

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

**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein

**Band:** 141 (1990)

**Heft:** 11

**Artikel:** Der Nasskern, besonders bei der Weisstanne

**Autor:** Kuera, Ladislav J.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-765022>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 08.02.2025

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

# Der Nasskern, besonders bei der Weisstanne<sup>1</sup>

Von *Ladislav J. Kučera*

Oxf.: 811.52:174.7 Abies

(Professur Holzkunde und Holztechnologie der ETH Zürich, CH-8092 Zürich)

## 1. Einleitung

Der Nasskern ist ein baumbiologisches Phänomen, das seit geraumer Zeit die Forst- und Holzwirtschaft beschäftigt. Die ersten wissenschaftlichen Berichte über den Nasskern stammen aus den Anfangsjahren dieses Jahrhunderts. Den Begriff «Nasskern» prägte *Neger* (1908) im Zusammenhang mit seinen Untersuchungen des Tannensterbens. Eine andere frühe Arbeit stammt von *Fujioka* und *Takahashi* (1917) und berichtet über einen Nasskern der Sichel-tanne (*Cryptomeria japonica* D. Don). Der Forschung stellten sich von Anfang an zwei Fragen:

- Besteht ein Zusammenhang zwischen dem Nasskern und dem Gesundheitszustand des Baumes?
- Sind die Holzeigenschaften im Nasskernbereich aus der Sicht der Holzverwendung modifiziert?

Mittlerweile sind mehrere hundert Arbeiten über den Nasskern erschienen, darunter umfangreiche Dissertationen von *Seliskar* (1950; Nasskern bei Ulme und Pappel), *Knutson* (1968; Nassholz bei Aspe), *Murdoch* (1981; bakterieller Nasskern bei Ulme) und *Baasch* (1987; nasskernähnliche Erscheinungen bei der Fichte). Die Fachliteratur wurde wiederholt in Übersichten zusammengefasst (zum Beispiel *Hartley, Davidson* und *Crandall* 1961, *Ward* und *Pong* 1980, *Ward* und *Zeikus* 1980). *Passialis* und *Tsoumis* (1984) haben die Literatur über den Nasskern der Weisstanne ausgewertet. In der vorliegenden Arbeit wird der Stand der Kenntnisse kurz für den Praktiker zusammengefasst. Besondere Berücksichtigung finden dabei Ergebnisse aus vier bisher unveröffentlichten ETH-Diplomarbeiten aus den Jahren 1983 bis 1988, welche sich mit dem Nasskern der Weisstanne befasst haben.

<sup>1</sup> Leicht geänderte Fassung eines Vortrags, gehalten am 11. Dezember 1989 im Rahmen der Kolloquien der Abteilung für Forstwirtschaft an der ETH Zürich.

## 2. Definition des Nasskerns

Als «Kernholz» bezeichnet man die inneren Zonen im Holz, die im stehenden Stamm keine lebenden Zellen mehr enthalten und in denen die Reservestoffe (zum Beispiel die Stärke) in der Regel abgebaut oder in Kernholzsubstanzen umgebaut worden sind. Das Kernholz wirkt meistens dunkler in der Farbe als das Splintholz (Farbkernholz), obwohl ein Farbunterschied auch fehlen kann (IAWA 1964). Es gibt weitere Unterschiede zwischen dem Splint- und dem Kernholz, welche von Fall zu Fall zutreffen können und sich unter anderem auf den Wassergehalt, die Dauerhaftigkeit und die Imprägnierbarkeit des Holzes beziehen. Im Unterschied zum Kernholz wurde das Phänomen «Nasskern» sprachlich bislang noch nicht verbindlich festgelegt. Als «Nasskern» kann eine Kernholzart bezeichnet werden, welche im Vergleich zum üblichen Kernholz der gleichen Baumart einen teilweise sehr stark erhöhten Wassergehalt aufweist. Eine dunkle Farbe und ein unangenehmer Geruch zeichnen oft den Nasskern aus. Das Auftreten von Bakterien ist ein häufiges Merkmal des Nasskerns, obwohl auch Nasskerne ohne Bakterienbefall, gerade auch bei der Weisstanne (Passialis und Tsoumis 1984), beschrieben wurden.

Die obige Definition des Nasskerns ist wohl umfassend, jedoch zu wenig trennscharf. Denn auch ein Befall des Kernholzes durch holzzerstörende Pilze, zum Beispiel im Nadelholz durch den Wurzelschwamm *Fomes annosus* Fr. (Cooke), führt oft zu einem erhöhten Wassergehalt. Ähnliches trifft auch für wassergelagertes Rundholz zu. Diese letzterwähnten Fälle eines erhöhten Wassergehaltes im Kernholzbereich werden nicht zum Phänomen «Nasskern» gezählt, wie er im vorliegenden Bericht dargestellt wird.

## 3. Ursache und Entstehungsweise

Es ist bis heute nicht ganz geklärt, welche Umstände zur Nasskernbildung notwendig sind und welche Vorgänge dabei ablaufen. Man versucht, aus den Eigenschaften des Nasskerns Schlussfolgerungen über die Ursache und die Entstehungsweise zu ziehen, was durch die ausserordentliche Variabilität dieser Eigenschaften (zum Beispiel Wassergehalt, Azidität des Kapillarwassers, Gaszusammensetzung im Holz, Auftreten von organischen Säuren) erschwert wird. Immerhin sprechen gewichtige Gründe für eine massgebliche Beteiligung von Bakterien an der Nasskernbildung:

- Bakterien und bakterielle Stoffwechselprodukte (Organische Säuren, Methan) konnten im Nasskern fast immer gefunden werden (vgl. zum Beispiel Ward und Zeikus 1980)
- Abimpfungen mit Flüssigkeit aus dem Nasskern führten zur Nasskernbildung in Kontrollbäumen (vgl. zum Beispiel Dowson 1937 und Seliskar 1950)

- Es konnte bis heute keine befriedigende Ersatzhypothese zur Theorie der bakteriellen Nasskernbildung vorgestellt werden.

Immerhin muss festgehalten werden, dass in einigen Fällen Nasskerne ohne Bakterienbefall beschrieben wurden und einige Abimpfungen ergebnislos verliefen. Ferner konnten *Coutts* und *Rishbeth* (1977) die Bildung nasser Zonen im Holz als Folge einer Sublimateinspritzung ohne Beteiligung von Mikroorganismen demonstrieren. Sodann wurden Bakterien wiederholt aus gesundem Splint- und Kernholz isoliert. Daher wurde die Vermutung geäußert (Knutson 1968, *Hillis* 1977), die Bakterien würden sich an der Nasskernbildung nur passiv beteiligen, indem sie im Nasskern günstige Lebensbedingungen vorfinden würden. Ein anderer Vorschlag (*Schiitt* 1981) postuliert die Existenz von einem «normalen» (nichtbakteriellen) und einem «pathologischen» (bakteriellen) Nasskerntypus für die Weisstanne. Die endgültige Klärung dieser Fragen bedarf weiterer Untersuchungen.

Die Aktivitäten von Bakterien bei der Nasskernbildung wurden von *Ward* und *Zeikus* (1980) und *Schink* und *Ward* (1984) ausführlich dargestellt. Die Bakterien dringen durch Verletzungen in den Wurzeln, im Stamm oder der Krone in den Baumkörper ein. Das zunächst relativ trockene Kernholz weist eine gewisse Sauerstoffkonzentration in der inneren Gaszusammensetzung auf. Es wird sukzessiv besiedelt von aeroben (zum Beispiel *Pseudomonas*), semi-anaeroben (zum Beispiel *Erwinia*, *Enterobacter*) und schliesslich von anaeroben Bakterien (zum Beispiel *Clostridium*, *Corynebacterium*, *Methanobacterium*). Die Ursache für die sukzessive Abfolge der Bakterienarten liegt in der Wechselwirkung zwischen den Bakterien und ihrer Umwelt im Holzkörper. Durch ihren Metabolismus verändern die Bakterien laufend diese Bedingungen (vorab die Sauerstoffkonzentration) zugunsten einer nachfolgenden Bakterienart. Parallel zu dieser Sukzession von Bakterienarten verändert sich auch der Wassergehalt und vor allem die Azidität des Kapillarwassers. Der Anstieg des Wassergehaltes wird zumindest teilweise durch bakterielle Schleime und Metabolite, aber auch durch die Akkumulation der Kationen bewirkt, welche einen Anstieg des osmotischen Wertes im Gewebe (bzw. eine Absenkung des osmotischen Potentials) zur Folge haben. Der erhöhte osmotische Wert führt zur Wasseraufnahme, wobei das Wasser aus den Wurzeln oder dem benachbarten Splint stammt. Sowohl die dunkle Farbe des Nasskerns als auch der unangenehme Geruch sind im bakteriellen Metabolismus begründet.

