

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

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 149 (1998)

Heft: 8

Artikel: Eignung verschiedener Diagnosemethoden zur Erkennung von Stammfäulen bei Fichte

Autor: Niemz, Peter / Bodmer, Hans-Caspar / Kucera, Ladislav J.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-766122>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 30.06.2025

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

Eignung verschiedener Diagnosemethoden zur Erkennung von Stammfäulen bei Fichte

Von *Peter Niemz, Hans-Caspar Bodmer, Ladislav J. Kucera, Hans-Werner Ridder, Adolf Habermehl, Peter Wyss, Ernst Zürcher und Ottmar Holdenrieder*

Keywords: Norway spruce (*Picea abies*); butt rot; decay detection; non-destructive testing.

FDK 416: 812: 852.1

1. Einleitung

Zum Nachweis von Fäulen im Holz gibt es eine Anzahl unterschiedlicher Messverfahren, von denen einige auch bei der Begutachtung der Stand- und Bruchsicherheit von Bäumen eingesetzt werden (*Zürcher, 1988; Bethge et al., 1996; Schad et al., 1996; Kucera und Niemz, 1998*). In der forstlichen Praxis werden derartige Methoden bisher kaum angewendet, obwohl hier die Möglichkeit einer Frühdiagnose von Kernfäulen am stehenden Baum sehr erwünscht wäre. Die visuelle Beurteilung der Stammbasis liefert bei der Fichte keine zuverlässigen Hinweise auf das Vorkommen von Fäulen (*Tomiczek, 1996; Graber, 1996*). Im Rahmen der vorliegenden Fallstudie wurden deshalb einige ausgewählte Messverfahren unter praxisnahen Bedingungen angewendet und die Ergebnisse mit dem am Stammquerschnitt ermittelten Befund verglichen.

2. Material und Methoden

2.1 Standort und Prohebäume

Die Feldaufnahmen erfolgten im November und Dezember 1996 im Lehrrevier der ETH Zürich, 5 km westlich der Stadt Zürich, auf 705 bis 715 m ü. M. am Westhang des Üetliberges im Rahmen eines normalen Holzschlages. Die mittlere Bestandeshöhe auf der Versuchsfläche beträgt etwa 35 m, der mittlere

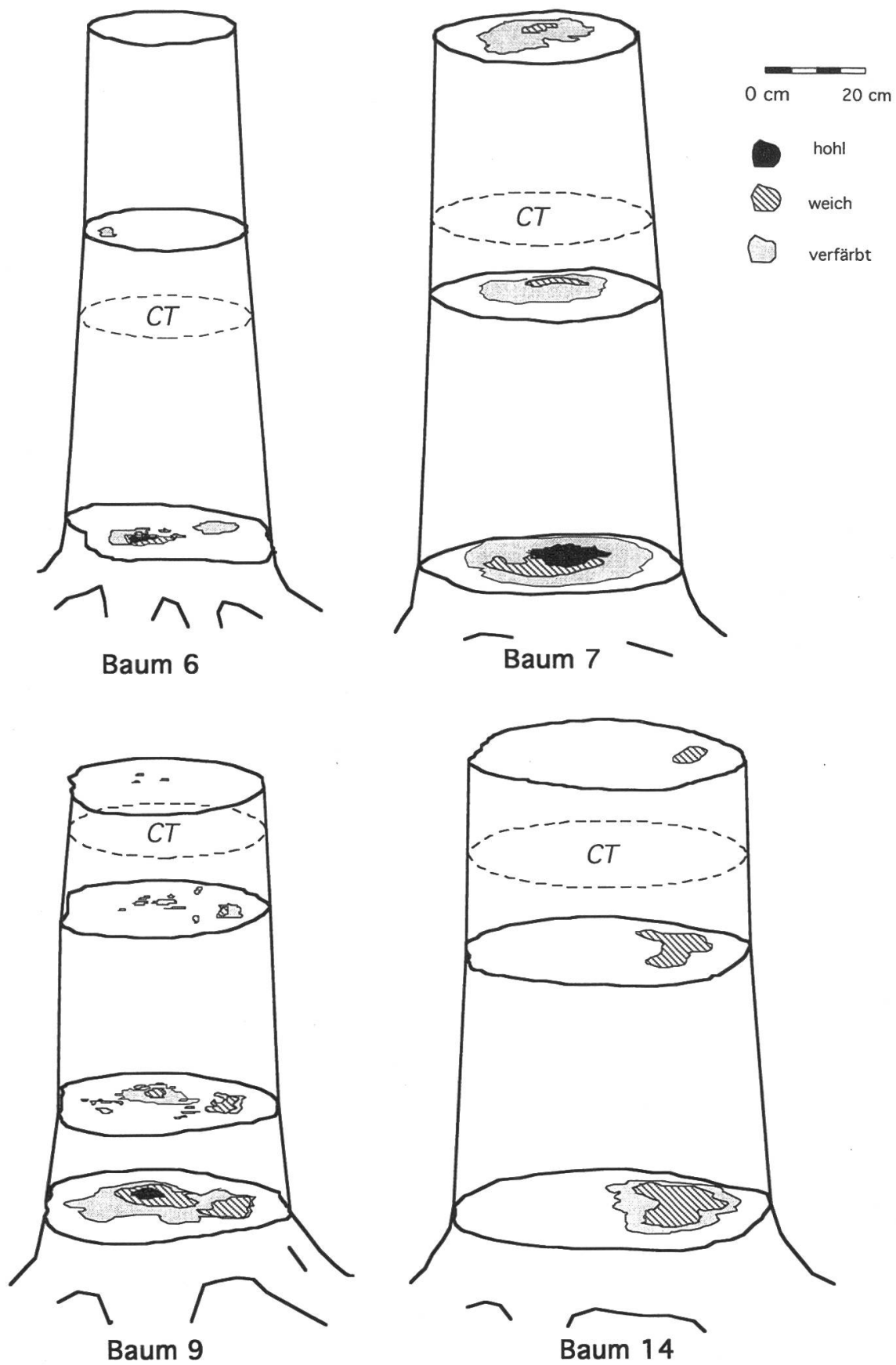


Abbildung 1. Schematische Darstellung der Fäule in den 4 Testbäumen. Die Messebene für die Computertomographie ist mit CT bezeichnet.

Tabelle 1. Ergebnisse der Bohrkernbeurteilung (Länge des gesund erscheinenden Bohrkernabschnittes und Zustand des daran in radialer Richtung anschliessenden veränderten Teiles sowie Pilzart) und der Schallgeschwindigkeitsmessung parallel zur Bohrung und senkrecht dazu.

Baum Nr.	gesunder Abschnitt (cm)	Fäulestufe ¹⁾	Pilzart	Schallgeschw. parallel m/s	Schallgeschw. senkrecht m/s
6	6	I-II	<i>Armillaria</i> sp.	1170	1814
7	5,5	II-III	<i>Armillaria</i> sp.	950	883
9	14	II-III	<i>Armillaria</i> sp.	866	725
14	9	I-II	<i>H. annosum</i>	777	1391

¹⁾ I = verfärbt, II = faul mit geringem Strukturverlust, III = faul mit starkem Strukturverlust.

re Brusthöhendurchmesser der Versuchsbäume lag bei 54 cm. Der Bestand ist 85 bis 110 Jahre alt, stockt auf einer mittelgründigen Braunerde und weist einen Mischungsgrad in der Oberschicht von 50% Fichten, 40% Tannen, 10% Buchen, Bergahorn und Eschen auf. Die Unterschicht besteht aus Laubgehölzen (Deckungsgrad 60%).

