

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 106 (1988)  
**Heft:** 45

**Artikel:** Ein neuartiges Messgerät für Holzuntersuchungen  
**Autor:** Kucera, Ladislav J. / Bucher, Hans Peter  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-85843>

### **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:** 18.03.2025

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

# Ein neuartiges Messgerät für Holzuntersuchungen

Vorgänge in einem Holzkörper - ob im stehenden Baum, im Rundholz oder im verbauten Holz - sind in den meisten Fällen mit Veränderungen des Wassergehaltes und der Wasserverteilung verbunden. Am Institut für Wald- und Holzforschung der ETH Zürich wurde in vierjähriger Entwicklungsarbeit ein neuartiges Messgerät (Vitamats) entwickelt, mit dem Veränderungen des Wassergehaltes und/oder der Ionenkonzentration im Holz ermittelt werden können.

## Grundlagen und Beweggründe

Holz steht in einer äusserst engen Beziehung zu Wasser:

- Holz entsteht als Endprodukt des Assimilationsprozesses zu einem beträchtlichen Teil aus Wasser.

VON LADISLAV J. KUČERA UND  
HANS PETER BUCHER,  
ZÜRICH

- Die Alterung der Holzgewebe, vor allem die Splintholz-Kernholz-Umwandlung, wird durch die Wasserversorgung gesteuert.
- Die physikalisch-mechanischen Holzeigenschaften wie Rohdichte, Festigkeiten und Elastizitätswerte sind ausnahmslos vom Wassergehalt des Holzes abhängig.
- Die Lagerfähigkeit von Rohholz und die Dauerhaftigkeit von verbautem Holz hängen massgeblich von seinem Wassergehalt ab, denn die meisten holzerstörenden Organismen (besonders die Pilze) sind nur in einem begrenzten Feuchtigkeitsbereich aktiv und wachstumsfähig.
- Die technologischen Holzeigenschaften wie Trocknungsverhalten, Imprägnierbarkeit, mechanische Bearbeitbarkeit oder Heizwert werden durch den Wassergehalt des Holzes wesentlich beeinflusst.
- Bei der Zerstörung des Holzes, besonders beim Abbau durch Bakterien oder Pilze, entsteht Wasser (Nasskern, Nassfäule).

Aus diesen Gründen ist die Kenntnis des Wassergehaltes und der Wasserverteilung im Holz von praktischer Bedeutung.

## Lösungsansätze

Von den zahlreichen in der Fachliteratur beschriebenen Methoden zur Bestimmung des Wassergehaltes von Holz - Kollmann und Höcke [1] erwähnen deren 15 - haben nur wenige praktische Bedeutung erlangt: die gravimetrische Bestimmung mittels einer Darrtrocknung, die iodometrische Titration nach Karl Fischer und die Ableitung aus der punktuellen Messung des elektrischen Widerstandes. Die ersten beiden Methoden sind destruktiv und arbeitsintensiv; zudem liefern alle drei Methoden nur einen Messwert je Objekt bzw. Messvorgang. Neuere Methoden wie die Röntgen-Computertomographie und die Kernresonanz-Tomographie bleiben aus apparativen Gründen vorerst der spezialisierten Forschung vorbehalten.

Die Idee einer kontinuierlichen Ermittlung des Wassergehaltes im Baumkörper aufgrund der Messung des elektrischen Widerstandes wurde von Alex L. Shigo und Mitarbeitern im Jahre 1972 in den USA entwickelt [2]. Dabei werden in ein vorgängig gebohrtes Loch die Messelektroden von Hand eingeführt und die Gleichstrom-Impulse zwischen den Elektroden gemessen. Das nach dieser Idee gebaute Gerät (Shigometer) hat jedoch gewichtige Nachteile:

- Das Bohrloch stellt im Hinblick auf eine künftige Verwendung eine schwere Beeinträchtigung der Holzgüte dar.
- Ungeachtet aller Schutzmassnahmen ist das Bohrloch ein potentieller Infektionsherd (Pilzbefall).
- Die Messgenauigkeit wird durch Kontaktprobleme der Elektroden und Veränderungen des Wasserge-

haltes in den gebohrten Oberflächen (gewöhnlich Austrocknen, beim Nasskern Überfluten) beeinträchtigt. Immerhin erreicht die Wasserströmung im stehenden Baum Geschwindigkeiten von bis zu 1 cm/s.