#### 4. Baumphysiologische Bedeutung

Der Nasskern wurde bei der Tanne wiederholt mit Baumerkrankungen (Tannensterben) in Zusammenhang gebracht (zum Beispiel *Bauch*, *Klein*, *Früh-*

wald und Brill 1979). Schütt (1981) differenziert diesbezüglich zwischen einem «normalen» und einem «pathologischen» Nasskern. Der «normale» Nasskern ist annähernd kreisrund, einheitlich braun gefärbt und gewöhnlich geruchlos. Er geht oft von trockenen Ästen aus und ist im Stamm besonders im unteren Kronenbereich zu finden. Der «pathologische» Nasskern ist in Farbe und Begrenzung unregelmässig, er reicht oft strahlenförmig weit in den Splintholzbereich hinein, wodurch die aktive Wasserleitfläche des Baumes reduziert wird. Charakteristisch ist hier der unangenehme Geruch und das Vorkommen an der Stammbasis und in den Wurzeln. Nach Schütt (1981) steht dieser zweite Nasskerntypus im Zusammenhang mit dem Tannensterben. Untersuchungen von Baumann (1988) an 100 Tannen von zwei schweizerischen Standorten zeigten, dass die vitaleren und sozial dominierenden Bäume geringere relative Nasskernflächen aufwiesen als weniger vitale und sozial zurückstehende Vergleichsbäume.

Allerdings bietet der Nasskern dem Baum auch einen gewissen Vorteil im Sinne eines Schutzes gegen den Pilzbefall. Als Folge einer ungenügenden Sauerstoffversorgung und eines ungünstigen pH-Wertes des Kapillarwassers wird das Pilzwachstum besonders in alkalischen anaeroben Nasskernen verhindert. Dies gilt aber nur solange, als der hohe Wassergehalt im Nasskern aufrechterhalten bleibt. Mechanische Verletzungen und Frostrisse – letztere relativ häufig als Folge des hohen Wassergehaltes – führen gelegentlich zum Auslaufen der Kapillarflüssigkeit. Auch der oft hohe Gasdruck in anaeroben Nasskernen kann Risse zur Folge haben. Die auslaufende Nasskernflüssigkeit ist meistens alkalisch und enthält zahlreiche Mikroorganismen. Sie wird in der Praxis als Schleimfluss bezeichnet. Die Nasskernflüssigkeit nimmt nach kurzer Zeit eine schwarze Färbung an. Sie wirkt toxisch auf die Zellen der Rinde, welche in den Schleimflussbereichen bald absterben (Murdoch 1981). Auf diese Weise trockengelegte Nasskerne können in der Folge von holzerstörenden Pilzen besiedelt werden.

## 5. Verbreitung und Verteilung im Baumkörper

Die meisten Berichte über den Nasskern stammen aus Nordamerika und Europa. Es ist jedoch anzunehmen, dass dieses Phänomen weltweit verbreitet ist. Ungeklärt ist die Frage, ob die Nasskernhäufigkeit in den letzten Jahren zugenommen hat. Ward und Hart (1985) diagnostizieren für Nordamerika eine Zunahme der Nasskernbildung bei der Eiche. Nasskernbildung ist häufiger auf nassen als auf trockenen Standorten und bei durchlässigen Böden anzutreffen. Stecklinge können sehr früh infiziert werden im Gegensatz zu Bäumen aus Samenaufzucht. Das Baumalter spielt eine bedeutende Rolle, denn die Nasskernhäufigkeit ist proportional zum Baumalter. Eine wesentliche und bisher



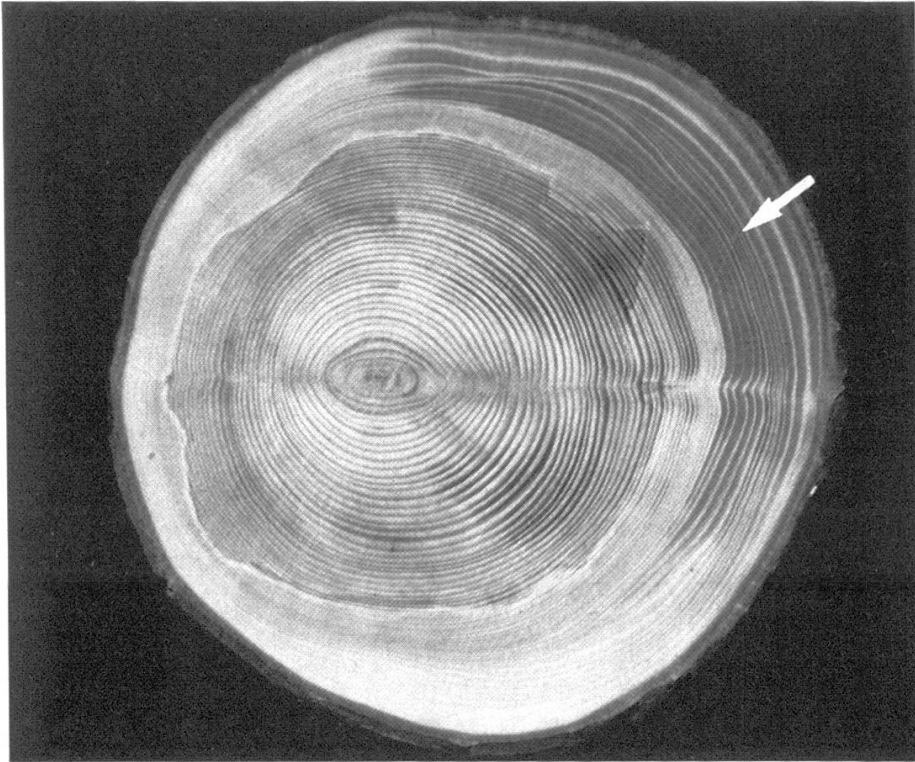


Abbildung 1. Stammscheibe einer Tanne mit zentralem Nasskernbereich. Seitlich ausgeprägtes Druckholz (Pfeil).

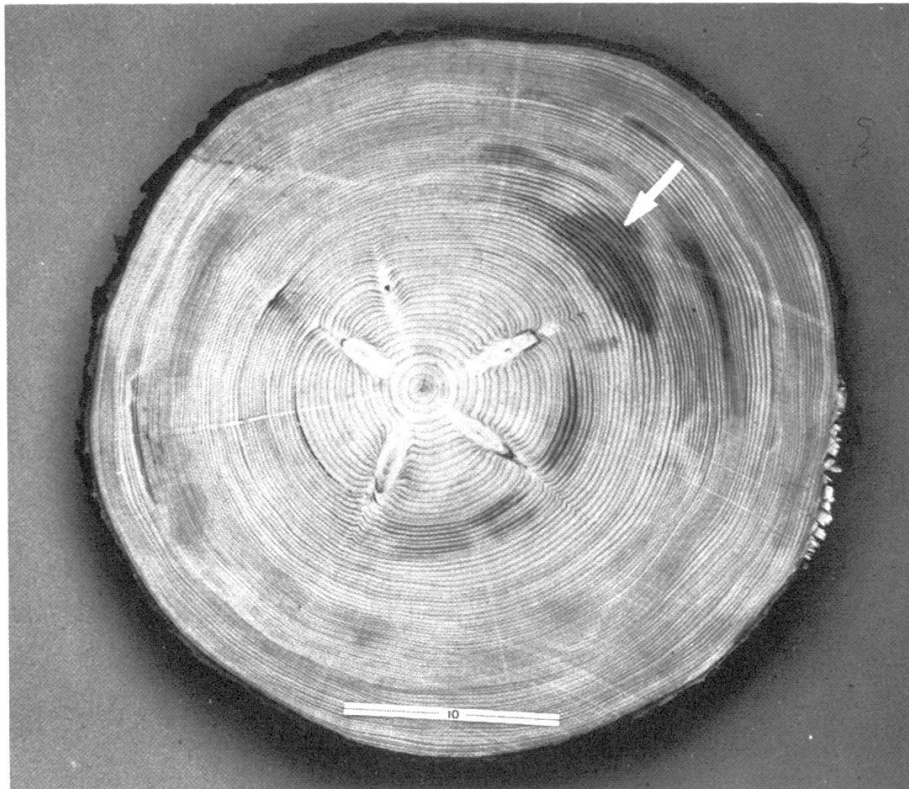


Abbildung 2. Stammscheibe einer Fichte mit einem lokalen Nasskernbereich (Pfeil). Marke = 10 cm.

nicht geklärte Rolle spielt die Baumart. Die Nasskernbildung ist ausgesprochen häufig bei einigen Gattungen, zum Beispiel *Abies*, *Tsuga*, *Populus*, *Quercus*, *Salix*, *Ulmus*. Hingegen scheinen Baumarten aus einigen Gattungen eine bemerkenswerte Resistenz gegenüber diesem Phänomen aufzuweisen, so *Picea*, *Pseudotsuga*, *Acer* und *Juglans*. Baumann (1988) verwendete für die Nasskernbestimmung im Stamm stehender Tannen die an der ETHZ entwickelte Methode der elektrischen Widerstandsmessung mit dem Messgerät Vitamat (Kučera und Bucher 1988). Es zeigte sich, dass alle ausgewählten 100 Tannen von zwei verschiedenen Standorten einen Nasskern besaßen, wenn auch Unterschiede im Ausmass und im Entwicklungsstadium auftraten. Dies bestätigt die Beobachtung von Passialis und Tsoumis (1984), wonach in Griechenland praktisch in jeder schlagreifen Tanne ein Nasskern vorzufinden sei.