Aus allen für die Fällung vorgesehenen 30 Fichten (*Picea abies* Karst.) wurde im November 1996 mit dem Zuwachsbohrer (Ø 5 mm) in etwa 40 cm Höhe über dem Boden in radialer Richtung je ein Bohrkern entnommen. Aus dem Kollektiv der mit dieser Methode ermittelten kernfaulen Bäume wurden 4 Individuen mit unterschiedlichem Fäulegrad (Abbildung 1) und unterschiedlichen Fäuleerregern (Tabelle 1) ausgewählt, an denen alle Verfahren angewandt wurden. Sofern mit vertretbarem Aufwand möglich, wurden darüber hinaus zusätzliche Bäume gemessen. Nach dem Fällen wurden alle Bäume begutachtet und als «faul» klassifiziert, sofern eine makroskopisch deutlich erkennbare Holzveränderung von mindestens 10 cm Durchmesser am Fällschnitt vorlag.

2. 2 Verfahren zum Fäulenachweis

Es wurden folgende Methoden angewendet:

- Bohrung und Pilzdiagnose: Mit einem Zuwachsbohrer 400 mm/5 mm (Suunto, Espoo, Finnland) wurde auf 40 cm über dem Boden in radialer Richtung ein Bohrkern entnommen und dessen Zustand visuell einer der folgenden Stufen zugeordnet: 0 = unverändert, I = verfärbt, II = faul mit geringem Strukturverlust, III = faul mit starkem Strukturverlust. Segmente mit makroskopisch erkennbarer Fäule oder Verfärbung wurden auf einem Selektivmedium für Basidiomyceten inkubiert und die Erreger bestimmt (Holdenrieder et al., 1994).
- Bohrwiderstandsmessung mit Resistograph 1410 (Instrumenta Mechanik Labor GmbH, D-69168 Wiesloch, Deutschland).

- c) Schallgeschwindigkeitsmessung mit dem Gerät Sylvatest (Sandes SA, 1607 Palézieux-Gare, VD, Schweiz). Die Messung wurde sowohl parallel als auch senkrecht zum Bohrloch auf etwa 40 cm über dem Boden durchgeführt.
- d) Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeitsprofile mit dem Gerät Vitamat (Kucera und Bucher, 1988; Bucher *et al.*, 1993). Die Aufnahmen erfolgten in einer Höhe von 60 – 80 cm über dem Boden parallel und senkrecht zum Bohrloch.
- e) Thermographie: Die Wärmestrahlung der Bäume wurde passiv gemessen (ohne künstliche Erwärmung). Hierzu wurde die Kamera in einem Abstand von rund 1 m auf den unteren Teil des Stammes (0,3–1,5 m Höhe) gerichtet und das Bild dokumentiert. Die Messungen wurden mit 2 Geräten durchgeführt: FLIR 6200 mit Stickstoffkühlung (EMPA), Empfindlichkeitsbereich 8–12 μm , und Class II Thermal Imaging System (GEC Avionics, Rochester, UK).
- f) Mobile Computertomographie (Habermehl und Ridder, 1992). Die Messebene lag geräte- und geländebedingt in einer Höhe von etwa 50 bis 80 cm über dem Boden (vgl. *Abbildung 1*).

2.3 Bestimmung der Holzfeuchte

Die Holzfeuchte wurde jeweils an einer etwa 10 cm dicken Stammscheibe ermittelt, die sich direkt unterhalb der Messebene für die Computertomographie befand. Aus dieser wurde in radialer Richtung ein 5 cm breiter Streifen herausgeschnitten und in 3,5 cm lange Abschnitte aufgetrennt, von denen mittels Darmmethode die Feuchte bestimmt wurde.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Beurteilung am Stammquerschnitt

Die Lokalisierung der Fäulen in den vier mit allen Verfahren untersuchten Fichten ist in *Abbildung 1* dargestellt. Die Fäulen waren im Stockbereich stark ausgeprägt und nahmen nach oben hin schnell ab. Die *Abbildung 2* zeigt schematisch die Verteilung der Fäule auf dem Stammquerschnitt und die entsprechende Holzfeuchte. Die Holzfeuchte lag im Kernholz ohne Fäule bei etwa 30 bis 50%, im Splint meistens deutlich über 100%. Nur beim Baum Nr. 7 lag eine ausgedehnte Kernfäule im Bereich der Messebene. Hier erreichte die Holzfeuchte ähnlich hohe Werte wie im gesunden Splint, was im Einklang mit den Ergebnissen anderer Autoren (Smith und Shortle, 1991) steht. Von den insgesamt 14 am Fällschnitt als «faul» beurteilten Stämmen hatten 8 exzentrische