## Konzept und Aufbau des neuen Geräts

Zur Lösung dieser Probleme wurde 1984 an der ETH Zürich das Konzept des «Vitamats» entwickelt. Dieses Konzept baut ebenfalls auf der Messung des elektrischen Widerstandes. Der prinzipielle Unterschied zwischen dem Shigometer und dem Vitamat besteht in der Einführungsweise der Elektroden: Beim ersteren ist hierzu ein Bohrloch erforderlich, bei letzterem werden die Elektroden durch Kraftübertragung in den intakten Holzkörper gepresst. Um dieses Konzept verwirklichen zu können, mussten drei Problembereiche bearbeitet werden, nämlich: die Kraftübertragung, der Knickschutz der Elektroden und die Isolierbeschichtung der Elektroden.

Der Aufbau des Vitamats ist aus Bild 1 ersichtlich. Die Kraftübertragung erfolgt mit Hilfe einer Kurbel mit Gewin-

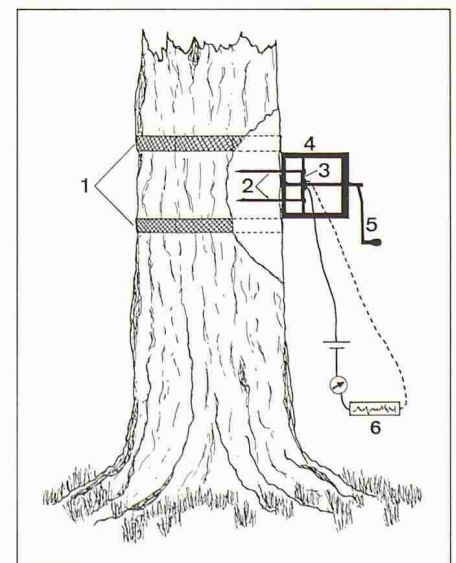


Bild 1. Das Messprinzip des Vitamats im Schema. Hauptbestandteile der Messeinrichtung und Messanordnung: 1 Spanngurten, 2 Elektroden, 3 Elektroden-Führung, 4 Führungsrahmen, 5 Handkurbel, 6 Kleinrechner mit Leitwert-Messinterface

destange, wobei das Gerät am untersuchten Objekt (Baumstamm, Holzbalken) mit Spanngurten befestigt wird. Bei den ersten beiden Prototypen (maximale Eindringtiefe der Elektroden 15 resp. 25 cm) wurde ein punktueller Knickschutz angewendet. Beim Prototyp 3 (maximale Eindringtiefe 25 cm) ist hingegen ein durchgehender Knickschutz angebracht. Die Elektroden aus hochwertigem Stahl sind mit Ausnahme der Messspitze mit einem hochisolierenden und reibungsfesten Fluor-Kunststoff-Belag versehen. Der variable Vorschub der Elektroden wird schrittweise vorgenommen. Nach jedem Schritt erfolgt die Messung des elektrischen Widerstandes zwischen den Spitzen der Elektroden mittels eines Kleinrechners mit speziellem Leitwert-Messinterface. Das Messergebnis wird als Diagramm dargestellt, wobei auf der Abszisse die Eindringtiefe im Messobjekt und auf der Ordinate der elektrische Leitwert (der reziproke Wert zum elektrischen Widerstand) des Holzes aufgetragen wird.