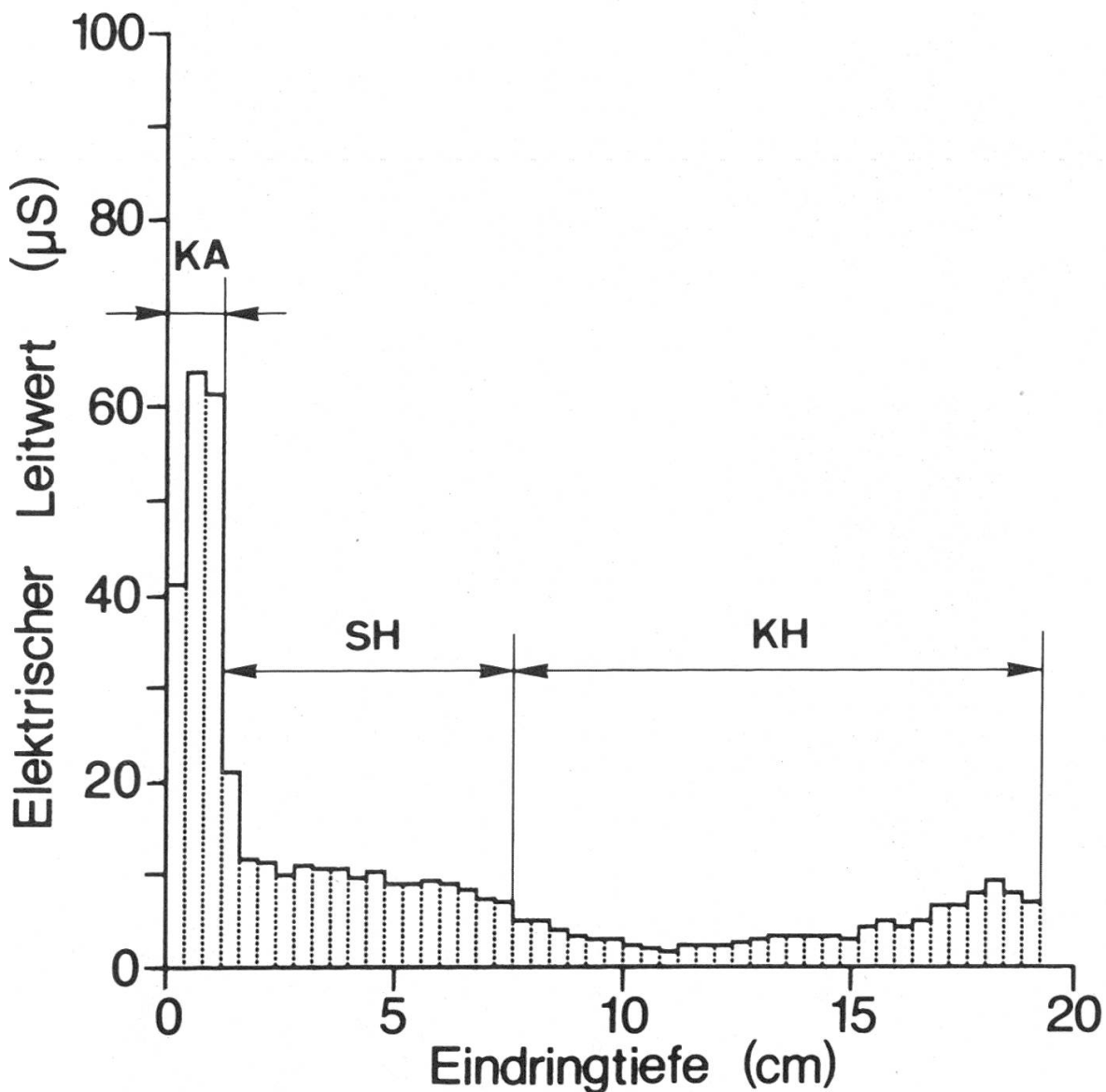


Abbildung 3. Elektrischer Leitwert über dem Radius einer Tanne ohne Nasskern. Vitamatmessung. Splintholzbreite etwa 10 cm, kambialer Leitwert 62 µS. KA = kambiale Zone, SH = Splintholz, KH = helles Kernholz.

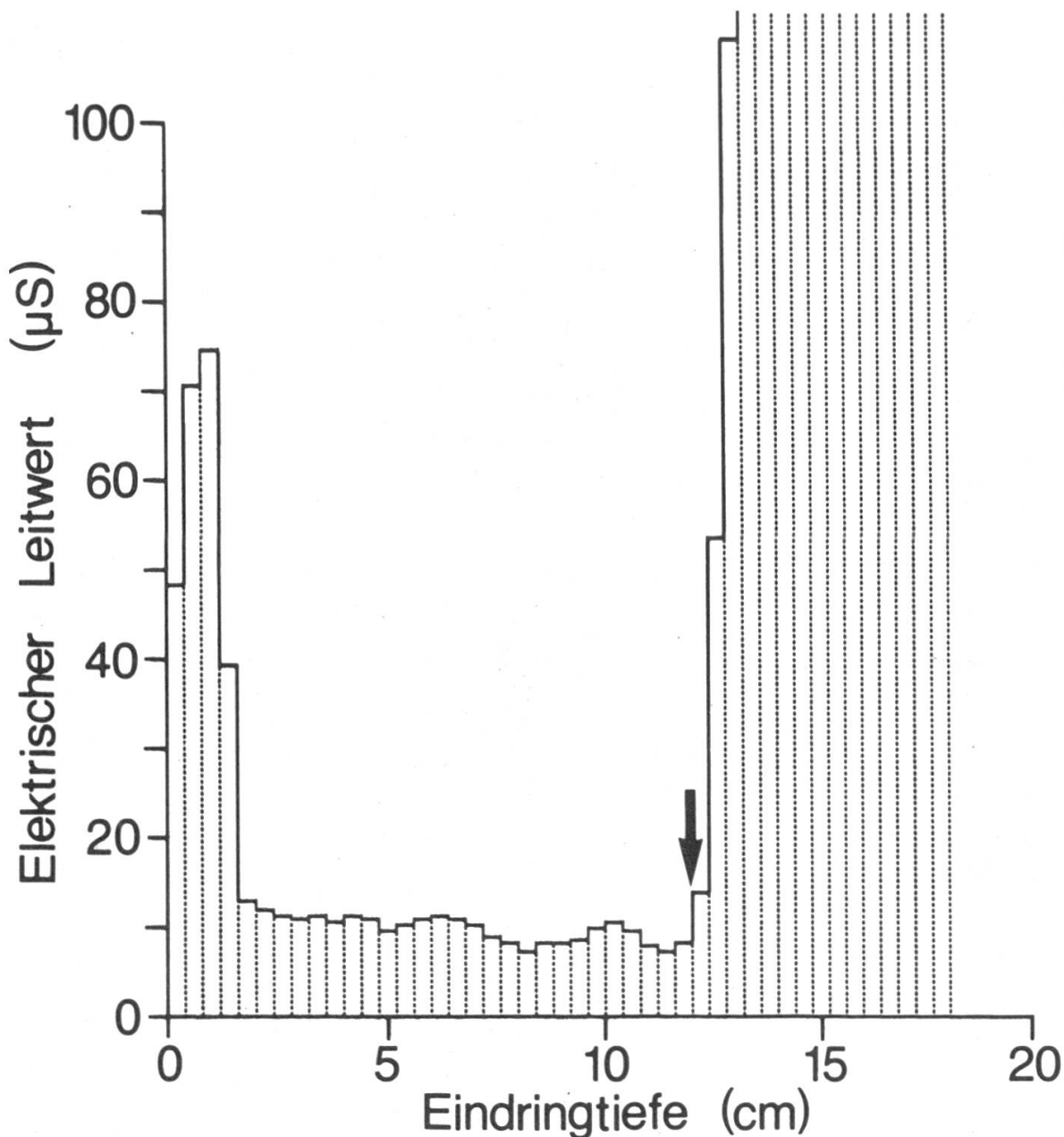


Abbildung 4. Elektrischer Leitwert über dem Radius einer Tanne mit einem kleinen zentralen Nasskern. Vitamatmessung. Splintholzbreite etwa 10 cm, kambialer Leitwert  $75 \mu\text{S}$ . Äussere Nasskerngrenze markiert (Pfeil).