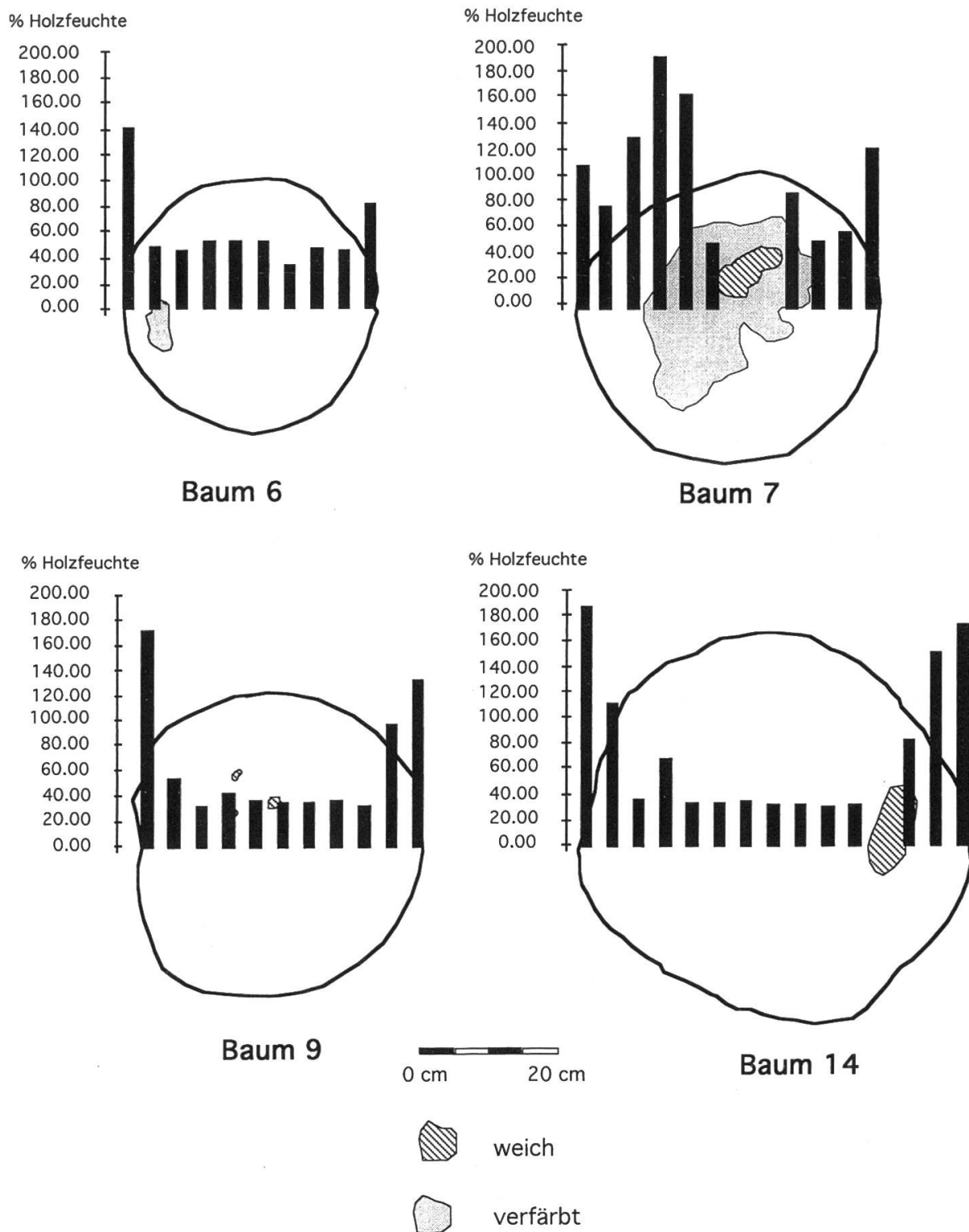


Abbildung 2. Verteilung der Holzfeuchtigkeit und der Fäulesymptome auf dem Stammquerschnitt der vier Testbäume. Die Stammquerschnitte wurden direkt unterhalb der Messebene für die Computertomographie (vgl. Abbildung 1) entnommen.

Fäulen. Dies zeigt, dass eine Früherkennung mit Verfahren, welche die Holzqualität nur linear an wenigen Stellen erfassen, stark vom Zufall abhängt.

3.2 Bohrkernentnahme

Anhand der Bohrkern wurden 6 Bäume ($n = 30$) als 'faul' klassifiziert. Aus den Bohrkernen konnten in 5 von 6 Fällen Basidiomyceten isoliert werden (4 x *Armillaria* sp., 1 x *Heterobasidion annosum*). Beide Pilze sind Weissfäuleerreger. Bei der Untersuchung am Fällschnitt erwiesen sich insgesamt 13 Bäume als 'faul', wobei jedoch in 4 Fällen die Veränderung des Holzes nur wenig ausgeprägt war. Die Trefferquote der Fäulediagnose am Bohrkern bei nur einer Bohrung betrug somit 46%. Dieses Ergebnis lässt sich durch das häufige Vorkommen exzentrischer und axial nur wenig ausgedehnter Fäulen am Versuchsort erklären. *Dimitri* (1968) sowie *Stenlid* und *Wästerlund* (1986) erzielten ähnliche Ergebnisse.

Das Fäulerisiko, das sich aus der Verletzung bei einer Bohrspanentnahme für gesunde Bäume ergibt, wird für die Fichte als gering eingestuft (*Lenz und Oswald*, 1971). Die Reaktion der Bäume hängt allerdings von ihrer Vitalität und der Jahreszeit ab (*Dujesiefken et al.*, 1991). Bei der Beurteilung von Nebenwirkungen sollte aber nicht nur die Fäule, sondern auch das gesamte Volumen des ausser Funktion gesetzten Splintholzes berücksichtigt werden. Die mögliche Zerstörung von baumeigenen Abwehrzonen dürfte bei der Beprobung von Bäumen mit aus dem Wurzelbereich aufsteigenden Kernfäulen – im Gegensatz zu Wundfäulen – kaum eine Rolle spielen, da sich in diesem Fall die gefährdete stationäre Barrierezone im Wurzelbereich befindet (vgl. *Holdenrieder*, 1994). Die Reaktionszone, welche Fäulen überall dort umgibt, wo sie an den lebenden Splint angrenzen, und die auch bei Kernfäulen im Stammbereich vorhanden ist, ist dynamisch und kann vom Baum neu gebildet werden (*Pearce*, 1996).

Der Arbeitsaufwand (etwa 5–10 min/Bohrung) ist bei der Bohrspanentnahme relativ hoch. Das Verfahren ist deshalb für eine Routinediagnose im Wald zu aufwendig. Für die Beurteilung einzelner «Risikobäume» ist es jedoch von grossem Wert, zumal am Bohrkern auch verschiedene Festigkeitsparameter gemessen werden können und eine Pilzdiagnose möglich ist.

3.3 Schallgeschwindigkeitsmessung

Die an 8 gesunden Stämmen (Durchmesser 30 bis 60 cm) gemessene Schallgeschwindigkeit lag zwischen 1430 m/s und 1630 m/s (Mittelwert 1518 m/s, Standardabweichung 67 m/s). An den Bäumen mit Fäulen war die Schallgeschwindigkeit deutlich reduziert (*Tabelle 1*). Die kleinflächige Holzverän-

derung in Baum 6 hatte nur in einer Messrichtung einen geringen Einfluss auf die Schallgeschwindigkeit (vgl. *Abbildung 1*). Die von uns gemessenen Werte für gesundes Holz sind niedriger als die bei *Sandoz und Lorin* (1993) angegebenen Richtwerte.

Für eine Defekterkennung mittels Schall gelten folgende Voraussetzungen: Die Fäule muss in der Ausbreitungsrichtung des Schalles liegen, und ihre Fläche und Intensität müssen ausreichend gross sein, um die Geschwindigkeit der Schallwelle erkennbar zu reduzieren. Dies ist dann der Fall, wenn sich die Schallwelle um einen Hohlraum herum ausbreiten muss oder der E-Modul bzw. die Rohdichte in ausreichendem Masse vermindert sind, so dass die Geschwindigkeit bzw. die Intensität des Schalls erkennbar reduziert werden (*Burmester, 1965*). Die Schallgeschwindigkeit wird nach *Sandoz und Lorin* (1993, 1994) vom Stammdurchmesser beeinflusst und muss entsprechend korrigiert werden. Diese Korrektur wurde von uns nicht vorgenommen.

