der oberirdischen Teile einer Tanne (Kapitel VIII bis XIII).

In den mitteleuropäischen Wäldern wird das Wachstum einer Pflanze weitgehend durch das Lichtangebot bestimmt. Vereinzelt treten trockene Sommer auf, in denen das Wasser knapp wird. Dadurch wird ebenfalls das Wachstum beeinträchtigt. Doch im Allgemeinen darf man in den mitteleuropäischen Wäldern von einer ausreichenden Wasserversorgung ausgehen.

Im Folgenden wird nun die Biologie der Tanne unter den beiden Ökofaktoren Licht und Wasser analysiert. Zwei Lebensabschnitte werden einander gegenübergestellt:

Fall 1: eine Tanne unter konstanten Standortsbedingungen; Fall 2: eine Tanne unter plötzlich veränderten Standortsbedingungen. Ausgegangen wird jeweils von einer "gesunden" Tanne ohne Walderkrankungs-Symptome.

Zu Fall 1. Das Wachstum einer Tanne, wenn die Standortsbedingungen und der Wuchsraum über lange Zeit weitgehend unverändert bleiben. Je nach Wuchsraumgröße bzw. der zur Verfügung stehenden Lichtmenge wird eine Tanne im Laufe der Zeit vorherrschend, mitherrschend oder unterständig. Ist bei einer Tanne von Anfang an das Lichtangebot **weitgehend konstant**, so hat sie (fast) nur benadelte Primärtriebe. Astreiser und Klebäste fehlen meist. Das Stammwachstum ist gleichmäßig. Wuchsstockungen oder ein plötzlich größeres Wachstum fehlen (z.B. KW Ta G1; ähnlich aufgebaut sind auch solitäre Tannen).

Ob das Lichtangebot nun groß oder klein ist, zeigt sich an einem Tannenast durch das Längenwachstum der Astachse und der Seitenzweige, durch die Anzahl der Zwischenzweige, durch die Nadelstellung, die Nadellängen und durch den l/d -Wert der Astachse. Das Lichtangebot in der Quirlastkrone bestimmt das Höhenwachstum, die Anzahl der Äste pro Quirl, die Anzahl der Zwischenquirltriebe, das Dickenwachstum und das Verhältnis von Höhen- zu Dickenwachstum (h/d -Wert).

Zu Fall 2. Das Wachstum einer Tanne, wenn der Wuchsraum plötzlich größer wird. In diesem Fall der plötzlichen Wuchsraumvergrößerung kann anscheinend der Wasserhaushalt vorübergehend zum begrenzenden Faktor werden, da die Krone von trockenerer Luft umgeben ist. Dabei erreicht die Tanne keine extremen Wasserpotentiale, wie man es z.B. beim Ulmensterben messen kann (z.B. bis zu 42 bar; eigene Untersuchungen). Die Stomataregulation scheint auch bei walderkrankten Tannen normal zu sein (KETTNACKER, 1986). Wie Potometerversuche vermuten lassen, scheint eher eine zeitweilige Unterversorgung einzelner Äste vorzuliegen (Kapitel XIV). Dadurch werden weniger Assimilate gebildet, langsam tritt ein "Hungern" in diesen Astteilen auf, und nach etwa vier Jahren beginnen die Nadeln vorzeitig abzufallen.

a) Anpassungsphase.

Folgetriebe. Unabhängig vom Wasserhaushalt reagiert eine Tanne auf ein größer werdendes Lichtangebot immer mit neuen Astreisern und Klebästen. Sie treiben mit einer zeitlichen Verzögerung von etwa 2-3 Jahren aus.

Wuchsstockungen. Treten plötzliche Wuchsstockungen auf, dann ist zu vermuten, daß die Nadeln dieser Äste weniger produktiv wurden (s.o). Um diese plötzlichen Wuchsstockungen an einer Tanne aufzuspüren, haben sich folgende sensible Indikatoren bewährt:

An den Ästen treten plötzlich weniger Zwischenzweige auf, kombiniert mit plötzlich schmaleren Jahrringen an den Astachsen, evtl. aber auch mit breiteren (gemessen wird ca.20cm vom Astansatz entfernt).

An den Seitenzweigen finden sich plötzlich kürzere Jahrestriebe und weniger Endverzweigungen.

Am Stamm beobachtet man plötzlich kürzere Höhentriebe (zumindest für 2-4 Jahre), weniger Zwischenquirltriebe und, wenn das jährliche Höhenwachstum größer als 20cm ist, auch weniger Äste pro Quirl (vgl. Kapitel IX/1).

Vorzeitiger Nadelverlust. Treten an einem Teil der Äste nach etwa 4-6 Jahren zusätzlich noch vorzeitige Nadelverluste auf, so wird eine solche Tanne aus der Sichtweise der morphologischen Symptomatologie als walderkrankt bezeichnet.

Als **weniger sensible Parameter** erwiesen sich das Längenwachstum der Astachse und das Dickenwachstum des Stamms. Das Dickenwachstum kann sogar größer sein als zuvor (z.B. RW Ta2).

Abweichende Entwicklungen. Mit dem Größerwerden des Wuchstraums (z.B. nach Baumentnahmen) beginnen die verschiedenen Baumteile unterschiedlich stark auf diese Veränderungen zu reagieren, und zwar offenbar um so mehr, je mehr ein Ast von feuchterer zu trockenerer Umgebung wechselte. Damit trennen sich die Einzelentwicklungen in den verschiedenen Baumteilen stärker auf.

b) Das Durchtreiben und der Übergang zu einem stabilen Wachstum. Bereits nach wenigen Jahren wachsen die Äste der oberen Krone, die Astreiser und Klebäste wieder gut, und das Höhen- und Dickenwachstum des Stamms erreicht normale Werte. Vielleicht ist das Wachstum sogar besser als zuvor, während die Primärtriebe in der unteren Kronenhälfte noch jahrelang kümmern, nach und nach entnadeln und absterben. In anderen Fällen dauern die Wuchsstockungen länger an, und es setzt sich der Nadelfall evtl. noch weiter fort.

c) Wiederholungen. Dieser Vorgang, daß sich eine Tanne mit Folgetrieben an neue Wuchstraumbedingungen anpaßt, wiederholt sich im Leben einer forstlich bewirtschafteten Tanne mehrfach. Wie stark sie dadurch beeinträchtigt wird, wird nach den bisherigen Beobachtungen im Wesentlichen durch zwei Faktoren bestimmt: durch die aktuelle Vitalität und durch das Ausmaß der klimatischen Änderungen.

d) Stabile Wachstumsphasen. Eine Tanne wächst dann wieder besser und ist anscheinend wieder stabil, wenn sie an der Baumspitze mindestens 3-4 Quirläste anlegt und zusätzlich Zwischenquirltriebe ausbildet.

Hat eine Tanne noch keine neuen Zwischenquirltriebe an der Baumspitze ausgebildet, so ist sie nach den bisherigen Beobachtungen noch sehr anfällig und verliert weitere Nadeln (z.B. Ta1, Besenfeld, KW Ta2).

XVI/5. Zur Biologie der unterirdischen Teile einer Tanne (Kapitel VI und VII).

a) Wachstum und Ausbreitung der Wurzel. Die Wurzel orientiert sich überwiegend am Wassergebot im Boden. Bodenbereiche mit guter Wasserversorgung werden intensiv durchwurzelt. Doch muß der Boden dazu ausreichend belüftet sein. In Bereichen mit Staunässe treibt die Tanne keine Wurzeln.

Blockaden. Fehlt Wasser im Boden, z.B. im stammnahen Bereich, so wachsen dort selten jüngere Wurzeln.

Inwieweit sich Tannenwurzeln wechselseitig chemotaktisch hemmen, ist unbekannt. Da aber die zentralen Teile abgestorbener Wurzelsysteme nur sehr schlecht von anderen Tannenwurzeln besiedelt werden, ist dort eine chemische Hemmung zu vermuten. Denn solche alten Wurzelteller sind meist gut mit Wasser versorgt, da eine abschirmende Krone oberhalb fehlt.

Stößt eine Tannenwurzel auf einen anderen Wurzelast, so stellt sie ihr Wachstum ein oder weicht seitlich aus.

Wachsen die oberirdischen Baumteile schlecht, z.B. durch die Walderkrankung, so stellen alle Wurzeln ihr Wachstum weitgehend ein.

Besiedeln die Wurzeläste von zwei Tannen gleichzeitig dasselbe Terrain, so können sie sich überkreuzen und auch miteinander verwachsen. Meist sind solche Tannen gleich alt.

Jahrringe. Die Wurzeläste weisen ebenso wie der Stamm und die Äste der Krone ein jährliches Dickenwachstum auf. Das Besondere an den Jahrringen der Wurzel ist, daß sie oft sehr exzentrisch sind. Die Jahrringkurven verändern sich innerhalb eines Wurzelastes kontinuierlich vom Stamm bis zur Wurzelperipherie. Jeder Wurzelast scheint dabei sein eigenes, individuelles Wachstumsmuster zu haben. Generell gilt, daß die Ringausfälle zur Wurzelperipherie hin zunehmen. Aus der Anzahl der Jahrringe in der Wurzel kann man daher nicht auf das Alter eines Wurzelastes schließen.

"Stütz- und Nährsystem". Jedes Wurzelsystem hat außerdem anscheinend seine eigene, individuelle Verzweigungsstruktur. Dennoch lassen sich zwei allgemeine Bauprinzipien ableiten.

Das Stützsystem ist nahe am Stamm gelegen. Seine Äste sind vergleichsweise dick. Je nach Orientierung und Achsendurchmesser lassen sich unterscheiden: Pfahlwurzel, starke, horizontale Wurzeläste, Senkwurzeln und Schrägsenker. Dieses Stützsystem ist sehr wirkungsvoll. Bei Sturm werden nur selten Tannenwurzeln herausgerissen, eher brechen die Stämme.

Das "Nährsystem" setzt sich aus den langen, dünnen Wurzelästen zusammen. Dort befinden sich auch die meisten Feinwurzeln. Es ist zu vermuten, daß indirekt über diese dünnen, langen Wurzeln des sog. "Nährsystems" die Hauptmenge an Wasser aufgenommen wird (Kapitel VII). Interessant ist dabei die Beobachtung, daß direkt aus den starken Wurzelästen nahe am Stamm weiße Feinwurzeln herauswachsen können. Bei den beiden Beobachtungen wurzelten sie jeweils im Humus, was für Tannenwurzeln ungewöhnlich ist.

b) Zur Bestimmung der Größe eines Wurzeltellers werden bei ca. 20m hohen Tannen alle Bäume und Stubben im Umkreis von etwa 5m-7m aufgenommen. Im Prinzip beruht diese Abschätzung des Wurzeltellers auf der Halbierung des Abstandes zwischen zwei Bäumen bzw. Stubben. Denn, sind zwei benachbarte Bäume gleich alt, so haben ihre Wurzeln vermutlich das Terrain zwischen sich etwa zur selben Zeit erschlossen und sich ungefähr auf halber Strecke getroffen.

Korrigiert wird diese erste Orientierung durch einen Altersvergleich der Bäume bzw. Stubben. Diese Korrektur ist sehr entscheidend, denn der jeweils ältere Baum hatte die bessere Chance, ein größeres Terrain zu erschließen. Besonders im stammnahen Bereich bis zu einer Entfernung von etwa 2,5m können selbst kleinere Bäume sehr stark die Form eines Wurzeltellers prägen (Kapitel VI/12-14).

XVI/6. Zum Gleichgewicht zwischen Wurzel und Krone.

1) Leitfläche in Wurzel und Krone. Das Holz der Wurzel leitet anscheinend auf der ganzen Querschnittsfläche Wasser. Das tote Kernholz wie im Stamm fehlt in der Wurzel. Diese anatomische Besonderheit hat offenbar weitreichende Konsequenzen.

Bleibt nämlich der Wuchsraum einer Tannenkrone über lange Zeit hinweg gleich groß, z.B. bei einer mitherrschenden Tanne, so bleibt nach den Überlegungen in Kapitel VI/3 auch die Krone über lange Zeit gleich groß (unten sterben die alten Schattenäste ab, in dem selben Maße wie oben neu Äste hinzukommen). Gleich groß bleiben vermutlich auch der Wasserverbrauch in der Krone und die Wasseraufnahme durch die Wurzel. D.h. die Ausmaße der Krone und die Wurzelgröße sind miteinander korreliert. Genau diese Vermutung bestätigte sich in dem Kapitel VII/6: Zumindest morphologisch entsprachen die benachbarten Astflächen weitgehend der gesamten Wurzellänge. Die Ausmaße und Leistungsfähigkeit von Krone und Wurzel scheinen also eng aufeinander abgestimmt zu sein.

Bei einem größeren Wasserbedarf in der Krone muß auch die Wurzel mehr Wasser nachliefern. Gelingt dies nicht, ist die Krone zeitweilig unterversorgt. Symptome der Walderkrankung können folgen. Für das Gedeihen einer Tanne sind daher ein gutes Stammwachstum und die Expansionsmöglichkeiten für die Wurzel ausschlaggebend.

2) Wuchsraum in Wurzel und Krone. Nach Ausgrabungen von 12 Wurzelsystemen zeichnen sich folgende Fälle ab.

Fall 1. Konstanter Wuchsraum in der Krone - konstanter Wuchsraum in der Wurzel. Der Wasserverbrauch der Krone ist der Leistungsfähigkeit und der Größe der Wurzel über lange Zeit hin angepaßt. Die benadelte Astfläche und die Größe des Wurzeltellers sind vermutlich über lange Zeit hinweg aufeinander abgestimmt und beschränken sich auf die Nutzung jener Räume in Luft und Boden, die durch die angrenzenden Bäume vorgegeben sind.

Fall 2. Vergrößerter Wuchsraum in der Krone und konstanter Wuchsraum in der Wurzel. Dies trifft zu, wenn nach einer Baumentnahme zwar die Krone mehr Raum zur Verfügung hat, doch die Wurzel allseits durch tote und lebende Wurzelsysteme ringsherum eingegrenzt wird, z.B. durch Baumjungwuchs. Solche Tannen passen sich nicht oder nur schwer an die Veränderungen in der Krone an. Die Jahres-

triebe der Astreiser sind kurz, obgleich genügend Licht da ist. Über lange Zeit hinweg bleiben solche Tannen besonders anfällig für vorzeitige Nadelverluste und erholen sich kaum von der Walderkrankung (GWB Ta40, KW Ta2).

Fall 3. Vergrößerter Wuchsraum in der Krone und Expansionsmöglichkeiten für die Wurzeln. Bei der Abschätzung der Größe des Wurzeltellers zeigte sich wiederholt, daß Tannenwurzeln, die genügend Bodenfläche nutzten oder zusätzlich erschließen konnten, trotz Walderkrankung vergleichsweise gut wachsende Kronen hatten (GWB Ta4).

Fall 4. Konstanter Wuchsraum in der Krone und Expansionsmöglichkeiten für die Wurzel. Der große Wurzelteller von Tanne 35 (Besenfeld) unterstützte vermutlich sehr stark das gute Kronenwachstum nach der Entfernung von angrenzenden Altbäumen.

Beim Ausgraben überraschte es immer wieder, wie klein die Wurzelsysteme der Tannen sind im Vergleich zur Größe ihrer benadelten Krone.

3) Hieraus ergeben sich praktische Gesichtspunkte. Ein größerer Wuchsraum für die Krone erfordert einen größeren Wuchsraum für die Wurzel. Dabei ist die Wurzel oft benachteiligt, da alte Wurzelsysteme oder Baumjungwuchs unerwartet den Wuchsraum einer Tannenwurzel begrenzen und die Umstrukturierung einer Krone zu mehr Folgebenadelung behindern können.

Andererseits wird hier die enorme Gratwanderung deutlich, mit der ein forstlicher Praktiker konfrontiert ist. Gibt man einer Tanne von Anfang an einen großen Wuchsraum, so hat sie zwar eine lange, wüchsige Quirlastkrone, einen starken Stamm und ein großes Wurzelsystem. Sie steht allem Unbill des Wetters, den Veränderungen im Kleinklima usw. stabil gegenüber. Doch die starken Altäste im unteren Stammbereich mindern den Wert von solchem Stammholz. Dem kann man mit einer Wertastung entgegenwirken. Doch dies erfordert mehr Arbeitseinsatz und mehr finanziellen Aufwand.

Diese dicken Astansätze im Stammholz fehlen bei mitherrschenden Tannen. Ihre Kronen sind kurz. Die schlanken Schattenäste überwiegen, sind allerdings auch anfälliger für vorzeitige Nadelverluste.

Alles zusammen ist seit langen Jahrzehnten praktiziertes forstwissenschaftliches Wissen (KÖSTLER, 1955; ASSMANN, 1961; GUTSCHICK, 1971). Neu in diesen Prozessen ist die Bedeutung der Walderkrankung.

XVI/7. Reduzierung der bisherigen Kenntnisse zu Regeln.

1) Wasserhaushalt. In Mitteleuropa ist normalerweise der Wasserhaushalt einer Tanne gesichert. Das Wachstum von Krone und Stamm wird im wesentlichen durch das Lichtangebot bestimmt. Auf nicht zu steilen Standorten entspricht dies näherungsweise dem Wuchsraum des jeweiligen Baums. Die langfristige Entwicklung des Lichtangebots drückt sich in einer Reihe von Parametern des Wuchsraums, der Krone und des Stamms aus. Zusammengefaßt wird dies hier unter dem Begriff der "Konstitution". Außer den oberirdischen Baumteilen und ihrer näheren Umgebung sind in diesem Begriff auch noch die Wurzeln und ihre Möglichkeiten zur Ausweitung des Wurzeltellers eingeschlossen. Die Konstitution ist das vorläufige Endprodukt einer

langjährigen Baumentwicklung. In ihren Grundzügen wird die Konstitution einer Tanne durch die Walderkrankung nicht wesentlich verändert.

2) Wuchsraum. Vergrößert sich der Wuchsraum einer Tanne, z.B. dadurch, daß angrenzende Bäume gefällt oder durch Sturm umgeworfen werden, oder ein Baum abstirbt, so vergrößert sich nicht nur das Lichtangebot. Da es in der Krone trockener wird, wird der Wasserverbrauch der Krone größer. Diesem größeren Wasserbedarf muß die Wurzel nachkommen, sollte die Krone das größere Lichtangebot nutzen können. Das heißt, mit einer Vergrößerung des Wuchsraums hat eine Tanne ihren Licht- und Wasserhaushalt neu anzupassen. Ist der Wasserhaushalt rasch wieder im Gleichgewicht, da die Wurzel den gesteigerten Bedarf rasch decken kann, so wird in der Krone wieder das Prinzip wirksam, daß das Wachstum dem Lichtangebot entspricht. Eine solche Tanne wächst insgesamt besser.

Ist die Wasserversorgung an einigen Ästen oder evtl. in der ganzen Krone nicht ganz optimal, so tritt ein zeitweiliger Wassermangel auf; die jeweiligen Äste wachsen weniger. Je nach Ausmaß dieser Wachstumsminde rung, sind auch Stamm und Wurzel betroffen. Hält diese Wuchsstockung an den Ästen einige Jahre an, so fallen dort die Nadeln vorzeitig ab. Nach der dargelegten morphologischen Symptomatologie wird dieser vorzeitige Nadelverlust als Walderkrankung im engeren Sinne bezeichnet (Kapitel XII)..

Doch neben der Vergrößerung des Wuchsraums ist auch die andere Seite zu bedenken: Vergrößert sich der Wuchsraum **nicht**, so küm mert eine Tanne, da sie zu wenig Licht bekommt und abstirbt. Denn der Wuchsraum, in dem eine 10jährige Tanne noch gut gedeiht, reicht nicht mehr für eine 50- oder 100jährige Tanne aus. Mit Alter und Baumgröße nimmt der Bedarf an Wuchsraum zu.

Diese langfristigen Entwicklungen innerhalb des Lebens einer Tanne lassen sich an den Wachstumsentwicklungen der Äste, des Stamms und der Wurzeln nachvollziehen. Dadurch eröffnet sich ein besseres Verständnis für die aktuelle Situation einer Tanne. Um im Gelände mit möglichst nicht-destruktiven Methoden diese langfristigen Entwicklungen erkennen und die Veränderungen zeitlich eingrenzen zu können, wurden Indizien zusammengestellt. Sie dienen als Prüfstein, um die Konstitution einer Tanne und ihre mögliche Schädigung durch die Walderkrankung zu bestimmen:

(1) an den angrenzenden Bäumen, (2) am Wuchsraum, (3) am Unterwuchs, (4) an der Krone, (5) am einzelnen Ast, (6) am Stamm und (7) an dem Wuchsraum der Wurzeln. Dabei nutzt man die aufgeführten Indizien zur Beurteilung, wie groß das Lichtangebot war, und wann der Licht- und der Wasserhaushalt sich änderten.

In der Tabelle **Abb. 127** ist eine Übersicht der Indizien zusammengestellt, auf Grund derer sich die Wachstumsentwicklungen einer Tanne rekonstruieren lassen. **Sollten Abweichungen von den bisherigen Vorstellungen auftreten, so müßte sich dies durch das vorgestellte Prüfsystem offenbaren.**

Merkmalkatalog V: Hinweise zum Licht- und Wasserhaushalt

	Menge an Licht	Änderungen im Licht- haushalt	Änderungen im Wasser- haushalt	Beginn der Änderungen datieren	Hinweise zur Konstitution	Symptome der Walderkrankung
Tannenkronen und Stamm						
Baumhöhe der zu beurteilenden Tanne im Vergleich zur mittleren Bestandeshöhe	●				●	
Kronendurchmesser	●				●	
Einbuchtungen in der Kronenschirm-fläche	●					
Alter der Klebäste und Astreiser bei der zu beurteilenden Tanne		●	○	●		○
Länge der Sonnenkrone	●				●	○
relative Länge der Quirlastkrone	●				●	○
prozentualer Anteil der Primär- und Folgebenadelung in der Krone		●	○		○	○
Stammdurchmesser (1,3m)						
h/d-Wert (Quotient aus Baumhöhe zu Stammdurchmesser)	●				●	
Höhenwachstum (Quirlabstände)		○	○		●	●
Dickenwachstum (Bohrkern)		○	○		●	●
Expansionsmöglichkeiten für den Wurzelteiler					●	○
Symptome der Walderkrankung						
Äste mit vorzeitigem Nadelverlust sog. „Kümmeräste“		●	●			●
abgeflachte Krone		●	●			●
plötzliche schmale Jahrringe		○	●	●	○	
Umgebung und Wuchsräume						
Entfernung und Himmelsrichtung zu den angrenzenden Bäumen und Stubben	●	●	●	●	●	●
Konkurrenzsituation zu diesen Bäumen und Stubben , früher und heute. a) in Krone b) Wurzel	●	●	●	●	●	○
Eingrenzung des Fälljahrs (durch morphologische Beurteilung der Stubben oder dendrochronologische Bestimmungen , durch das Alter der Klebäste und Astreiser der angrenzenden Bäume)		○	○	●		
Deckungsgrad des Unterwuchses	●	●			○	
Pflanzenarten im Unterwuchs	●	●				○
Kleinklimatische Veränderungen in der weiteren Umgebung (ca. 50m): Wegebau, Trainagegräben, Verlichtungen und Kahlschläge.		○	○			○
Prognosemöglichkeiten bieten sich aus:						
Jahrringentwicklungen in den letzten Jahrzehnten	○	○	○	●	○	○
Höhenwachstum in den letzten Jahren	○	○	○	●	○	○
Anzahl der Quirläste in den letzten Jahren					○	○
Zwischenquirltriebe vorhanden?					○	○

Abb. 127. Einflußgrößen, an denen sich Hinweise zum Licht- und Wasserhaushalt und deren Änderungen ablesen lassen. Nach den bisherigen Untersuchungen bestimmen sie Beginn und Ausmaß der Walderkrankung.