Die Verteilung des Nasskerns im Baumkörper widerspiegelt ein vorübergehendes Entwicklungsstadium und sollte daher nicht überbewertet werden. In der vertikalen Richtung können drei Typen unterschieden werden: ein basaler Typus mit Verbindung zum Wurzelwerk, ein Typus im unteren Kronenbereich und ein kombinierter Typus, entstanden aus dem Zusammenschluss der ersten beiden Typen. Auch im Querschnitt sind drei Typen auszumachen: Typ 1 als Kreisring zwischen Splint- und Kernholz, Typ 2 umfassend die gesamte Kernholzzone (Abbildung 1) und Typ 3 mit fleckenweisem Auftreten (Abbildung 2). Die Vitamat-Messungen von Baumann (1988) haben diese Spielarten in der



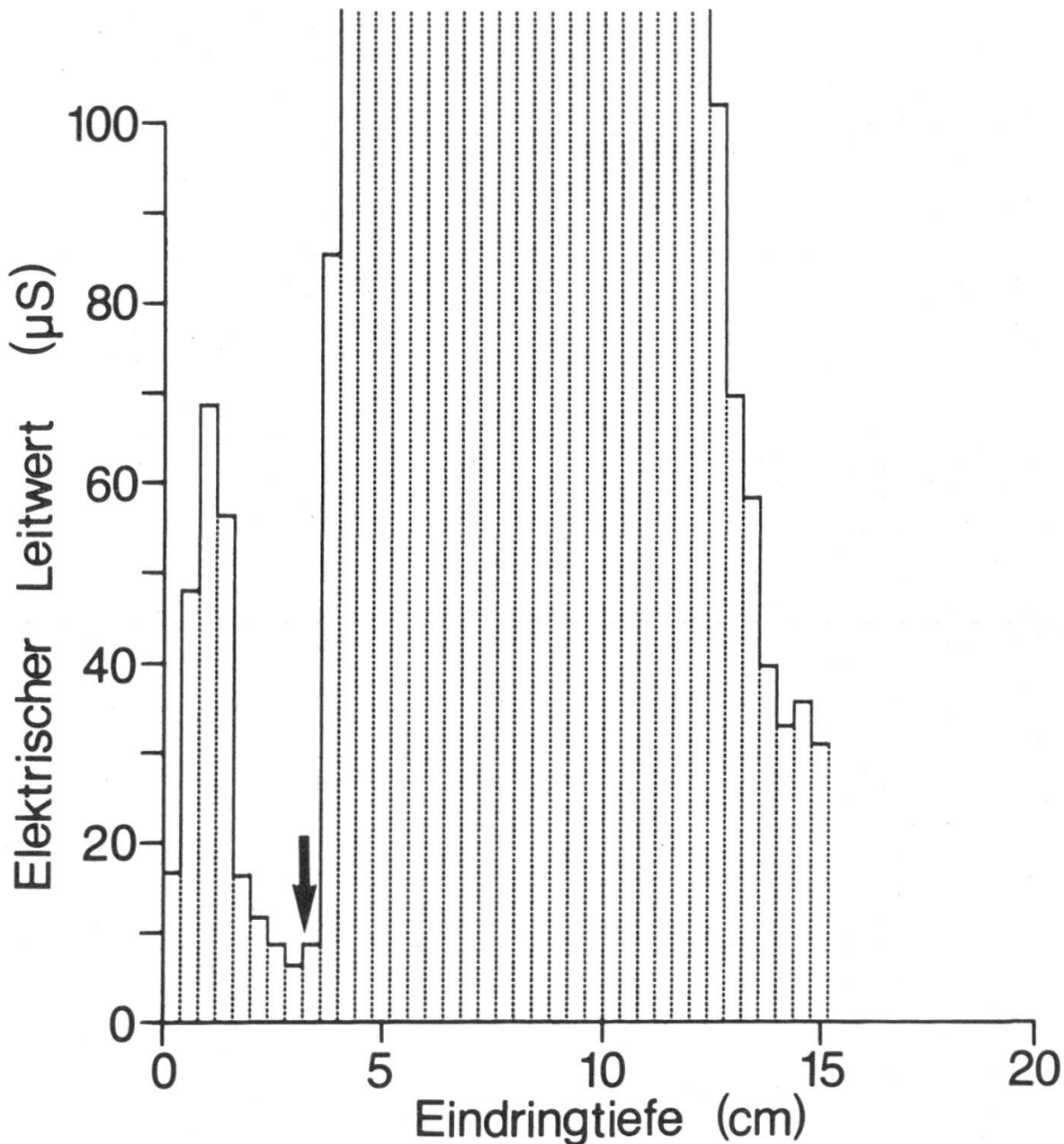


Abbildung 5. Elektrischer Leitwert über dem Radius einer Tanne mit einem Nasskernkreisring. Vitamatmessung. Splintholzbreite etwa 2 cm, kambialer Leitwert  $69 \mu\text{S}$ . Äussere Nasskerngrenze markiert (Pfeil).

Nasskernverteilung (Abbildungen 3 bis 6) bestätigt. *Abbildung 3* zeigt eine Tanne ohne Nasskern, *Abbildung 4* eine solche mit einem zentralen Nasskernzylinder. In den *Abbildungen 5* und *6* ist der Nasskern auf eine bzw. zwei schmale Zonen beschränkt. Zudem ist bei der Tanne in *Abbildung 6* eine Schädigung des Baumes durch den Nasskern (sehr schmale Splintzone, Unterversorgung des Kambiums mit Wasser und Assimilaten, ersichtlich am niedrigen kambialen elektrischen Leitwert von nur  $40 \mu\text{S}$ ) sichtbar.

Eine letzte Klassifizierung des Nasskerns bezieht sich auf seine Herkunft, wobei hier zwischen einem Typus, der im bestehenden Kernholz entstanden ist

und einem solchen, der durch eine progressive Verkernung des Splintholzes herbeigeführt wurde, unterschieden werden kann. Der zweite Typus ist oft mit offenen Wunden assoziiert.