Auch die Frequenz der Schallwelle beeinflusst ihre Geschwindigkeit. Die Schwächung der Schallwelle wird mit zunehmender Frequenz grösser (*Niemz, unveröffentlicht*). Aus diesem Grund muss mit relativ niedrigen Frequenzen gearbeitet werden, da sonst kein Signal empfangen werden kann. Diese Zusammenhänge sind noch kaum untersucht. Die im Handel angebotenen Geräte arbeiten mit unterschiedlichen Frequenzen (300 Hz bis 70 MHz; hier benutztes Gerät: 16 kHz). Die mit verschiedenen Geräten gemessenen Werte sind deshalb nur bedingt miteinander vergleichbar. Auch Holzfeuchte und Temperatur beeinflussen die Schallgeschwindigkeit (*Niemz, 1996*). Ultraschall breitet sich deshalb im Winter rund 5% schneller aus als während der Vegetationsperiode (*Sandoz und Lorin, 1994*). Die genaue Lage und Grösse des Defektes kann mit einer Schallgeschwindigkeitsmessung nicht erfasst werden. Ausserdem können Moderfäulen und ähnliche Holzzerstörungen, die vorwiegend bei Laubgehölzen auftreten, mit dieser Methode kaum erfasst werden (*Schwarze et al., 1995*).

Je Messung werden bei idealen Arbeitsverhältnissen und nicht zu dicken Bäumen etwa 2 – 4 Minuten benötigt. Zur Ankopplung der Sensoren sind 2 Bohrungen mit etwa 5 mm Durchmesser durch die Rinde bis auf den Holzkörper notwendig, ansonsten werden keine stabilen Messwerte erzielt. Der Preis des verwendeten Gerätes liegt bei rund SFr. 9500.–

3.4 Bohrwiderstandsmessung

Mit der Bohrwiderstandsmessung waren nur ausgeprägte Fäulen (Baum Nr. 7, 14) leicht erkennbar, weil hier die Leistungsaufnahme im Bereich der Faulstelle auf Werte nahe Null abfiel. Baum 6 zeigte das typische Bild für gesundes Nadelholz, die kleinflächige Holzveränderung lag hier ausserhalb der Messrichtung. Die auf Messniveau erst beginnende Fäule im Baum 9 war

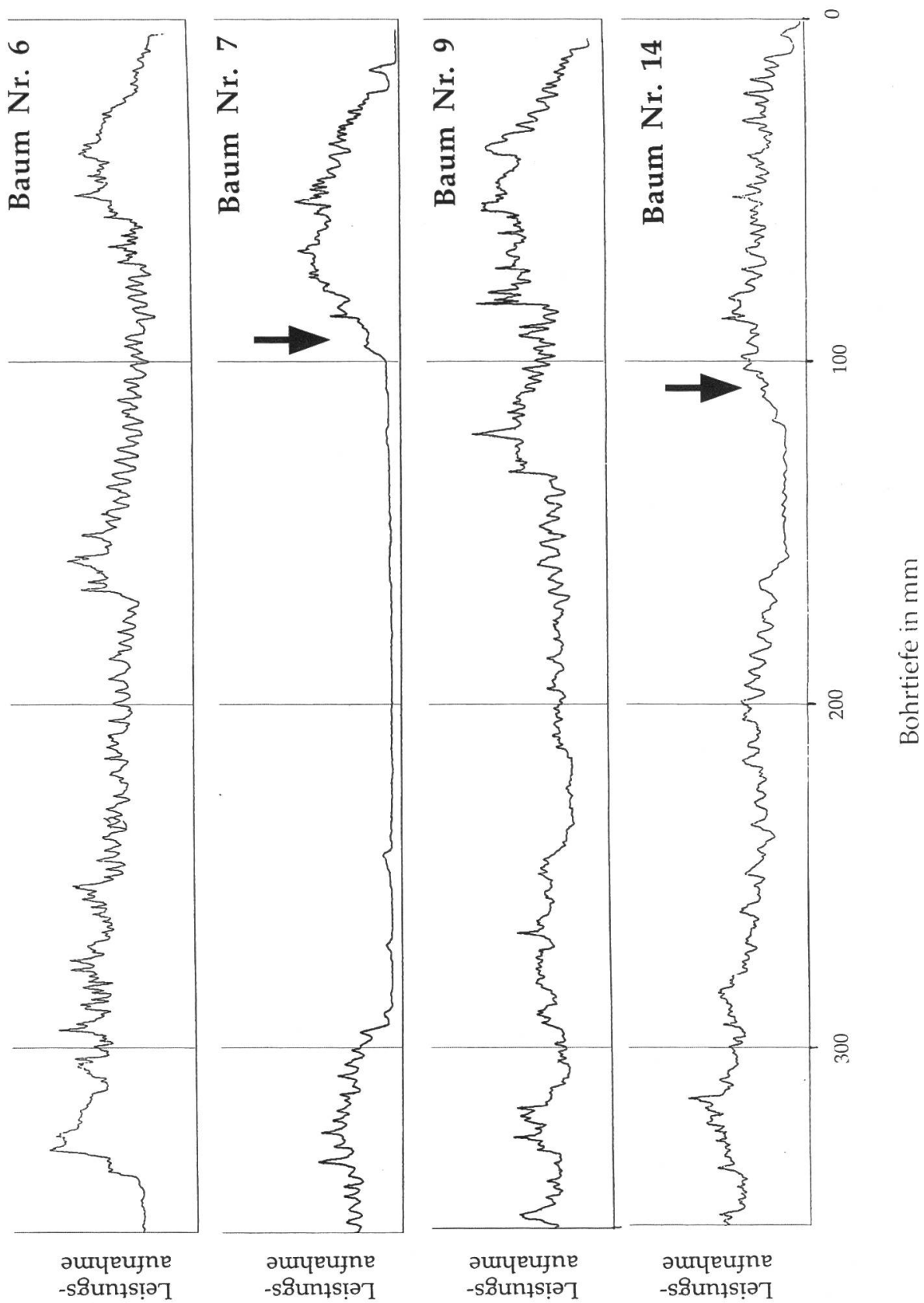


Abbildung 3. Bohrwiderstandsprofile der vier Testbäume (Richtung parallel zur Bohrkernentnahme), von rechts (Bast, Kambium) nach links (Mark). Die Pfeile bezeichnen die Abnahme des Bohrwiderstandes am Übergang zur Fäule.

kaum erkennbar. Der im Vergleich zu Baum 6 weniger rhythmische Kurvenverlauf (*Abbildung 3*) deutet jedoch auf gewisse Holzveränderungen hin. Dieser Befund deckt sich mit den Angaben in der Literatur.

Bei der Bohrwiderstandsmessung wird bei gleichbleibender Vorschubgeschwindigkeit die Leistungsaufnahme des Antriebsmotors gemessen. Diese ist neben der Holzdichte auch von der Prüfrichtung, der Holzfeuchte, und auch der Schärfe der Bohrnadel abhängig. Diese Grössen gehen neben der pathologischen Holzveränderung in das Messergebnis ein und erschweren die Interpretation. Auch die artspezifische Holzanatomie beeinflusst den Kurvenverlauf. Die anatomisch stärker variierenden Laubgehölze sind deshalb mit dieser Methode schwieriger zu beurteilen als Nadelgehölze (*Eckstein und Sass, 1994*).

Aufgrund des geringen Durchmessers der Bohrnadel (Breite der Spitze 3 mm) dürfte die Beschädigung des Baumes hier geringer sein als bei einer Bohrkernentnahme. Genauere Daten liegen dazu jedoch nicht vor. Das Gerät kostet rund SFr. 17500.–, der Zeitaufwand für eine Messung beträgt etwa 10 Minuten.