● Hinweise lassen sich ableiten, ○ Hinweise lassen sich möglicherweise daraus ableiten

Teil B

Praktische Anwendung

XVI/8. Indizien zur Beurteilung der Konstitution, der Wuchsräumänderungen und der Walderkrankung.

1) **Auswahl der Bäume.** Ausgegangen wird von größeren Tannen in den Hochlagen des Nordschwarzwalds, die von einem Waldbestand umgeben sind. Am besten vergleicht man anfangs zwei Tannen, die zwar ähnlich hoch sind, sich aber durch ihr Aussehen deutlich voneinander unterscheiden. Praktischerweise wählt man dazu zwei Bäume aus, die nahe beieinander stehen. Dies erleichtert das Vergleichen. Für die Beurteilung bezieht man zusätzlich eine Fläche von etwa 10m-15m Radius um diese Tannen herum ein. Später wird auch die weitere Umgebung berücksichtigt.

2) **Bestandesstruktur.** Daraus lassen sich erste Hinweise auf die Vergangenheit ableiten. In einem **einschichtigen** Bestand sind die angrenzenden Bäume alle etwa gleich hoch. Die Konkurrenzverhältnisse und die soziologische Stellung sind vergleichsweise leicht zu bestimmen. Solche Bestände sind gepflanzt oder angesät worden. In einem **mehrschichtigen** Bestand sind aber die angrenzenden Bäume z.T. deutlich größer oder kleiner. Ihre Entwicklungen sind uneinheitlicher. Hier sollte man überprüfen, ob die Tannen früher unterständig waren. Dies erkennt man an den engen Quirlabständen im unteren Stammbereich und an den sehr schmalen Ringbreiten der ersten Jahre (sog. "Schattkern"). Außerdem könnte das Wurzelsystem evtl. vergleichsweise groß sein, ein deutlicher Vorteil. Im Vergleich zu ihrer Größe sind solche Tannen überraschend alt. Der h/d-Wert darf bei diesen früher unterständigen Tannen nur bedingt herangezogen werden. Eine einfache Zuordnung zu den soziologischen Baumklassen (vorherrschend, usw.) ist in diesem mehrschichtigen Bestand nur noch eingeschränkt möglich.

3) **Unterwuchs.** Auch am Unterwuchs (bis ca. 2m Höhe) läßt sich näherungsweise sowohl das aktuelle Lichtangebot wie auch dessen starke Veränderungen in den letzten 10-20 Jahren ablesen. Ausschlaggebend ist die Vegetation im näheren Umfeld der zu beurteilenden Tanne (ca. 5m-8m Radius).

a) Am **Deckungsgrad** des Unterwuchses läßt sich annähernd ableiten, wieviel Licht in den letzten Jahren in die untere Kronenhälfte gelangte. Ist der Waldboden unterhalb einer Tanne weitgehend bedeckt (70%-100%), so zeigt dies, daß die untere Kronenhälfte momentan genügend Licht erhält. Ist dagegen die Krautschicht nur spärlich ausgebildet (0-20%), so mangelt es auch oft in der unteren Kronenhälfte an Licht.

b) **Baumjungwuchs.** Es kommt noch ein Weiteres hinzu: Keimlinge überleben nur, wenn sie genügend Licht vorfinden, so daß sie von der Keimphase in die selbständige, vegetative Lebensphase überwechseln können. Da Altbäume fast jedes Jahr ihre Samen ausstreuen, kann man davon ausgehen, daß in jenem Augenblick, in dem mehr Licht auf den Waldboden gelangt, es den jährlich auftretenden Baumkeimlingen gelingt, in die selbständige, vegetative Phase überzuwechseln. Sie werden größer. Zum Datieren eignen sich besonders gut Nadelbäume. Ihr Alter läßt sich leicht an der Anzahl der Quirle ablesen. Aber auch Laubbäume sind dazu geeignet. Handelt es sich bei den Bäumchen um Naturverjüngung, so gibt ihr Alter ungefähr an, wann große

Bäume in der näheren Umgebung gefällt wurden. Dies läßt sich zusätzlich an den Stubben überprüfen (vgl. unten).

Bei diesen Bäumchen interessiert - wie alt sie sind, - ab welchem Zeitpunkt sie plötzlich deutlich mehr wuchsen oder, - ab welchem Zeitpunkt sie plötzlich weniger wuchsen (z.B. Stagnationen bei der Tanne). Damit lassen sich mehrere Lichtänderungen zeitlich ungefähr eingrenzen. Benachbarte Bäumchen sollten ungefähr auf die gleichen Jahreszahlen hinführen.

c) Hinsichtlich des Unterwuchses werden nun drei verschiedene Vegetationsformen exemplarisch vorgestellt:

(1) Der Boden ist nur teilweise bedeckt; u.a. kommen auf der Fläche krautige "Schlagzeigerpflanzen" vor, wie Roter Fingerhut (*Digitalis purpurea*) und das Weidenröschen (*Epilobium spec.*), evtl. zusätzlich auch die Brennessel (*Urtica dioica*) und junger Holunder (*Sambucus racemosa*). An den Baumstümpfen sind Holz und Rinde noch fest, die Schnittflächen sind **noch kaum mit Moos bewachsen**. Auf einer solchen Fläche wurden vor erst etwa 1-2-4 Jahren die Bäume entfernt.

(2) Die Fläche ist weitgehend mit Pflanzen bedeckt. Holzige "Forstunkräuter" treten auf, wie Himbeere (*Rubus idaeus*), Kratz- und Brombeere (*Rubus caesius*, *Rubus fruticosus*), Weiden (*Salix spec.*), aber auch junge Kiefern (*Pinus sylvestris*) und Birken (*Betula pendula*). Zusätzlich können sich noch Roter Fingerhut und das Weidenröschen dazugesellen. In diesem Zustand ist die Rodungsfläche etwa 3-8 Jahre alt.

(3) Fehlen auf einer Fläche diese "Forstunkräuter" und Schlagzeigerpflanzen und kommen überwiegend nur Heidelbeeren (*Vaccinium myrtillus*), Preiselbeeren (*Vaccinium vitis-idea*), die Drahtschmiele (*Deschampsia flexuosa*), das Hain-Greiskraut (*Senecio nemorensis*), die Wald-Hainsimse (*Luzula sylvatica*), Sauerklee (*Oxalis acetosella*), verschiedene Moose und Farne vor, so hat sich auf diesen Flächen das Lichtangebot in den letzten 10 Jahren nicht stark vergrößert.

(4) Die **Flutterbinse** (*Juncus effusus*) zeigt große Bodenfeuchte an. Hier ist dann die Frage, ob evtl. eine Staunässe die Wurzeln der Altbäume beeinträchtigt oder ob eine gute Wasserversorgung das Baumwachstum begünstigt. Beides ist möglich.

4) Baumstubben. In diesem Zusammenhang sind nun auch die Datierungsmöglichkeiten durch Baumstubben wichtig.

(1) Ist die Wurzel eines Stubbens mit dem Wurzelast eines lebenden Baums derselben Art verwachsen, so überwallt der lebende Baum nach und nach die Schnittfläche des Stubbens. Mit einem sorgfältig ausgewählten Längs- und Querschnitt lassen sich die nachträglich gebildeten Jahrringe abzählen (z.B. bis zu 40 Ringe). Bislang ist ungeklärt, ob hier ähnlich wie bei der Wurzel, Ringausfälle auftreten. Doch läßt sich mit dem Auszählen der Jahrringe eine Fällung zeitlich ungefähr eingrenzen.

(2) Tritt keine Stocküberwallung auf, so stirbt ein Stubben nach einigen Jahren ab, das Holz vermodert und wird langsam überwachsen (Das Absterben der Wurzeln erkennt man z.B., wenn im Frühjahr aus dem Splint der Stumpffläche kein Wasser mehr austritt. Dann baut die Wurzel keinen Wurzeldruck mehr auf).

(3) Ist ein Stubben von einer Krautschicht umgeben, so kann man seinen **Zersetzungsgrad** zu einer zeitlichen Abschätzung heranziehen. Auf Grund von dendrochronologischen Datierungen leiten sich ungefähr folgende Näherungswerte ab (Nordschwarzwald).

Holz	Rinde	Bewuchs	Zeit seit Fällung
fest	fest	fast nichts	1-2 Jahre
fest	fest	Moose bedecken noch nicht ganz die Schnittfläche	2-4 Jahre
fest	weich, z.T. zersetzt	bemoost	6-15-(25)Jahre
weich	fehlt meist	variabel	10-15-(40) Jahre

Ist bei einem Stubben zuerst das Zentrum zersetzt, so handelt es sich um eine rotfaule Fichte. Solche Stubben sind für eine derartige Beurteilung ungeeignet.

Mit dendrochronologischen Methoden läßt sich das Fälljahr eines Stubbens exakt bestimmen, sofern die Datierung gelingt. Der Arbeitsaufwand kann aber enorm sein.

5) Wuchsraum der Krone. Es ist weiterhin wichtig, die Entwicklung des Wuchsrums einer Tannenkronen kennen zu lernen. Dazu orientiert man sich an den Kronenschirmflächen der angrenzenden Bäumen und an jener der zu untersuchenden Tanne, an den umgebenden Stubben und am Alter der Klebäste und Astreiser der angrenzenden Bäume.

a) Einbuchtungen. Wurde nun eine Krone deutlich von einer Seite her bedrängt, so ist die Kronenschirmfläche auf dieser Seite deutlich eingebuchtet. Ist dieser bedrängende Baum bereits entfernt, so läßt sich das Fälljahr näherungsweise bestimmen, und zwar durch den Zersetzungsgrad der Stubben, durch den Baumjungwuchs in der näheren Umgebung, durch das Alter jener Astreiser und Klebäste, die in diese kleine Verlichtung hineinragen und durch die "zonierte Nadelverluste". Auf diese Weise wird der Kronenrand der zu untersuchenden Tanne allseits überprüft.

Erfolgt mehrere Baumentnahmen hintereinander, z.B. wenn bei Sturm immer wieder Bäume umfielen, so ist die zeitliche Zuordnung der Lichtänderungen schwierig.

b) Veränderungen. Weiß man, wie groß ein angrenzender Baum war und welchen Konkurrenzdruck er bei dieser Tanne in Krone und in Wurzel hervorrief, so läßt sich evtl. auch die Änderung des Wasserhaushalts abschätzen. Dazu bestimmt man zuerst, wann ungefähr der angrenzende Baum gefällt wurde. Dann vergleicht man den Durchmesser des Stubbens mit dem Stammdurchmesser der lebenden Tanne und versucht, aus dem Unterschied auf die soziologischen Verhältnisse zu schließen: Welcher Baum war damals größer? Oder waren beide gleich groß? Welcher soziologischen Klasse ist die heutige Krone zuzuordnen?

Je dominanter die zu untersuchende Tanne damals war, und je kleiner und weiter entfernt der Stubben, desto günstiger war die Wuchsraumänderung im Hinblick auf den Wasserhaushalt und die Walderkrankung.

6) Wuchsraum für die Wurzel. Mit dem Modell von Kapitel VIII wird nun näherungsweise der zur Verfügung stehende Wurzelraum eingrenzt (halbieren der Abstände zu allen angrenzenden Bäumen und Stubben, verschiedene Korrekturen einfügen). Die Frage ist: Reicht der zur Verfügung stehende Wurzelraum einer Tanne über einen Radius von 2,5m - 3m bzw. über die Kronenschirmfläche hinaus? Oder ist der Wurzelraum wesentlich kleiner und von anderen Wurzelsystemen eng begrenzt? Ein deutlich eingeschränkter Wurzelraum behindert eine Anpassung an ein trockenere Kleinklima. Reicht der Wurzelraum mehrfach über den Kronenrand hinaus, so ist dies eine günstige Ausgangsbasis, um kleinklimatische Veränderungen in der Krone gut nutzen zu können. Weitere Details zum Wurzelwachstum in Kapitel VI und VII.

7) Indizien aus der Tannenkronen.

a) Quirl- und Klebäste. Auch die Tannenkronen liefert gute Indizien. Hierbei geht es besonders um die Quirlastkrone und den Klebastmantel. Diese beiden Kronenteile lassen sich an den Astansätzen unterscheiden. Die Äste eines Quirls setzen immer auf gleicher Höhe an und orientieren sich nach allen Himmelsrichtungen. Dagegen sind die Klebäste zu einer Verlichtung hin orientiert. Sie setzen oft büschelartig an einer Stelle an.

b) Bei einer **einseitig verlängerten Quirlastkrone** sind ebenfalls alle Astansätze noch zu erkennen. Doch meist ist nur ein Ast pro Quirl benadelt, die anderen blieben als Aststummel übrig. Der Unterschied zu Klebästen wird auch an der Länge der Äste deutlich: Klebäste sind i.d.R. kürzer.

Die äußere Kronenform geht bei einer einseitig verlängerten Quirlastkrone fließend in den oberen Teil über, während ein Klebastmantel sich deutlich von der Quirlastkrone absetzt. Eine solche einseitig längere Quirlastkrone entsteht durch eine alte Verlichtung.

c) Soziologische Stellung. Wuchs nun in einem einschichtigen Bestand eine Tanne insgesamt sehr gut, so ragt sie etwa 1-2m über den Bestand hinaus. Dies ist ein charakteristisches Merkmal für eine vorherrschende Tanne. Mitherrschende Tannen sind zwischen andere Kronen "eingeklemmt". Sie wachsen insgesamt deutlich weniger und bleiben etwa 1-2m unterhalb der mittleren Bestandeshöhe. Zwischen vorherrschenden und mitherrschenden Tannen werden die herrschenden Tannen eingereiht; sie bilden etwa die mittlere Bestandeshöhe.

d) Die Kronenschirmfläche ist, wie erinnerlich, die senkrechte Projektion der Krone auf den Waldboden. Die Konkurrenzsituation zu anderen Bäumen zeichnet sich auch an ihr ab (siehe oben: Wuchsraum der Krone).

(1) Ist der Kronenrand deutlich eingebuchtet, so lässt sich dies auf einen bedrängenden Konkurrenten zurückführen.

(2) Der Fall liegt anders, wenn die Kronenschirmfläche zu einer Seite hin fast nicht deformiert ist, sondern die Astspitzen der angrenzenden Bäume sich gerade nur berühren. Der Wuchsraum war auf dieser Seite hinreichend groß.

(3) Ist ein deutlicher, freier Abstand zwischen den Astspitzen zweier Bäume, und ist die Krone an dieser Stelle ebenfalls nicht deformiert, so war lange Zeit das Licht-

angebot für beide Bäume dort groß und die Kronen sind in dieser kleinen Verlichtung etwas länger als üblich.

e) Die **räumliche Ausformung der Krone** lässt sich schlecht darstellen. Doch kann man an ihr die Konkurrenzsituation besser ablesen als nur an der Kronenschirmfläche. Stirbt nämlich die Spitze eines Quirlastes wegen Lichtmangels ab, so erreichen nachträglich die Folgetriebe selten wieder diesen Kronendurchmesser (bzw. diesen Abstand vom Stamm). Das heißt, im unteren Teil der Quirlastkrone findet man noch lange den räumlichen "Abdruck", wenn dort ein anderer Baum zu nahe stand. Ist dagegen eine Kronenseite gut ausgeformt, so lag auch keine bedrängende Konkurrenz vor. Zur Kontrolle sollte man dies mit Hilfe der benachbarten Stubben überprüfen.

f) "**Sonnenkrone**". Ist eine Tanne von anderen Bäumen umgeben, so bekommen nur die oberen Äste direktes Sonnenlicht in hinreichender Menge. Unterhalb des maximalen Kronendurchmessers werden die Äste aber mehr oder weniger beschattet. Diesen oberen Teil der Krone nennt man die "Sonnenkrone". Aus räumlichen Gründen ist daher die Sonnenkrone lang, wenn die Krone einen weiten Wuchsraum hat und kurz, wenn der Wuchsraum eingeschränkt ist. Daher kann man mit der Länge der Sonnenkrone auch das Lichtangebot in den vergangenen Jahrzehnten näherungsweise rekonstruieren. Innerhalb eines geschlossenen Bestandes ist es aber meist schwierig, die Länge der Sonnenkrone zuverlässig zu bestimmen.

g) Die **relative Kronenlänge** ist dagegen etwas unproblematischer zu bestimmen. Dazu vergleicht man die Länge der Quirlastkrone mit der Baumlänge. Ist die Krone deutlich kürzer als $\frac{1}{3}$ Baumlänge, so ist eine solche Tanne mitherrschend. Ist die Krone länger als $\frac{1}{3}$ Baumlänge, so ist sie meist herrschend bis vorherrschend. Doch im Gelände sollte man zu dieser Beurteilung unbedingt die Ausformung der Krone oder die Kronenschirmfläche noch heranziehen. Denn man sollte wissen, ob eine solche Krone von der rückwärtigen Seite bedrängt wurde.

h) **Astreiser und Klebäste** sind Indikatoren für mehr Licht. Vergrößert sich an einer Astachse oder am Stamm nachträglich das Lichtangebot, so treiben mit einer zeitlichen Verzögerung von 2-3 Jahren sog. "schlafende Knospen" aus. Trotz direkter Besonnung wachsen Klebäste und Astreiser meist nicht so gut in die Länge wie die Primärtriebe. Sowohl Klebäste als auch Astreiser können bei gutem Wachstum männliche Blüten tragen. Weibliche Blüten sind der oberen Sonnenkrone vorbehalten. Normale Seitenzweige setzen an der Astachse immer genau seitlich an. Die nachträglich hinzugekommenen Astreiser treiben stattdessen bevorzugt auf der Oberseite des Astes aus. Ursache hierfür ist vermutlich das Druckholz im unteren Bereich der Astachse, das zu einer exzentrischen Jahrringschichtung führt und dadurch die Winkel der schlafenden Knospen verschiebt.

i) Der **prozentuale Anteil an Primär- und an Folgebenaedelung** ist ebenfalls von diagnostischem Wert. Überwiegt an einer Tanne die Primärbenadelung, so war die Krone in ihrer Entwicklung keinen großen Änderungen der Lichtverhältnisse ausgesetzt. Das Höhen- und Dickenwachstum des Stamms verliefen gleichmäßig. Je mehr sich aber eine Krone umstrukturiert hat und die Folgebenaedelung überwiegt, desto größer waren die Wechsel im Kleinklima der Krone: von Schatten zu Licht, von geringerer zu größerer Evaporation. Mit jedem dieser größeren Wechsel stockt das

Wachstum an den unteren Ästen, evtl. auch am Stamm. An einigen Ästen fallen die Nadeln vorzeitig ab, die Walderkrankung tritt also auf.

An solchen Tannen kann man folgende Beobachtungen machen: Setzte diese Umstrukturierung sehr plötzlich ein, sind also alle Astreiser und Klebäste ungefähr gleich alt, so werden die Wuchsstockungen und vorzeitigen Nadelverluste besonders groß.

Besteht aber die Benadelung einer solchen Krone aus Astreisern und Klebästen unterschiedlichen Alters, erfolgt also der Umbau der Krone in mehreren Schüben, dann sind die Schäden durch vorzeitige Nadelverluste meist nicht so groß, das Stammwachstum ist etwas gleichmäßiger.

Für dendroökologische Untersuchungen wäre es daher sinnvoll, sich nur Tannen ohne diese Umstrukturierungsprozesse in der Krone auszuwählen. Das sind also Tannen, deren Kronen überwiegend Primärbenadelung haben. Da solche Bäume auch älter sein sollen, wird man eher bei vorherrschenden und solitären Tannen fündig.

8) Der Stamm.

a) Das **jährliche Höhenwachstum** bestimmt man aus den Quirlabständen des Stamms. Schwierig wird dieses Vermessen, wenn Zwischenquirltriebe auftreten. Sie unterscheiden sich von Quirlästen durch ihre dünnen Astachsen und kürzeren Triebe. Zwischenquirltriebe sterben meist früher ab.

Das Wachstum der jährlichen Höhentriebe steht auch in einer gewissen Relation zum Durchmesser des 1. Jahrrings am neuen Wipfeltrieb, zur Anzahl der Zwischenquirltriebe und zur Anzahl der neu gebildeten Quirläste. Weiterhin kann vermutet werden, daß das Höhenwachstum eines Stamms eng mit der Leistungsfähigkeit der Quirlastkrone zusammenhängt, wogegen die Klebäste vermutlich nicht viel dazu beitragen (vgl. Kapitel IX).