### Grundsätzliches zur Methode

Die gravimetrische Ermittlung des Wassergehaltes mittels einer Darrtrocknung und die iodometrische Titration sind sogenannte direkte Methoden, bei denen die im Holz vorhandene Wassermenge bestimmt wird. Demgegenüber ist die Messung des elektrischen Widerstandes eine sogenannte indirekte Methode, die auf der Erkenntnis basiert, dass der elektrische Widerstandswert des Holzes durch seinen Wassergehalt massgeblich beeinflusst wird. Gemessen wird folglich nicht der Wassergehalt, sondern eine Eigenschaft des (nassen) Holzes. Der Zusammenhang zwischen dem Wassergehalt und dem elektrischen Widerstandswert ist nur im Holzfeuchtigkeitsbereich von rund 7% bis 25% linear. In den Feuchtigkeitsbereichen unterhalb von 7% bzw. oberhalb von 25% ist der Zusammenhang logarithmisch. Wesentlich enger ist der Zusammenhang bei niedrigen als bei höheren Wassergehaltswerten. Die Sättigung darrtrockenen Holzes mit gebundenem Wasser bewirkt eine Verminderung des Widerstandswertes um den Faktor 10<sup>6</sup>, die Aufnahme des freitropfbaren Wassers bis zum Füllen aller Hohlräume noch eine solche um den Faktor 50 (vgl. Literaturangaben in Kučera 1986 [3]). Der elektrische Widerstandswert des Holzes hängt nicht nur von seinem Wassergehalt ab, sondern wird stark beeinflusst durch den pH-Wert und die Ionenkonzentration im Xylemwasser und in geringerem Masse durch die Holzdichte und die

Messtemperatur. Die Messung des elektrischen Widerstandes, besonders oberhalb der Fasersättigung, erlaubt keine exakte Bestimmung des Wassergehaltes. Hingegen können Tendenzen (steigend, fallend) und Bereichsgrenzen (Splintholz-Kernholz-Grenze, Grenze zwischen gesundem und durch pathogene Organismen befallenen Holz) erkannt werden. Sowohl die Kernholzbildung als auch ein Befall durch pathogene Organismen haben meist Auswirkungen auf den Wassergehalt sowie den pH-Wert und die Ionenkonzentration im Xylemwasser. Dadurch aber wird die Aussagekraft der vorgestellten Methode verstärkt. Die Gewinnung der Messkurven mit dem Vitamat ist schnell und einfach. Die Interpretation der Ergebnisse erfordert hingegen holzkundliche Grundkenntnisse über die untersuchte Holzart. Bei der Vitalitätsbeurteilung von Waldbäumen aufgrund der Splintholzmerkmale sind ferner das Baumalter, der Zeitpunkt der Messung (jahreszeitliche Schwankungen des Wassergehaltes) und standörtliche Begebenheiten wie Exposition und Bodentyp zu berücksichtigen.

### Erfahrungen und Anwendungsmöglichkeiten

Die Prototypen des Geräts wurden bisher von Forschern der ETH Zürich, der Universität Lausanne, der Universität Basel und der EAFV Birmensdorf in zwölf Projekten eingesetzt (s. Kasten).

Die Messungen aus diesen Projekten sind am Institut für Wald- und Holzforschung der ETH Zürich in einer Datenbank gespeichert. Es liegen rund 2000 Messungen an über 500 verschiedenen Bäumen vor (Holzarten: Fichte, Föhre, Lärche, Tanne; Ahorn, Buche, Eiche, Esche, Hagebuche, Linde).

Die Ergebnisse der erwähnten Diplomarbeiten, Forschungsprojekte und Gutachten, ergänzt durch eine methodische Untersuchung über die möglichen Baumschäden durch den Messvorgang, lassen sich folgendermassen kurz zusammenfassen:

- Die Messkurve erlaubt eine *sichere Identifizierung von pathologischen Veränderungen* durch Bakterien oder Pilze (Nasskern, Fäulnis) im Baumstamm oder in verbautem Holz bereits im Frühstadium des Befalls. Dies gilt sowohl für das Nadelholz (Bilder 2a und 2b) als auch für das Laubholz (Bilder 3a und 3b). Eine differenzierte Bewertung des Schadens (Ausdehnung, Stadium) ist möglich.
- Die Messkurve liefert *Anhaltspunkte über die Vitalität* des untersuchten