3.5 Messung der elektrischen Leitfähigkeitsprofile

Die mit dem VITAMAT bestimmten Leitfähigkeitsprofile (Richtung parallel zur Bohrkernentnahme) sind in *Abbildung 4* dargestellt. Bei gesunden Stämmen sind im Bast- und Kambialbereich die höchsten Werte zu beobachten. Sie nehmen dann vom äusseren zum inneren Splint ab und sind im trockenen Kernholz am tiefsten. Bei zwei Bäumen (Nr. 7, 9) zeichnete sich die Fäule klar ab. Bei den Bäumen Nr. 6 und 14 lag der Defekt ausserhalb der Ausbreitungsrichtung der Elektroden und war deshalb nur andeutungsweise erkennbar: Die schwache Erhöhung der Leitfähigkeit in einer Tiefe von etwa 13–17 cm bei Baum Nr. 6 deutet auf eine beginnende Holzveränderung hin.

Bei Fäulen steigt die Leitfähigkeit durch Wasseranreicherung und Erhöhung der Ionenkonzentration an und erreicht Werte, die deutlich über denen des Kernholzes und auch des normalen Splints liegen. Dies ist auch in der baumeigenen Reaktionszone an der Peripherie von Fäulen der Fall. Mit Hilfe der elektrischen Leitfähigkeit im Holzkörper können deshalb bereits relativ geringe Holzveränderungen erfasst werden, sofern diese mit einer Modifikation der Feuchtigkeit und/oder der Ionenkonzentration verbunden sind. Die Splintbreite (als wesentliches Merkmal der Baumvitalität) kann so bestimmt werden, aber auch ausser Funktion gesetzte Bereiche des Splints und Kernfäulen sind gut erkennbar (*Kucera und Bucher, 1988; Bucher et al., 1993*). Eine Unterscheidung zwischen einem Nasskern und einer Fäule ist allerdings meist nur unsicher möglich. Dies ist jedoch bei der Fichte kein Problem, da bei dieser Baumart kein Nasskern auftritt.

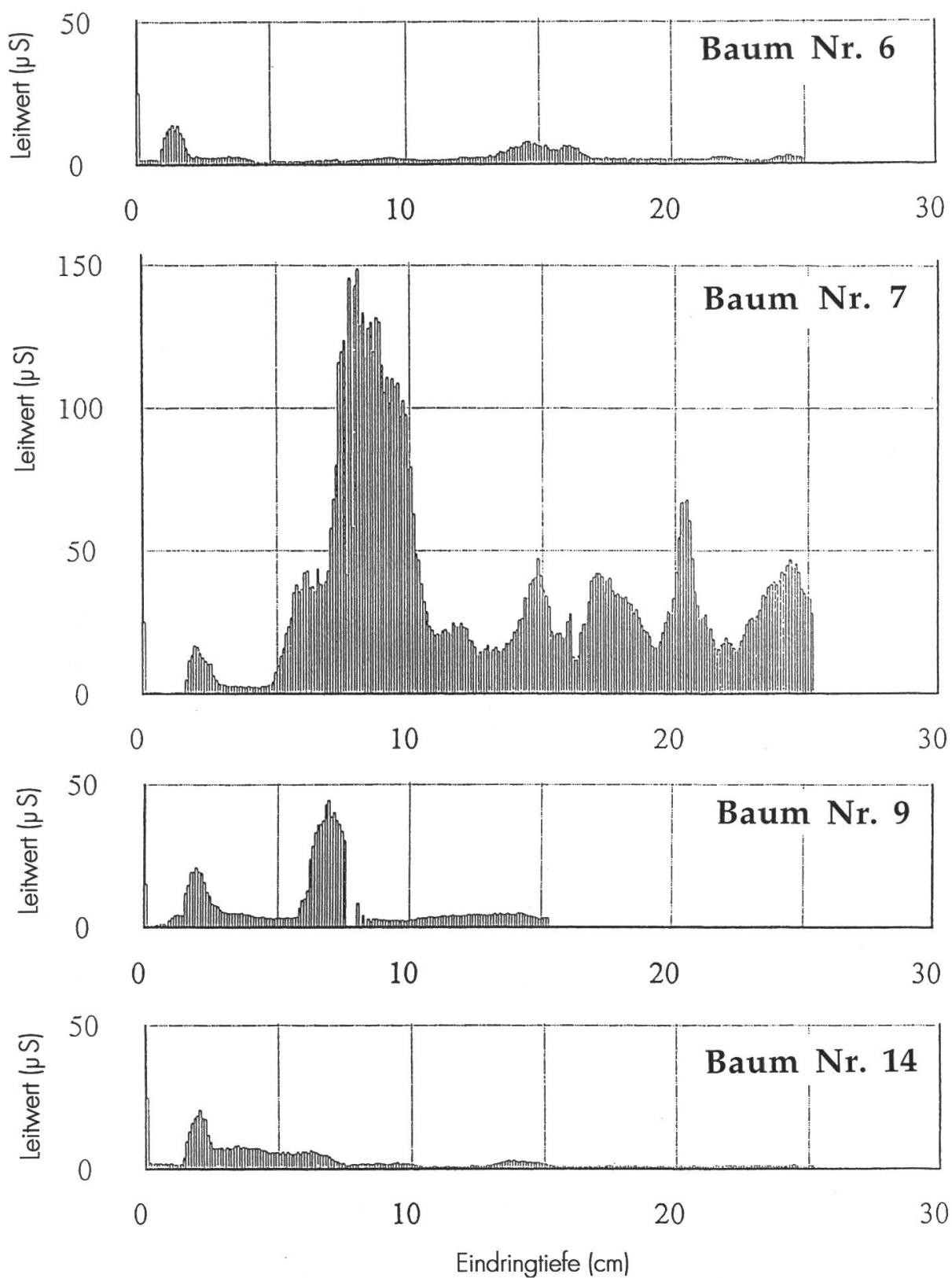


Abbildung 4. Profile der elektrischen Leitfähigkeit der vier Testbäume (Richtung parallel zur Bohrkernentnahme).