Im Laufe des Höhenwachstums treten immer wieder kurzfristige Wuchsstockungen auf. Ob eine Tanne gut oder schlecht wächst, sofern sie nicht walderkrankt ist, stets investiert sie im einschichtigen Bestand ihre Assimilate bevorzugt in das Höhenwachstum. Verringert sich durch die Walderkrankung ein Teil des Astwachstums, so spiegelt sich dies in schweren Fällen auch im Höhenwachstum wider: Die obere Krone flacht vorübergehend ab (sog. "Storchennest").

b) Das **Dickenwachstum des Stamms** wird fast immer durch die Breite der Jahrringe beschrieben. Dabei ist zu bedenken, daß bei gleicher Ringbreite die investierte Biomasse größer wird, je dicker der Stamm ist. Weiterhin ist die Ringbreite innerhalb eines Stamms nicht überall gleich groß. Vielmehr ist sie im Bereich des 7. bis 10. Quirls von oben am größten. Die Verteilung und die Leistungsfähigkeit der einzelnen Äste ist für die Ringbreite eine große Einflußgröße. Zusätzlich fördert die mechanische Belastung durch Wind oder durch leichte Schräglage des Stamms die Druckholzbildung und bestimmt damit die Breite der Jahrringe.

Wächst eine Tanne sehr schlecht, so werden die Jahrringe am Stammfuß nicht vollständig oder überhaupt nicht mehr ausgebildet. Wird durch die Walderkrankung das Stammwachstum insgesamt sehr stark reduziert, so wachsen die Jahrringe, oder Teile davon, nur noch im Bereich der benadelten Äste. Für langfristige Entwicklungen der Ringbreiten erwies sich bei ertragskundlichen Untersuchungen eine Stammscheibe

aus 5m Stammhöhe als ideal (GERECKE, 1988). Im unteren Stammbereich, z.B. in 1,3m Höhe, treten bei alten Tannen starke "Verziehungen" in den Ringbreiten auf. Ursache sind beulenartige Wülste, die bei Alttannen immer auftreten, ferner Druckholz und ein größeres Wachstum oberhalb der starken Wurzelanläufe.

c) Auch der **h/d-Wert** ist die Diagnose wichtig. Er ist der Quotient aus Baumhöhe und Stammdurchmesser (1,3m). In einem **einschichtigen** Bestand spiegelt er das langjährige Lichtangebot eines Baumes wider. Unter solchen Bedingungen zeigt ein größerer h/d-Wert ein kleines Lichtangebot (mitherrschende Tanne) und ein kleiner h/d-Wert ein größeres Lichtangebot (vorherrschende Tanne). Ausnahmen sind unterständige Tannen. Sie haben trotz wenig Licht einen kleinen h/d-Wert.

Bildet eine mitherrschende Tanne nachträglich einen Klebastmantel aus, so wird der h/d-Wert etwas kleiner. Oder anders ausgedrückt: Die Klebäste vergrößern anscheinend mehr das Dicken- als das Höhenwachstum. Durch die Walderkrankung wird offensichtlich der h/d-Wert nicht wesentlich verändert.

9) Was charakterisiert nun die Walderkrankung?

a) Der **prozentuale Nadelverlust** ist das allgemein verwendete Kriterium, um die Walderkrankung halb-quantitativ zu beschreiben. So praktisch sich dieses Verfahren im Gelände auch anwenden läßt, Rückschlüsse auf das Stammwachstum sind näherungsweise auf diesem Wege nur bei Tannen der Schadstufe III (65% - 95% Nadelverlust) möglich. In Schadstufe 3 hat aber eine Tanne meist auch die anderen deutlichen Kriterien der Walderkrankung: abgeflachte Krone, "Phase mit schmalen Jahrringen" und stark geschädigte "Kümmeräste" (vgl. Kapitel II). Über die Beurteilung, ob eine Tanne stark geschädigt ist oder nicht, gibt es also meist keine Zweifel. Schwieriger wird die Beurteilung bei mittleren und geringen Kronenschäden. Hier wurde durch die vorliegende Arbeit, insbesondere durch den Teil "Astsymptomatologie", weiter differenziert.

Nun soll ein weiterer Gesichtspunkt erörtert werden, der helfen soll, diese Schwierigkeit bei der Beurteilung mittlerer und geringer Kronenschäden zu verkleinern.

Ausgangsbasis für die Einschätzung des prozentualen Nadelverlusts ist eine Tanne, deren Krone dicht benadelt ist. Tannen mit geringen und mittleren Schäden (bis 60%Nvl.) sind meist "durchscheinend": der zentrale Teil der Krone ist nicht so stark benadelt, so daß er einen hellen Hintergrund nicht verdecken kann. Zieht man nun die dargelegte morphologische Symptomatologie, insbesondere die Astsymptomatologie, zu Rate, so muß man solche Tannen häufig als nicht-walderkrankt einstufen. Denn man findet an den Ästen keine oder nur wenig Äste mit vorzeitigen Nadelverlusten. Zwar sind an solchen "durchscheinenden" Tannen in der unteren Kronenhälfte Primärtriebe vorhanden, die oft auch nicht mehr gut wachsen und evtl. Nadelverluste haben, doch lassen sich diese Beeinträchtigungen bei genauerer Analyse überwiegend auf Lichtmangel zurückführen. Auch wenn "zonierte Nadelverluste" auftreten, so sind sie bei solchen Tannen meist nicht sehr umfangreich.

Die Hauptursache für diese Diskrepanz in der Beurteilung der Nadelverluste liegt bei den langen, kahlen Quirlästen, in der räumlichen Ausformung der Krone bzw. in der Kronenschirmfläche und am hellen Hintergrund. Die langen, kahlen Quirläste tragen

auf zwei Drittel der Astachse keine Astreiser. Sie waren anscheinend noch keinem größeren Lichtwechsel ausgesetzt, hatten daher auch nicht die Chance gehabt, viele große Astreiser auszubilden, um damit das Kronenbild als dicht benadelt erscheinen zu lassen.

Der helle Hintergrund dagegen läßt vermuten, daß Bäume hinter dieser Tanne entfernt wurden. Wurde die Tanne von der rückwärtigen Seite noch bedrängt, so fehlt dort die Benadelung wegen Lichtmangels. Dies läßt sich im Einzelfall bei einer solchen "durchscheinenden" Tanne im Gelände leicht überprüfen.

Der Autor hält daher die Beurteilung einer Tanne nach dem prozentualen Nadelverlust für geeignet bei den starken Schäden über 60% Nadelverlust. Sind die prozentualen Nadelverluste geringer, so sollte man sicherheitshalber die Beurteilung nach den drei oben aufgeführten Einflußgrößen überprüfen und in jedem Falle nach Ästen suchen, die Wuchsstockungen und vorzeitige Nadelverluste aufweisen (z.B. Äste mit "zonierten Nadelverlusten" oder Kümmeräste).

b) Astsymptome. Gemäß der morphologischen Symptomatologie ist ein Ast nur dann sicher walderkrankt, wenn er trotz genügend Licht seine Nadeln abwirft. Man erkennt dies, wenn man die Nadeljahrgänge einzeln überprüft. Man beginnt bei den jüngsten Nadeljahrgängen und kontrolliert bis zu den älteren hin, ob irgendwo Nadelverluste auftreten. Vorzeitige Nadelverluste machen sich meist am 3., 4. oder 5. Nadeljahrgang bemerkbar. Gekoppelt hiermit ist immer eine Wuchsstockung, die sich an der Verzweigungsstruktur, an den Triebblängen (besonders der Seitentriebe) und am Dickenwachstum der Astachse bemerkbar machen kann. Je nach Ausmaß der Wuchsstockungen an den unteren Ästen sind auch das Höhen- und Dickenwachstum betroffen. Damit geht immer ein Austreiben neuer Astreiser und Klebäste einher. "Zonierte Nadelverluste", oder walderkrankte Kümmeräste, lassen sich auch an stehenden Tannen zuverlässig aufspüren. Dazu stellt man sich direkt unter den Rand der Krone und mustert jahrgangsweise die Benadelung der herausragenden Astspitzen des Kronenrands durch. Diese Primärtriebe der längsten Quirläste reagieren am empfindlichsten mit Wuchsstockungen und vorzeitigen Nadelverlusten. Auf diese Weise überprüft man eine Krone von allen Seiten.

Zeigen sich keine "zonierten Nadelverluste" oder walderkrankte Kümmeräste, so ist ein weiterer Gesichtspunkt zu überprüfen: Vorzeitige Nadelverluste treten erst mit einer zeitlichen Verzögerung von (3)-4-6 Jahren auf. Daher sind dieselben Astspitzen nochmals auf Wuchsstockungen am Ast durchzumustern. Findet man sie, dann sind diese Äste gefährdet; vorzeitige Nadelverluste sind an diesen Ästen evtl. in den nächsten Jahren zu befürchten. Rückschlüsse auf Wuchsstockungen erlauben zusätzliche neue Astreiser, sowie das Höhen- und Dickenwachstum der letzten Jahre (Ergänzungen dazu in Kapitel XII).

c) Erholung und Durchtreiben. Ob nun eine stark geschädigte Tanne noch weitere Nadeln verliert, läßt sich durch die bisherigen Erkenntnisse aus der morphologischen Symptomatologie nicht mit Sicherheit beurteilen.

Besser sieht es aus, wenn eine Tanne wieder durchtreibt. Dies macht sich als erstes an breiteren Jahrringen im Stamm bemerkbar. Dann werden die Höhentriebe wieder länger, mehr Quirläste werden ausgebildet. **Eine Tanne kann man dann als gut wachsend bezeichnen, wenn sie (wieder) mehrere Zwischenquirltriebe ausbildet.**

Teil D: Diskussion

D/1. Zum Thema.

Die vorliegende Arbeit orientierte sich im wesentlichen an drei zentralen Fragen zur Walderkrankung:

- 1) Liegt der Walderkrankung ein symptomatologisch einheitliches Erkrankungsbild zugrunde?
- 2) Wie lange dauert eine solche Erkrankung und wie ist ihr Verlauf?
- 3) Gibt es morphologische Kriterien, die erlauben, zwischen walderkrankt und gesund eine klare Grenze zu ziehen?

Die vorgestellten Untersuchungen führten zu einem differenzierten morphologischen Bild über die Biologie der Tanne und über die Walderkrankung. Die Äste der Tanne konnten in gesunde, gefährdete und walderkrankte unterschieden werden. Faktoren, die die Walderkrankung begünstigen und auslösen, ließen sich eingrenzen.

Mit der nun folgenden Diskussion werden die zentralen Fragen dieser Arbeit und die gewonnenen Ergebnisse im Lichte der Untersuchungen und Beobachtungen anderer Autoren überprüft: Inwieweit gibt es dabei Übereinstimmungen oder Abweichungen und Lücken? Zum Abschluß wird die vorliegende Arbeit mit dem physiologischen Forschungsansatz des Botanischen Instituts Hohenheim verglichen.

Im Bereich der morphologischen Symptomatologie kann man nur auf wenige, neuere Arbeiten zurückgreifen. Doch die stark geschädigten Tannen von heute weisen dieselben Symptome auf wie früher die stark geschädigten Tannen des sog. "Tannensterbens" (vgl. unten und Kapitel XV). Daher wird die Literatur über das frühere Tannensterben gleichwertig einbezogen.

D/2. Liegt der Walderkrankung ein symptomatologisch einheitliches Erkrankungsbild zugrunde?

An Hand der Literatur werden daher zunächst nur die extremen Formen der Tannenschäden überprüft.

a) Allgemein anerkannte Symptome. Die stark geschädigten Tannen des früheren Tannensterbens wurden von NEGER (1908) und von WIEDEMANN (1927) beschrieben. Dieselben Symptome erwähnten auch LEIBUNDGUT (1974), WACHTER (1977), EVERS et al. (1979), SCHUCK et al (1980) und SCHÜTT et al. (1983. Von wenigen Ausnahmen abgesehen, gab es unter den Fachleuten nie ernsthafte Zweifel, wie eine stark geschädigte Tanne aussieht. Die detaillierten Beschreibungen der oben aufgeführten Autoren wurden von Anderen immer wieder bestätigt, wie z.B. von SCHEIDTER (1919), WITZGALL (1928), GRASER (1931), HORNDASCH (1977), FINK und BRAUN (1978), SEITSHECK (1978), u.v.a.. Dieses Bild einer stark geschädigten Tanne wurde dann in den 80er Jahren unter den Begriffen "neuartige Waldschäden der Tanne" bzw. "das Waldsterben der Tanne" populär (Kapitel XV).

Übereinstimmend wird eine stark geschädigte Tanne durch folgende Symptome charakterisiert:

- Verringertes Höhenwachstum, verbunden mit einem Abflachen der Krone (sog. "Storchennest");
- Verringertes Dickenwachstum des Stamms: Die Jahrringe werden plötzlich schmaler ("Phasen mit schmalen Jahrringen");
- Vorzeitige Nadelverluste in der mittleren und unteren Krone. Da sich diese Nadelverluste nicht mit Lichtmangel erklären lassen, wurden sie als pathologisch angesehen und gaben Anlaß zur Sorge.
- Diese Äste haben nur noch wenige Nadeljahrgänge (sog. "Kümmeräste"). Teilweise sterben diese Äste ganz ab.
- Im Vergleich dazu ist aber der oberste Teil der Tannenkrone regulär benadelt. Die Äste wachsen dort relativ gut.
- Am Stamm treiben gehäuft neue Klebäste aus, an den (älteren) Quirlästen aber Astreiser. Im Gegensatz zu den kümmernden Primärtrieben der mittleren und unteren Krone wachsen diese neuen Folgetriebe vergleichsweise gut. Dieses gute Wachstum der Folgetriebe wurde häufig als ein "letztes Aufbäumen der Tanne" gegenüber dieser Schädigung gewertet (NEGER, 1908).

Interessant ist, daß bei fast allen Symptombeschreibungen der Zusammenhang zwischen starken Nadelverlusten und neuen Folgetrieben (Klebäste und Astreiser) hervorgehoben wird. Diese Regelmäßigkeit wurde auch in der vorliegenden Arbeit erkannt. Hier wurde aus einem Vergleich von gesunden und geschädigten Tannen aber auch deutlich, daß diese neuen Folgetriebe eine ganz natürliche Reaktion der Tanne sind, mit der sie auf mehr Licht, d.h. günstigere Wuchsraumbedingungen, reagiert (Kapitel IX/4). Und dieses Mehr an Licht ergibt sich, wenn angrenzende Bäume entfernt, z.B. gefällt werden. Die geschilderten Symptome der Walderkrankung (plötzliche Wuchsstockungen und Nadelverluste) sind daher nur als ein Sonderfall jener natürlichen Vorgänge anzusehen, mit denen sich eine Tannenkrone anpaßt und optimiert.

Hier sollte ergänzend erwähnt werden, daß es bei der Tanne auch ein Austreiben von schlafenden Knospen gibt, ohne daß hinterher diese Folgetriebe gedeihen. Die Stammreiser, Folgetriebe am Stamm innerhalb des Kronenabschnitts stellen in der Regel nach 2-3 Jahren ihr Wachstum ganz ein (Kapitel VIII/2).

b) Zusätzlich genannte Symptome. Im Zusammenhang mit diesen stark geschädigten Tannen wurden in der Literatur weitere Symptome genannt. Sie konnten aber bis jetzt noch nicht als spezifische Symptome der Walderkrankung abgesichert werden.

- **Abblätternde Rinde** oder Rindenbrand (NEGER, 1908, 1919). Dies wurde anscheinend bei stark geschädigten Tannen später nicht mehr beobachtet oder erwähnt. Rindenbrand wird nach Auffassung von SCHWERTFEGGER (1981) durch eine plötzliche, intensive Besonnung des Stamms verursacht, z.B. infolge von Kahlschlägen. Nach den Erkenntnissen von Kapitel XIII (Freistellung und Walderkrankung) ist es durchaus vorstellbar, daß Rindenbrand als Extremfall bei einer walderkrankten Tanne auftreten kann.

- **Rote oder rotbraune Nadeln** (NEGER, 1908; HORNDASCH, 1977; FINK und BRAUN, 1978). Dieses Schadbild hängt offensichtlich eng mit einem Parasitenbefall zusam-

men, z.B. mit Hallimasch oder verschiedenen Schadinsekten (REISCH, 1974; BRAUN, 1976; SCHWERDTFEGER, 1981; HARTMANN, NIENHAUS, BUTIN, 1988). Dieses Schadbild mit rotbraunen Nadeln kann aber mit oder ohne Symptome der Walderkrankung vorkommen. Rotbraune Nadeln müssen daher als eine andere, oder als eine zusätzliche Schädigung angesehen werden.

- **Stark gestauchte Nadeln** (FINK und BRAUN, 1978). Sie sind eine Folge von männlichen Blüten am vorjährigen Zweigstück (sog. "Blühstummeltriebe", Kapitel XI/5 und XV/9). In den darauffolgenden Jahren wachsen diese Zweige wieder normal. Diese Wuchsanomalie ist unabhängig von der Wuchsleistung einer Tanne und hat nichts mit der Walderkrankung zu tun.

- **Harzkanäle im Holz** (FINK und BRAUN, 1978). Bei den Untersuchungen zu der vorliegenden Arbeit fand der Autor zwar ab und zu solche Serien von Harzkanälen, doch ein direkter Zusammenhang mit den Symptomen der Walderkrankung war nicht herzustellen.

- **"Hängende Astenden"** (FRENZEL, 1985). Stark geschädigte, walderkrankte Tannenäste wachsen nicht nur schlecht und haben wenige Nadeln, häufig hängt auch die Astperipherie nach unten. Die Frage war nun, ob dies nur auf ein verringertes Holzwachstum zurückzuführen ist, oder ob durch die Walderkrankung evtl. auch die Lignin-Synthese gestört ist. EILERS (1984) wies nach, daß im Stammholz die Menge an Lignin durch die Walderkrankung nicht verändert wird. Offen blieb, ob die chemische Struktur des Lignins verändert ist. Auch die mechanische Festigkeit des Stammholzes ist bei walderkrankten Tannen offensichtlich unverändert (GRAMMEL et al. 1986). Aus methodischen Gründen konnten jedoch nicht jene Stammteile gesondert untersucht werden, die ausschließlich während der Erkrankungszeit einer Tanne gebildet wurden (Phase mit schmalen Jahrringen). Auch konnte die Frage nicht beantwortet werden, ob speziell diese "hängenden Astenden", ebenfalls Orte von lokalen Wuchsstockungen, veränderte Ligninanteile haben.

Aus der dargelegten Astsymptomatologie (Kapitel XII) lassen sich zu diesem Thema einige Teilaspekte ergänzen: Walderkrankte Äste standen meist zuvor schon unter Lichtmangel, überprüfbar z.B. an den besonders schlanken Astachsen (großer l/d-Wert; Kapitel XII/3 und 4) und an der Verzweigungsstruktur (weniger Zwischenzweige; Kapitel XII/ 9-13). Weiterhin sind Schattenäste - im Gegensatz zu Sonnenästen - eher waagrecht als nach oben orientiert. Der Übergang zum Nach-Unten-Hängen ist bei solchen Ästen von vornherein gering. Zudem verringern die Wuchsstockungen an der Astperipherie zusätzlich sehr stark den Durchmesser der Zweigachsen (Kapitel XII/6 und 7).

Eine interessante Ausnahme zeigte die Tanne SK Ta BB (Stöckerkopf): Ein Schattenast hatte "hängende Astenden", war aber, wie der ganze Baum, vollständig benadelt.

Daher läßt sich momentan nicht endgültig entscheiden, ob diese "hängenden Astenden" ausschließlich nur durch Schatten und anschließende Wuchsstockungen durch die Walderkrankung verursacht sind, oder ob zusätzlich weitere pathologische Prozesse daran beteiligt sind.

- **Der Naßkern im unteren Stammbereich** (NEGER, 1908; WIEDEMANN, 1927; BAUCH, 1979; SCHUCK et al. 1980; LANG, 1981; SCHÜTT et al. 1983). Der äußere, wasserführende Teil des Stammholzes ist der Splint. Dort sind die Markstrahlzellen noch vital und speichern Stärke. Dagegen ist der innere Bereich des Stamms abgestorben. Das Holz ist inkrustiert und schwach violett gefärbt. Die Stärke der Markstrahlparenchymzellen ist dort abgebaut. Nach eigenen Beobachtungen ist dieser verkernte Bereich einer Tanne im unteren Stammbereich immer mehr oder weniger feucht und hat einen säuerlichen Geruch, unabhängig, ob diese Tanne gesund oder walderkrankt ist (Kapitel XIV/3). WIEDEMANN (1927) und SCHÜTT et al. (1983) kamen hierin zu vergleichbaren Auffassungen.

Anders dagegen NEGER (1908). Er sah im Naßkern, zusammen mit Hallimasch-Infektionen, einen Auslöser für das Tannensterben. Zu einem späteren Zeitpunkt wiesen BAUCH et al. (1979) im Naßkern auch Bakterien nach. Wie WIEDEMANN (1927) brachten SCHUCK et al., (1980); BLASCHKE, (1981); LANG, (1981) und Schütt et al., (1983) den Naßkern der Tanne mit Wurzelverletzungen in Verbindung und erwähnten braune Flecken im Naßkern.

Wurzelverletzungen und braune Flecke im Naßkern scheinen aber nicht immer unmittelbar mit der Walderkrankung zusammenzuhängen. So hatten z.B. in Besenfeld die stark geschädigten Tannen 1, 3 und 41 nachweislich keine solchen braunen Flecken, und nachweislich keine Wurzelverletzungen und keine Hallimasch-Infektionen.

Zwei weitere Aspekte zum Naßkern brachten SCHUCK et al. (1980) und SCHÜTT et al. (1983) in die Diskussion ein, nämlich das Ausmaß des Naßkerns und das sog. "Ausufer des Naßkerns". Bei beiden Merkmalen wurde vermutet, daß sie mit der Walderkrankung in Zusammenhang stehen könnten. Auch dazu einige Anmerkungen: Ist die Krone klein, so ist nach eigenen Beobachtungen auch die Splintfläche klein und damit der Naßkern vergleichsweise groß (Kapitel XIV/2 und weitere unveröffentlichte Diagramme). Mitherrschende Tannen haben nun eine vergleichsweise kleine Krone. Andererseits werden gerade sie bevorzugt stark geschädigt (Kapitel IV, V, IX u. XIV; OLBERG und RÖHRIG, 1955; MEYER, 1957).

Die entscheidende Frage ist nun: Ist der Splint auf Grund der Walderkrankung oder auf Grund eines vorangegangenen Lichtmangels so klein? Beide, Lichtmangel und Walderkrankung, verringern die Nadelmasse der Krone. Ohne eine Differentialdiagnose zwischen mitherrschenden Tannen, die aber gesund sind, und walderkranken Tannen kann diese Frage nicht beantwortet werden.