### Einsatz von Vitamat-Prototypen

- Splintanteil und Wasserhaushalt in gesunden und erkrankten Bäumen. Diplomarbeit ETH, 1986. Umfang: 94 Fichten und 10 Tannen; total 416 Messungen.
- Holzkundliche Untersuchungen an geschädigten Föhren und Lärchen. Unpublizierter Forschungsbericht ETH, 1986. Umfang: 6 Föhren und 5 Lärchen; total 44 Messungen.
- Überwallungs- und Infektionsprozess von Wundflächen in einem Fichtenbestand. Diplomarbeit ETH, 1987. Umfang: 54 Fichten; total 108 Messungen.
- Holzeigenschaften geschädigter Fichten. NFP-12-Projekt der ETH, 1986-87. Umfang: 49 Fichten; total 147 Messungen.
- Untersuchung des Holzzustandes der geschützten Dorflinde von Wattwil durch die ETH. Gutachten, 1987. Umfang: 1 Linde; total 12 Messungen.
- Vitalitätsuntersuchungen an gesunden und geschädigten Buchen. Forschungsprojekt der Universität Lausanne, 1987-88. Umfang: 80 Buchen; total 320 Messungen.
- Holzkundliche und holztechnologische Untersuchungen geschädigter Waldbäume. Forschungsprojekt ETH, 1987-1990. Umfang bisher: 16 Buchen; total 96 Messungen.
- Untersuchung des Holzzustandes von Strassenbäumen in der Stadt Basel durch die ETH. Gutachten, 1988. Umfang: insgesamt 10 Linden und Ahorne; total 24 Messungen.
- Physiologische Dauerbeobachtung geschädigter Waldbäume. NFP-14+-Projekt «Waldschäden» der Universität Basel, 1988. Umfang: 6 Fichten; total 48 Messungen.
- Das Auftreten des Tannen-Nasskerns in Abhängigkeit von Standort und von phänologischen Merkmalen. Diplomarbeit ETH, 1988. Umfang: 104 Tannen; total 404 Messungen.
- Jahreszeitliche Veränderungen im Wasserhaushalt unterschiedlich vitaler Föhren. Diplomarbeit ETH, 1988. Umfang: 60 Föhren; total 360 Messungen.
- Zusammenhang zwischen Nadel-/Blattverlust und Splintanteil und Wassergehalt von Probestämmen auf den Waldschadenparcours. Forschungsprojekt EAFV, 1988. Umfang: insgesamt 11 Fichten, Tannen, Föhren, Eichen, Eschen, Hagebuchen; total 19 Messungen.

Baumes. Als Grundlage dafür sind die Splintholzparameter zu berechnen (Kučera und Bosshard 1988 [4]). Vitalitätsuntersuchungen erfordern entweder direkte Vergleiche zwischen Bäumen unter identischen Bedingungen (Bild 4), oder eine vorgängige Erarbeitung von Eichkurven hinsichtlich Baumart, Baumalter, Standort und Jahreszeit.

- Durch den Messvorgang wird *der Holzkörper mechanisch nicht geschädigt*. Ein Pilzbefall wurde nicht beobachtet und wird von Fachleuten als



Bild 2a. Stammfäule in einer Fichte

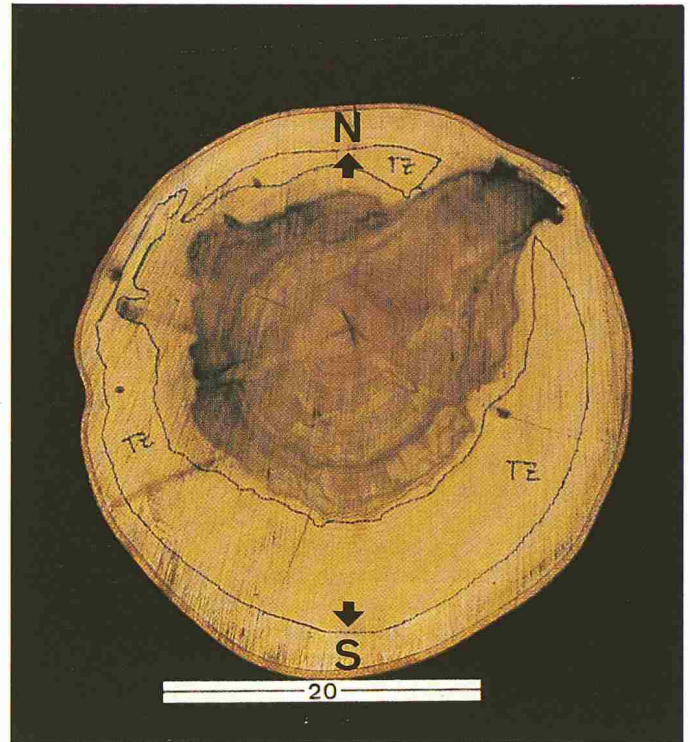


Bild 3a. Rotkern und Stammfäule in einem Buchenstamm (Massstab = 20 cm)

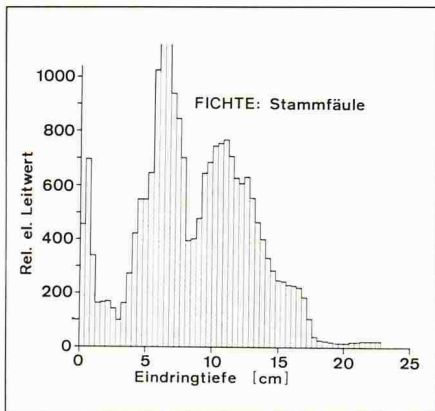


Bild 2b (Mitte links): Die Messkurve am Radius B02 einer Fichte (vgl. Bild 2a). Abszisse: Eindringtiefe in cm, Ordinate: relativer elektrischer Leitwert. Pilzbefall führt zu stark erhöhten Leitwerten

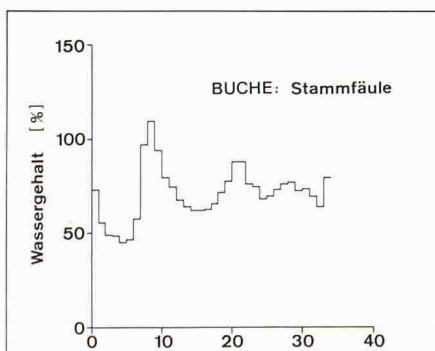
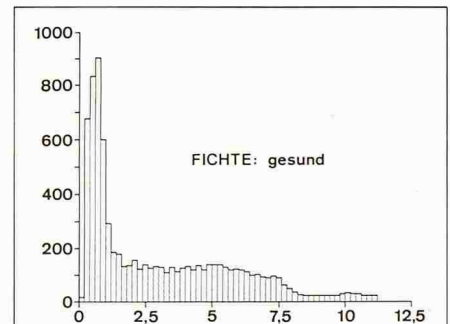


Bild 3b (unten links). Die Messergebnisse einer Untersuchung am Nord-Süd-Durchmesser in einem Buchenstamm (N und S im Bild 3a). Abszissen: Stammdurchmesser in cm, Ordinate oben: Wassergehalt in %, Ordinate unten: relativer elektrischer Leitwert. Man beachte die übereinstimmende Tendenz beider Kurven

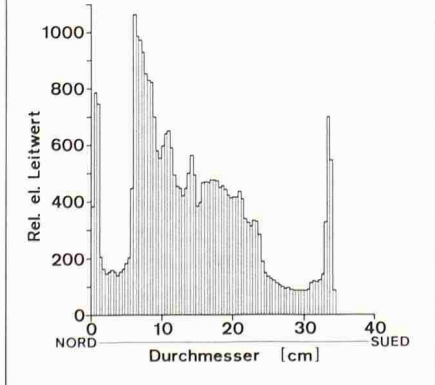
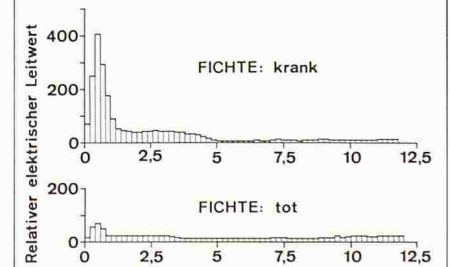
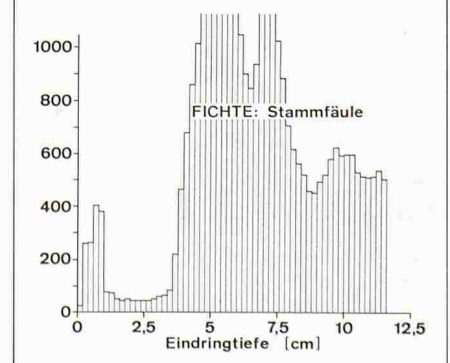


Bild 4 (rechts). Die Messkurven von vier Fichten. Gleicher Standort, gleiche Baumhöhe und Jahreszeit; Brusthöhendurchmesser zwischen 44 und 49 cm. Fichten von oben nach unten: gesund (Nadelverlust 0%), krank (Nadelverlust 50%), abgestorben (Nadelverlust 100%) und rotfaul (Nadelverlust 65%). Abszissen: Eindringtiefe in cm, Ordinaten: relativer elektrischer Leitwert. Die Baumvitalität ist mit dem inneren Holzzustand korreliert



äusserst unwahrscheinlich betrachtet. Hingegen können oxidative Verfärbungen im Holz und mikroskopisch kleine Veränderungen im verletzten Kambium auftreten.