Das Gerät gilt als weitgehend zerstörungsfrei, da sich der Stichkanal nach Rückzug der Elektroden aufgrund der Elastizität des Holzes wieder schliesst (die Elektroden sind 4,5 mm dick). Genauere Daten über das Ausmass des durch die Messung ausser Funktion gesetzten Splints sowie über die jahreszeitlich unterschiedliche Druck- und Scherfestigkeit der Baumrinde (diese wird durch die Fixierung des Gerätes am Stamm belastet) liegen allerdings noch nicht vor. Der Zeitaufwand für eine Messung beträgt etwa 15 Minuten, die Kosten für das Gerät (Prototyp) liegen derzeit bei rund SFr. 12 600.–

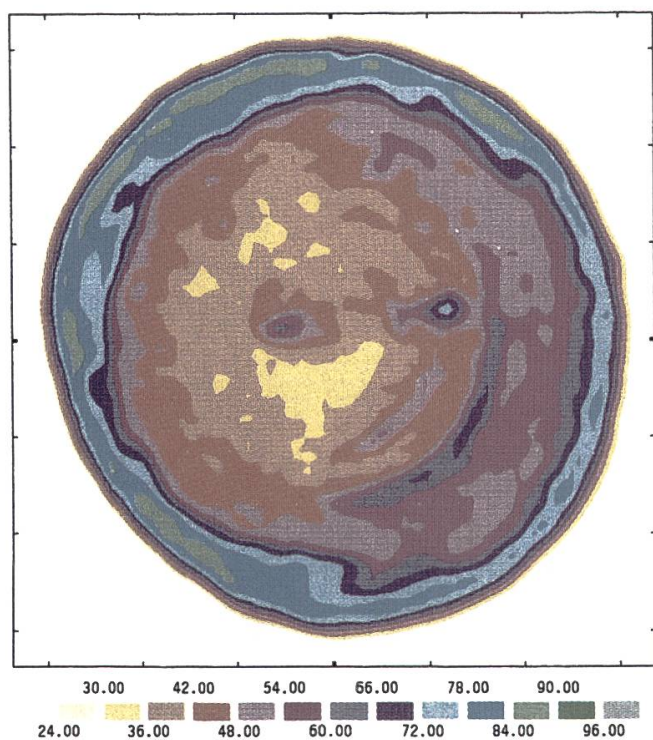
3.6 Computertomographie

Die Ergebnisse werden hier nur kurz zusammengefasst, eine ausführliche Darstellung findet sich bei Niemz *et al.* (1997). Bei allen Aufnahmen (*Abbildung 5*) war der Splint aufgrund seines hohen Wassergehaltes vom Kernholz gut unterscheidbar. Beim Baum Nr. 6 war die Absorption auf einer Seite des Splints deutlich geringer als in den anderen Bäumen. Dies wurde auch durch die Feuchtemessungen bestätigt (vgl. *Abbildung 2*). Nur bei Baum Nr. 7 lag eine relativ starke Fäule im Bereich der Messebene; sie ist an den niedrigen Absorptionsraten erkennbar. Bei Baum Nr. 14 war keine Zuordnung möglich; bei Nr. 6 und Nr. 9 war das Holz in der Messebene kaum verändert. Die Auflösung dieser Variante der Computertomographie liegt bei etwa 1 cm. Die Absorption der Strahlen steigt sowohl mit Zunahme der Holzfeuchte als auch mit Zunahme der Dichte, so dass sich der Effekt bei beginnenden Fäulen (Feuchte erhöht, Dichte teilweise reduziert) neutralisieren könnte. Für eine zuverlässige Interpretation der Bilder fehlen noch Daten. So zeigt auch weitgehend unverändertes Kernholz erhebliche Schwankungen in der Verteilung der Absorptionsintensität. Das Verfahren erfordert einen hohen versuchstechnischen und zeitlichen Aufwand und bedingt aus Strahlenschutzgründen (als Strahlenquelle dient Cäsium 137) sehr vorsichtiges Arbeiten (Absperrung im Umkreis von 6 m während der Messung notwendig). Der Zeitaufwand pro Baum beträgt etwa eine Stunde. Das Gerät ist im Handel nicht erhältlich.

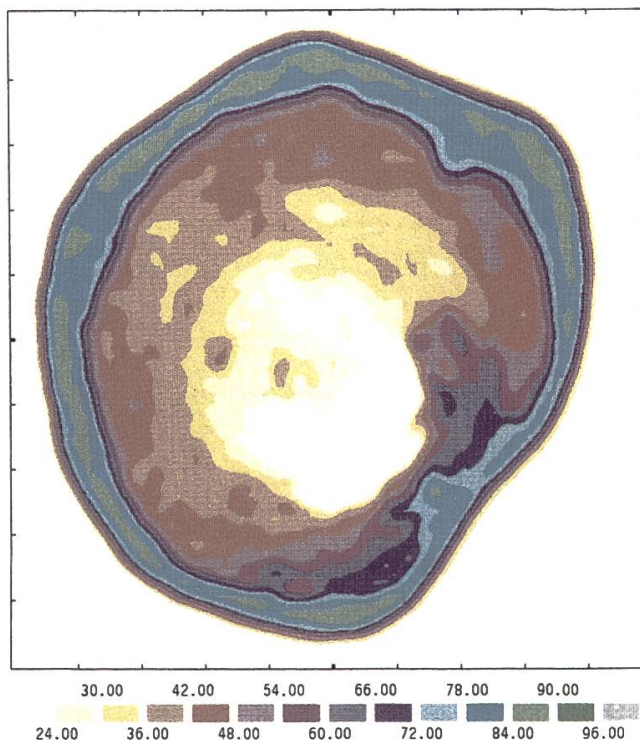
3.7 Thermographie

Bei diesem Verfahren wird die Wärmestrahlung an der Oberfläche der Stämme erfasst und als Bild dargestellt. Die Aufnahmen erfolgen mit einem thermischen Scanner, der im infraroten Strahlungsbereich (8 μm bis 12 μm) abbildet, und man benötigt je nach Zugänglichkeit des Bestandes wenige Sekunden bis einige Minuten pro Baum. Die Kosten liegen je nach Gerät bei SFr. 50 000.– bis 500 000.–. Stammfäulen konnten mit dieser Methode in keinem Fall erkannt werden. Zwar eignen sich die Geräte sehr gut zur Erkennung