Ein "ausufernder Naßkern" folgt nicht exakt dem Verlauf der Jahrringe. Dennoch ist nach den eigenen Beobachtungen diese unregelmäßige Form des Naßkerns ein regulärer Vorgang: Sie hängt eng mit den Wurzelanläufen, den Astansätzen alter Quirläste und aufsteigenden Wurzelinfektionen zusammen. Ist darüber hinaus die Splintfläche noch besonders klein, verursacht z.B. durch eine kleine Krone, so fällt dieses "Ausufer" besonders auf. Ob über diese genannten Ursachen hinaus aber noch weitere Faktoren in Frage kommen, muß hier unbeantwortet bleiben. Letztendlich ist damit die Frage nach der Bedeutung des Naßkerns bei der Walderkrankung noch ungeklärt: Verkleinert die Walderkrankung tatsächlich die Splintfläche - oder nicht? Überprüfen ließe sich dies z.B. durch Splintuntersuchungen an Tannen, die man plötzlich freistellt (Kapitel XIII, XIV).

c) Nicht abgesicherte Symptome. Den folgenden Merkmalen ist gemeinsam, daß sie im Zusammenhang mit den sog. "neuartigen Waldschäden" erwähnt wurden. Nach meinem Informationsstand konnte bislang kein direkter Zusammenhang zu den starken Kronenschäden der Tanne abgesichert werden.

- Schleimzellen in der sekundären Rinde (FINK und BRAUN, 1978);
- Wurzelmykosen (COURTOIS, 1983);
- verstopfte Tracheiden des Spätholzes, veränderte Tüpfel und veränderte Feinstrukturen der Zellwände des Stammholzes (FRENZEL, 1983).

d) Stellungnahme. Nach dem Abwägen der Beiträge anderer Autoren und den eigenen Untersuchungen hat eine stark geschädigte Tanne ein symptomatologisch einheitliches Erkrankungsbild. Die starken Schäden, die mit den Begriffen "Tannensterben", "neuartige Waldschäden der Tanne" oder "Walderkrankung" beschrieben wurden, sind nach den bisherigen Vergleichen alle identisch. Tannen mit mittleren und geringen Schäden lassen sich durch die Astsymptomatologie auf ein einheitliches Erkrankungsbild reduzieren (Kapitel XII, XVI).

D/3. Verlauf und Dauer der Walderkrankung und der Absterbevorgänge.

In der forstlichen Fachliteratur findet man fast keine Angaben über den zeitlichen Verlauf des Kümmerens und Absterbens der Tannen, weder beim neuartigen Waldsterben noch beim früheren Tannensterben. Dies ist sehr merkwürdig. Denn schließlich waren sehr viele Menschen über die "sterbenden Wälder" in Süddeutschland beunruhigt. Außerdem könnte man aus dem Verlauf des Absterbens erkennen, ob es sich um eine akute oder eine chronische Erkrankung handelt. Vielleicht ließe sich auch eine Letalitätssrate errechnen?

a) Verschiedene Ansätze bei der Beurteilung. Eine Schwierigkeit liegt nach Ansicht des Autors darin begründet, daß bei der Beurteilung des Krankheitsverlaufs wahlweise das Stammwachstum oder das Erscheinungsbild der Krone herangezogen wurde. Doch beide Beurteilungskriterien stimmen nicht immer miteinander überein. Zwar stimmen das Erscheinungsbild der Krone und das Stammwachstum bei den starken Schäden der Walderkrankung einigermaßen gut überein (Kapitel II); doch bei mittleren und geringen Schäden kann man aus dem prozentualen Nadelverlust nicht auf das aktuelle Stammwachstum schließen (Kapitel II und III).

So schloß WIEDEMANN (1927) vermutlich aus dem Kronenbild, daß stark geschädigte Tannen bald absterben würden. Andererseits verwies er durch Jahrringuntersuchungen auf Beispiele, in denen sich Tannen nach 40 Jahren wieder erholt hatten. Ebenfalls aus dem Stammwachstum leitete WIEDEMANN (1927) ab, daß leicht geschädigte Tannen sich schon bald wieder erholen. Wie das Kronenbild sich dabei entwickelte, beschrieb WIEDEMANN nicht. Ähnlich wurden auch später solche Beurteilung gehandhabt.

b) Literaturangaben zum Absterben der Tannen. WIEDEMANN, der 1927 das "Tannensterben" gründlich untersucht hatte und es eher pessimistisch als optimistisch beurteilte, sah nur die stark geschädigten Tannen in ihrer Existenz bedroht. 30 Jahre später untersuchte MEYER (1957) ebenfalls am Nordrand des Tannenareals (Nord- und Mitteldeutschland) gesunde und vom "Tannensterben" betroffene Bäume. Im Rückblick beurteilte er das "Tannensterben" und den Disput darüber wesentlich gelassener, ebenso ZEHNTGRAF (1949), OLBERG und RÖHRIG (1955) und LEIBUNDGUT (1974).

Faßt man die Literatur über das frühere "Tannensterben" zusammen, so läßt sich über den Verlauf sagen: Das frühere "Tannensterben" verringerte unterschiedlich stark und unterschiedlich lange das Stammwachstum. Es ist zu vermuten, daß ein Teil der stark geschädigten Tannen abgestorben ist. In der forstlichen Literatur fehlen aber Angaben über Letalitätsraten.

Als Ende der 70er Jahre Tannen auch in Plenterwäldern betroffen wurden und Luftschadstoffe als Ursache in den Verdacht gerieten, begann man sich von den Vorstellungen des früheren "Tannensterbens" zu lösen. Die Symptome wurden als "neuartige Waldschäden" bezeichnet. Vor dem Hintergrund, daß Luftschadstoffe diese Schäden verursachen könnten, wurden die "neuartigen Waldschäden" zunächst als existenzbedrohend für alle Tannen angesehen.

Meist ging man bei der Beurteilung der Überlebenschancen vom Erscheinungsbild der Krone aus. Das beeindruckende Bild einer stark geschädigten Tanne wurde fast immer als "kurz vor dem Absterben" eingestuft. Zu Beginn der neuartigen Waldschäden vermutete WACHTER im Jahre 1977 einen Zeitraum von 3-5 Jahren für das Absterben ganzer Tannen. SCHWEINGRUBER et al. (1983) orientierten sich am Stammwachstum und nannten bei einigen Tannen einen Zeitraum von 10-20 Jahren bis sie absterben. Ebenfalls vom Stammwachstum ausgehend, verwiesen im Jahre 1986 SCHMID-HAAS et al. und FRENZEL et al. (1987) jedoch darauf, daß sich geschwächte oder geschädigte Tannen auch erholen können. Insgesamt findet man in der Literatur aber nur wenige konkrete Angaben über den Entwicklungsverlauf einer geschädigten Tanne.

c) Eignen sich die bisherigen Kriterien, um die Dynamik der Schadensentwicklungen zu beurteilen? An dem fatalen Bild, daß alle Tannen gleichermaßen betroffen sind und wahrscheinlich früher oder später vorzeitig absterben, orientierten sich auch jene Methoden, mit denen man quantitativ die Schäden zu erfassen hoffte. Bei der jährlichen Waldschadensinventur orientierte man sich am Kronenbild, ähnlich wie es MEYER getan hatte (1957). Zusätzlich verfeinerte und standardisierte man diese Methode. Damit war ein einfaches, praktisches Verfahren geschaffen worden, mit dem im Gelände viele Tannen rasch beurteilt werden konnten. Auf diesem Wege erhoffte man sich, im Laufe der Jahre die Schadensentwicklung der Waldbestände objektivieren und quantifizieren zu können.

Mit einem anderen Verfahren versuchte man außerdem die Entwicklung der Wachstumsleistung der Waldbestände zu dokumentieren. Bei diesen ertragskundlichen Untersuchungen konnte aber aus methodischen Gründen immer nur von vorherrschenden Bäumen ausgegangen werden.

Durch beide Forschungsansätze entstand nun ein merkwürdiges Bild der Walderkrankung:

(1) In Bezug auf den Holzertrag wachsen die Tannenbestände in Süddeutschland so gut wie schon immer oder sogar noch besser (GERECKE 1988, BECKER et al. 1990). Vergleichbares wird auch aus den Vogesen berichtet (BECKER et al. 1988; bei Fichten: KENK, 1991).

(2) Unter dem Gesichtspunkt der Kronenschäden sind die Tannen aber schon ein Jahrzehnt fast unverändert geschädigt bzw. nach der Waldschadensinventur von 1993 sogar deutlich erholt. (ANONYMUS, 1983, 1985, 1987, 1989, 1991, 1993).

In der öffentlichen Diskussion wurden gerade die unter (2) aufgeführten Ergebnisse so interpretiert, als ginge das Waldsterben auf hohem Niveau unverändert weiter. Hierbei wurden allerdings auch die anderen Baumarten miteinbezogen, was sicher hinsichtlich der Suche nach Ursachen der Erkrankung bestimmter Nadelholzarten nicht zulässig ist.

Bemerkenswert ist, daß keine der unter (1) und (2) genannten Aussagen falsch ist, falls man sie nur auf die untersuchte Fragestellung bezieht und ihre Reichweite genau eingrenzt. Da sich im Durchschnitt das Kronenbild der Tanne über die Jahre hinweg aber nicht wesentlich geändert hat, kann man aus diesen Untersuchungen nichts über den Verlauf der neuartigen Waldschäden am einzelnen Baum ableiten.

Eine weitere Schwierigkeit wurde in den Kapiteln III-V deutlich. Von der Walderkrankung sind mitherrschende Bäume bevorzugt betroffen. Nun kann genau diese soziologische Baumklasse nicht für ertragskundliche Zwecke herangezogen werden. Im Rückblick zeigt sich, daß man aus methodischen Gründen gerade die Entwicklung der einzelnen, stark geschädigten Tannen zunächst weitgehend ausgeschlossen hat.

Bei vielen forstlichen Untersuchungen standen zu dieser Zeit hauptsächlich Fragen zur Entwicklung der Waldbestände im Vordergrund, nicht aber die Entwicklung des einzelnen Baumes. Die Fragen nach dem Schicksal der einzelnen Tanne, nach dem Unterschied zwischen einer gesunden und einer geschädigten Tanne, nach dem Verlauf der Schädigung, nach der Letalitätsrate gerieten damit weitgehend aus dem Blickfeld.

d) Eigene Beobachtungen und Untersuchungen. Der Autor der vorliegenden Arbeit hat während der letzten 12 Jahre nachweislich nur zwei stark geschädigte Tannen beobachtet, die tatsächlich mit den Symptomen der Walderkrankung abgestorben sind (SK Ta 37, HW Ta 7). Bei zwei weiteren geschädigten Tannen waren vermutlich noch Parasiten am Absterben beteiligt (Standort Königswart/ Klosterreichenbach und bei Besenfeld). Bei einigen anderen Tannen starben zwar auch noch die oberen Quirläste und die Baumspitze ab, doch überlebten die Klebäste. Zwei dieser Tannen entwickelte aus den Klebästen eine neue Kronenspitze (SK Ta39, GWB Ta41).

Die Letalitätsrate ist nach Ansicht des Autors relativ gering. Schon früher ist anhand eines umfangreichen Materials auf die hohe Regenerationskraft mindestens der Tannen des Nordschwarzwaldes verwiesen worden (FRENZEL, et al. 1987). Dabei ist auch zu berücksichtigen, daß stark geschädigte Tannen von ihrer Konstitution her selten zur Klasse der "Z-Bäume" eines Bestandes zählen. Ursache dafür ist jedoch

nicht die Walderkrankung (Kapitel V, XV). Weiterhin sind folgende Trends zu erkennen:

- Das Erscheinungsbild einer Tannenkronen verändert sich im Allgemeinen nur langsam, sowohl hin zu mehr als auch zu weniger Nadelmasse (z.B. Kapitel XV).
- Auch wenn eine Tannenkronen bereits stark geschädigt ist, verändert sich ihr Erscheinungsbild über Jahre hinweg i.d.R. nicht oder nur wenig (Dauerbeobachtungen Tannenkronen Klosterreichenbach; LINER et al., in Vorbereitung).
- Andererseits muß nicht jedes Bild einer schwach oder mittelstark geschädigten Tannenkronen die Symptome der Walderkrankung aufweisen (Kapitel XII/1, XV).
- Ist eine Tanne walderkrankt, so erholt sich das Stammwachstum meist rascher als das Kronenbild (z.B. RW Ta2, KW Ta7). Dies hat mehrere Ursachen: Für den Beobachter ergibt sich die subjektive Schwierigkeit, daß er in einem Bestand nur dann eine Tannenkronen erkennen kann, wenn sie an einer Verlichtung oder neben einem Weg steht. Weiterhin beeinflussen die Durchblicksmöglichkeiten und der Hintergrund wesentlich das Erscheinungsbild einer Tanne.

Es kommt hinzu, daß Lücken in der Kronen, die durch Lichtmangel entstanden waren, durch Astreiser nur langsam geschlossen werden. Und kahle Astspitzen langer Quirläste (d.h. abgestorbene Primärtriebe) werden erst spät von Astreisern überwachsen.

- Treten Wuchsstockungen im Stamm auf, so können sie unterschiedlich stark ausgeprägt sein. Sie dauern meist zwischen 3 und 15 Jahren (Kapitel III), in Einzelfällen auch etwa 30 Jahre (z.B. Röt Ta7/5), bevor die Jahrringe wieder etwas breiter werden. Dabei muß anschließend das Kronenbild nicht unbedingt gut aussehen.

- Ist die Tanne noch nicht sehr hoch, so kann sie im Laufe der Jahre oben eine gut ausgeformte Kronen entwickeln (z.B. Röt Ta7/5; SOMMER, 1961).

e) Stellungnahme. Im Nordschwarzwald, einem Hauptschadensgebiet des sog. "Waldsterbens", sterben die walderkrankten Tannen nur ausnahmsweise ab.

D/4. Zur Unterscheidung zwischen gesund und walderkrankt.

In Kapitel II wurde deutlich, daß die Symptome der Walderkrankung meist bei Tannen mit über 60% Nadelverlust vorkommen. Sind die Nadelverluste geringer, so ist die Zuordnung, ob eine Tanne walderkrankt ist oder nicht, weniger eindeutig. Die Waldschadensinventur mußte sich nicht explizit auf eine Grenze zwischen gesund und walderkrankt festlegen. Denn der prozentuale Nadelverlust beschreibt nur das Erscheinungsbild einer Tannenkronen, zunächst ohne irgendeine Wertung. Es ist ein Kontinuum von ungeschädigten Bäumen, über Tannen mit geringen, mittleren, bis hin zu starken Schäden.

SCHMID-HAAS et al. orientierten sich 1986 an geschwächten Tannen und zogen auf Grund von Zuwachsuntersuchungen eine Grenze zwischen gesund und krank bei etwa 10% Nadelverlust. In diesem Falle wurde aber eine Beeinflussung der geschwächten Tannen durch einen vorangegangenen Lichtmangel nicht ausgeschaltet.

Stellungnahme. Aus den morphologischen Untersuchungen der vorliegenden Arbeit ergibt sich das Bild, daß die Walderkrankung nur ein Sonderfall jener Vorgänge ist, mit denen sich eine Tanne an günstigere Wuchsraumbedingungen anpaßt. Dies ist ein dynamischer Prozeß. Um in der Praxis diese Trennung zwischen gesund und walderkrankt evtl. genauer zu fassen, könnte aus der morphologisch begründeten Symptomatologie folgende Abgrenzung getroffen werden:

1. Eine Tanne ist dann als walderkrankt zu bezeichnen, wenn ihre Krone mehr als 60% Nadelverlust hat und auch die übrigen Symptome aufweist (abgeflachte Krone, im Stamm plötzlich schmalere Jahrringe und sog. "Kümmeräste" mit nur wenigen Nadeljährgängen).

2. Ist eine Tanne besser benadelt, so ist doch noch eine Orientierung an den Ästen möglich.

a) Der einzelne Tannenast kann dann als walderkrankt bezeichnet werden, wenn seine Nadeln trotz genügend Licht abgefallen sind. Diesen vorzeitigen Nadelverlusten geht immer eine Wuchsstockung am selben Ast voraus (Kapitel XII). Erkennt man am Ast keine "zonierte Nadelverluste", so ist bei der Beurteilung anderweitig sicherzustellen, daß die Nadeln nicht auf Grund von Lichtmangel abgefallen sind.

b) Der einzelne Tannenast kann dann als gefährdet bezeichnet werden, wenn er plötzliche Wuchsstockungen aufweist. In vielen Fällen beginnen nach etwa 3-6 Jahren seine Nadeln abzufallen (Kapitel XII).

3. Eine Tanne kann dann als gesund bezeichnet werden, wenn ihr Stamm in den letzten Jahren gleichmäßig wuchs und die Äste weder plötzliche Wuchsstockungen noch vorzeitige Nadelverluste zeigen.

4. Nicht eindeutig einzuordnen sind Tannen, die gerade ihre Krone umstrukturieren (erkennbar z.B. an jungen Astreisern), deren Äste aber keine vorzeitige Nadelverluste aufweisen (sog. gefährdete Äste).

D/5. Vermutete Ursachen.

Für die starken Tannenschäden gab es in diesem Jahrhundert schon viele Vermutungen und Überzeugungen. Jedoch gelang noch kein ringsum abgesicherter Nachweis, weder für die Ursachen des früheren Tannensterbens noch für die neuartigen Waldschäden. Doch lassen sich bis heute einige Vermutungen als primäre Auslöser für die starken Tannenschäden ausschließen.

a) Pilze und Insekten. Bei dieser Frage sei zunächst die Tannentrieblaus -*Dreyfusia nüsslini* - nicht berücksichtigt (siehe unten). NEGER (1908), SCHEIDTER (1919), WIEDEMANN (1927), WACHTER (1977), FINK und BRAUN (1978), COURTOIS (1983), EICHHORN (1985) und HAUG (1989) suchten an geschädigten Tannen gezielt nach biotischen Erregern, fanden sie dort aber nur vereinzelt. Da diese Parasiten i.d.R. andere Schadbilder hervorrufen als das einer typisch walderkrankten Tanne (REISCH, 1974; BRAUN, 1976; BUTIN, 1983; SCHWERTFEGGER, 1984), kann man sie als primäre Ursache für die Walderkrankung ausschließen.

b) Ebenso sind **Vernässungen im Boden, Dürre und Frosttrocknis** nicht als primäre Ursachen für die Walderkrankung anzusehen. Dies läßt sich im Einzelfall überprüfen, vgl. z.B. REISCH (1974), SCHWERTFEGER (1981) und HARTMANN, NIENHAUS, BUTIN (1988).

c) Auch die **Bodenqualität** ist nicht primäre Ursache der Walderkrankung. Geschädigte Tannen sind an keinen besonderen geologischen Untergrund oder Bodentyp gebunden (vgl. Teil B, "Material und Methoden", Fällungsprogramm Baden-Württemberg, 1984/85; und REITER et al. 1983). Allenfalls die Bodentiefe und der Wasserhaushalt des Bodens können die Walderkrankung fördern, vgl. unten, D/7.; NEGER (1908); EBERDT (1930); Zitatensammlung im Anhang.

d) **Klassische Rauchschäden** zeigen andere Schadbilder als die der neuartigen Waldschäden, wobei zusätzlich die äußeren Bedingungen spürbar verändert sind (z.B. NÖRDLINGER, 1884; EICKE, 1914; NEGER, 1919; HESS-BECK, 1930; WENTZEL, 1958a, 1958b; KARLÉN, 1958; HARTMANN, NIENHAUS, BUTIN, 1988).

Beim früheren Tannensterben schlossen NEGER (1908) und WIEDEMANN (1927) durch Standortvergleiche aus, daß das Tannensterben durch Rauch verursacht sein könnte (vgl. Zitatensammlung im Anhang).

e) **Luftschadstoffe.** Zu Beginn der 80er Jahre wurde der sog. "saure Regen", insbesondere das Schwefeldioxid, als Ursache für das "neuartige Waldsterben" vermutet. Dann gerieten die Stickoxide bzw. das Ozon in den Verdacht, für die geschädigten Tannen verantwortlich zu sein (ULRICH, 1981; MOOR, 1983; SCHÖPFER, 1984). Zahlreiche Forscher bemühten sich intensiv um den Nachweis dieser Gefahrenquellen. Doch konnte bislang weder physiologisch noch morphologisch nachgewiesen werden, daß die aktuellen Konzentrationen an Luftschadstoffen in den Wäldern Süddeutschlands zum typischen Schadbild einer stark geschädigten, walderkrankten Tanne führen oder sehr wesentlich daran beteiligt sein könnten. Stellvertretend für die vielen physiologischen Untersuchungen an der Tanne seien folgende Autoren genannt: SEIFERT (1988), SCHWEIZER und ARNDT (1993) und KOCH (1993a; 1993b).

Andererseits steht man unüberwindbaren Problemen gegenüber, wenn man folgende Zusammenhänge mit Luftschadstoffen erklären soll:

- Warum werden im Nordschwarzwald, einem Hauptschadensgebiet der sog. "neuartigen Waldschäden der Tanne", im Allgemeinen die geringsten Konzentrationen von Stickoxiden bzw. Schwefeldioxid in Baden-Württemberg gemessen? (Immissionskarte von Baden-Württemberg; KÜNSTLE et al., 1981; BAUMBACH et al., 1987; HOCHSTEIN und HILDEBRAND, 1992) ?

- Der Schadstoff Ozon wurde im Schwarzwald schon vor vielen Jahrzehnten nachgewiesen (PAULUS, 1860, Beschreibung des Oberamts Calw; ANONYMUS, 1898). Sind die Ozonwerte heute tatsächlich höher als früher? Schädigen die vorhandenen Ozonkonzentrationen tatsächlich im Inneren der Tannennadeln (GROSS und WAGNER, 1992)?

- Warum gibt es in den Hochlagen des Schwarzwalds stark geschädigte Tannen, obwohl sich an denselben Bäumen schadstoff-sensitive Flechten nachweisen lassen (GLIEMEROTH, 1990) ?

- Warum kümmert bei einer Tanne die Primärbenadelung im mittleren und unteren Teil einer Krone und warum fallen diese Nadeln dort ab, während die oberen Teile derselben Tanne gut wachsen (z.B. Kapitel XI)?

- Warum kommen an einem Waldstandort gesunde und walderkrankte Tannen nebeneinander vor? Trotz unterschiedlicher Konstitution müßten Luftschadstoffe alle Nadeln gleichermaßen schädigen. Diese Zellgifte müßten die Wuchsleistung aller Tannen gleichermaßen drosseln. Doch das ist nicht der Fall. So wies GERECKE (1988) nach, daß vorherrschende, gut bekronte Tannen unverändert gut wachsen, Zuwachsschwankungen und längerfristige Zuwachsdepressionen sich aber auf einen ungünstigen Witterungsverlauf und waldbauliche Behandlung zurückführen lassen. Vergleichbares bestätigten BECKER, et al. (1988) und (1990) für die Vogesen und das Dreiländereck Frankreich-Schweiz-Deutschland. Damit ist bislang noch kein Zusammenhang zwischen Luftschadstoffen und den stark geschädigten Tannen erkennbar.

f) Virusähnliche Partikel. FINK und BRAUN (1978) und FRENZEL (1985) vermuteten auf Grund von verschiedenen Wuchsanomalien stark geschädigter Tannen, daß diese Veränderungen der "neuartigen Waldschäden" sich auf eine Infektion von Mycoplasmen oder Viren zurückführen lassen könnten (z.B. COOPER, 1979).

In Kenntnis des Stoffwechsels und der Steuerungsmechanismen bei Pflanzen wurde versucht, eine Vielzahl jener Phänome zu integrieren, die im Zusammenhang mit dem "Waldsterben" erwähnt wurden. Im Vergleich zu dem Für und Wider beim früheren Tannensterben war dies eine der wenigen, prinzipiell neuen Modellvorstellungen. Auf Grund gezielten Suchens wurden einige neue Fakten bekannt: In Tannen ließen sich virusähnliche Partikel nachweisen (FRENZEL et al. 1987; FLACHMANN, 1992). Allerdings konnte kein Zusammenhang zwischen dem aktuellen Schädigungsgrad der einzelnen Tannenkronen und dem Vorhandensein von virusähnlichen Partikeln nachgewiesen werden (Flachmann, 1992). Wenn bis heute dieser Nachweis bei der Tanne noch nicht gelungen ist, so sollte dennoch bedacht werden, daß solche vermuteten Virusinfektionen bei dem Waldbaum Buche nachgewiesen wurden (QUADT, 1994). Weiterhin blieb bislang unbeantwortet, warum die Kronenschäden an den Tannen sich anscheinend von Osteuropa nach Westen ausgebreitet haben (FRENZEL, 1985).

Bei den Untersuchungen zu der vorliegenden Arbeit wurde zunächst das Symptom der "zonierten Nadelverluste" (Kapitel XII) ebenfalls als Hinweis auf eine mögliche Virusinfektion gewertet, da auch gutwüchsige Zweige von diesen pathologischen Nadelveränderungen betroffen waren. Doch ließ sich dieses spezifische Symptom durch die Astsymptomatologie und durch den Extremfall der Freistellung auf klein-klimatische Änderungen zurückführen (Kapitel XII, XIII).

g) Tannenschäden durch ein verändertes Kleinklima. In der Zusammenfassung von Kapitel I wurde bereits das Ergebnis dieser symptomatologischen Arbeit vorgestellt: Die Schadsymptome einer walderkrankten Tanne lassen sich nach den bisherigen Erkenntnissen auf einen natürlichen Umstrukturierungsprozeß zurückführen. Wird der Wuchsraum einer Tanne mit Durchforstungen erweitert, paßt sich die Tannenkrone mit ihren neuen Astreisern und Klebästen diesem größeren Lichtangebot an. In Extremfällen - bei schlechter "Konstitution" und großem klimatischen Wechsel am Baum - treten an der Primärbenadelung Wuchsstockungen und evtl. vorzeitige Nadelverluste auf. In ungünstigen Fällen können zusätzlich das Höhen- und das Dickenwachstum des Stamms beeinträchtigt sein und die Wurzeln von Ringausfällen betroffen werden. In der Regel erholen sich Krone, Stamm und Wurzel von diesen Beeinträchtigungen. Da nur eine beschränkte Anzahl von Tannen sehr differenziert untersucht werden konnte, wurden ein Kriterienkatalog und ein einfaches Prüfverfahren zusammengestellt. Erst solche Überprüfungen können die erarbeiteten Vorstellungen bestätigen, relativieren oder zu Fall bringen.

Seitens der Fachliteratur wird im Folgenden auf die beiden Grundlagen dieser Vorstellungen eingegangen, nämlich die "Konstitution" und den Wasserhaushalt einer Tanne.

D/6. Zur Bedeutung der Konstitution einer Tanne.

a) Kurze Kronen. In der vorliegenden Arbeit zeichnete sich folgender Trend ab: Stark geschädigte Tannen haben häufig eine kurze Krone. Tannen mit einer langen Krone sind dagegen seltener und dann nur schwächer geschädigt (z.B. Kapitel IV und V). Den gleichen Zusammenhang erwähnten auch NEGER (1908), SCHEIDTER (1919), WIEDEMANN (1927), GRASER (1931), OLBERG und RÖHRIG (1955), DANNECKER (1955), MEYER (1957), LEIBUNDGUT (1974), SCHUCH et al. (1980), SCHÜTT et al. (1983) und SCHWEINGRUBER et al. (1986). Diese Regelmäßigkeit wurde jedoch sehr unterschiedlich interpretiert.

These I: Daß die Tannenkronen kurz sind, wird auf einen zu starken Konkurrenzdruck (Lichtmangel) zurückgeführt. Diese soziologische Gruppe mitherrschender Tannen stellt später auch jene Gruppe, die vom sog. "Tannensterben" betroffen sind. Solche Auffassungen vertraten SCHEIDTER (1919), GRASER (1931), DANNECKER (1955), OLBERG und RÖHRIG (1955) und MEYER (1957); vgl. Zitatensammlung im Anhang.

Mit Ausnahme von DANNECKER haben sich alle diese Autoren am Zustand jener Tannen und speziell an jenen waldbaulichen Situationen orientiert, die in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts in den Mittelgebirgen von Franken, Thüringen und Sachsen vorlagen (vgl. z.B. unten). Diese Forstleute kamen alle zu dem einhelligen Schluß: Im mehrstufigen Plenterwald gedeiht die Tanne gut, im einschichtigen Altersklassenwald gedeiht sie schlecht. Daher ist das Tannensterben hauptsächlich eine Sache des Waldbaus. Aus ihrer praxisorientierten Sichtweise war die wichtigste Frage: Wie hatte sich die Tanne in der Vergangenheit entwickelt? Wie sind die Ausmaße von Krone, Stamm und Wurzel, oder anders ausgedrückt: Wie gut ist die Konstitution einer Tanne? Der eigentliche Krankheitsverlauf wurde von diesen Autoren weitgehend ausgeklammert.

These II: Die neuartigen Waldschäden verkürzen die Kronenlänge. Das heißt, die kurzen Kronen der Tanne werden nicht als Folge von Lichtmangel gewertet, sondern als Folge der Tannenschäden. Ausgangspunkt ist die Beschreibung der starken Schäden an der Tanne: Der Nadelverlust erfolgt von unten nach oben (z.B. WIEDEMANN, 1927; WACHTER, 1977). In dieser Weise interpretierten z.B. SCHUCK et al. (1980), SCHÜTT et al. (1983) und SCHWEINGRUBER (1986) die kurzen Kronen der geschädigten Tannen. Zu dieser Zeit wurde die Frage nach der vorangegangenen Entwicklung, nach Wuchsraumgröße und Konstitution noch weitgehend ausgeklammert.

Beide Thesen sind für sich genommen plausibel. Doch um bei diesem Gegensatz (und den jeweils ausgeklammerten Themen) weiter zu kommen, ist eine Differenzialdiagnose erforderlich, die zwischen Lichtmangel und neuartigen Waldschäden, bzw. dem Tannensterben unterscheidet. Dies machte z.B. MEYER (1957), indem er den h/d-Wert des Stamms in die Überlegungen einbezog. Doch konnten nicht alle Zweifel ausgeräumt werden. Ungeklärt blieb, wie schnell sich der h/d-Wert einer walderkrankten Tanne ändert und wie lange diese Schädigungen dauern.

b) Unterscheidung zwischen Lichtmangel und Walderkrankung. In der vorliegenden Arbeit wurden nun verschiedene Wege beschritten, um zwischen den Einflüssen von Lichtmangel und Walderkrankung zu unterscheiden. Dazu eignen sich

- die Entwicklung der h/d-Werte (Kapitel V),
- die langfristige Entwicklung der Jahrringbreiten (Kapitel III),
- das Lokalisieren von Nadelverlusten in den Tannenkronen auf Grund von langfristigen fotografischen Vergleichen (LINER et al. -in Vorbereitung)
- die Unterscheidung von Primär- und Folgebenaadelung (Kapitel IX, X) und
- die Astsymptomatologie (Kapitel XII).

Dabei stellte sich heraus, daß durch die Walderkrankung nicht die Krone verkürzt wird. Denn von den vorzeitigen Nadelverlusten sind meist nur die Primärtriebe der Quirläste, nicht die Folgetriebe betroffen (Kapitel IX/ 9-13; XI/2).

c) Schlußfolgerungen. Dies erlaubt weitreichende Schlußfolgerungen. Wenn es mit waldbaulichen Methoden gelingt, herrschende und vorherrschende Tannen heranzuziehen, so besteht die Hoffnung, daß später diese Tannen nicht so stark geschädigt werden. Diese Erkenntnis ist unabhängig von der Diskussion über den Auslöser der Walderkrankung.

Da mit der Walderkrankung nur eine zeitlich begrenzte Wuchsstockung verbunden ist (Kapitel III), ist weiterhin offen, ob die Ertragslage eines Waldbestandes sich durch die Walderkrankung spürbar verringert. Denn von der Walderkrankung werden hauptsächlich die schwächeren Stämme erfaßt (Kapitel IV u.V).

d) Forstgeschichtliche Entwicklungen. Die mitgeteilten Befunde erfordern eine knappe Untersuchung der Forstgeschichte und der Begriffe Plenterwald und Altersklassenwald. Hinter den Begriffen Plenter- und Altersklassenwald verbargen sich in der 1.Hälfte des 20.Jahrhunderts nicht nur zwei unterschiedliche Auffassungen des Waldbaus. Der mehrstufige Plenterwald war als bauerlicher und herrschaftlicher

Privatwald (z.B. in Franken) die traditionelle Ressource für Holzflösserei und Nutzholzwirtschaft. Starke Tannenstämme, gewonnen aus Naturverjüngung, waren das altbewährte Bewirtschaftungsziel. Dagegen wurde in Thüringen und Sachsen der einstufige Altersklassenwald (Staatswald) favorisiert. Er war das Musterbeispiel für eine intensive, planmäßige Forstwirtschaft. Seit dem 16. Jahrhundert war in Thüringen und Sachsen, "der Wiege der Forstwirtschaft", die Fichte planmäßig angebaut worden, da dort Holzmangel immer wieder die Erzverhüttung einschränkte. Dies hatte Ende des 18. Jahrhunderts zum Aufbau einer staatlichen Forstverwaltung, zu Bewirtschaftungsregeln und zu Forstgesetzen geführt. Etwa ab 1820 wurden diese Forstgesetze von allen deutschen Ländern übernommen. Sie hatten rigide Eingriffe in die bäuerlichen Nutzungsformen und Nutzungsrechte zur Folge. Zusammen mit den Jagdgesetzen hatten die Forstgesetze im 19. Jahrhundert z.T. zu enormen innenpolitischen Spannungen zwischen bäuerlichen und herrschaftlichen bzw. staatlichen Interessen geführt.

Berücksichtigt man die Forstgeschichte, ihre Beziehung zum Bauerntum, die Besitzverhältnisse und verschiedenartige Nutzungsrechte, die Jagd- und Forstgesetze, so standen sich vermutlich zu keiner anderen Zeit zwei waldbauliche Situationen so klar und abgrenzend gegenüber, wie in dieser Gegend zur Zeit des 1. Tannensterbens. Literatur zu diesem umfangreichen Thema: SCHMIDLIN (1822), REYSCHER (1828), ANONYMUS (1840), PFEIL (1842), GREBE (1857), GERWIG (1868), NÖRDLINGER (1871), SCHAAL (1873, 1898), SCHUBERT (1888), CARL (1893), KAUTSCH (1898), JACOBI (1912), WITZGALL (1928, 1929), DANNECKER (1929), GRASER (1931), BURGER (1942, 1952), LEIBUNDGUT (1945), WÖSSNER (1952), MANTEL (1958, 1965, 1979), HOLZAPFL (1960), RUBNER (1960), VEH (1961), SOMMER (1961), HASEL (1967), VOLK (1969), HAUSBURG (1967), BLANCKMEISTER UND HENGST (1971), RODENWALDT (1977), MAYER (1979), KEWELOH (1985), BOELKE (1987), SCHEIFFELE (1988), LORENZ (1992) u.a.

Setzt man sich aus den zahlreichen Berichten ein Bild über die Lichtverhältnisse jener Bestände zusammen, so deutet alles darauf hin, daß die Tannen in jenen Altersklassenwäldern durch Lichtmangel enorm beeinträchtigt waren. Man kann daher davon ausgehen, daß die Konstitution der Tannen damals sehr unterschiedlich war, so daß sich die Aussage stark vereinfachen ließe: Die Plenterwaldtanne ist gleichzusetzen mit der gesunden, herrschenden Tanne. Die Tanne des Altersklassenwaldes ist aber gleichzusetzen mit einer durch Lichtmangel geschwächten Tanne. Es gilt jedoch auch: Jedes Bewirtschaftungssystem war mit seiner favorisierten Baumart und Wirtschaftsweise erfolgreich.

Daß die Tanne gegenüber der Fichte damals besonders geschwächt wurde, liegt vermutlich u.a. auch in der Architektur der Kronen begründet. MEYER (1957) erkannte dies: Bei gleichem Wuchsraum hat die Tanne im Bestand eine kürzere Krone als die Fichte. Weiterhin haben GRASER (1931), OLBERG u. RÖHRIG (1955) und MEYER (1957) durch Beobachtungen bzw. Messungen herausgefunden, daß eine Tannenkronen nur dann anfällig und gefährdet ist, wenn sie kürzer ist als ein Drittel der Baumlänge, vgl. z.B. Kapitel IV.

Oder anders ausgedrückt: Eine ältere Fichte hat eine schlankere Krone als eine Tanne. Wenn eine Tannenkronen ebenso lang sein soll wie eine Fichtenkronen, so braucht die Tanne dazu mehr Wuchsraum.

Dies läßt sich auch durch Baumfotografien überprüfen. Hierbei vermißt man die Länge und den Radius der Kronen und setzt sie zueinander in Beziehung. Der Quotient Kronenradius zu Kronenlänge liegt bei einer älteren Fichte etwa zwischen 0,25 und 0,35, bei einer älteren Tanne zwischen 0,5 und 0,65.

Dieser Unterschied, daß die Tanne etwas mehr Wuchsraum beansprucht als die Fichte, führte wahrscheinlich dazu, daß die Tanne seit der Anwendung der Forstgesetze an ihrem nördlichen Arealrand von der Fichte zurückgedrängt wurde. Und es scheint auch dieser kleine Umstand gewesen zu sein, der über 100 Jahre lang in der forstlichen Fachliteratur zu Diskussionen Anlaß gab, wie die Tanne, die "Mimose unter den Waldbäumen", zu bewirtschaften sei (z.B. MITSCHERLICH und WEIHE, 1952; SOMMER, 1961)

Interessant ist, daß NEGER (1908), der als erster das Tannensterben untersuchte, zu diesem Thema auch schon einige wesentliche Gesichtspunkte beisteuerte. Er war der Ansicht, daß der Schattenresistenz der Tanne vermutlich zuviel zugemutet würde und daß Tanne und Fichte zusammen nicht gut gedeihen. Andererseits bilde die Tanne zusammen mit der Buche lange Kronen aus und sei gesund (Zitatensammlung im Anhang.

e) Neuartige Waldschäden. Bei den Tannenschäden in den 70er Jahren stellten z.B. WACHTER (1977) und EVERS et al. (1979) fest, daß sowohl die Tannen des Plenterwalds als auch die des Altersklassenwaldes von den neuartigen Waldschäden betroffen waren. Die Forstverwaltungen schlossen daraus, daß diese Schäden sich daher von dem früheren Tannensterben unterscheiden und waldbauliche Gründe vermutlich nicht als Ursache geltend gemacht werden könnten.

Doch muß man hier bedenken, daß hinter den beiden Begriffen Plenterwald und Altersklassenwald in der Zwischenzeit andere Baumdimensionen zu verstehen sind. Nach dem 2. Weltkrieg war die Tanne in der Forstliteratur stark favorisiert worden (ZEHNTHGRAF, 1949; OFFNER, 1952; DANNECKER, 1955; u.a.). Vorherrschende und herrschende Tannen sind heute ein fester Bestand der Fichten-Altersklassenwälder. Tannen bilden "das Skelett" der Fichtenbestände. Sie erhöhen die mechanische Stabilität gegenüber Sturmschäden. Durch das Einführen von Heizöl und höhere Lohnkosten sank andererseits die Nachfrage nach Brennholz. Es ist zu vermuten, daß die Schwachholznutzung extensiver wurde. Auf Grund eigener Beobachtungen entstand der begründete Verdacht, daß sich damit auch die Konkurrenzsituation zwischen den Bäumen in den (privaten) Plenterwäldern innerhalb weniger Jahrzehnte sehr stark verändert hat. Daher sind nach Ansicht des Autors diese verschiedenen Berichte mit ihren z.T. konträren Aussagen nur vor dem Hintergrund der jeweiligen Nutzungsgeschichte, der aktuellen Konstitution einer Tanne und des Ausmaßes der klein-klimatischen Veränderungen verständlich.

D/7. Wasserhaushalt, Konstitution und Walderkrankung.

a) Zum Kronen-Wurzel-Gleichgewicht. In Kapitel XIV wurde der Wasserhaushalt einer Tanne als begrenzender Faktor bzw. als Auslöser für die Walderkrankung vermutet. Zahlreiche Beobachtungen und etliche morphologische und ökophysiologische Hinweise wiesen in diese Richtung.

Dies war anfangs unerwartet. Denn der Wasserhaushalt einer geschädigten Tanne weist keine sehr extremen Werte auf (KETTNACKER 1986). Auch ist die Tanne eine Pflanzenart, die unter günstigen Bedingungen auch noch in Südeuropas gut gedeiht (MEUSEL et al., 1965; REILLE, 1988; SCHÜTT, 1994; FASSL - in Vorbereitung). Und Tannen können nur gedeihen, wenn die Leistungsfähigkeit der Wurzel ausreicht, um den Wasserbedarf der Krone hinreichend zu decken. Von jenem Gebiet sind aber keine Waldschäden an der Tanne bekannt (MAYER et al., 1985; HORVAT-MAROLT, 1985). Es geht also nicht um die extremen Aspekte des Wasserhaushalts, wie sie beim "Ulmensterben" oder u.U. an Arealgrenzen auftreten, sondern um das Kronen-Wurzel-Gleichgewicht: Ist eine Tanne an neue Bedingungen noch nicht angepaßt, so ist denkbar, daß ein geringer Wassermangel über längere Zeit das Wachstum beeinträchtigen kann (Arbeitshypothese in Kapitel XIV). Durch die Bewirtschaftung ist aber ein Waldbaum kleinklimatischen Wechsels regelmäßig ausgesetzt.

Ein weiterer Gesichtspunkt beim Wasserhaushalt ist, daß eine Tanne ihre Äste anscheinend fein an die aktuelle Umgebung anpaßt, sowohl im Licht- als auch im Wasserhaushalt (z.B. Kapitel VIII u. XIV).

Nach der Interpretation der Ergebnisse in Kapitel XIV läßt sich als Auslöser für die Walderkrankung der Wasserhaushalt eingrenzen. Ob er auch die alleinige Ursache ist, wird damit nicht nachgewiesen.

b) Hinweise aus der Biologie der Tanne. Zum Thema Wasserhaushalt und Walderkrankung bei der Tanne fanden sich in der Literatur nur wenige Angaben. Auch konnte die dargelegte Astsymptomatologie noch nicht mit den Parametern des Wasserhaushalts verglichen werden. Da aber der Wasserhaushalt ein zentraler Punkt bei der Bewertung der Walderkrankung zu sein scheint, wird in dieser Diskussion nun folgender Ansatz versucht: Sowohl die anfälligen Seiten in der Biologie der Tanne, als auch ihre "starken Seiten" werden unter dem Gesichtspunkt des Wasserhaushalts betrachtet. Dabei hat man zwischen den Problemen junger Tannen aus Naturverjüngung und denen der älteren Tannen zu unterscheiden. Im Zusammenhang mit der Walderkrankung interessieren mehr die älteren Bäume.

Nach NEGER (1908), WIEDEMANN (1927), DANNECKER (1955), MEYER (1957), RUBNER (1960) u.a. wird eine ältere Tanne durch Frosttrocknis, Wind, Trockenjahre, gleichaltrige Tannenreinbestände und Kahlschläge beeinträchtigt, ebenso durch die Konkurrenz mit Fichte, wenn auf die Tanne nicht besonders geachtet wird (vgl. oben). Die "starken Seiten" der Tanne sind neben forstlichen Vorzügen wie der Stammform, der Holzqualität und der natürlichen Astreinigung, ihr tiefes Wurzelsystem und die Fähigkeit zur Schattenresistenz, insbesondere unter Altbäumen.

Frost. Normalerweise ist die Tanne außer gegenüber Spätfrösten, nicht anfällig für Frost oder Frosttrocknis. Die Frostempfindlichkeit betreffende Literaturangaben beziehen sich überwiegend auf extreme und seltene Wetterlagen im Winter 1939/40

und 1956, bei denen hauptsächlich Waldränder betroffen worden waren. Hier kamen Wind und Frost zusammen (z.B. GAYLER, 1962). Spezifische Hinweise auf den Wasserhaushalt lassen sich daraus jedoch nicht ableiten.

Wind. DANNECKER (1955) beschrieb die Tanne als windempfindlich. Aus dem Text geht hervor, daß sich diese Aussagen auf Jungwuchs bezogen (dies interessiert hier aber nicht) oder daß ihnen Beobachtungen von Beständen zugrunde lagen, die zuvor aufgelichtet worden waren. Er verglich also den Wechsel von einem windstillen, geschlossenen Bestand zu einem aufgelichteten Bestand mit größerer Luftzirkulation. Ändert sich aber an einer Pflanze die Windgeschwindigkeit, so vergrößert sich die Evaporation, und der Wasserhaushalt wird mehr belastet (HUBER, 1988; LYR et al., 1967; 1992; TRANQUILLINI, 1969; Arbeitshypothese in Kapitel XIV). Die Windanfälligkeit der Tanne könnte daher auf einen unausgeglichene Wasserhaushalt zurückgeführt werden.

Dem steht gegenüber, daß bei angepaßtem Wasserhaushalt eine Tanne sowohl Wind wie auch Sommertrockenheit ertragen kann, ohne dadurch geschädigt zu werden. Denn wie läßt sich sonst erklären, daß die Tanne in den windreichen Gebieten Ostfrieslands (SCHMIDT, 1955) und Südschwedens (DÜNCKELBÜHLER, 1962) gedeiht, jenseits ihrer natürlichen Arealgrenze, oder daß die Tanne in den Zentralalpen bei kontinentalem Klima und in günstigen Lagen Südeuropas natürlicherweise vorkommt (MEUSEL et al. 1965; REILLE, 1988; FASSL, in Vorbereitung), falls die winterlichen Wasservorräte groß genug sind.

Grundwasserabsenkung. Daß es sich bei der Anfälligkeit des Wasserhaushalts nur um geringe Verschiebungen im Kronen-Wurzel-Verhältnis handeln kann, ohne daß dabei immer Baumentnahmen in der näheren Umgebung das Kleinklima verändert haben müssen, geht aus einem Artikel von GAYLER (1962) hervor. Er berichtete, daß in den Trockenjahren 1947 bis 1952 das Grundwasser um 2m bis 3m gesunken sei. Gleichaltrige Tannenbestände seien stärker beeinträchtigt worden als Tannen in Buchenbeständen.

Eine Erklärung dafür könnte sein, daß die Kronen und Wurzeln in einem gleichaltrigen Tannenbestand langfristig an ein feuchtes Kleinklima angepaßt sind. Die Wurzeln solcher Tannen müßten hinsichtlich des Wasserhaushalts weniger leisten als jene in den Buchenwäldern. Denn, fehlt den Buchen das Laub, so sind die Tannenkronen mehr Licht und Wind ausgesetzt. Auf das ganze Jahr gesehen, haben die Tannen der Buchenwälder vermutlich einen größeren Wasserverbrauch als diejenigen eines in sich gleichaltrigen Tannenreinbestandes.

Fehlte nun während der Trockenjahre im Sommer zeitweilig der Regen, so führte dies vermutlich zu einem Engpaß im Kronen-Wurzel-Gleichgewicht. Die weniger leistungsfähigen Wurzeln aus den Tannen-Reinbeständen waren dadurch stärker beeinträchtigt als die Tannenwurzeln der Buchenwälder (z.B. REITER et al., 1983).

Eine zusätzliche Schwierigkeit ist, daß nach den eigenen Beobachtungen die Bäume in reinen Tannenbeständen häufig kurzkrönig sind (Ähnliches berichtete z.B. auch NEGER, 1908).

Tannen-Überhälter können aber als Beispiel dafür dienen, daß das Kronen-Wurzel-Gleichgewicht in Richtung auf die Seite der Krone verändert wird. Denn bei diesen einzeln stehenden Tannen, die auf einer Kahlschlagfläche übrig gelassen worden sind,

waren die Kronen zuvor einem plötzlichen Wechsel zu einer trockeneren Umgebung ausgesetzt. Interessant ist hierzu ein Bildbericht von WOHLFARTH (1960), aus dem hervorgeht, daß ähnlich wie bei der Walderkrankung der Tanne, auch in diesem Fall langkronige Tannen den Wechsel wesentlich besser überstanden als kurz-kronige. Eine kurze Krone zeigt aber an, daß sie zuvor zuviel Schatten gehabt hatte. Schatten bedeutet aber eine feuchtere Umgebung. Daher ist der bestandesklimatische Wechsel bei Freistellung kurz-kroniger Tannen-Überhälter größer als bei einer langkronigen Tanne. Auch hier scheint also die Wasserversorgung der begrenzende Faktor zu sein. Die Konstitution der betroffenen Tanne, bzw. das Ausmaß des klimatischen Wechsels entscheiden offensichtlich dabei, ob der Baum diese Freistellung überlebt oder nicht (z.B. SEITSCHKE, 1967).

Ogleich bei den erwähnten Berichten zum Teil auch Bilder von walderkrankten Tannen dabei waren, wurde nicht deutlich, ob die Schäden immer mit der Walderkrankung identisch waren. Doch sie zeigen, daß auch im humiden Mitteleuropa eine Tanne durch einen unausgeglichene Wasserhaushalt beeinträchtigt werden kann. NEGER (1908) und EBERDT (1930) brachten das "Tannensterben" ebenfalls mit einem Sinken eines (lokalen) Grundwasserspiegels in Verbindung.

Der erwähnte Fall, daß eine Tanne der Konkurrenz mit der Fichte unterliegt, ist primär aber nicht dem Wasserhaushalt, sondern einem Lichtmangel und der Architektur der Krone zuzuschreiben, vgl. oben.

c) Tannenschäden und verändertes Kleinklima. Andere Autoren brachten die Änderungen im Wasserhaushalt zusätzlich mit dem "Tannensterben" bzw. den neuartigen Waldschäden in Verbindung, seien es vorübergehende Trockenzeiten, austrocknende Standorte oder der Wechsel hin zu einem trockeneren Bestandesklima. So berichtete SCHEIDTER (1919), daß das "Tannensterben" durch die lange Trockenperiode 1917 gefördert worden sei, insbesondere auf flachgründigen Plateaus, trockeneren und weniger tiefgründigen Süd- und Westhängen, vorspringenden Bergrücken (sog. "Kämmle") und in Beständen, die durch Schneebruch und Wind plötzlich stark gelichtet und durchlöchert wurden.

In vergleichbarer Weise könnten aber auch die Befunde von SCHÖPFER et al. (1984) interpretiert werden, die besagen, daß aufgelichtete Tannenbestände stärker von Waldschäden betroffen sind als geschlossene (vgl. HAGER, 1988).

Daß Trockenjahre die Tannenschäden auslösen oder verstärken, wurde weiterhin festgestellt von NEGER (1908), WIEDEMANN (1927), SCHMID-HAAS (1986) und von der amtlichen Waldschadensinventur. Allerdings liegt hierzu in Kapitel III/5 auch ein widersprüchliches Ergebnis vor.

d) Tannentriebbläuse. Daß das "Tannensterben" etwas mit einem veränderten Wasserhaushalt zu tun hat, zeigt auch eine ganz andere Beobachtung: WIEDEMANN (1927) stellte an den geschädigten Tannen regelmäßige Tannentriebbläuse (*Dreyfusia nüsslini*) fest, hielt sie sogar für die Ursache des "Tannensterbens". GRASER (1930) widersprach dieser Auffassung, da nach seinen Beobachtungen nicht jede geschädigte Tanne auch Tannentriebbläuse hatte. Wie dem auch sei, aus der Biologie der Tannentriebbläuse weiß man in der Zwischenzeit, daß sie in einem geschlossenen Bestand schlecht gedeihen. Dagegen treten sie gehäuft bei direkter Besonnung bzw. auf Kahlschlagflächen auf

(Braun, 1976; SCHWERDTFEGGER, 1981; EICHHORN, 1985). Tannentriebläuse können somit indirekt als Bioindikatoren für eine trockenere Umgebung gewertet werden. Auch dies ist ein Hinweis auf den Wasserhaushalt.

Als Gegenprobe eines angespannten Wasserhaushalts bei geschädigten Tannen können nun all jene Umstände herangezogen werden, bei denen eine Tanne nicht geschädigt wurde (z.B. SCHEIDTER, 1919): Einzeltannen in Buchenbeständen, Tannen mit langer Krone oder randständige Tannen, die eine größere, wenn auch einseitige Krone ausbilden konnten, Tannen an steilen Hängen oder Standorten, die für die Tanne insgesamt günstig sind, z.B. auf tiefergründigen Böden. Dies wurde in der Literatur oft bestätigt und entspricht weitgehend auch den eigenen Beobachtungen.

e) Stellungnahme. Aus den Literaturangaben über die Biologie der Tanne geht hervor, daß Veränderungen im Kronen-Wurzel-Gleichgewicht nicht immer den Tannen gut bekommen und dabei Symptome der Walderkrankung entstehen können (Zitatensammlung im Anhang).

Mit Hilfe von Literaturangaben und eigenen Beobachtungen wies FRENZEL (1987) eine Ausbreitung der Kronenschäden an der Tanne von Osteuropa nach Westen nach. Es stellte sich die Frage, ob dabei Vektoren (z.B. Insekten) beteiligt sein könnten. Läßt sich andererseits diese Ausbreitung der Kronenschäden evtl. auch mit der Konstitution der Tannen und mit einem plötzlich veränderten Kleinklima erklären? Zwar findet man in der forstlichen Literatur selten Angaben über Probleme bei der Verwirklichung forstwirtschaftlicher Ziele, z.B. jener, den Anteil kurzkröniger, mitherrschender Tannen in den Beständen zu verringern (GOTHE, 1950/51; SOMMER, 1961; ABETZ, 1979). Doch kann dies für die wirtschaftlich genutzten Wälder Osteuropas angenommen werden (ANONYMUS, 1955; BUCHHOLZ, 1961, z.B. S.102; MALEK, 1981; KONOPKA, 1985). Aber eine Erklärungsmöglichkeit ersetzt keinen Nachweis. Die Frage nach der Ausbreitung der Tannenschäden muß daher unbeantwortet bleiben.

D/8. Wurzeln.

Speziell zur Entwicklung der starken Wurzeläste der Tanne und zu den Ausmaßen der Wurzelteller gibt es wenig Literatur (KÖSTLER et al., 1968; LEONHARD et al. 1980), noch seltener werden die Ausmaße von Krone und Wurzel bei der Tanne verglichen (ZENTGRAF, 1950). Andere Untersuchungen beziehen sich auf Feinwurzeln oder Mykorrhizen (REITER et al. 1983; HAUG, 1989), die aber in Anbetracht der unterschiedlich ausgeformten Wurzelteller der Tanne (Kapitel VI/6) keine quantitativen Vergleiche von Krone und Wurzel erlauben. Andererseits wagt der Autor keine Vergleiche zu den Wurzeln von Fichten oder Obstbäumen: Fichten wurzeln auch gut in der Humusaufgabe, was die Tanne fast nicht macht (MARSCHNER et al., 1989); Obstbäume haben weder in der Krone noch im Boden Konkurrenzeinflüsse (WELLER, 1964, 1965). Daher muß in Bezug auf die Themen Tannenwurzel und quantitative Vergleiche von Kronen- und Wurzelparametern die Diskussion hier abgebrochen werden.

D/9. Zu einer physiologischen Definition der Walderkrankung. Vergleiche und Ausblick.

Mit Ausnahme mechanischer Verletzungen steht hinter jeder Erkrankung zunächst ein mehr oder weniger stark veränderter Stoffwechsel. Ausgehend von den allgemein bekannten Symptomen einer stark geschädigten Tanne haben wir versucht, diese Veränderungen im Stoffwechsel aufzuspüren (FRENZEL et al., 1987).

Ausgegangen wurde von der Annahme, daß die Walderkrankung jeweils die gesamte Tanne erfaßt und daher alle Teile und physiologische Prozesse des betreffenden Baumes mehr oder weniger stark geschädigt bzw. verändert sein mögen. Es fragt sich nur, welche Strukturen oder Prozesse zuerst, bzw. besonders klar betroffen sind. Dazu wurden die folgenden Parameter überprüft:

Das Erscheinungsbild der Krone, sowie das Höhen- und Dickenwachstum des Stamms (FRENZEL et al., 1985);

die Stärke in Holz, Rinde und Nadeln (SUTOR, 1986);

die Ligninanteile des Holzes (EILERS, 1984);

der Gaswechsel der Nadeln (ZAVELBERG, 1987; KOCH, 1990) und der Rinde (URBAT, 1989);

die Ultrastruktur der Nadeln (GEPRÄGS, in FRENZEL et al. 1987, CHRISTMANN, 1993);

die Epicuticularwachse (GÜTH und FRENZEL, 1989);

der Wasserhaushalt (KETTNAKER, 1986);

das Stammwachstum im Jahresverlauf (LORIS, in FRENZEL et al. 1987, ENDL, 1994);

Phytohormone (CHRISTMANN, 1993; SCHILLER, - in Vorbereitung);

das Vorkommen von Viren bzw. virusähnlichen Partikeln (GEPRÄGS, HENNIG und FRENZEL in FRENZEL et al. 1987; EILERS, 1984; FLACHMANN, 1992; FLACHMANN et al., 1990);

die Veränderungen einer kurzkettigen RNA (BEUTHER und RIESNER in FRENZEL et al., 1987);

der Phloemtransport (KETTNAKER, in Vorbereitung).

Mit diesen Untersuchungen wurde angestrebt, solche Unterschiede im Stoffwechsel und in der Feinstruktur festzustellen, die als Maß für den Gesundheitszustand gewertet werden können. Ziel war, spezifische Unterschiede zwischen geschädigten und ungeschädigten Tannen herauszufinden. Dies hätte große Vorteile:

- Da den morphologischen Veränderungen (Wuchsstockungen, Nadelverluste, übermäßig verringertes Höhenwachstum) immer ein veränderter Stoffwechsel vorausgeht, könnte man durch Stoffwechselmessungen evtl. eine beginnende Walderkrankung schon früh erkennen.

- Erkrankungen, die sich noch nicht morphologisch äußern, sog. "latente Schäden", könnten evtl. offensichtlich werden. Dies würde es ermöglichen, zwischen tatsächlichen und nur scheinbar gesunden Bäumen zu unterscheiden, damit aber auch die Suche nach der Krankheitsursache auf eine sichere Basis zu stellen.

- Wenn deutlich ist, welche Stoffwechselschritte verändert sind, ließe sich nach und nach die Ansatzstelle der Erkrankung im Organismus eingrenzen, ebenso mögliche Ursachen.

- Umgekehrt, mit der Kenntnis, wie sich durch die Walderkrankung die Physiologie spezifisch verändert, hätte man auch ein günstiges Verfahren, eine Ursache zu über-

prüfen: Man setzt eine gesunde Tanne einem vermuteten Auslöser der Erkrankung aus und vergleicht anschließend die Veränderungen im Stoffwechsel.

- Unabhängig, ob bei der Walderkrankung ein biotischer oder ein abiotischer Auslöser vorliegt, mit diesem physiologischen Ansatz wäre es ebenso möglich, das Ausmaß und den Verlauf der Erkrankung offenzulegen.

- Zusätzlich hätte man den Vorteil, vom Stoffwechsel ausgehend, die Wechselwirkungen zur Morphologie herauszuarbeiten.

Die Schwierigkeiten dieses Forschungsansatzes sind:

- Viele physiologische Methoden müssen sich bei ihren Untersuchungen auf Äste oder Astteile beschränken. Dies ist bei der Beurteilung des gesamten Baumes u.U. nachteilig. Eine Altanne ist nicht nur ein sehr großes und hohes Untersuchungsobjekt, sondern auch morphologisch sehr uneinheitlich. Bedenkt man die Struktur eines alten Quirlastes mit seinen verschiedenen Astreisern, so ist eine Altanne nicht ohne weiteres mit einer kleineren Tanne zu vergleichen. Ähnliches mag für Stoffwechselprozesse und Resistenzerscheinungen gelten.

- Einige Methoden sind an einem Ast oder Astteil nur einmal anzuwenden (sog. destruktive Methoden). Bei Wiederholungsuntersuchungen, z.B. bei Zeitreihen, kann man nicht auf identisches Material zurückgreifen.

- Doch die Hauptschwierigkeit ist vermutlich, daß man insgesamt zu wenig über den Stoffwechsel einer gesunden Tanne und ihren regulären Veränderungen weiß.

Dieser physiologische Untersuchungsansatz orientierte sich an anderen Parametern als derjenige bei der morphologischen Vorgehensweise. Wenn die jeweils gewonnenen Ergebnisse verlässlich sind, so sollten aber beide Wege zum selben Ziel führen, d.h. sich wechselseitig ergänzen. Doch dies ist in der Praxis nicht ganz so einfach. Abgesehen von den methodischen Unterschieden gibt es beim Probenmaterial Schwierigkeiten. Für physiologische Untersuchungen braucht man benadelte Äste, z.B. wenn man den Gaswechsel, den Wasserhaushalt oder Phytohormone untersucht. Doch nach der dargelegten morphologischen Sichtweise kann man nur Äste mit vorzeitigem Nadelverlust mit Sicherheit als walderkrankt bezeichnen.

Geht man vom morphologischen Bild aus, so erscheint es sinnvoll, bei der Tanne weitere Differenzialdiagnosen herauszuarbeiten, sei es morphologisch, ultrastrukturell oder physiologisch, z.B. zwischen Licht und Schatten, zwischen einem Wechsel hin zu mehr Schatten und einem Wechsel hin zu mehr Licht, zwischen Primär- und Folgetrieben, zwischen vorherrschenden- und mitherrschenden Bäumen, zwischen stabilem und instabilem Wasserhaushalt, zwischen blühenden und nicht-blühenden Bäumen oder zwischen Lichtmangel und Walderkrankung. Ein Zusammenführen des physiologischen und des morphologischen Ansatzes ist beim aktuellen Stand noch nicht möglich.

D/10. Zur Erkenntnisgeschichte.

Es ist erstaunlich, daß NEGER, der als erster das "Tannensterben" gründlich untersuchte, im Jahre 1908 folgende Zeilen schrieb:

"Verschont bleiben weder die vorherrschenden noch die herrschenden Stämme; am meisten leiden die zurückbleibenden und unterdrückten. Wenn man demnach geneigt sein möchte, anzunehmen, daß beim Eingehen der Tanne mangelhafter Lichtgenuß eine bedeutende Rolle spiele, so stimmt damit wenig gut zusammen, wenn beobachtet wird, daß der Baum gerade bei plötzlicher Lichtstellung oft auffallend schnell das Zeitliche segnet, wobei allerdings in vielen Fällen Rindenbrand in typischer Erscheinung auftritt."

Dies entspricht weitgehend auch den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit. Unterschiedliche Auffassungen bestehen nur in der Interpretation dieser Beobachtungen. NEGER bezog nur den Lichthaushalt der Tanne in seine Überlegungen mit ein. Durch die vorliegende Arbeit kamen Hinweise und Überlegungen zu einem veränderten Wasserhaushalt hinzu.

Literatur

- ANONYMUS (1840): Einige Worte über Führung der Weißtannenschläge. Allg. Forst- u. J.-Ztg. 28, 109-111.
- ANONYMUS (1898): Meyers Konversationslexikon. Stichwort: Ozon, S.394.
- ANONYMUS (1955): Die Forstwirtschaft in der Sowjetzone. Allg. Forstzeitschrift, 573-576
- ANONYMUS (1983): Zum Erkennen von Immissionsschäden an Waldbäumen 1983. Farbbildheft d. Allg. Forst Zeitschrift; 16 S.
- ANONYMUS (1985): Dokumentation neuartiger Waldschäden in Baden-Württemberg. Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg. Band 73. 231 S.
- ANONYMUS (1986): Walderkrankung und Immissionseinflüsse. Ministerium f. Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten. 32 S.
- ANONYMUS (1991.a): Region Nordschwarzwald. Waldschäden 1983-1989. Vergleich Schwarzwald - Baden-Württemberg. Regionalverband Nordschwarzwald, Pforzheim. 32 S.
- ANONYMUS (1991.b): Waldschadensbericht Baden-Württemberg 1991. Abteil. Waldschutz. Forstliche Versuchsanstalt, Freiburg i.Br.; 37 S.
- ANONYMUS (1993): Waldzustandsbericht der Bundesregierung. Ergebnisse der Waldschadenserhebung 1993. 94 S.
- ABETZ, P. (1976): Beiträge zum Baumwachstum - der h/d-Wert - mehr als ein Schlankheitsgrad! Der Forst- und Holzwirt 31, 389-393.
- ABETZ, P. (1979.a): Beiträge zur Bestandespflege - Zukunftsbäume und Baumzahlhaltung. Allg. Forstzeitschrift, 287-291.
- ABETZ, P. (1979.b): Zur Problematik der Anwendung von Durchforstungshilfen. Allg. Forst- u. J.-Ztg., 234-237.
- ARNDT, U. (1985): Ozon als möglicher Verursacher von Waldschäden. In: KORTZFLEISCH, G.v. (Hrsg.): Waldschäden - Theorie und Praxis auf der Suche nach Antworten. Verlag Oldenbourg; München, Wien, 401 S., 195-212.
- ASSMANN, E. (1957): Standraumökonomie. Mitteilungen aus der Staatsforstverwaltung Bayerns, 158-175.
- ASSMANN, E. (1961): Waldertragskunde. BLV Verlag, München, Bonn, Wien; 490 S.
- BAADER, G. (1952): Untersuchungen über Randschäden. Schriftenreihe der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen, 63 S.
- BADOUX, E. (1935): De l'influence de divers modes et degrés d'éclaircie dans les hêtraies pures. Mitteilungen der Schweizer Anstalt f.d. Forstl. Versuchswesen, 277-285.
- BAUCH, J., KLEIN, P., FRÜHWALD, A., und BRILL, H. (1979): Veränderungen der Holzeigenschaften in *Abies alba* Mill. durch das "Tannensterben" und Überlegungen zu seinen Ursachen. European Journal f.Forest.Pathol., 326-330.
- BAUMBACH, G., BAUMANN, K., und DRÖSCHER, F., (1987): Luftverunreinigungen in den Wäldern. Ergebnisse der Schadstoffmessungen im Schönbuch und Nordschwarzwald, Meßzeitraum 1985/86. Institut f. Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen. Abtl. Reinhaltung d. Luft. Bericht 5, Universität Stuttgart. 1. Gasförmige Schadstoffe, 64 S. 2. Staub- und Niederschlagsuntersuchungen, 26 S.