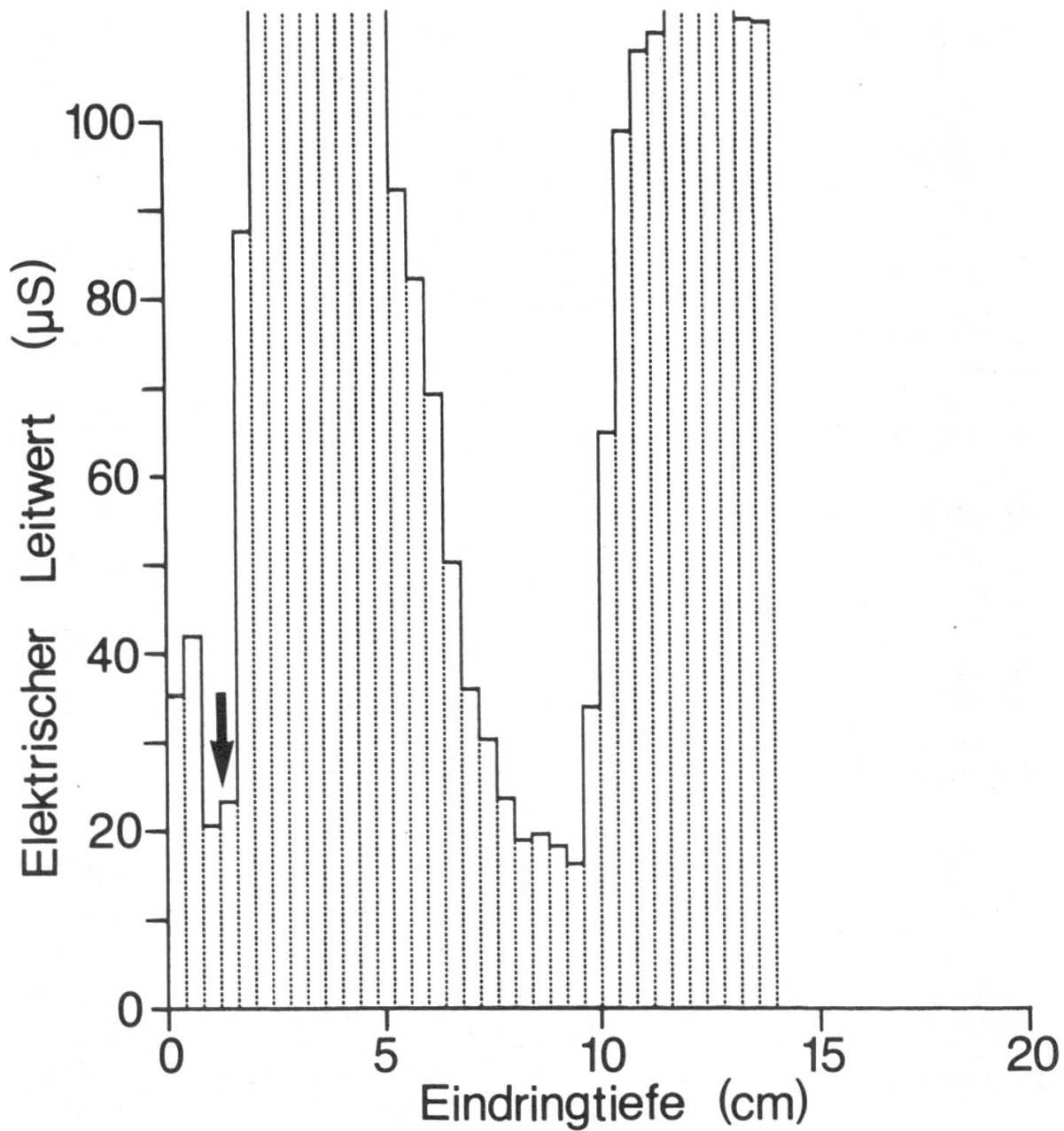


Abbildung 6. Elektrischer Leitwert über dem Radius einer Tanne mit zwei Nasskernzonen. Vitamat-messung. Der äussere Nasskern reicht fast bis zum Kambium. Splintholzbreite reduziert auf etwa 0,5 cm, kambialer Leitwert knapp 42 µS. Äussere Nasskerngrenze markiert (Pfeil).

## 6. Holzkundliche Eigenschaften

Die bekannteste Eigenschaft des Nasskerns ist sein relativ hoher Wassergehalt. Der Wassergehalt des Nasskerns ist stets höher als jener des üblichen Kernholzes der gleichen Art. Im Vergleich zum Splintholz kann der Wassergehalt des Nasskerns höher, tiefer oder gleich sein. Die Weisstanne hat einen Wassergehalt von etwa 120 bis 160% im Splintholz (bezogen auf das Kernholz). Im Nasskern wurden Werte von 75 bis 90% (Passialis und Tsoumis 1984) bis über 200% (Wilcox 1968) gemessen. Entscheidend hierfür ist offenbar das Stadium (möglicherweise auch der Typus) des Nasskerns. Die dunkle Farbe des Nasskerns geht auf die Oxidation phenolischer Substanzen zurück, deren Vorkommen durch bakteriellen Abbau gefördert wird (Abbildung 7). Der Geruch des Nasskerns ist vom Bakterientypus bzw. dessen Metabolismus abhängig und ist säuerlich oder sonst unangenehm. Sowohl Farbe als auch Geruch werden durch die Holzlagerung und -trocknung stark gemildert, wenn nicht gar behoben. Eine Trockenzone grenzt gewöhnlich den Nasskern vom benachbarten Splintholz ab. Diese wenige Millimeter breite Trockenzone hat einen sehr tiefen Wassergehalt und eine minime bis fehlende axiale Wegsamkeit für Flüssigkeiten. Holzanatomisch zeigt der Tannennasskern alle Charakteristika des Kernholzes. Lübbe (1983) zeigte, dass die hierfür notwendigen Verkernungsprozesse (Hoftüpfelverschluss, Veratmung von Reservestoffen, Absterben der Markstrahlparenchymzellen) im Grenzbereich zwischen dem Splintholz und der Trockenzone stattfinden. Bakterien ernähren sich im Kernholz von den Pro-

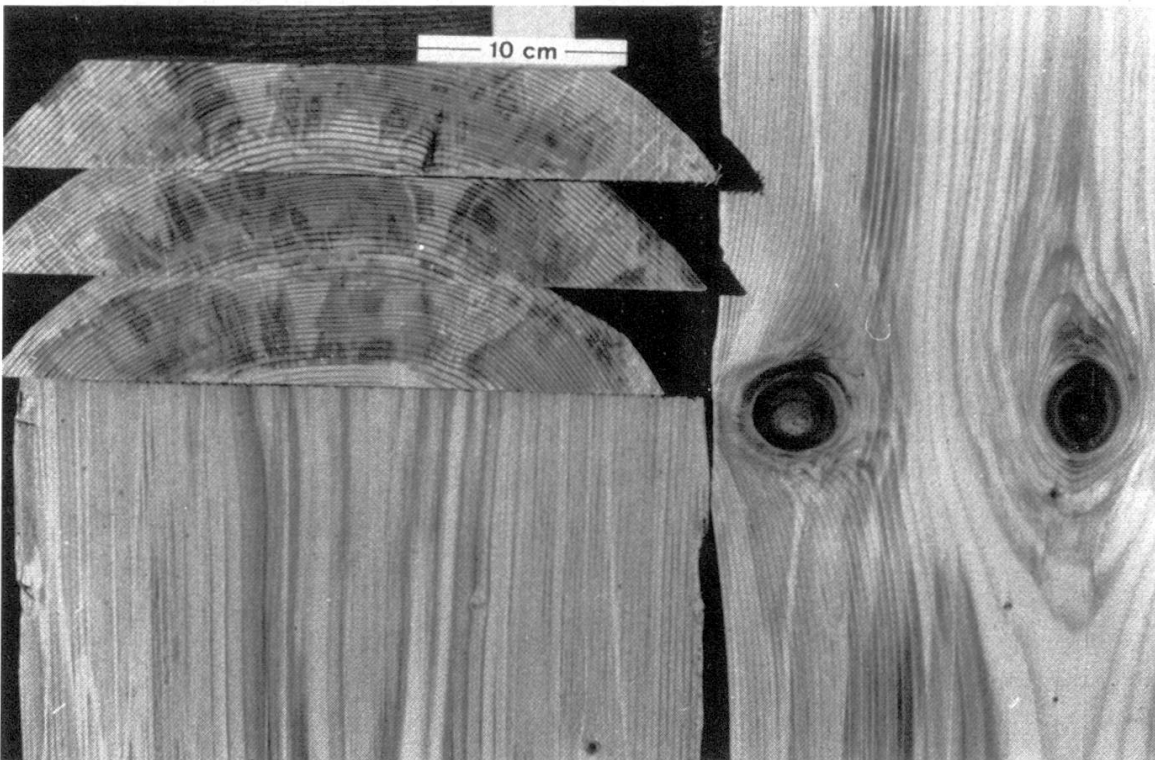


Abbildung 7. Tannenschnittholz mit Nasskern.