Das neue Messgerät dürfte auf folgenden Gebieten Anwendung finden:

- **Forstwirtschaft:** Vitalitätsuntersuchungen in umweltgeschädigten Beständen. Stichprobenmässige Erfassung von Nasskern und Pilzbefall als Entscheidungsgrundlage für Massnahmen im Forstbetrieb.
- **Bauwesen:** Untersuchungen an Holzbalken im Zusammenhang mit Altbausanierungen.
- **Gartenbau:** Untersuchung von Park- und Alleebäumen hinsichtlich innerer Fäulnis, um Unfälle und Sachschäden durch umstürzende Bäume

oder abbrechende Äste zu vermeiden.

- **Bahnen, Strassenbau:** Untersuchungen an Bäumen entlang Bahnlinien und Strassenzügen zwecks Aufdeckung versteckter Fäulnis.
- **Post und Elektrizitätswerke:** Periodische Untersuchungen an Leitungsmasten im Bereich nahe der Erdoberfläche zwecks Aufdeckung versteckter Fäulnis.

Das Messgerät Vitamat wird der Öffentlichkeit im Rahmen der diesjährigen Forschungs- und Innovationsausstellung der ETH Zürich vom 9. bis 19. November 1988 vorgestellt.

Adresse der Verfasser: PD Dr. *L. J. Kučera* und Dr. *H. P. Bucher*, Institut für Wald- und Holzforschung, ETH-Zentrum, 8092 Zürich.

#### Literatur

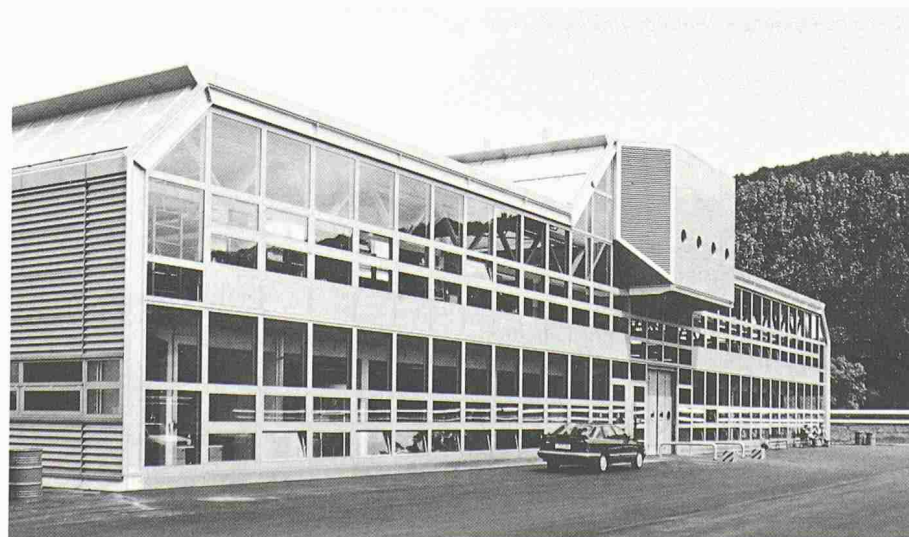
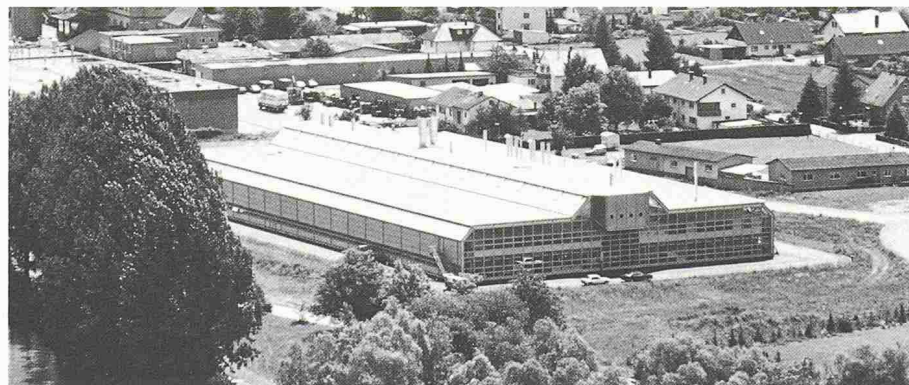
- [1] *Kollmann, F. und Höcke, G.* 1962: Kritischer Vergleich einiger Bestimmungsverfahren der Holzfeuchtigkeit. Holz als Roh- und Werkstoff 20 (12):461-473
- [2] *Skutt, H. R., Shigo, A. L. and Lesard, R. A.* 1972: Detection of discolored and decayed wood in living trees using a pulsed electric current. Canadian Journal of Forest Research 2: 54-56
- [3] *Kučera, L. J.* 1986: Kernspintographie und elektrische Widerstandsmessung als Diagnosemethoden der Vitalität erkrankter Bäume. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 137(8):673-690
- [4] *Kučera, L. J. und Bosshard, H. H.* 1988: Holzeigenschaften geschädigter Fichten. Birkhäuser-Verlag, Basel, im Druck