- BECKER, M., und LÉVY, G. (1988): A propos du dépérissement des forêts: climat, sylviculture et vitalité de la sapinière vosgienne. *Revue forestière française* 40(S), 345-358.
- BECKER, M., BRÄKER, O.-U., KENK, G., SCHNEIDER, O., und SCHWEINGRUBER, F.H. (1990): "Kronenzustand und Wachstum von Waldbäumen im Dreiländereck Deutschland-Frankreich-Schweiz in den letzten Jahrzehnten. *Allg. Forstzeitschrift*, 263-266, 272-274.
- BLANCKMEISTER, J. und HENGST, E. (1971): *Die Fichte im Mittelgebirge*. Neumann Verlag, Radebeul, 286 S.
- BLASCHKE, H. (1980): Feinwurzeluntersuchungen und biologische Aktivitäten in der Rhizosphäre vom Tannensterben befallenen *Abies alba*-Beständen. *European Journal for Forest Pathol.*, 181-185.
- BLASCHKE, H. (1981): Veränderungen bei der Feinwurzelentwicklung in Weißtannenbeständen. *Forstwiss. Centralblatt*, 190-194.
- BOELKE, W. (1987): Reformen, Konjunkturen, Krisen. Frühe Anfänge der modernen Wirtschaftsgesellschaft. Baden-Württemberg im Zeitalter Napoleons. Band 2. Aufsätze. *Württembergisches Landesmuseum Stuttgart*, 759 S.
- BRAUN, A. (1976): *Taschenbuch der Waldinsekten*. G. Fischer Verlag, Stuttgart, 818 S.
- BUCHHOLZ, E. (1961): *Die Waldwirtschaft und Holzindustrie der Sowjetunion*. BLV-Verlag, München. 232 S.
- BURGER, H. (1939.a): Kronenaufbau gleichaltriger Nadelholzbestände. *Mitteilungen d.Schweizer Anstalt f.d.Forstl. Versuchswesen*, 5-58.
- BURGER, H. (1939.b): Baumkrone und Zuwachs in zwei hiebreifen Fichtenbeständen. *Mitteilungen d.Schweizer Anstalt f.d.Forstl. Versuchswesen*, 147-176.
- BURGER, H. (1941): Der Drehwuchs bei den Holzarten. *Mitteilungen d. Schweizer Anstalt f.d.Forstl. Versuchswesen*, 142-161.
- BURGER, H. (1942): Beitrag zur Frage der reinen und der gemischten Bestände. *Mitteilungen d. Schweizer Anstalt f.d.Forstl. Versuchswesen*, 188-204.
- BURGER, H. (1951): Holz, Blattmenge und Zuwachs. Die Tanne. *Mitteilungen d.Schweizer Anstalt f.d.Forstl. Versuchswesen*, 247-281.
- BUTIN, H. (1983): *Krankheiten der Wald- und Parkbäume*. Thieme Verlag, Stuttgart, 172 S.
- CARL (1893): Die Wirtschaftsregeln für die mit Tannen bestockten oder auf Tanne zu bewirtschaftenden Waldungen der elsäß-lothringischen Vogesen und des Juras. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.*; 163-170.
- CRAMER, H.H., und CRAMER-MIDDENDORF, M. (1984): Untersuchungen über Zusammenhänge zwischen Schadensperioden und Klimafaktoren in mitteleuropäischen Forsten seit 1851. *Pflanzenschutz Nachr. Bayer* 37, 208-334.
- CHRISTMANN, A. (1993): Untersuchungen zum Haushalt der Hormone Ethylen, Abscissinsäure und Indol-3-Essigsäure in Nadelbäumen aus Waldschadensgebieten Südwestdeutschlands. *Dissertationes Botanicae*; Band 199; Verlag Cramer, Berlin, Stuttgart, 327 S.
- COOPER, J. (1979): *Virus Diseases of Trees and Shrubs*. Institut of Terrestrial Ecology, Cambridge, Great Britain. 74 S.
- COURTOIS, H. (1983): Die Pathogenese des Tannensterbens und ihre natürlichen Mechanismen. *Allg. Forst- u.J.-Ztg.* 154, 93-95.
- DAMSOHN, W. (1983): Über die Witterungsabhängigkeit der Dickenänderungen von Stämmen lebender Bäume auf den Hochflächen des Schwarzwaldes. Diplomarbeit, Universität Hohenheim, Institut für Botanik, 92 S.

- DANNECKER, K. (1929): Der Plenterwald einst und jetzt. Ulmer Verlag, Stuttgart, 145 S.
- DANNECKER, K. (1955): Aus der hohen Schule des Weißtannenwaldes. Verlag Laupp, Tübingen, 210 S.
- DIETRICH, G. (1973): Untersuchungen über die Astbildung und natürliche Astreinigung der Weißtanne. Forstwiss. Forschungen, Beihefte zum Forstwiss. Centralblatt, Heft 34, 89 S.
- DÖRFFLING, K. (1982): Das Hormonsystem der Pflanzen. Thieme Verlag, Stuttgart, 236 S.
- DÜNKELSBÜHLER, U. (1962): Weißtannen in Schweden. Allg. Forstzeitschrift, S.46.
- EBERDT (1930): Über Tannensterben. Allg. Forst- u.J.-Ztg.; S. 389.
- EICHHORN, O. (1985): Zoologische und ertragskundliche Aspekte des Tannensterbens. Der Forst- und Holzwirt 40, 415-419.
- EICKE, S. (1914): Beiträge zur Rauchschadensforschung. Naturwiss. Zeitschrift f. Forst- und Landwirtschaft, 199-207.
- EILERS, M. (1984): Über den Aufbau der Zellwände gesunder und kranker Weißtannen (*Abies alba* Mill.). Wiss. Arbeit. Universität Hohenheim, Institut für Botanik, 73 S.
- ELLING, W. (1987): Eine Methode zur Erfassung von Verlauf und Grad der Schädigung von Nadelbaumbeständen. European Journal f. Forest Pathol., 426-440.
- ENDL, P. (1994): Dendrometrische Messungen und ergänzende Untersuchungen an Weißtannen (*Abies alba*, MILL.) im Forstbezirk Klosterreichenbach/ Nordschwarzwald. Diplomarbeit, Universität Hohenheim, Institut für Botanik, 181 S.
- ERTELD, W. (1979): Größe und Entwicklung des h/d-Wertes in Kiefernbeständen. Allg. Forst-u. J.-Ztg., 72-75.
- EVERS, F.H., KÖNIG, E., LIPPHARDT, M., MÜHLHÄUSER, G., STUMMER, G., und BERWIG, W. (1979): Untersuchungen zur Tannenerkrankung. Zwischenbericht der Forstl. Versuchs- u. Forschungsanstalt Baden-Württemberg. Allg. Forstzeitschrift, 565-568.
- FASSL, K.: Die Bewertung von Zeigerarten in europäischen Pollendiagrammen für die Rekonstruktion des Klimas im Holozän. Universität Hohenheim, Institut für Botanik. Dissertation in Vorbereitung.
- FINK, S. (1980): Anatomische Untersuchungen über das Vorkommen von Sproß- und Wurzelanlagen im Stammbereich von Laub- und Nadelbäumen. Allg. Forst-u.J.-Ztg., 160-188.
- FINK, S. und BRAUN, H.J. (1978): Zur epidemischen Erkrankung der Weißtanne *Abies alba* Mill.. Allg. Forst- u.J.-Ztg., 184-195.
- FLACHMANN, M., LESEMAN, D.-E., FRENZEL, B., KÖNIG, R. (1990): Isometric virus-like particles in *Abies alba* Mill. and other *Abies* species: partial purification and improved detection by means of immunoelectron microscopy. Journal Phytopath. 129, 193-202.
- FLACHMANN, M. (1992): Untersuchungen zum Nachweis von Viren in Nadelbäumen aus Waldschadensgebieten Südwestdeutschlands. Dissertation, Universität Hohenheim, Institut für Botanik, 327 S.
- FREI-PONT (1973): Über den Ausfall der Tanne in zwei alten Fichten- Tannen- Mischbeständen. Schweizer Zeitschrift für Forstwesen, 843-854.
- FRENZEL, B. (1983): Beobachtungen eines Botanikers zur Koniferenerkrankung. Allg. Forstschrift, 743-747.
- FRENZEL, B. (1985): Viren als mögliche Ursache der Walderkrankung. In KORTZFLEISCH, G.v., (Hrsg.): Waldschäden. Theorie und Praxis auf der Suche nach Antworten. R.Oldenburger Verlag, München, Wien, 61-80.

- FRENZEL, B., BEUTHER, E., CHRISTMANN, A., DAMSOHN, W., FLACHMANN, M., GEPRÄGS, P., GÜTH, S., HAAS, K., HUCKRIEDE, U., KETTNAKER, U., LORIS, K., RIESNER, D., SUTOR, R., WEITBRECHT, J., ZAVELBERG, W. (1987): Untersuchungen zum Hormonhaushalt gesunder und kranker Bäume. KfK-PEF 41, 206 S.
- GAYLER, (1962): Dürreschäden an Weißtannen. Allg. Forstzeitschrift, 828-829.
- GEIGER, R. (1961): Das Klima der bodennahen Luftschicht. Ein Lehrbuch der Klimatologie. Braunschweig, 1961; 646 S.
- GERECKE, K.L. (1988): Herleitung und Anwendung von Referenzbäumen zur Beschreibung des Wachstumsgangs vorherrschender Tannen. Dissertation, Universität Freiburg, Forstwissenschaftliche Fakultät, 140 S.
- GERECKE, K.L. (1991): Standraum - Bonität - Jahrringbreite. Allg. Forstzeitschrift, 1064-1066.
- GERWIG, F., (1868): Die Weißtanne im Schwarzwalde. Springer Verlag Berlin, 101 S.
- GLIEMEROTH, A.K. (1990): Die Flechtenflora kranker Nadelbäume im Nordschwarzwald. Ökologische Untersuchungen zur Differenzierung zwischen Immissionsbelastung und epidemischer Erkrankung. Dissertationes Botanicae, Band 161, 148 S.
- GRAMMEL, R.H., BECKER, G., GROSS, M., und HOEWECKE, B.. (1986): Einige Holzzeichen erkrankter Fichten und Tannen aus Baden-Württemberg als Ergebnis einer flächendeckenden Erhebung. Holz als Roh- und Werkstoff, 287-292.
- GRASER, (1931): Zur Frage des Tannensterbens. Forstwissensch. Centralblatt, 91-106, 117-136.
- GREBE, (1857): Dritte Sitzung. Diskussion der Frage 3. Amtlicher Bericht über die XIX. Versammlung deutscher Land- und Forstwirte zu Coburg, 340-349.
- GOTHE, H. (1950): Von der Mentalität des forstlichen Betriebsleiters bei der jährlichen betriebswirtschaftlichen Planungsarbeit. Allg. Forst- u. J.-Ztg., 64-67.
- GROSS, M. und WAGNER, E. (1992): Methodische Probleme bei Begasungsexperimenten mit Ozon: Abhängigkeit des Gaswechsels und der Ozonaufnahme junger Fichten von der Lufttemperatur, der Ozonkonzentration und der Art der Ozonherstellung. Allg. Forst- u. J.-Ztg., 133-136.
- GRUBER, F. (1989): Phänotypische Plastizität der Fichten- und Tannenkronen und ihr Bezug zum Waldsterben. Bericht des Forschungsbeirats Waldschäden, Friedrichshafen, 1989; 109-140.
- GÜTH, S., und FRENZEL, B. (1989): Epicuticularwachs der Tanne (*Abies alba* Mill.) und Walderkrankung. Angew. Botanik 63. I: Die Wachsstruktur, 241-258. II: Zusammenstellung der Cuticularwachse und Nadellipide, 259-277.
- GUTSCHICK, V. (1971): Der Forstbetriebsdienst. Band 1 und 2; BLV-Verlag, München.
- HACKSTEIN, und HILDEBRAND (1992): Stand und Entwicklung von Stoffeinträgen in den Waldbeständen von Baden-Württemberg. Allg. Forst- u. J.-Ztg., 21 S.
- HÄRTEL, O: (1976): Wie lassen sich Pflanzenschäden definieren? Umschau 1976, 347-350; zitiert nach LARCHER; W: (1980): Ökologie der Pflanzen Verlag E. Ulmer, Stuttgart, 399 S.
- HAGER, H. (1988): Stammzahlreduktion. Forstl. Schriftenreihe für Bodenkultur, Wien, 189 S.
- HARTMANN, G., NIENHAUS, F., und BUTIN, H. (1988): Farbatlas der Waldschäden. Ulmer Verlag, Stuttgart, 256 S.
- HASEL, K., (1967): Die Entwicklung von Waldeigentum und Waldungen im späten Mittelalter als Ursache für die Entstehung des Bauernkrieges. Allg. Forst- u. J.-Ztg. 138, 141-150.
- HAUG, I. und OBERWINKLER, F. (1990): Strukturen und Funktionen von Mykorrhizen in Waldökosystemen: Dynamik von Mykorrhizapopulationen auf K-Mg- und N-Düngung. KfK-PEF 61, 75-86.

- HESS-BECK R. (1930): Schutz gegen Rauchscha den. S.107-S.141 aus: Lehrbuch für Forstschutz. Neudamm-Verlag, Neudamm. 629 S.
- HAUSBURG, H. (1967): Die Ausbreitung der Fichte im Hornisgrinde-Murggebiet des Nordschwarz walds bis etwa 1800. Mitteilungen des Vereins f.forstliche Standortskunde und Forst- pflanzenzüchtung, Heft 17, 3-22
- HOLZAPFL, R. (1960): Die natürliche und künstliche Verbreitung der Weißtanne. Forstwissenschaftl. Centralblatt, 324-329.
- HORNDASCH, M. (1977): Honigläuse und Tannensterben. Allg. Forstzeitschrift, 475-477.
- HORVAT-MAROLT, S. (1985): Die Variabilität der Weißtannen in Jugoslawien. In KRAMER, W.: Ergebnisse des 4.Tannen-Symposiums. Schriften d. Forstl. Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstl. Versuchsanstalt, Bd. 80, Sauerländer Verlag, Frankfurt, 289 S.
- JACOBI (1912): Die Verdrängung der Laubwälder durch die Nadelwälder in Deutschland. Laupp Verlag, Tübingen. 112 S.
- KARLÉN, A. (1958): Waldrauchscha den an einem Schieferölwerk in Schweden. Allg. Forstzeitschrift, 601-603.
- KAUTZSCH (1898): Schlußäußerung in der Tannenfrage. Allg. Forst- u. J.-Ztg., 220-225.
- KENK, G. (1991): Heutiges und früheres Wachstum von Fichten in Baden-Württemberg - ein Vergleich dendrometrischer Meßdaten. Abschlußbericht des Projektes "Referenzdaten zum Waldwachstum". KfK-PEF 80, 365-376.
- KETTNACKER, U. (1986): Untersuchungen über den Wasserhaushalt gesunder und kranker Tannen und Fichten. Diplomarbeit, Universität Hohenheim, Institut für Botanik, 268 S.
- KETTNAKER, U. - Dissertation in Vorbereitung.
- KEWELOH, H.W. (1985): Flößerei in Deutschland. K.Theis Verlag, Stuttgart, 172 S.
- KIRCHNER, O; LOEW, E.; SCHRÖTER, C. (1908): Lebensgeschichte der Blütenpflanzen Mittel europas. Verlag Ulmer, Stuttgart, 736 S.
- KONOPKA, J. (1985): Resistenz von Tannen-Stangenhölzern gegen abiotische schädliche Faktoren. In KRAMER, W.: Ergebnisse des 4.Tannen-Symposiums. Schriften d. Forstl. Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstl. Versuchsanstalt, Bd. 80, Sauerländer Verlag, Frankfurt, 289 S.
- KOCH, A. (1990): Photosynthese und Transpiration bei immissionsgeschädigten und walderkrankten Tannen. Diplomarbeit, Universität Hohenheim, Institut für Botanik, 78 S.
- KOCH, W. (1993 a): SO₂ einst und jetzt - im Zusammenhang mit Waldschäden. Rundgespräche der Kommission für Ökologie. Band 7. Probleme der Umweltforschung in historischer Sicht. Dr. Pfeil Verlag, München, 95-106.
- KOCH, W. (1993 b): Langjähriger Reinluft-/Standortluftvergleich des Gaswechsels von Fichte unter Freilandbedingungen. Ein Beitrag zur Waldschadensforschung. Schriftenreihe der forstw. Fakultät der Universität München und der bayrischen forstl. Versuchs- und Forschungsanstalt, Nr. 130, 82 S.
- KÖSTLER, J.N. (1955): Waldbau. Parey Verlag, Hamburg. 418 S.
- KÖSTLER, J.N. (1956): Waldbauliche Beobachtungen an Wurzelstöcken sturmgeworfener Nadel bäume. Forstwissenschaft. Centralblatt, 65-85.
- KÖSTLER, J.N.; BRÜCKNER, E.; BIBELRIETHER, H. (1968): Die Wurzeln der Waldbäume. Unter suchungen zur Morphologie der Waldbäume in Mitteleuropa. Verlag Parey, Hamburg, Berlin, 284 S.

- KOTTKE, I. und OBERWINKLER, F. (1988): Vergleichende Untersuchungen der Feinwurzelsysteme und der Anatomie von Mykorrhizen nach Trockenstreß und Düngemaßnahmen. KfK-PEF 39.
- KÜNSTLE, E.; MITSCHERLICH, G.; RÖNICKE, G. (1981): Untersuchungen über Konzentration und Gehalt an Schwefel, Chlorid, Kalium und Calcium sowie den pH-Wert im Freilandniederschlag und Kronendurchlaß von Nadel- und Laubholzbeständen bei Freiburg i.Br.. Allg. Forst- u.J.-Ztg. 147-167.
- LAIBLE, V. (1987): Der Einfluß des Standorts auf den Zuwachsverlauf (Jahrringbreiten) südwest deutscher Eichenbestände. Diplomarbeit, Institut für Botanik, Universität Hohenheim, 139 S.
- LANG, K.J. (1981): Anatomische Befunde im Naßkernbereich der Wurzeln von *Abies alba*. Forstwiss. Centralblatt 180-183.
- LEIBUNDGUT, H. (1945): Kronengewicht, Blattgewicht und Zuwachs der Tannen. Mitteil. d. Schweizer Anstalt f.d. Forstl. Versuchswesen, 219-292.
- LEIBUNDGUT, H. (1974): Zum Problem des Tannensterbens. Schweizer Zeitschrift f. Forstwesen, 476-484.
- LEONHARD, F.; BRECHTEL, H.M. (1980): Durchwurzelungs- und Schöpftiefen von Waldbeständen verschiedener Baumarten und Altersklassen bei unterschiedlichen Standortverhältnissen. Allg. Forst- u.J.-Ztg., 120-127.
- LINER, S.; DAMSOHN, W.: Dauerbeobachtungsbäume im Forstbezirk Klosterreichenbach. Zeitlicher Vergleich der Kronenbilder anhand von Fotografien - in Vorbereitung.
- LORENZ, S. (1992): Baiersbronn: Vom Königsforst zum Luftkurort. Wegrahistorik-Verlag, 357 S.
- LORIS, K. (1981): Dickenwachstum von Zirbe, Fichte und Lärche an der alpinen Waldgrenze/ Patscherkofel. Mitteilungen der forstlichen Bundesversuchsanstalt, Wien; 142 S.
- LYR, H.; POLSTER, H.; FIEDLER, H.J. (1967): Gehölzphysiologie. Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, 161 S.
- LYR, H. FIEDLER, H.J., TRANQUILLINI, W. (1992): Physiologie und Ökologie der Gehölze. Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, 220 S.
- MALEK, J. (1981): Problematik der Ökologie der Tanne (*Abies alba* Mill.) und ihr Sterben in der CSSR. Forstwiss. Centralblatt, 100, 170-173.
- MANTEL, K. (1958): Die Anfänge der Forstorganisation und der Forstordnung in den vorderösterreichischen Landen im Jahre 1557. Allg. Forst- u. J.-Ztg., 46-52.
- MANTEL, K. (1965): Forstgeschichtliche Beiträge. Ein Überblick über die Geschichte der Bewaldung, die Wald- und Holznutzung, der Wald- und Forstordnung und der Forstwissenschaft. Schaper Verlag, Hannover, 208 S.
- MANTEL, K. (1979): Entwicklungslinien der Forstwirtschaftslehre vom Mittelalter bis zum 19. Jahrhundert. Zur Kultur, Geschichte und Jagd. Festaussgabe. 201-233.
- MAYER, H. und KLEINE, M. (1985): Die korsische Trockentanne. In KRAMER, W.: Ergebnisse des 4.Tannen-Symposiums. Schriften d. Forstl. Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstl. Versuchsanstalt, Bd. 80, Sauerländer Verlag, Frankfurt, 289 S.
- MAYER-WEGELIN, H. (1936): Astung. Schaper Verlag, Hannover, 165 S.
- MEUSEL, H., JÄGER, E., und WEINERT, E. (1965): Vergleichende Chorologie der zentraleuropäischen Flora. Fischer Verlag, Jena, 258 S.
- MEYER, H., (1957): Beitrag zur Frage der Rückgängigkeitserscheinungen der Weißtanne (*Abies alba* Mill.) am Nordrand ihres Naturareals. Archiv für Forstwesen 6.Band, 719-787.

- MITSCHERLICH, G., und WEIHE, J. (1952): Untersuchungen an Tannenjungwüchsen. Allg. Forst- u. J.-Ztg., 33-38.
- MITSCHERLICH, G., und GODOW, K. v. (1968): Über den Zuwachsverlust bei der Ästung von Nadelbäumen. Allg. Forst- u. J.-Ztg., 175-184.
- MITSCHERLICH, G. (1970): Wald, Wachstum, Umwelt. Band 1. Sauerländer Verlag, Frankfurt, 144S.
- MOOR, H. (1984): "Baumsterben" als pflanzenphysiologisches Problem. Biologie in unserer Zeit, 103-110.
- NEGER, F.W. (1908): Das Tannensterben in den sächsischen und anderen deutschen Mittelgebirgen. Tharandter forstliches Jahrbuch 58, 201-225.
- NEGER, F.W., (1919): Die Krankheiten unserer Waldbäume. Verlag Enke, Stuttgart.
- NÖRDLINGER (1871): Der Holzring als Grundlage des Baumkörpers. Cotta Verlag, Stuttgart, 47 S.
- NÖRDLINGER (1884): Rauch und andere von der Atmosphäre mitgeführten schädlichen Stoffe. 507-509; aus: Lehrbuch des Forstschutzes. Berlin, 520 S.
- OLBERG, A. und RÖHRIG, E. (1955): Waldbauliche Untersuchungen über die Weißtanne im nördlichen und mittleren Westdeutschland. Schriftenreihe d.Forstl. Fakultät d. Universität Göttingen, 12; 105 S.
- OFFNER, H. (1952): Stirbt die Weißtanne aus? Allg. Forst- u.J.-Ztg., 33-38.
- PAULUS (Hrsg.) (1840): Tageswerte der Ozongehalte in der Schwarzwaldluft von Nov. bis Mai, Seite 29-30. In: Beschreibung des Königreiches Württemberg, Oberamt Calw. Hrsg. von dem königlich-statistisch-topographischem Bureau, Verlag Aue, Stuttgart, 377 S.
- PFEIL, W. (1842): Erziehung der Weißtanne. Kritische Blätter für Forst- u. Jagdwissenschaften, 155-170.
- QUADT, A. (1994): Untersuchungen an Laubbäumen unter Streßeinfluß durch Viren und abiotischen Faktoren. Dissertation, Universität Bonn, 198 S.
- REILLE, M. (1988): Analyses polleniques des primeures carottes sous la coustres des lacs de haute altitudes de Corse. C.R. Acad. Scientific 620, Paris, 306, série 3
- REISCH, J. (1974): Waldschutz und Umwelt. Springer Verlag, Berlin, 568 S.
- REISS, J. (1968): Intracellulärer Nachweis dehydrierender Enzyme mit Tetrazoliumsalzen - Theorie und Praxis. Mikrokosmos, 52-60.
- REITER, H., ALCUBILLA, M., und REHFUESS, K.E. (1983): Standortkundliche Studien zum Tannensterben: Ausbildung und Mineralstoffgehalte der Wurzeln von Weißtannen (*Abies alba* Mill.) in Abhängigkeit vom Gesundheitszustand und Boden. Allg. Forst- u.J.-Ztg., 82-92.
- REYSCHER, A. (1828): Sammlung der Staatsgrundgesetze. Vollständige, historisch und kritisch bearbeitete Sammlung der württembergischen Gesetze Bd.1. 1828; Bd.2. 1829; Bd.3. 1830.
- RODENWALDT, U. (1977): Holzhandel und Holztransport vom Schwarzwald nach den Niederlanden. Allg. Forst- u.J.-Ztg., 4-7.
- ROZSNYAY, Z. (1979): Forstgeschichtliche Betrachtungen zur Entstehung der Kraft'schen Baumklassen. Allg. Forst- u.J.-Ztg., 65-71.
- RUBNER (1910): Das Hungern des Cambiums. Naturwiss. Zeitschrift, 242-246.
- RUBNER, K. (1960): Die pflanzengeographische Grundlagen des Waldbaus. Neumann Verlag, Radebeul, 620 S.
- SCHAAL (1873): Die 250 bis 500 Jahre alten Tannen (*Abies pectinata* De Cand) des Staatsforstreviers Olbernhau im sächsischen Erzgebirge. Tharandter Forstl. Jahrbuch, 296-304.

- SCHAAL (1898): Die Weißtanne, ihr Verhalten und ihre allmähliche Abnahme, besonders in Bezug auf Sachsen. Allg. Forst- u. J.-Ztg., 200-204.
- SCHEIDTER, F. (1919): Das Tannensterben im Frankenwalde. Naturwissenschaftl. Zeitschrift f. Forst- u. Landwirtschaft, 17, 69-90.
- SCHEIFELE, M. (1988): Die Murgschifferschaft. Geschichte des Floßhandels und des Waldes und der Holzindustrie im Murgtal. Casimir Katz Verlag, Gernsbach; 530 S..
- SCHILLER, P. - Diplomarbeit in Vorbereitung.
- SCHMID-HAAS, P., MASUMY, S., NIEDERER, M., SCHWEINGRUBER, F.H. (1986): Zuwachs und Kronenanalysen an geschwächten Tannen. Schweiz.Zeit.f.Forstwesen, 811-832.
- SCHMIDLIN, J.-G. (1822): Handbuch der württembergischen Forstgesetzgebung oder systematische Zusammenstellung aller Gesetze über das Jagdfischerey- und Holzwesen. Stuttgart.
- SCHMIDT (1955): Unser Bildbericht: Weißtannenbestände im nordwestdeutschen Küstengebiet. Allg. Forstzeitschrift, 518-519.
- SCHÖNBECK, F. (1980): Endomycorrhiza. Ökologie, Funktion und phytopathologische Aspekte. Forum Mikrobiologie, 90-95.
- SCHÖPFER, W. und HRADETZKY, J. (1984): Der Indizienbeweis: Luftverschmutzung als maßgebliche Ursache der Walderkrankung. Forstwiss. Centralblatt, 231-248.
- SCHUBERT, K. (1888): Die Weißtanne bei der Erziehung in geschlossenen Beständen. Laupp Verlag, Tübingen, 103 S.
- SCHUCH, M. (1968): Die zeitlichen Variationen der elektrischen Strömungsspannung in einem Fichtenstamm, verursacht durch die tägliche Änderungen des Saftstroms. Ökolog. Planta, 169-175.
- SCHUCK, H.J., BLÜMEL, U., GEIER, L., und SCHÜTT, P. (1980): Schadbild und Ätiologie des Tannensterbens. Wichtung der Krankheitssymptome. European Journal f.Forest Pathol., 125-135.
- SCHÜTT, P. KOCH, W., BLASCHKE, H., LANG, K.J., SCHUCK, H.J., und SUMMERER, H. (1983): So stirbt der Wald. BLV Verlagsgesellschaft, München, 95 S.
- SCHÜTT, P. (1984): Der Wald stirbt an Streß. Bertelsmann Verlag, München, 264 S.
- SCHÜTT, P. (1994): Tannenarten Europas und Kleinasiens. Verlag Ecomed, Landsberg. 132 S.
- SCHULZ, B. (1968): Programm zur Berechnung des Standraums in einschichtigen Beständen. Allg. Forst- u. J.-Ztg., 232-234.
- SCHWERDTFEGER, F. (1981): Die Waldkrankheiten. Paul Parey Verlag, Hamburg, Berlin, 486 S.
- SCHWEINGRUBER, F.H., KONTIC, R., WINKLER-SEIFERT, A. (1983): Eine jahrringanalytische Studie zum Nadelbaumsterben in der Schweiz. Berichte d.Eidgen.Anstalt f.d.Forstl. Versuchswesen, Birmensdorf, Nr. 253, 21 S.
- SCHWEINGRUBER, F., ALBRECHT, H. BECH, M., HESSEL, J., JOOS, K., KELLER, D., KONTIC, R., LANGE, K., NIEDERER, M., NIPPEL, C. SPUNG, S., SPINNLER, A., STEIER, B., WINKLER, E. (1986): Abrupte Zuwachsschwankungen in Jahrringabfolgen als ökologische Indikatoren. Dendrochronologica 4, 125-183
- SCHWEINGRUBER, F.H. (1993): Jahrring und Umwelt - Dendroökologie. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. 474 S.
- SCHWEIZER, B., und ARNDT, U. (1993): Ökophysiologische Messungen an immissionsbelasteten Forstpflanzen OTC Edelmannshof. KfK-PEF 94, 127-141.
- SEITSCHKE, O. (1967): Die Weißtanne im Bodenseegebiet. Forstwissensch. Forschungen; 38-43.

- SEITSCHKE, O. (1978): Wissenstand und Forschungsvorhaben über das Tannensterben. Allg. Forst Zeitschrift, 984-988.
- SEUFERT, G., (1988): Untersuchungen zum Einfluß von Luftverunreinigungen auf den wassergebundenen Stofftransport in Modellökosystemen mit jungen Waldbäumen. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe A, Band 44, 1988, Universität Göttingen.
- SOMMER, H.G. (1961): Tannenkronen im Plenterwald. Forstwiss. Centralblatt, 215-223.
- SUTOR, R. (1986): Über die Stärkegehalte gesunder und kranker Nadelbäume im Ablauf einer Vegetationsperiode. Diplomarbeit, Universität Hohenheim, Institut für Botanik, 136 S.
- TAUBERT, F. (1926): Beiträge zur äußeren und inneren Morphologie der Licht- und Schattennadeln bei der Gattung Abies. Mitteil. d. Deutschen Dendrologischen Gesellschaft, Band 2, 206-252.
- TRANQUILLINI, W. (1969): Photosynthese und Transpiration einiger Holzarten bei verschieden starkem Wind. Centralblatt f.d.gesamte Forstwesen; 35-48.
- ULRICH, B. (1981): Eine ökosystemare Hypothese über die Ursachen des Tannensterbens (Abies alba Mill.). Forstwiss. Centralblatt, 228-235.
- UMWELTBUNDESAMT (1989): Daten zur Umwelt 1988/89. Erich Schmid Verlag, Berlin.
- URBAT, U. (1989): Über den Energiestoffwechsel gesunder und kranker Tannen des Nordschwarzwalds. Diplomarbeit, Universität Hohenheim, Institut für Botanik, 153 S.
- VEH, F.M. (1961): Geschichte der Oberpfalz und deren Waldreichtum im Wandel der Jahrhunderte. Allg. Forstzeitschrift, 673-674.
- VOLK, H. (1969): Untersuchungen zur Ausbreitung und künstlichen Einbringung der Fichte im Schwarzwald. Schriftenreihe der Landesforstverwaltung, Baden-Württemberg, Band 28, 161 S.
- WACHTER, A. (1977): Untersuchungen zum Weißtannensterben in Baden-Württemberg. Allg. Forstzeitschrift, 196-203.
- WEIHE, J. (1978): Die Schätzung von Größen und Grenzen der Standflächen im einschichtigen Reinbestand. Allg. Forst- u.J.-Ztg., 40-44.
- WEIMANN, H.J. (1979): Randschadenstabellen 1979. Allg. Forst Zeitschrift, 1109-1112.
- WEISS, M. (1991): Densitometrische Analysen von Nadelhölzern aus Südwestdeutschland und die Interpretation von Klimawirkungen auf Früh- und Spätholz. Diplomarbeit, Institut für Botanik, Universität Hohenheim, 78 S.
- WELLER, F. (1964): Vergleichende Untersuchungen über die Wurzelverteilung von Obstbäumen in verschiedenen Böden des Neckarlandes. Arbeiten der Landwirtschaftlichen Hochschule Hohenheim, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 181 S.
- WELLER, F. (1965): Die Ausbreitung der Pflanzenwurzeln im Boden in Abhängigkeit von genetischen und ökologischen Faktoren. Arbeiten der Landwirtschaftlichen Hochschule Hohenheim, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 123 S.
- WENTZEL, K.F. (1958a): Luftverunreinigungen - Gefahr für die belebte Welt. Allg. Forstzeitschrift, 597-598.
- WENTZEL, K.F. (1958b): Über die Regelung eines Rauchsadenfalls in der Praxis. Allg. Forstzeitschrift, 606-613.
- WIEDEMANN, E. (1927): Untersuchungen über das Tannensterben. Forstwiss. Centralblatt, 49, 759-780, 815-827, 845-853.
- WITZGALL, L. (1928): Tannensterben? Allg. Forst- u.J.-Ztg., 16-17.
- WITZGALL, L. (1929): Von der bäuerlichen Waldwirtschaft im Frankenwald, Bayernland, 87-89.

- WOHLFAHRT, E. (1960): Unser Bildbericht: Weißtannenüberhalt. Allg. Forstzeitschrift, 338-340.
- WÖSSNER, J. (1952): Das Waldgeding Dornstetten im württembergischen Schwarzwald. Allg. Forst- u.J.-Ztg., 144-147.
- ZAVELBERG, W. (1987): Über Photosynthese und Transpiration kranker und gesunder Nadelbäume. Diplomarbeit, Universität Hohenheim, Institut für Botanik, 118 S.
- ZELLER, H. (1926): Weißtanne mit abnormem Wachstum. Mitteilungen der Deutschen Dendrologischen Gesellschaft, 319-320.
- ZENTGRAF, E. (1949): Die Edeltanne. Allg. Forst- u.J.-Ztg., 7-15.
- ZENTGRAF, E. (1950): Die Wurzeltracht der Edeltanne. Allg. Forst- u.J.-Ztg., 70-73.
- ZIMMERLE, H. (1951): Die Stammform der Weißtanne im Hochwald und Plenterwald und diejenige der Fichte im Vergleich. Allg. Forst- u.J.-Ztg., 107-117.

Nachwort

Bei den vorgelegten Untersuchungen führten die Befunde nach und nach zu folgendem Bild: Die Walderkrankung der Tanne kann als ein Sonderfall im regulären Umbau der Tannenkronen angesehen werden. Diese Umbauvorgänge lassen sich als ein natürlicher Anpassungsvorgang verstehen, der auftritt, wenn sich in einem Waldbestand die kleinklimatischen Bedingungen plötzlich stark ändern, z.B. im Rahmen einer forstlichen Nutzung. Der Verlauf dieser Umbauvorgänge wird dabei stark geprägt von der bisherigen Anpassung, erkennbar an der "Konstitution" einer Tanne, und dem Ausmaß der kleinklimatischen Veränderungen.

Die vorliegende Arbeit setzte dieses Bild über die Walderkrankung aus vielen "Mosaikbausteinen" zusammen. Dieses Bild ist das Resultat mehrerer Untersuchungsreihen, die auf verschiedenartige Weisen alle dazu dienen sollten, "sichere Beiträge zur Kenntnis der Walderkrankung zu liefern".

Ob dieses Bild von der Walderkrankung der Tanne sich nun in allen Fällen als richtig erweist, läßt sich nur durch weitere Untersuchungen überprüfen. Hierfür wurde in Kapitel XVI ein methodisch einfacher Kriterienkatalog zusammengestellt. Doch sind auch andere Untersuchungsansätze denkbar. Wie auch immer diese neuen Befunde dann die bisherigen Vorstellungen korrigieren werden, für jeden Interessierten wird es dann ermutigend sein, die Biologie der Tanne und der Walderkrankung gründlicher und umfassender zu verstehen.

Das ursprüngliche Arbeitsthema befaßte sich mit dem organischen Ferntransport: Liegen den Wuchsstockungen walderkrankter Tannen Blockaden im Phloem zu Grunde? Welche Unterschiede gibt es im Assimilattransport bei gesunden und bei walderkrankten Tannen? Doch diesem Arbeitsansatz wurde dann die Grundlage entzogen, als durch das Fällungsprogramm BW 1984/85 und durch weitere Untersuchungen deutlich wurde, daß sich aus morphologischer Sicht nicht ohne weiteres eine klare Grenze zwischen gesund und walderkrankt ziehen läßt, und daß für solche Fragestellungen zu wenig über die Biologie der Tanne bekannt war (vgl. Kapitel XI). Auch eine erweiterte Symptomatologie brachte zu dem damaligen Zeitpunkt noch keinen Durchbruch.

Als nächstes Arbeitsziel wurde versucht, die bis dahin gewonnenen Ergebnisse weiter zu nutzen. Arbeitsthema war der Entwicklungsgang von Krone und Wurzel bei gesunden und walderkrankten Tannen unter besonderer Berücksichtigung des Kronen-Wurzel-Gleichgewichts. Auch hier hinterließen die gewonnenen Ergebnisse zunächst mehr offene Fragen zur Biologie der Tanne als Antworten zur Walderkrankung.

Erst der dritte Arbeitsansatz über die Symptomatologie der gesunden und der walderkrankten Tanne zeitigte ein in sich abgeschlossenes Bild über die Walderkrankung. Es hielt bislang allen eigenen Überprüfungen stand, erlaubte darüber hinaus Antworten auf zahlreiche Fragen und eröffnete neue Ansatzpunkte für weiterführende (ökophysiologische) Untersuchungen.

Der langwierige und z.T. recht schwierige Werdegang dieser Arbeit wurde von einigen sehr günstigen Umständen begleitet.

1) Am Botanischen Institut in Hohenheim wurde über viele Jahre hinweg die Walderkrankung der Tanne sehr differenziert und kritisch bearbeitet, das Denken in weiten, unkonventionellen Perspektiven und ein "Querdenken" wurden traditionellerweise gefördert, andersartige Ansätze respektiert. Dies galt auch dann noch, als neue Hinweise und vage Ergebnisse den Vorstellungen und Forschungsrichtungen der Kollegen und des Institulleiters entgegenstanden, bzw. nicht der allgemeinen politischen Gunst entsprachen. Ohne diese geistig offene Arbeitsatmosphäre wäre der dargelegte Erkenntnisweg nicht möglich gewesen.

An dieser Stelle bedanke ich mich besonders bei Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. B. Frenzel, der im Wesentlichen diese offene geistige Arbeitsatmosphäre prägte, für das Thema der Doktorarbeit, für sein Wohlwollen, für seine Unterstützung und seine Geduld bei diesen unerwarteten Entwicklungen.

2) Ein weiterer günstiger Faktor war, daß im Nordschwarzwald in den Forstbezirken Klosterreichenbach und Besenfeld über viele Jahre hinweg ein Hauptschadensgebiet der Walderkrankung kontinuierlich zur Verfügung stand.

3) Doch erst die freundschaftliche Arbeitsatmosphäre mit hilfsbereiten Kollegen machten das Botanische Institut zu einem Ort, an dem es zu arbeiten Spaß machte und so manche außergewöhnliche Situation sich doch irgendwie bewältigen ließ. Wiederholt hing mein ganzes Projekt, und damit auch der eigene, jahrelange Arbeitsaufwand mit all seinen Einschränkungen, an dem sprichwörtlichen "seidenen Faden". Mit den Freunden aus dem Kollegenkreis fanden sich zum Glück immer wieder Auswege.

Auch die meisten entscheidenden Hinweise und Erkenntnisse fanden sich im Gelände in der Atmosphäre einer freundschaftlichen Zusammenarbeit, oft zufällig, "nebenbei". Mir ist heute im Rückblick bewußt, daß all diese schwierigen Situationen sich nur durch dieses wechselseitige Vertrauen bewältigen ließen. Ein Scheitern wäre wahrscheinlicher gewesen. Mein aufrichtiger Dank an alle.

Meine Danksagung richtet sich an einen großen Personenkreis, der im Laufe der Jahre direkt oder indirekt meine Arbeit unterstützt hat: Forstleute, Waldarbeiter, Mitarbeiter auswärtiger Institute, Mitarbeiter der Fahrbereitschaft, der Schreinerei und des Botanischen Gartens der Universität Hohenheim, Mitarbeiter des Botanischen Instituts, private Freunde und meine Eltern.

Besonders erwähnt sei Herr FD Weitbrecht, der dem Botanischen Institut jahrelang seinen Forstbezirk Klosterreichenbach engagiert zur Verfügung gestellt hat. Ebenso bedanke ich mich bei seinen Mitarbeitern für die gute, praktische Zusammenarbeit: Frau Hasenmeier, Herrn Lellek, Herrn RL Braun, Herrn RL Graser, Herrn RL Koch, Herrn RL Müller, Herrn RL Reinhard und zahlreiche (namentlich nicht aufgeführte) Waldarbeiter.

Mein Dank gilt auch Herrn RL Kappler (Besenfeld), der in einer kritischen Phase meiner Arbeit mir rasch und unbürokratisch weiterhalf.

Die verschiedenen Fällungsprogramme stellten ein breites Spektrum an gesunden und walderkrankten Tannen zur Verfügung. Das differenzierte Protokollieren dieser vielen Bäume vermittelte einen Gesamteindruck und sicherte eine breite Datenbasis. Meinen Dank möchte ich ausdrücken an die Leitung der Fällungsprogramme, an Herrn Prof.

Dr. Grammel (Freiburg), an Herrn Prof. Dr. Abetz (Freiburg) und an Herrn Dr. Kenk (Freiburg), sowie für die gute Zusammenarbeit mit ihren Mitarbeitern Herrn Dr. Hoewecke, Herrn Dr. Eichkorn, Herrn Dr. Gerecke, Herrn Dr. Thren und den Mitarbeitern der betroffenen Forstbezirke.

Die Fahrbereitschaft der Universität Hohenheim stellte für die anstehenden Geländearbeiten regelmäßig ein Auto zur Verfügung. Bei Herrn Könitzer, Frau Kilgus und Herrn Walter bedanke ich mich für die freundliche Zusammenarbeit.

Das Kollegium der Waldschadensgruppe am Botanischen Institut bestand während dieser Zeit aus folgenden Personen: Herrn Prof. Dr. B. Frenzel, Herrn Dr. A. Christmann, Herrn P. Endl, Frau Dr. M. Flachmann, Frau A. Flehmig, Frau Dr. A. Gliemeroth, Herrn D. Grieger, Frau S. Güth, Frau S. Hennig, Herrn U. Kettner, Frau A. Koch, Frau S. Liner, Frau J. Paehle, Frau E. Rücker, Frau P. Schiller, Frau P. Schmidt, Frau Dr. R. Sutor, Herrn U. Urbat-Bässler und Herrn W. Zavelberg.

Bei der Gewinnung von Proben und Protokollen haben mir im Gelände geholfen: Herr R. Zipper sen. (†), Frau A. Römer, Frau U. Huckriede, Herr F. Paulsen, Frau S. Hennig, Herr R. Zipper jun., Herr B. Küchler, Frau S. Liner, Herr W. Kopf, u.a..

Prof. Dr. B. Becker (†), Botanisches Institut, stellte das Jahrringmeßgerät und die Computer bereit und unterstützte meine Untersuchungen durch seine Erfahrung beim Datieren von so schwierigen Objekten wie Baumstubben und Wurzelästen. Frau Huckriede half mir beim Präparieren und Vermessen der Stammscheiben.

Bei den Layoutarbeiten berieten mich Frau E. Rücker, Frau M. Weiß und Herr I. Lentner.

Korrektur lasen Frau S. Liner und Frau E. Rücker.

Wissenschaftlich beraten haben mich weiterhin Prof. Dr. B. Becker (†), Dr. E. Götz, Dr. K. Haas und Dr. K. Loris.

Frau Dr. C. Kortfunke übernahm beim Zusammenschreiben meinen Part bei den gemeinsamen Lehrveranstaltungen.

All diesen Kolleginnen und Kollegen aus dem Botanischen Institut in Stuttgart-Hohenheim, auch den nicht namentlich aufgeführten, gebührt mein aufrichtiger Dank.