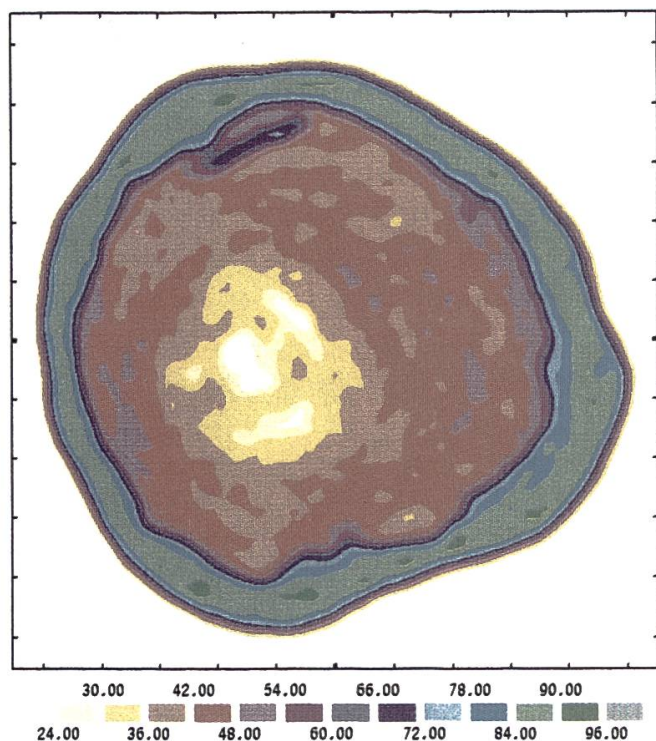
Baum Nr. 6



Baum Nr. 7



Baum Nr. 9



Baum Nr. 14

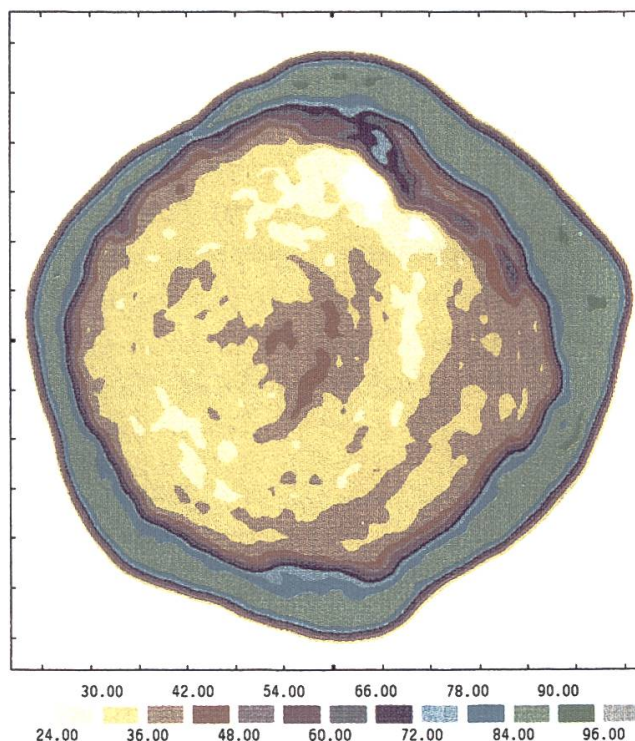


Abbildung 5. Computertomogramme der vier Testbäume. Die Messebene ist in *Abbildung 1* angegeben. Die Wiedergabe ist gerätebedingt nicht massstabgetreu.

kleinster Wärmekontraste ($1/10^{\circ}\text{C}$) auf der Baumrinde. Durch Windbewegung, Sonneneinstrahlung oder Verdunstung auftretende Temperaturdifferenzen überlagern jedoch eine allfällige Wärmeausstrahlung aus dem Stammesinnern. Auch wirken der die Fäule umgebende unveränderte Holzkörper und die Rinde stark wärmeisolierend (vgl. *Bodmer*, 1990). Zudem konnten in Laborversuchen an Reinkulturen von Pilzen keine durch Fäuleerreger bedingte Temperaturdifferenzen nachgewiesen werden (*Bodmer und Holdenrieder*, unveröffentlicht).

4. Schlussfolgerungen

- Mit Ausnahme der Thermographie ermöglichen alle getesteten Verfahren eine Erkennung von ausgeprägten Defekten im Stamm. Bei Methoden, denen eine linienförmige Messung zugrundeliegt, besteht allerdings das Problem der Treffsicherheit. Hier sind deshalb mindestens zwei Messungen in senkrecht zueinander stehenden Richtungen sinnvoll. Falls man die Bruchsicherheit des Baumes beurteilen muss, sind meist zusätzliche Messungen in unterschiedlichen Höhen notwendig. Bei Fäulen, die vom Wurzelbereich her aufsteigen, empfiehlt sich eine Messung möglichst tief an der Stammbasis, eventuell zusätzlich an den Stützwurzeln (vgl. *Schmid-Haas et al.*, 1997).
- Alle getesteten Verfahren benutzen jeweils nur eine einzige Messgrösse, die jedoch in bisher wenig untersuchtem Ausmass von Holzfeuchte, Holzstruktur und zum Teil auch von der Ionenkonzentration abhängig ist, was die Interpretation der Ergebnisse erheblich erschwert. Die von den Herstellern erhältliche Information ist meist lückenhaft. Für nahezu alle Geräte sind noch grundlegende Untersuchungen notwendig. Dies betrifft z.B. bei der Messung der Schallgeschwindigkeit deren Abhängigkeit von Frequenz, Baumart, Stammdurchmesser, Holzfeuchte und Jahreszeit.
- Mit Ausnahme der Computertomographie und der Thermographie arbeitet keines der hier angewandten Verfahren vollständig zerstörungsfrei. Selbst bei der sehr wenig invasiven Messung der Schallgeschwindigkeit und der elektrischen Leitfähigkeit werden kleine Volumina des lebenden Splints ausser Funktion gesetzt, da hierzu für den Anschluss der Sensoren kleine Rindenstücke entfernt bzw. Elektroden eingestochen werden. An Eichen wurde nachgewiesen, dass selbst kleine Verletzungen unter bestimmten Bedingungen erhebliche Auswirkungen auf den Baum haben können (*Kehr und Wulf*, 1991). Es sollte deshalb versucht werden, diese Effekte zu quantifizieren.
- In Anbetracht der Kosten für die Geräte und des Zeitaufwandes für die Messungen kann derzeit keines der von uns geprüften Verfahren für die Routinediagnose von Kernfäulen bei der Fichte im Wald empfohlen wer-

den. Die Fichte und andere Waldbäume eignen sich jedoch gut als Modell für die vergleichende Testung von Methoden zur Fäuleddiagnose, die an Strassenbäumen eingesetzt werden. Im Wald kann eine ausreichende Anzahl von Wiederholungen realisiert werden. Dabei sollten jedoch mehrere Messungen in unterschiedlichen Höhen durchgeführt werden und sowohl die Holzfeuchte als auch die Rohdichte über den gesamten Stammquerschnitt in adäquater Auflösung erfasst werden. Eine Weiterentwicklung der Messverfahren sollte sich auf die Kombination verschiedener Parameter konzentrieren mit dem Ziel, die Störgrösse Holzfeuchte zu kompensieren.

Zusammenfassung

Es wurden folgende Methoden zur Diagnose von Stammfäulen an stehenden adulten Fichten (*Picea abies*) getestet: Bohrkernentnahme, Bohrwiderstandsmessung (Resistograph), Schallgeschwindigkeitsmessung (Sylvatest), Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeitsprofile (Vitammat), Thermographie und mobile Computertomographie. Die Ergebnisse wurden mit dem Befund nach destruktiver Probenahme verglichen. Die sich bei der Anwendung der verschiedenen Methoden und bei der Interpretation der Daten ergebenden Probleme werden diskutiert.

Résumé

Possibilités de différentes méthodes de diagnostic de pourritures du fût chez l'Épicéa.

Les méthodes de détection de pourritures testées sur des Épicéas (*Picea abies*) sur pied sont les suivantes: carottes de sondage, résistance à la perforation (Resistograph), acoustique (Sylvatest), profils de conductivité électrique (Vitammat), thermographie et tomographie mobile. Les résultats sont comparés après évaluation de l'état interne suite à l'abattage des arbres. Les problèmes d'applicabilité des différentes méthodes et de l'interprétation des résultats sont discutés.

Summary

Suitability of Different Methods for Decay Detection in Norway Spruce

The following methods for stem decay detection were tested on standing adult trees of Norway spruce (*Picea abies*): Increment boring, drill resistance measurement (Resistograph), sound speed measurement (Sylvatest), electrical conductivity profiles (Vitammat), thermography and mobile computer tomography. The results were compared with evaluation after destructive sampling. The problems associated with the application of different methods and the interpretation of data are discussed.