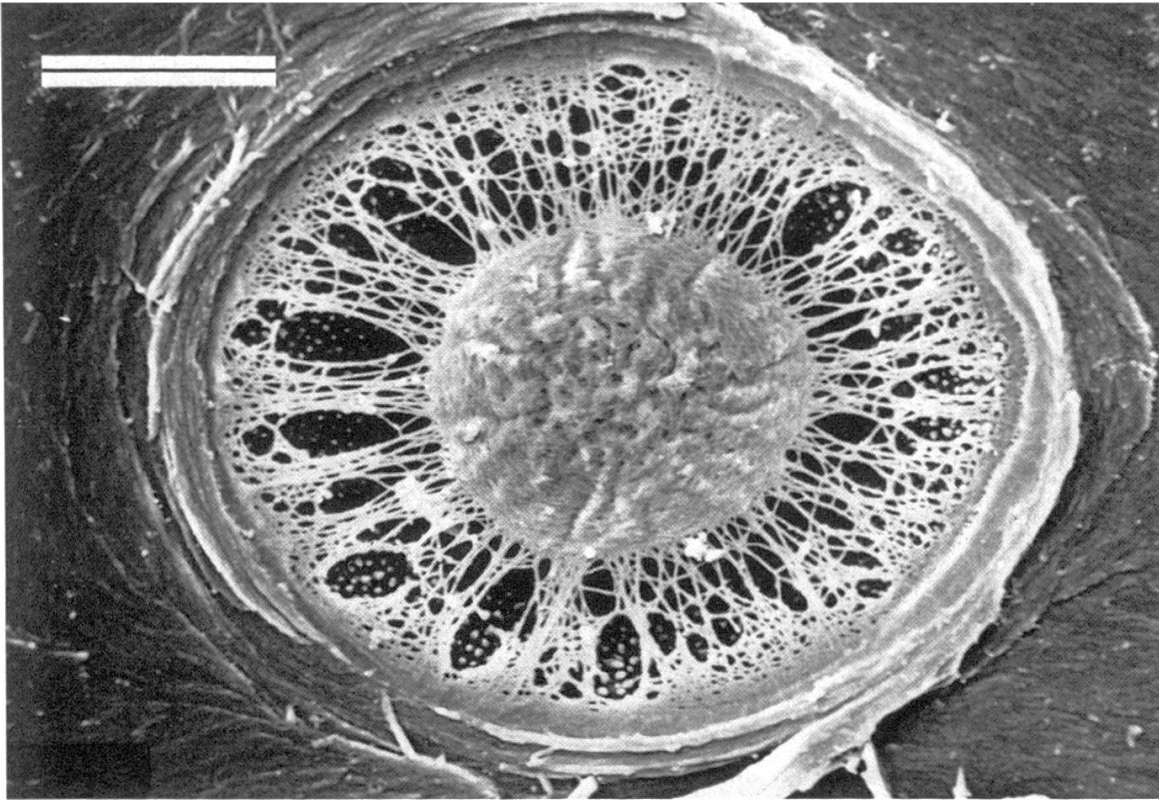


Abbildung 8. Radialschnitt von Tanne, REM-Aufnahme, Marke = 5  $\mu\text{m}$ . Offener Hoftüpfel aus dem Splintholz.

teinen, den Mono- und Oligosacchariden, dem Pektin und den Hemizellulosen. Die Abbaurate ist ausgesprochen gering, und die Hauptbestandteile der verholzten Zellwand – Zellulose und Lignin – werden praktisch nicht angegangen. Gewisse Bedeutung hat der Pektinabbau durch extrazellulär wirkende Enzyme der Gattungen *Erwinia* und *Clostridium* bei semianaeroben bzw. anaeroben Bedingungen. Dabei werden nichtlignifizierte Tüpfelmembranen zerstört und Schäden an der Mittellamelle verursacht (Schink, Ward, und Zeikus 1981a). Dadurch wird einerseits die Permeabilität des Holzes erhöht, andererseits kann aber der Zusammenhalt des Holzgefüges beeinträchtigt werden, was direkt die Holzeigenschaften wie Festigkeit und Trocknungsverhalten beeinflusst. Unter anderen mikrobiellen Bedingungen werden die Tüpfelmembranen nicht zerstört, vielmehr erfolgt deren Verkrustung durch bakterielle Metabolite. *Abbildungen 8 bis 10* zeigen je einen offenen, verschlossenen und verkrusteten Hoftüpfel aus dem Tannenholz.

Als Folge des bakteriellen Metabolismus werden nicht nur gewisse Zellinhaltsstoffe und Zellwandsubstanzen abgebaut, sondern es werden als Endprodukt der Stoffwechselaktivität viele verschiedene Substanzen, besonders organische Säuren (zum Beispiel Essig-, Milch-, Propion- und Buttersäure), Ammoniak und Methan (Schink, Ward und Zeikus 1981b) produziert. Diese Verbindungen haben einen wesentlichen Einfluss auf den pH-Wert (Azidität) des Xylemwassers. Im normalen Kernholz sind die pH-Werte im mässig sauren



Bereich (etwa 4,5 bis 5,5). Hingegen variiert der pH-Wert des Xylemwassers aus dem Nasskern zwischen etwa 3,5 (sehr stark sauer) und 8,0 (schwach basisch). Der künftige pH-Wert eines Nasskerns ist von zwei Faktoren abhängig, nämlich vom vorhandenen Nahrungsangebot und der Bakterienart. Der pH-Wert des Xylemwassers wird im Verlauf der Nasskernbildung als Folge sich sukzessiv ablösender Bakterienarten verändert. Ward und Zeikus (1980) fanden im Nasskern der Aspe saure und basische pH-Werte des Kapillarwassers im gleichen Stamm. Einen Einfluss des Standortes auf den pH-Wert des Nasskerns haben diese Autoren nicht beobachtet. Obwohl ein sehr auffälliges Merkmal, eignet sich der pH-Wert des Xylemwassers wegen seiner ausserordentlichen Variabilität nicht als Indikator der Nasskernbildung.

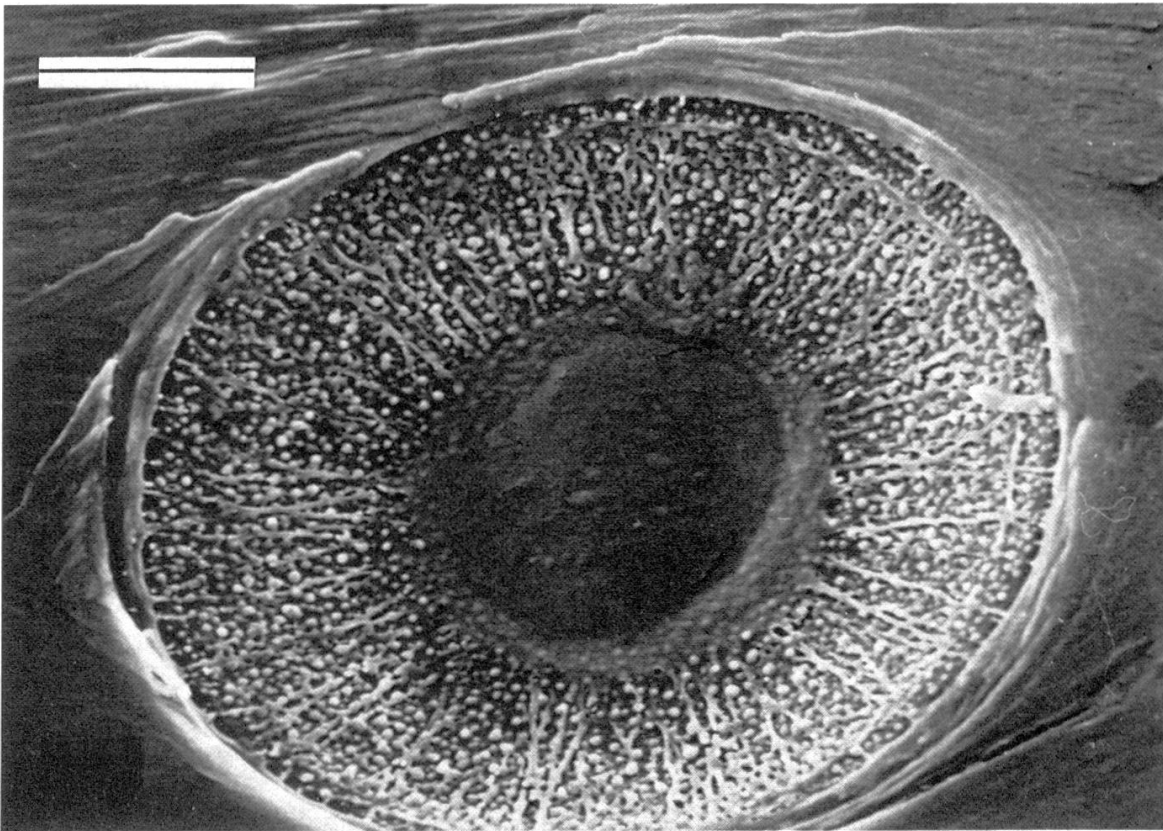


Abbildung 9. Radialschnitt von Tanne, REM-Aufnahme, Marke = 5  $\mu\text{m}$ . Verschlussener Hof-tüpfel aus hellem (trockenem) Kernholz.

Zu den chemischen Eigenschaften des Nasskerns gehört das niedrige osmotische Potential des Kapillarwassers aus dem Nasskern (Murdoch, *Campana* und *Biermann* 1987). Die Differenzen zwischen dem osmotischen Potential des Splintholzes bzw. des Nasskerns werden von diesen Autoren als Transportmechanismus des Wassers aus dem Splintholz in den Nasskern angesehen.

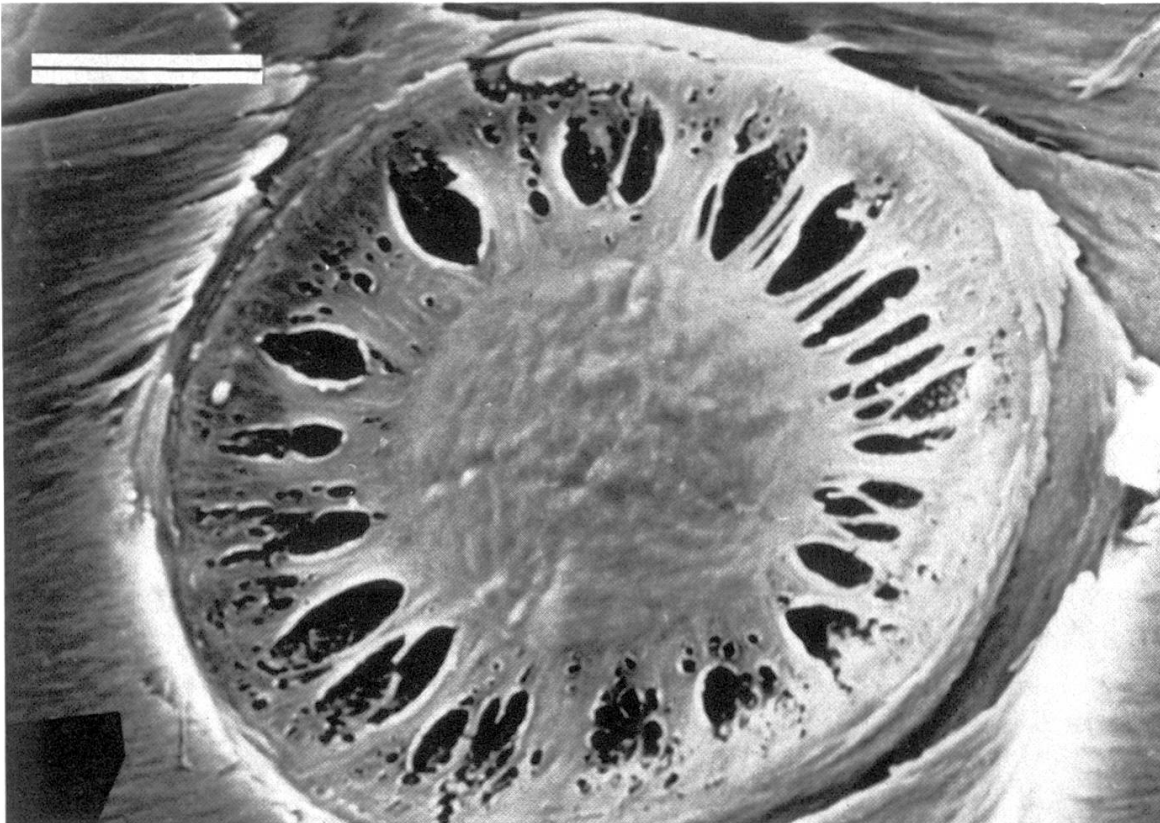


Abbildung 10. Radialschnitt von Tanne, REM-Aufnahme, Marke = 5  $\mu\text{m}$ . Verkrusteter Hoftüpfel aus Nasskernholz mit Bakterienbefall.

## 7. Physikalische und technologische Holzeigenschaften

Das Holz aus dem Nasskernbereich zeigt eine unverändert oder geringfügig erhöhte Raumdichte. Die Schwindmasse des nasskernigen Tannenholzes sind unverändert. Die Quellung verläuft im nasskernigen Holz wesentlich langsamer als im Splintholz, was auf die schlechtere Wegsamkeit des Holzes zurückzuführen ist (Passialis und Tsoumis 1984). Die Festigkeiten und die Elastizität des Holzes, gemessen an kleinen fehlerfreien Proben, liegen bei vielen untersuchten Holzarten einschliesslich der Weisstanne im normalen Bereich. Auffällig ist jedoch der hohe Anteil fehlerhafter Proben (Ausschuss) mit verschiedenen Rissen aus dem jeweiligen Nasskernbereich (Ward und Pong 1980). Die elektrische Leitfähigkeit des Nasskerns ist wesentlich höher als im hellen Kernholz (Baumann 1988; vgl. *Abbildungen 3 bis 6*); dies als Folge des höheren Wassergehaltes und besonders der höheren Kationenkonzentration im Kapillarwasser. Der Heizwert nasskernigen Holzes ist unverändert, es muss jedoch mit einer viel längeren Trocknungszeit gerechnet werden. Natürliche und technische Trocknung des nasskernigen Holzes ist durch den hohen Wassergehalt und die im Vergleich zum Splintholz geringe Trocknungsgeschwindigkeit sehr



erschwert. *Widmer* (1987) untersuchte die Trocknungsgeschwindigkeit bei der natürlichen und technischen Trocknung von 45 mm dicken Tannenholzkanteln oberhalb der Fasersättigung. Der Nasskern trocknete dabei mit dem Faktor 1,4 bis 1,8 langsamer als das Splintholz. *Ward* (1986) ermittelte für das Nasskernholz von Tanne und Aspe längere Trocknungszeiten und geringere Trocknungsgeschwindigkeiten als im dazugehörigen Splint- und Kernholz. Daher ist eine Vorsortierung des Trocknungsgutes sehr empfehlenswert, um Fehler wie Rissbildungen, Kollaps und Verschalung zu vermeiden oder wenigstens zu minimieren. Derartige Fehler kommen bei der Trocknung nasskernigen Holzes häufig vor; sie lassen sich durch langsames Trocknen vermeiden (*Ward* 1982). Die Anfälligkeit nasskernigen Holzes für Trocknungsfehler ist höchstwahrscheinlich im bakteriellen Abbau von Mittellamellen begründet, wodurch eine Lockerung des Gewebegefüges bewirkt wird. Ausserdem bestehen Meldungen über Korrosionsschäden an den Trocknungsanlagen durch die Nasskernflüssigkeit (*Ward und Pong* 1980). Die Imprägnierbarkeit des nasskernigen Tannenholzes ist etwas besser als im hellen Kernholz, jedoch deutlich weniger gut als im Splintholz (*Willeitner* 1973; *Passialis und Tsoumis* 1984), was mit dem teilweise durchlässigen Zustand der verkrusteten (aber nicht verklebten) Hoftüpfel erklärt werden kann. Die Verleimbarkeit von Tannennasskernholz wurde von *Rohner* (1987) mit vier handelsüblichen Leimsorten getestet. Zwei der Leimsorten wurden durch Heiss- wie auch durch die Kaltverleimung angewendet. Das Ergebnis wurde aus der Zugscherfestigkeit verleimter Prüflinge abgeleitet und zeigt, dass das Holz aus dem Tannennasskern im Hinblick auf die Verleimbarkeit mit dem «normalen» Tannenholz mindestens ebenbürtig ist. Die Oberflächenbehandlung nasskernigen Tannenholzes bietet nach bisherigen Erfahrungen keine besonderen Probleme.

## 8. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Erkenntnisse der vorliegenden Arbeit lassen sich folgendermassen zusammenfassen:

1. Der Nasskern ist eine bakteriell modifizierte Ausprägung des Kernholzes mit relativ hohem Wassergehalt. Dunkle Farbe, unangenehmer Geruch, abnormale pH-Werte und ein tiefes osmotisches Potential charakterisieren die Entwicklungsstadien des Nasskerns.
2. Der Nasskern ist geographisch universell verbreitet, wobei alte Bäume und/oder nasse Standorte besonders stark zur Nasskernhäufigkeit beitragen.
3. Pflanzensystematisch zeigt sich ein selektives Bild. Der Nasskern ist besonders häufig bei den Gattungen *Abies*, *Tsuga*, *Populus*, *Salix* und *Ulmus* und ausgesprochen selten bei den Gattungen *Picea* und *Juglans*.
4. Der Nasskern verschlechtert den Gesundheitszustand des Baumes nicht generell. In das Splintholz ausufernde Nasskerne kommen bei geschwäch-

ten Bäumen vor und können sich auf den Wassertransport im Splintholz nachteilig auswirken mit Folgen für die Wasserversorgung der Baumkrone.

5. Als Folge des hohen Wassergehaltes und der sehr tiefen Sauerstoffkonzentration im Holzgewebe gewährt der Nasskern im semianaeroben und besonders im anaeroben Stadium dem Kernholz des Baumes einen Schutz vor einem Befall durch holzerstörende Pilze.
6. Die dunkle und unregelmässige Farbe des Tannennasskerns und der unangenehme Geruch sind eine ästhetische Beeinträchtigung von temporärem Charakter. Sie können durch geeignete physikalische oder chemische Massnahmen gemildert oder behoben werden.
7. Der Nasskern verursacht Trocknungsprobleme durch den hohen Wassergehalt, das langsame Trocknen, die Neigung zu Trocknungsfehlern (Risse, Verschalung, Kollaps) und durch die Korrosion von Trocknungsanlagen. Vorsortierung des Trocknungsgutes und langsames Trocknen sind empfehlenswert.
8. Auf Grund der übrigen praxisrelevanten Eigenschaften wie Raumdichte, Schwindwerte, Festigkeiten, Heizwert, Dauerhaftigkeit, Imprägnierbarkeit und Verleimbarkeit ist das Nasskernholz mit dem hellen Kernholz der Tanne als gleichwertig einzustufen.

## Résumé

### Le cœur humide dans le cas particulier du sapin blanc

Les connaissances contenues dans le présent travail peuvent se résumer de la manière suivante:

1. Le cœur humide est une forme de bois de cœur, modifiée par l'action de bactéries, avec une teneur en eau relativement élevée. Une couleur sombre, une odeur désagréable, un pH anormal et un faible potentiel osmotique caractérisent les stades de développement du cœur humide.
2. Du point de vue géographique le cœur humide est réparti sur toute la surface du globe, mais il est cependant plus fréquent chez les arbres âgés et/ou dans les stations humides.
3. Sur le plan de la systématique végétale, on se trouve face à une image différenciée. Le cœur humide est particulièrement fréquent chez les genres *Abies*, *Tsuga*, *Populus*, *Salix* et *Ulmus* et extrêmement rare chez les genres *Picea* et *Juglans*.
4. Le cœur humide n'affecte pas l'état sanitaire de l'arbre de manière générale. Chez les arbres affaiblis, le cœur humide peut déborder dans l'aubier et entraver le transport de l'eau avec des conséquences néfastes pour la couronne.
5. En raison de sa teneur en eau élevée et de la concentration en oxygène très faible de ses tissus ligneux, le cœur humide garantit à l'état de semianaérobie et surtout d'anaérobie, une protection du bois de cœur contre les attaques de champignons destructeurs de bois.

6. La couleur sombre et irrégulière du cœur humide du sapin blanc et l'odeur désagréable s'en dégagent sont des défauts à caractère temporaire. Ils peuvent être atténués ou même supprimés par des mesures physiques et chimiques appropriées.
7. Le séchage du cœur humide pose des problèmes à cause de sa teneur en eau élevée, de sa dessiccation lente, de sa tendance à des défauts de séchage (fentes, cémentation, *collapsus*) et à cause de la corrosion des installations de séchage. Il est recommandé de trier préalablement le bois et de le sécher lentement.
8. Du point de vue des autres propriétés importantes pour le domaine pratique telles que densité, valeurs de retrait, résistance, valeur calorifique, durabilité, imprégnabilité et comportement au collage, il faut considérer le bois de cœur humide et le bois de cœur clair du sapin blanc comme d'égale valeur.

Traduction: S. Croptier

#### Literatur

- Baasch, R., 1987: Nasskernähnliche Erscheinungen bei der Fichte (*Picea abies* [L.] Karst.). Inaugural-Dissertation an der Ludwig-Maximilians-Universität, München. 98 p.
- Bauch, J., Klein, P., Frühwald, A., Brill, H., 1979: Alterations of wood characteristics in *Abies alba* Mill. due to «fir-dying» and considerations concerning its origin. *European Journal of Forest Pathology* 9: 321–331.
- Baumann, Th., 1988: Das Auftreten des Tannen-Nasskerns in Abhängigkeit von Standort und phänologischen Baummerkmalen. Unveröffentlichte Diplomarbeit ETH, Zürich. 48 p.
- Coutts, M. P., Rishbeth, J., 1977: The formation of wetwood in grand fir. *European Journal of Forest Pathology* 7(1): 13–22.
- Dowson, W. J., 1937: *Bacterium salicis* Day. The cause of the watermark disease of the cricket-bat willow. *The Annals of Applied Biology* 24(3): 528–544.
- Fujioka, M., Takahashi, K., 1917: On the cause of the darkening of the heartwood of *Cryptomeria japonica* Don. *Bul. Forest Exp. Sta. Meguro (Japan)* Nr. 16: 1–78 (engl. Zusammenfassung in *Journal of Forestry* 19(8): 1–23, 1921).
- Hartley, C., Davidson, R. W., Crandall, B. S., 1961: Wetwood, bacteria, and increased pH in trees. USDA For. Prod. Lab. Report Nr. 2115, Madison. 35 p.
- Hillis, W. E., 1977: Secondary changes in wood. In: F. A. Loewus, V. C. Runeckles (Eds.), *The structure, biosynthesis and degradation of wood*, pp. 247–309. Plenum Press, New York.
- International Association of Wood Anatomists, 1964: Multilingual glossary of terms used in wood anatomy. Verlagsanstalt Buchdruckerei Konkordia, Winterthur. 186 p.
- Knutson, D. M., 1968: Wetwood in trembling aspen (*Populus tremuloides* Michx.). Ph. D. Thesis. University of Minnesota, St. Paul. 128 p.
- Kučera, L. J., Bucher, H. P., 1988: Ein neuartiges Messgerät für Holzuntersuchungen. *Schweizer Ingenieur und Architekt* 106(45): 1243–1246.
- Lübbe, J., 1983: Holzkundliche Aspekte der Nasskernbildung bei Weisstanne: Merkmale unterschiedlicher Zonen im Tannen-Nasskern, dargestellt anhand von Struktur und Wegsamkeit. Unveröffentlichte Diplomarbeit ETH, Zürich. 117 p.
- Murdoch, C. W., 1981: Bacterial wetwood in elm. Ph. D. thesis. University of Maine, Orono. 142 p.
- Murdoch, C. W., Campana, R. J., Biermann, C. J., 1987: Physical and chemical properties of wetwood in american elm (*Ulmus americana*). *Canadian Journal of Plant Pathology* 9: 20–23.
- Neger, F. W., 1908: Das Tannensterben in den sächsischen und anderen deutschen Mittelgebirgen. *Tharandter forstl. Jahrb.* 58: 201–225.
- Passialis, C., Tsoumis, G., 1984: Characteristics of discoloured and wetwood in fir. *IAWA Bulletin* n.s., 5(2): 111–120.
- Rohner, A., 1987: Verleimbarkeit von Tannen-Nasskernholz. Unveröffentlichte Diplomarbeit ETH, Zürich. 40 p.

- Schink, B., Ward, J. C.*, 1984: Microaerobic and anaerobic bacterial activities involved in formation of wetwood and discoloured wood. *IAWA Bulletin n.s.*, 5(2): 105–109.
- Schink, B., Ward, J. C., Zeikus, J. G.*, 1981a: Microbiology of wetwood: Importance of pectin degradation and *Clostridium* species in living trees. *Applied and Environmental Microbiology* 42(3): 526–532.
- Schink, B., Ward, J. C., Zeikus, J. G.*, 1981b: Microbiology of wetwood: Role of anaerobic bacterial populations in living trees. *Journal of General Microbiology* 123: 313–322.
- Schütt, P.*, 1981: Erste Ansätze zur experimentellen Klärung des Tannensterbens. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 132(6): 443–452.
- Seliskar, C. E.*, 1950: Some investigations on the wetwood diseases of American elm and Lombardy poplar. Ph. D. thesis, Cornell University, Ithaca. 137 p.
- Ward, J. C.*, 1982: Bacterial oak and how to dry it. *Southern Lumberman* 243 (3017): 8–10.
- Ward, J. C.*, 1986: The effect of wetwood on lumber drying times and rates: An exploratory evaluation with longitudinal gas permeability. *Wood and Fiber Science* 18(2): 288–307.
- Ward, J. C., Hart, C. A.*, 1985: Drying North American oak lumber – The bacterial problem. In: *Ph. H. Mitchell et al.*, Proceedings of the North American Wood Drying Symposium, pp. 90–96, Mississippi FPL, Mississippi State.
- Ward, J. C., Pong, W. Y.*, 1980: Wetwood in trees: A timber resource problem. USDA Forest Service, Gen. Tech. Report Nr. PNW-112, Madison. 56 p.
- Ward, J. C., Zeikus, J. G.*, 1980: Bacteriological, chemical and physical properties of wetwood in living trees. In: Natural variations of wood properties. Mitt. der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg Nr. 131: 133–165.
- Widmer, X.*, 1987: Die Trocknungscharakteristik von Tannen-Nasskern-Holz. Unveröffentlichte Abschlussarbeit im Kaderkurs Holz an der ETH, Zürich. 20 p.
- Wilcox, W. W.*, 1968: Some physical and mechanical properties of wetwood in white fir. *Forest Products Journal* 18(120): 27–31.
- Willeitner, H.*, 1973: Tränkbarkeit verschiedener Tannenarten. Mitt. der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg Nr. 93: 225–232.