## Preise

### Preis des Deutschen Stahlbaues '88 an Theo Hotz, Zürich

Alle zwei Jahre verleiht der Deutsche Stahlbau-Verband DSTV den Preis des Deutschen Stahlbaues als Anerkennung für eine hervorragende Leistung auf dem Gebiet des Bauwesens. Mit dem Preis werden Personen

oder Gemeinschaften für eine architektonische Leistung auf dem Gebiet des Hochbaues ausgezeichnet, bei der die Möglichkeiten des Stahls in besonders guter Weise genutzt und gestalterisch zum Ausdruck ge-



bracht wurden. Der Preis wird verliehen für ein in der Bundesrepublik einschliesslich West-Berlin errichtetes Bauwerk oder für ein im Ausland ausgeführtes Objekt, dessen Urheber Staatsbürger der Bundesrepublik Deutschland ist.

39 Beispiele aus unterschiedlichsten Aufgabenbereichen waren zur Bewertung eingereicht worden. Während der zweitägigen Begutachtung der eingereichten Unterlagen wurden einstimmig 27 Bewerber ausgeschieden.

Der Preis des Deutschen Stahlbaues '88 wurde Theo Hotz und seinen Mitarbeitern Heinz Moser und Peter Kaufmann, Zürich, verliehen. Die Architekten erhielten die mit 10 000 DM dotierte Auszeichnung für die Gestaltung des neuen Fabrikationsgebäudes Werk II Transcolor der Kurt Vogelsang GmbH in Hassmersheim. Ingenieur: *A. Lurz*, Heilbronn.

Zu den Objekten der engsten Wahl zählten u.a. (ohne Wertung):

- Hauptbahnhof München, Neugestaltung des Empfangsgebäudes; Architekten: *Planung Fahr+Partner*, München; Ingenieure: *F. Sailer, K. Stephan*, München
- Kopfbahnhof für die Magnetbahn am Kemperplatz in Berlin; Architekten: *Brandt & Böttcher*, Berlin; Ingenieur: *B. Gantert*, Münster
- Wallraf-Richartz-Museum und Museum Ludwig mit Philharmonie, Köln; Architekten: *Busmann & Haberer*, Köln; Ingenieure: *Ing.-Gemeinschaft für Tragwerksplanung*, Köln

Das Preisgericht setzte sich wie folgt zusammen: Prof. *E. Rossmann*, Karlsruhe; Prof. *Rolf Baehre*, Karlsruhe; *P. Bayerer*, Berlin; Prof. *F. Haller*, Solothurn/Karlsruhe; Prof. *H. Bühler*, München; *P. Jesberg*, Wiesbaden; Informator: *K. Schmiedel*, Köln.

Fabrikationsgebäude in Hassmersheim, BRD. Architekt: *Theo Hotz*, Zürich (Fotos: *Wolf und Schweinitz*, Taunusstein)