- Bethge, K., Mattheck, C., Hunger, E. (1996): Equipment for detection and evaluation of incipient decay in trees. *Arboricultural Journal* 20: 13–37.
- Bodmer, H. C. (1990): Ein Blick durch das zweite thermische Fenster auf den Wald: Beschreibung von thermographischen Aufnahmen über dem Wald von Zürich. *Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch* 67 (Sonderheft): 89–92.
- Bucher, H.P., Kucera, L.J., Walter, M., Bensen, K.J.M. (1993). Elektrische Leitwertprofile im Holzkörper mitteleuropäischer Baumarten, bestimmt mit dem «Vitamat». *Mitteilungen der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft* 68 (2): 63–144.
- Burmester, A. (1965): Zusammenhang zwischen Schallgeschwindigkeit und morphologischen, physikalischen und mechanischen Eigenschaften von Holz. *Holz als Roh- und Werkstoff* 23: 227–236.
- Dimitri, L. (1968): Ermittlung der Stammfäule von Fichten (*Picea abies* Karst.) durch Bohrspanentnahme. *Forstarchiv* 39: 221–224.
- Dujesiefken, D., Peylo, A., Liese, W. (1991): Einfluss der Verletzungszeit auf die Wundreaktionen verschiedener Laubbäume und der Fichte. *Forstwiss. Cbl.* 110: 371–380.
- Eckstein, D., Sass, U. (1994): Bohrwiderstandsmessungen an Laubbäumen und ihre holzanatomische Interpretation. *Holz als Roh- und Werkstoff* 52: 279–286.
- Graber, D. (1996): Die Kernfäuleschäden an Fichte (*Picea abies* Karst.) in der Schweiz nördlich der Alpen. Beiheft zur Schweizerischen Zeitschrift für Forstwesen 79: 1–283.
- Habermehl, A., Ridder, H.-W. (1992): Methodik der Computer-Tomographie zur zerstörungsfreien Untersuchung des Holzkörpers von stehenden Bäumen. *Holz als Roh- und Werkstoff* 50: 465–474.
- Holdenrieder, O. (1994): Angriff und Abwehr im Baum: Zur Entstehung von Kernfäulen. *Schweiz. Z. Forstwes.* 145: 887–903.
- Holdenrieder, O., Schmid-Haas, P., Baumann, E. (1994): Isolation of decay fungi from increment cores: Frustrating experience from Switzerland. *Proc. 8th IUFRO Int. Conf. on Root and Butt Rots*, Wik, Uppsala, Sweden and Haikko, Finland, Aug. 9–16, 1993. Ed. by Johansson, M., Stenlid, J., Uppsala: Swed. Univ. Agric. Sc., pp. 577–581.
- Kehr, R., Wulf, A. (1991): Schwerwiegende Schäden an Alteichen durch Baumfrevler. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* 43 (6): 133–134.
- Kucera, L.J., Bucher, H.P. (1988): Ein neuartiges Messgerät für Holzuntersuchungen. *SIA Schweizer Ingenieur und Architekt* 106 (45): 1243–1246.
- Kucera, L.J., Niemz, P. (1998): Fäule in Bäumen erkennen. *Wald und Holz*, Heft 2: 27–30.
- Lenz, O., Oswald, K. (1971): Über Schäden durch Bohrspanentnahme an Fichte, Tanne und Buche. *Mitteilungen der Schweiz. Anstalt für das Forstl. Versuchswesen* 47: 1–29.
- Niemz, P., Kucera, L.J., Flisch, A., Blaser, E. (1997): Anwendung der Computertomographie an Holz. *Holz als Roh- und Werkstoff* 55 (4): 279–280.
- Niemz, P. (1996): Untersuchungen zum Einfluss der Holzfeuchtigkeit auf die Schallausbreitungsgeschwindigkeit in Roble. *Holz als Roh- und Werkstoff*, Berlin 54: 60.
- Pearce, R. (1996): Antimicrobial defences in the wood of living trees. *New Phytologist* 132: 203–233.
- Sandoz, J.L., Lorin, P. (1993): Evaluation de l'état physico-mécanique de l'arbre sur pied par ultrason. *Rapport interne IBOIS/EPFL*, Lausanne: 1–26.
- Sandoz, J.L., Lorin, P. (1994): Standing tree quality assessments using ultrasound. *Rapport interne IBOIS/EPFL*, Lausanne: 493–502.
- Schad, K.C., Schmoltdt, D.L., Ross, R.J. (1996): Nondestructive methods for detecting defects in softwood logs. *USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, Research Paper FPL-RP-546*. 13p.
- Schmid-Haas, P., Baumann, E., Holdenrieder, O., Keller, W., Ramp, B., Stepien, E. (1997): Infektion der Stützwurzeln, Kronenverlichtung und Zuwachs von Fichten und Tannen. *Mitt. der Eidg. Forschungsanst. f. Wald, Schnee u. Landschaft* 72 (2): 131–244.
- Schwarze, F.M.W.R., Lonsdale, D., Mattheck, C. (1995): Detectability of wood decay caused by *Ustulina deusta* in comparison with other tree decay fungi. *European Journal of Forest Pathology* 25: 327–341.

- Smith, R.S., Shortle, W.C. (1991): Decay fungi increase the moisture content of dried wood. In: Rossmore, H.W. (ed.): Biodeterioration and biodegradation 8. Elsevier Sci. Publ., Essex: 138–146.
- Stenlid, J., Wästerlund, I. (1986): Estimating the frequency in stem rot in *Picea abies* using an increment borer. Scand. J. For. Res. 1: 303–308.
- Tomiczek, C. (1996): Methodenvergleich zur Abschätzung der Rotfäule an Fichten. Oesterreichische Forstzeitung 7: 45–46.
- Zürcher, E. (1988): Diagnosemethoden des Gesundheits- und Vitalitätszustandes der Bäume. Vierteljahresschr. der Naturf. Ges. in Zürich 133 (1): 25–42.

Dank

Wir danken Herrn H.U. Ammann, Ingenieurbüro ARO AG, Langenthal, für das Ausleihen des Thermischen Scanners. Für die Bereitstellung der Bäume danken wir Herrn F. Lienhard, U. Horber und ihren Mitarbeitern. Frau S.v. Büren und Frau Dr. L. Paul danken wir für die kritische Durchsicht des Manuskriptes.

Abbildungen gedruckt mit Unterstützung der Professur für Forstschutz und Dendrologie und der Professur für Holzwissenschaften der ETH Zürich.

Verfasser:

Dr. P. Niemz, Prof. Dr. L. J. Kucera, Dr. E. Zürcher, Professur für Holzwissenschaften, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich; Dr. H.-C. Bodmer, Professur für Natur- und Landschaftsschutz, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich; Dipl.-Phys. H.-W. Ridder, Prof. Dr. A. Habermehl, Radiologiezentrum der Philipps-Universität, D-35033 Marburg; Dr. Dipl. El. Ing. ETH P. Wyss, EMPA, Abt. Zerstörungsfreie Prüfung, CH-8600 Dübendorf; Prof. Dr. O. Holdenrieder, Professur für Forstschutz und Dendrologie, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich.