

Stadtbäume

Ladislav J. Kucera, ETH Zürich

Bäume im Siedlungsbereich – Strassen-, Alleen- und Parkbäume – erfüllen zahlreiche Aufgaben. Zugleich werden sie vielfältigen und teils extrem negativen Beanspruchungen ober- und unterirdisch ausgesetzt. Diese Beanspruchungen führen zu beschleunigter Alterung (Vitalitätsabnahme) und zahlreichen Krankheiten, verursacht oft durch holzerstörende Pilze. Altersschwache und kranke Bäume stellen einen Risikofaktor für ihre Umgebung dar: sie können durch stürzende oder brechende Baumteile Unfälle und Sachbeschädigungen verursachen. Zu den wichtigsten Aufgaben der Baumpflege gehört die rechtzeitige Erfassung labiler Baumzustände (verminderte Stand- oder Bruchsicherheit) und das Ergreifen geeigneter Gegenmassnahmen. In der vorliegenden Arbeit werden die bekannten Methoden und Einrichtungen zur Untersuchung des inneren Baumzustandes vorgestellt. Besondere Aufmerksamkeit wird dem an der ETH Zürich entwickelten Messgerät Vitamat gewidmet, welches eine rasche und quasi zerstörungsfreie Aufdeckung von Faulstellen im Baumstamm ermöglicht.

City Trees

Trees fulfil in settlement areas along roadsides or in parks numerous tasks. At the same time, they are exposed to some extremely negative growth and living conditions. These conditions lead to an accelerated aging (expressed by low vitality) as well as to numerous diseases, caused in many cases by wood-destroying fungi. Non-vital or diseased trees constitute a high risk for their environment by creating accidents through broken or overthrown branches and stems. It is one of the most important tasks of urban tree care to recognize such potential risks and to take the necessary steps to eliminate them. In this present paper, methods and instruments for the investigation of the internal tree condition are presented. Particular attention is paid to the Vitamat, an instrument developed at the SFIT in Zurich. This instrument makes the detection of hidden fungal decay in stems and branches possible in a quick and quasi-nondestructive manner.

1 Die Stadt als Baumstandort

Mit dem Stichwort «Baum» wird in der Regel die Vorstellung des Waldes assoziiert. Bäume wachsen aber keineswegs nur in Wäldern oder Fluren, sondern seit jeher auch im engsten zivilisatorischen Bereich: der Siedlung. Bäume im Siedlungsbereich – wir wollen sie im weiteren Stadtbäume nennen – erfüllen vielfältige Aufgaben: sie regeln das Mikroklima, filtern Staub und Abgase aus der Luft, spenden Windschutz und Schatten, beeinflussen ästhetisch ihre Umgebung und tragen zum psychischen Wohlbefinden des Menschen bei. Parkanlagen mit Bäumen sind beliebte Treffpunkte und Erholungsräume.

Die Stadtbäume werden in der Regel in zwei Gruppen eingeteilt, nämlich Strassenbäume (in der Stadt Zürich ca. 19 000) und Bäume in Parkanlagen und Gärten (in der Stadt Zürich ca. 40 000). Alle Stadtbäume, besonders aber die Strassenbäume, werden Beanspruchungen ausgesetzt, die wesentlich jene der Waldbäume übertreffen. Der Boden, in dem die Bäume verwurzelt sind, wird oft verdichtet und leidet als Folge von tiefbaulichen Massnahmen und Strassenteerung an Wassermangel und fehlender Durchlüftung. Häufig ist auch eine starke Verschmutzung gegeben, wobei besonders die Tausalze, aber auch der

Hunde-Urin hier zu erwähnen sind. Im Stamm- und Kronenbereich sind Verletzungen häufig; sie werden durch die allgemeine Bautätigkeit, den Strassenbau, den Verkehr und die – leider gelegentlich auch unsachgemässen – Pflegemassnahmen verursacht. Auch die Belastung aus der Luft ist sehr gross. Während ein Waldbaum nur durch Fernemittenten in reduzierter Weise belastet wird, wirken sich auf den Stadtbaum Nahemissionen in der Luft aus Industriebetrieben, Heizungen und dem motorisierten Verkehr viel direkter aus. Keineswegs klar ist, ob die teils starken elektrischen und magnetischen Felder, z. B. der Strassenbahnen, auch einen ungünstigen Einfluss haben. Stadtbäume sind kostbares Gut und darum ist es wesentlich, ihre Lebensbedingungen überall dort wo es möglich ist zu verbessern. Es verbleibt eine letzte aber wichtige Anmerkung: die Baumartenwahl. Der naturnahe Wald im schweizerischen Mittelland ist in der Regel ein stufiger Mischwald. Strassenalleen wurden jedoch häufig so angelegt, dass sie aus gleichaltrigen Bäumen derselben Art bestehen. Dies hat einen negativen Einfluss auf die Stabilität, sowohl im Hinblick auf Windbelastung als auch – und besonders – aus der Sicht von Epidemien, verursacht durch Viren, Bakterien, Pilze oder Insekten. Ein gutes Beispiel für diese Aussage ist das berühmte «Ulmensterben», verursacht durch den Pilz *Ceratocystis ulmi*. Während Ulmen in Alleen und Parkanlagen Westeuropas durch diese Krankheit gebietsweise völlig ausgerottet worden sind, blieben die Schäden an Ulmen von natürlichen Waldstandorten nahezu bedeutungslos (F. Schwerdtfeger, 1981).

Entscheidend war dabei wohl die urbane Konzentration der Ulmen und ihre stressbedingte Disposition für die Krankheit. Wichtig ist die Baumartenwahl neben ästhetischen Überlegungen auch im Hinblick auf die Widerstandsfähigkeit der Bäume gegenüber den unwirtlichen Bedingungen eines Stadtklimas. Die Standortsansprüche der Baumarten wurden in der Baumbiologie vorwiegend erst in unserem Jahrhundert systematisch untersucht. Dabei wurde die Reaktionsweise der Bäume auf die einzelnen Bedingungen ihrer Umwelt registriert. Die morphologischen Reaktionen wie Triebwachstum und Benadelung bzw. Belaubung sind leicht zu erfassen, jedoch als unspezifische Merkmale oft schwer zu interpretieren. Zusätzliche Erkenntnisse gewinnt man aus den inneren Wachstumsvorgängen und biochemischen Prozessen, die jedoch immer noch laufend erforscht werden. Bezeichnend für die Entwicklung des Kenntnisstandes auf diesem physiologischen Gebiet ist eine Definition der Gefässfunktionen aus dem Jahr 1909: «Die Gefässe des Holzes selbst führen nie Wasser; sie sind die Luftwege des Holzes; sie können sich daher auch nicht an der Wasserbewegung beteiligen: Wasser würde auch die Gefässe verstopfen und so deren Daseinszweck, die Durchlüftung der Bäume, vereiteln.» (H. Mayr, 1909). Heute wissen wir, dass die Gefässe die Wasserleitbahnen des Laubholzes sind und Lufteinbrüche in das Gefässsystem zur Inaktivierung des Wassertransportes und im günstigsten Fall zu einer normalen Verkernung zentraler Querschnittsbereiche führen. Die Ausbildung des Gefässsystems ist unter anderem eng mit der Wasserversorgung des Baumes korreliert. So konnten holzanatomische Messungen an Gefässen von erkrankten Robinien an der Erismannstras-

se in Zürich den Anfang einer Erkrankung dieser Bäume in ursächlichen Zusammenhang bringen mit Kanalisationsarbeiten, die rund 30 Jahre zurücklagen und bei denen die Wasserversorgung der Wurzelbereiche bautechnisch bedingt verschlechtert wurde (E. Chevallier, 1980). Ähnliche Beweisführungen sind in der modernen holzbiologischen Literatur zahlreich zu finden (z. B. H.R. Höster, 1977).

2 Der Stadtbaum als Risikofaktor

Bäume sind mechanischen Beanspruchungen besonders durch Eigengewicht, Schnee- und Windlast ausgesetzt. Diese Belastungen können zu Astabbrüchen, Windbruch oder Windwurf führen. Massgeblich ist dabei die – oft ungenügend bekannte und schwer vorhersehbare – Belastung und die Tragfähigkeit des Baumes. In einem gesunden und vitalen Baum werden durch Wachstumsvorgänge die äussere Gestalt (Stammform) und der innere Aufbau laufend auf «normale» Belastung hin optimiert. Die Grundsteine zu dieser Erkenntnis wurden fast zeitgleich hinsichtlich Stammform von S. Schwendener (1874) und bezüglich der Zellmorphologie von K. Sanio (1872) gelegt. Bei andauernden Ungleichgewichten in der Belastung entwickeln zudem Bäume (mit Ausnahme der Einkeimblättrigen) ein exzentrisches Dickenwachstum und spezialisierte Gewebe: das Druck- und Zugholz.

Überalterte, in ihrer Vitalität geschwächte oder gar kranke Bäume vermögen die obigen Gesetzmässigkeiten nur ungenügend zu erfüllen und sind daher stärker bruchgefährdet. Die Austrocknung von Holzgeweben vermindert deren Elastizität und erhöht damit ebenfalls die Bruchgefahr, besonders im Kronenbereich. Wurzelschäden durch Pilze vermindern die Stabilität des Baumes. Kernfäulen im Stamm und den Hauptästen führen oft zu schweren und unerwarteten Brüchen.

Das von einem Baum ausgehende zivilisatorische Risikopotential ist nicht nur von dessen Zustand abhängig, sondern auch davon, inwiefern durch diesen Baum Leitungen, Gebäude, Brücken, Verkehrsteilnehmer und Spaziergänger bedroht sind. Am 16. August 1989 erlitt die Platane Nr. 84 am Schützengraben in Basel einen unerwarteten Stammbruch. Obwohl der Baum am stark befahrenen Cityring stand, kam niemand zu Schaden, weil der Vorfall in der verkehrsärmeren Nachtzeit passierte. Die besagte etwa 130 Jahre alte Platane war durch einen gefürchteten Erreger der Weissfäule – den Zottigen Schillerporling (*Inonotus hispidus*) – befallen. Auch viele der benachbarten Bäume zeigten den gleichen Befall, erkennbar an dunklen Fruchtkörpern des Pilzes, sowie eine reduzierte Vitalität. Es oblag dem Gartenbauamt der Stadt Basel, im Auftrag der Eigentümerin (Stadt Basel) für einen sicheren Betrieb der Grünanlage «gemäss dem aktuellen Stand der Wissenschaft und Technik» (G. Blauermeil, 1988) zu sorgen. Das Gartenbauamt beschloss nach einigen Abklärungen eine umfassende Erneuerung der Baumallee. Hierauf hat sich unter der Leitung einiger Lokalpolitiker eine Bewegung «Aktion Aufbäumen» gebildet, welche aus ökologischen und nostalgischen Gründen jegliches Baumfällen mit allen

Mitteln zu verhindern suchte. Die Auseinandersetzung konnte durch ein ETH-Gutachten (L.J. Kucera et al., 1990) und die glaubwürdige Darstellung des Risikopotentials (Bild 1) zugunsten einer Sanierung der Lage entschieden werden. Das zivilisatorische Risikopotential wurde für verschiedene Standorte errechnet, wobei realistische Annahmen hinsichtlich täglich passierender Fahrzeuge bzw. Fussgänger und deren Grösse, Geschwindigkeit und Reaktionsdauer (Bremsweg) getroffen wurden. Es zeigte sich, dass die Wahrscheinlichkeit eines Schadenereignisses an Passanten oder Fahrzeugen bei einem Baumbruch am Cityring 72%, an einer Nebenstrasse in Basel 7,2% und in einem städtischen Park noch 0,72% betrug. Unter diesen Umständen vermochte keiner der Sanie-

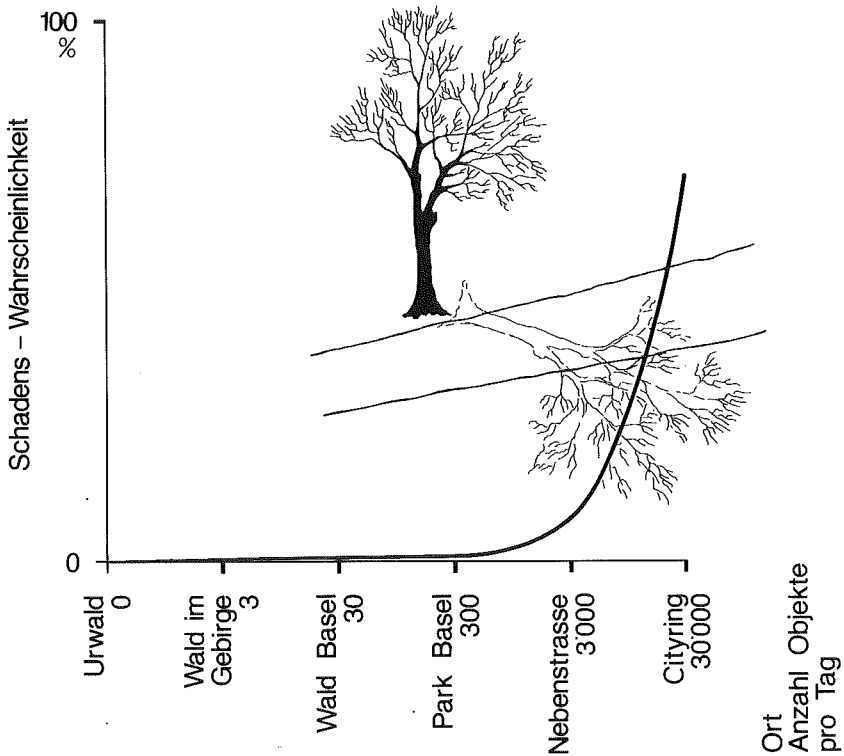


Bild 1 Zusammenhang zwischen dem Standort eines Baumes und der Schadens-Wahrscheinlichkeit an Mensch und seinem Eigentum durch das Umstürzen des Baumes. Zeichnung U. Stocker.

Fig. 1 Relationship between the location of a tree and the potential risk for humans and their property due to an overthrow of this tree. Drawing U. Stocker.



Bild 2 Platanenstämme mit Kernfäule, verursacht durch den Zottigen Schillerporling. Aufnahme Dr. H.P. Bucher.

Fig. 2 Stems of some plane trees with heartrot caused by the fungus *Inonotus hispidus*. Photograph Dr. H.P. Bucher.

rungsgegner das von den kranken Bäumen ausgehende Risiko auf sich zu nehmen. Die Kontrolle der Baumstämme nach der Fällung der Platanen ergab eine völlige Übereinstimmung der Faulstellen (Bild 2) mit den Messbefunden, ermittelt mit dem Messgerät Vitamat 4.

3 Baumpflege und Baumdiagnose

Junge, vitale und gesunde Bäume stellen kaum eine Gefahr für ihre Umgebung dar. Das Risikopotential erhöht sich mit der natürlichen Alterung und der damit verbundenen Abnahme der Vitalität und besonders durch Krankheiten und Schädigungen des Baumes. Durch Bäume verursachte Schäden und Unfälle sind eher selten auf «höhere Gewalt» zurückzuführen. Meistens ist das Tun und Unterlassen des Menschen für derartige Vorfälle verantwortlich (G. Blauermel, 1988). Die Baumpflege handelt aus dieser Verantwortung heraus im Sinne einer Schadensverhütung mit gleichzeitiger Rücksichtnahme auf die eingangs erwähnten Funktionen der Stadtbäume. Die Hauptaufgaben der Baumpflege sind:

- die Zubereitung und der Schutz geeigneter Baumstandorte,
- die Verhütung der Baumschäden durch Dritte (z. B. Bautätigkeit oder Verkehr),
- das Erkennen und angemessene Reagieren auf Baumkrankheiten und
- das Ersetzen von überalterten, kranken und toten Bäumen.

Die wichtigste und umstrittenste Einzelmassnahme der Baumpflege ist der Kronenschnitt. Mit dem Kronenschnitt werden ästhetische, phytosanitarische und sicherheitstechnische Ziele verwirklicht. Der Kronenschnitt sollte gerechtfertigt sein sowie rechtzeitig und artgerecht ausgeführt werden. Baumbiologische Untersuchungen der letzten Jahre resultierten in der «Hamburger Schnittmethode» (D. Dujesiefken und W. Liese, 1991), welche die obigen Forderungen berücksichtigt. Eine Kappung der Bäume ist konsequent abzulehnen, während baumchirurgische Massnahmen unter Zuhilfenahme von Gewindestäben, Stahlbolzen, Seilanker und anderer Hilfsmittel von Fall zu Fall sehr kritisch auf ihre Nützlichkeit und Tauglichkeit hin zu prüfen sind.

Jeder baumpflegerischen Massnahme wird eine umfassende BauminSpektion zu Grunde gelegt, welche in einer Bewertung des Baumes hinsichtlich

Vitalität und Stabilität resultiert. Für solche Inspektionen gibt es klare Regeln (z. B. B.G. Crane, 1989), entscheidend ist aber die praktische Erfahrung des Sachbearbeiters und seine Vertrautheit mit jedem einzelnen Baum. In Zürich werden solche Inspektionen an allen Strassenbäumen alljährlich durchgeführt. Grundsätzlich sind bei jedem Baum drei Bereiche zu prüfen:

- a) *Wurzelbereich*: Hier ist man meistens auf Hinweise und Vermutungen angewiesen.
- b) *Krone*: liefert entscheidende Grundlagen zur Beurteilung der Vitalität (Wachstum) und Stabilität (Kronenform und -grösse, Kronenarchitektur). Hinweise sind z. B. den Arbeiten von A. Roloff (1989) sowie L.J. Kucera et al. (1990) zu entnehmen.
- c) *Stamm evtl. Hauptäste*: Kernfäule kann die Bruchsicherheit des Stammes und der Hauptäste in schwer vorhersehbarer Weise beeinflussen. Zwar ist der Pilzbefall oft – aber nicht immer – von aussen erkennbar, nicht aber der innere Schaden.

Aus dem Wunsch nach einer präzisen Fäulnisdiagnose sind verschiedene Geräte und Verfahren entstanden, denen gemeinsam ist, dass sie sich grösstenteils in der Entwicklungs- und Erprobungsphase befinden und dass sie ein punktuell Messergebnis liefern, das einer baumstatischen Interpretation bedarf. Wesentlich für die Interpretation ist die Feldstudie von C. Mattheck und H. Breloer (1992a) an 500 hohlen Bäumen von verschiedenen Baumarten. Die Autoren konnten zeigen, dass das Versagen der Stämme allgemein erst ab ca. 30% Restwandstärke eintrat. Nachfolgend werden die bekannten Geräte und Verfahren zur Diagnose einer Stammfäule aufgelistet. Die Reihenfolge ist gemäss steigender Zerstörungsfreiheit der Methode. Angaben über die – teils beträchtlichen – Unterschiede zwischen Messaufwand (technisch, finanziell) und Aussagekraft der Methoden sind der zitierten Literatur oder der Arbeit M. Brandt und F. Rinn (1989) zu entnehmen.

- a) *Visuelle Methoden*: Die einzige in der Praxis allgemein verbreitete Diagnosemethode ist die Bohrspanentnahme, dies trotz erwiesener Schäden durch die Bohrung für den Baum (O. Lenz und K. Oswald, 1971; G. Sinn, 1993). Eine Anbohrung kann durch eine endoskopische Betrachtung allfälliger Hohlräume im Baum ergänzt werden (H.W. Wolf, 1985).
- b) *Mechanisches Prüfen der Holzdichte*: Die Dichte ist mit den Festigkeiten des Holzes allgemein stark positiv korreliert. Basidiomyceten vermindern die Holzdichte und bewirken zugleich einen Festigkeitsabbau im Holz. H. Zycha und L. Dimitri (1962) beschreiben ihre Erfahrungen mit dem Einstichgerät nach Gillwald, bei dem eine Nadel in den Holzkörper eingepresst und der Eindringwiderstand registriert wird. Beim kommerziell erhältlichen Messgerät Pilodyn (P. Hoffmeyer, 1978) wird eine Nadel mit konstanter Energie ins Holz getrieben und die Eindringtiefe als Massstab der Dichte angenommen. Kamm und Voss erfanden eine Bohrmaschine, bei der aus dem Bohrwiderstand die Holzdichte abgeleitet werden kann. Das Gerät wurde unter dem Namen Xylo-Density-Graph auf dem Markt eingeführt. F. Rinn (1989) hat das Gerät unter dem Namen Densitomat weiterentwickelt.

- c) *Messung der elektrischen Leitfähigkeit des Holzes in situ*: Mikroorganismen erhöhen im besiedelten Holz gewöhnlich die Ionen-Konzentration und den Wassergehalt. Dadurch wird der elektrische Leitwert des Holzes bei Kernfäulen deutlich gesteigert. Auf dieser Idee basieren die Messgeräte Shigometer (A.L. Shigo und A. Shigo, 1974), Conditionometer AS-1 (A. Egger und Ch. Tomiczek, 1985) und Vitamat (L.J. Kucera, 1986).
- d) *Externe Messung der Durchlässigkeit von Holz für Strahlen und Wellen*: Die Durchlässigkeit des Holzes für Mikro-, Radio- und Ultraschallwellen sowie für die Röntgen- und Gamma-Strahlung ist indirekt proportional zu seiner Dichte und dem Wassergehalt. Die Dichte wiederum ist ein Indikator der Festigkeitseigenschaften. Auf dieser Erkenntnis basieren verschiedene Verfahren, von denen jedoch nur die Computer-Tomographie anwendungsbereit ist (V. Schwartz, A. Habermehl und H.-W. Ridder, 1989), während die übrigen Verfahren im Versuchsstadium geblieben sind (z. B. W.E. Eslyn, 1959; B.D. Miller, F.L. Taylor und R.A. Popeck, 1965).
- e) *Messung der kernmagnetischen Resonanz*: Gemessen wird bei diesem Verfahren das HF-Echo der Wasserstoff-Atomkerne des freien Wassers im Holz (L.J. Kucera, 1986). Die entsprechenden Signale aus dem gebundenen Wasser und aus der Zellwand sind ebenfalls erfassbar, jedoch jeweils um eine Größenordnung schwächer. Freies Wasser wird, wie schon weiter oben erwähnt, mit Mikroorganismen im Holz assoziiert. Kernspintomographie ergibt wie die Computertomographie zweidimensionale Schnittbilder der Verteilung des Messargumentes. Nach M. Brandt und F. Rinn (1989) ist dies das einzige wirklich zerstörungsfreie Messverfahren, welches aber vorläufig an stationären Anlagen betrieben wird.

All die oben aufgeführten Methoden liefern hinsichtlich Bruch- und Stand-sicherheit der Bäume nur indirekte Anhaltspunkte. Ganz anders die von L. Wessolly (1991) entwickelten Methoden, bei denen der Baum einer limitierten Zugbelastung ausgesetzt wird und aus der Neigung des Baumes (Inclinomethode) bzw. der Verbiegung des Schaftes (Elastomethode) die effektive Stand- und Bruchsicherheit sozusagen hochgerechnet werden. Die Verfahren setzten die Erarbeitung umfangreicher theoretischer Grundlagen über die Baumstatik (G. Sinn und L. Wessolly, 1989) und die Ermittlung der Festigkeitswerte bei hoher Holzfeuchtigkeit voraus. In voller Anerkennung der durch diese Vorhaben ausgelösten Impulse werden die beiden auf Zugversuch basierenden Methoden eher kritisch bewertet (C. Mattheck und H. Breloer, 1992b), weil sie eine Sicherheit bei der Diagnose und Prognose in Anspruch nehmen, welche im komplexen System Baum – Umwelt grundsätzlich nicht erreichbar ist.

4 Der Vitamat

Das Messgerät Vitamat ist eine Weiterentwicklung des Shigometers. Beim Shigometer wie auch beim Conditionometer AS-1 wird der Leitwert in einem vorgebohrten Loch gemessen. Die Anbohrung des Baumes hat drei Nachteile, nämlich

- die Infektionsgefahr für den Baum,
- die Beschädigung des potentiellen Nutzholzes und
- die Messgenauigkeit, verursacht bei Nasskernen durch die Überflutung des Bohrlochs und in anderen Fällen durch rasches Austrocknen der blossgelegten Holzgewebe.

Beim Vitamat werden Stahlnadeln in den Holzkörper geschoben, so dass die obigen Nachteile eliminiert werden. Um dieses Ziel zu erreichen, mussten zwei Hauptprobleme gelöst werden, nämlich eine hochisolierende und reibungsfeste Beschichtung der Nadeln mit Ausnahme der Messspitzen und ein durchgehender Knickschutz. Das Gerät wurde an der Professur Holzwissenschaften der ETH Zürich in den Jahren 1984–1987 in vier aufeinanderfolgenden Prototypen entwickelt.

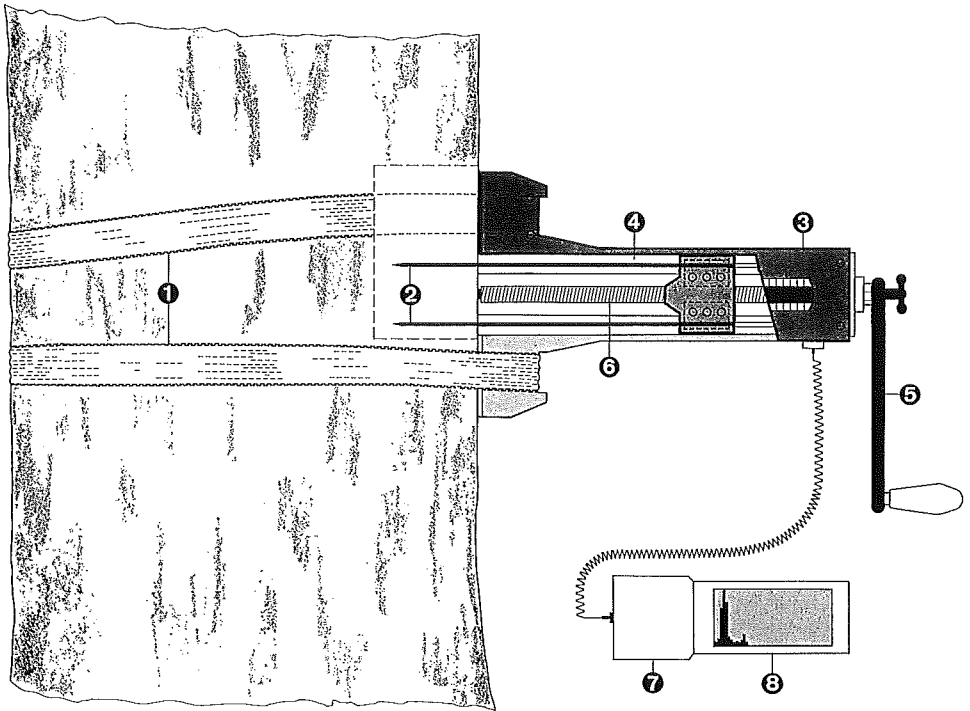


Bild 3 Schema des Vitamats 4. Einzelteile sind Befestigungsgurten (1), nadelförmige Sonden mit Verankerung (2), Gehäuse (3), Knickschutz (4), Handkurbel zur Kraftaufbringung (5), Gewindestange zur Kraftübertragung (6), Leitwert-Messinterface (7) und Kleinrechner (8). Zeichnung U. Stocker.

Fig. 3 Schematic presentation of the Vitamat 4. The instrument consists of tension belts (1), steel electrodes with head part (2), aluminium case (3), electrode guidance (4), crank handle (5), crank shaft (6), electrical conductivity interface (7), and computer with graphic display (8). Drawing U. Stocker.

Der Vitamat 4 ist im Bild 3 schematisch dargestellt. Die Leitwerte werden während der Messung automatisch je 1 mm Wegstrecke erhoben und das Messergebnis erscheint als Leitwertkurve (Abszisse: Eindringtiefe; Ordinate: Leitwert in Mikrosiemens) auf dem Display des Kleinrechners. Zusammen mit der Leitwertkurve wird eine Anzahl wichtiger Daten bei jeder Messung erfasst (z. B. Standort, Baumart, Baumnummer, Exposition usw.). Der Messvorgang selber dauert ca. 5 Minuten; hinzu kommt der Zeitbedarf für Vorbereitungsarbeiten wie Anmarsch, Befestigung des Gerätes, Erhebung der oben erwähnten Daten usw. Es ist durchaus möglich, Messungen an beliebiger Stelle des Stammes oder der Krone auszuführen, sofern eine Hebebühne (notfalls Leiter) zur Verfügung steht (Bild 4). Die maximale Eindringtiefe der Elektroden beträgt 30 cm. Die nutzbare Eindringtiefe ist abhängig von der Härte und Geradfaserigkeit der Holzart und beträgt 10 cm (Hagebuche) bis 30 cm (Pappel). Obwohl das Gerät auch von einer Person bedient werden kann, ist es arbeitstechnisch günstiger im Zweier-team zu operieren. Bei regnerischem Wetter oder Temperaturen unter dem Gefrierpunkt sollten Messungen nicht durchgeführt werden, da das Messergebnis fehlerhaft sein könnte.

Bild 5 zeigt die Leitwertkurven einer gesunden und einer kernfaulen Fichte. In einer Messkurve sind in der Regel folgende drei Bereiche erkennbar: die erweiterte kambiale Zone (das Kambium und die jüngsten Phloem- und Xy-



Bild 4 Vitamat-Messung mit Hilfe einer Hebebühne im Kronenbereich einer Platane vor dem Opernhaus Zürich. Aufnahme Dr. L. Bergamin Strotz.

Fig. 4 Vitamat measurements within the crown of a plane tree in front of the Opera House Zurich using lifting gear. Photograph Dr. L. Bergamin Strotz.

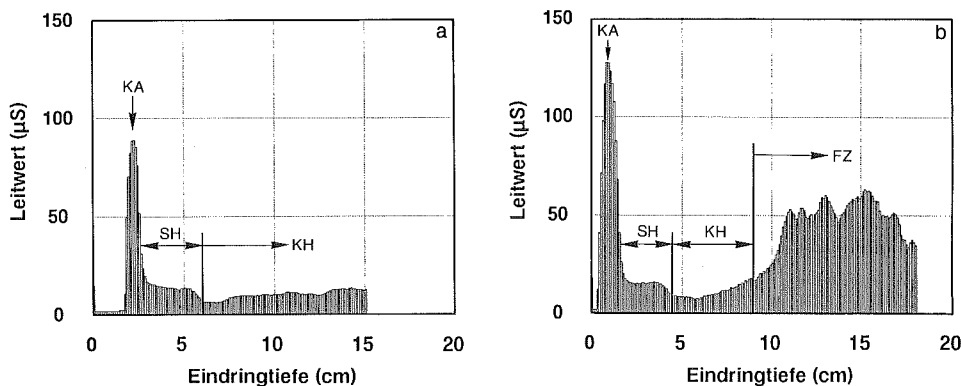


Bild 5 Messkurven einer gesunden (a) und einer pilzbefallenen und kernfaulen (b) Fichte. Abszisse: Eindringtiefe in cm, Ordinate: elektrischer Leitwert in Mikrosiemens. Zeichenerklärung: KA = kambiale Zone, SH = Splintholz, KH = Kernholz, FZ = Fäulniszone.

Fig. 5 Radial pattern of electrical conductivity within the stem of a healthy (a) and a decayed (b) spruce tree. Horizontal axis: stem radius (cm); vertical axis: electrical conductivity (Microsiemens). Abbreviations: KA = cambial zone, SH = sapwood, KH = heartwood, FZ = decayed zone.

leimschichten), das Splintholz und das Kernholz. Die Unterschiede zwischen diesen Bereichen bezüglich des elektrischen Leitwertes widerspiegeln Differenzen im Wassergehalt und der Ionenkonzentration. Pathologisch gestörte Zonen werden durch einen teilweise (Kernfäule durch Pilze) bis sehr stark erhöhten Leitwert (bakterieller Nasskern) erkennbar. Selbst die sog. «Trockenfäule» lässt sich durch Unregelmässigkeiten der Messkurve diagnostizieren. Zudem liefern die Breite der kambialen Zone und der Höchstleitwert in diesem Bereich einen Hinweis auf die Baumvitalität, denn vitale Bäume verfügen über vergleichsweise breite kambiale Zonen mit hohem Wasser- und Ionengehalt.

Bereits bis 1988 wurden ca. 2000 Messungen an 500 Bäumen im Rahmen von 12 Projekten ausgeführt (L.J. Kucera und H.P. Bucher, 1988). Die damaligen Ergebnisse bezogen sich auf 4 Nadel- und 6 Laubholzarten. Heute liegen Ergebnisse von 6 Diplomarbeiten, 3 Grossprojekten und zahlreichen teilweise umfangreichen Gutachten vor, mit einem Total von mehr als 4000 Messungen. Berücksichtigt wurden alle einheimischen Holzarten sowohl in gesundem als auch in pathologisch modifiziertem Zustand (Pilz- oder Bakterienbefall). Um Aussagen über die Baumvitalität machen zu können, wurden verschiedene Einflussgrössen getestet. Die Jahreszeit zeigte den erwarteten Einfluss auf die kambiale Zone (Messungen am gleichen Baum im März, Juni, September und November mit einem Maximum bei allen Baumarten im Juni). Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden in Form eines Leitwertatlas erscheinen (H.P. Bucher et al., 1993). Weniger eindeutig waren die Ergebnisse hinsichtlich des Einflusses der Tageszeit (wohl verursacht durch variierende Witterung) und des Standortes.

Der Vitamat liefert nützliche Entscheidungsgrundlagen hinsichtlich Pflegemassnahmen bei Stadtbäumen und kann im gleichen Sinne eingesetzt werden bei Alleebäumen an Überlandstrassen oder Bäumen entlang der Bahnlinien. In der Forstwirtschaft kann stichprobenweise die Baumvitalität oder die Verbreitung der Kernfäule besonders in Fichtenbeständen ermittelt werden. Orientierende Messungen an Telegrafmasten ergaben eine rasche und sichere Identifizierung innerer Fäule. Es ist allgemein anzunehmen, dass mit dem Vitamat pilzbefallene Stellen in verbautem Holz (z. B. in Dach- und Tragkonstruktionen, Brücken, Pfählen und Telegraf- bzw. Strommasten) leicht aufzudecken sind, wobei die Befestigungsweise des Gerätes für Spezialanwendungen angepasst werden müsste.

5 Literatur

- Blauermerl, G. (1988), Haftung für Schäden durch Bäume und durch Arbeiten an Bäumen. *Das Gartenamt* 37: 13–16.
- Brandt, M. und Rinn, F. (1989), Eine Übersicht über Verfahren zur Stammfäulediagnose. *Holz-Zentralblatt* 115: 1268 und 1270.
- Bucher, H.P., Kucera, L.J., Walter M. und Bonsen, K.J.M. (1993), Elektrische Leitwertprofile im Holzkörper mitteleuropäischer Baumarten, bestimmt mit dem «Vitamat». *Mitteilungen der WSL, Birmensdorf* (im Druck).
- Chevallier, E. (1980), *Dégats aux arbres de la ville de Zurich: L'exemple du robinier faux-acacia (Robinia pseudoacacia L.)*. Unveröffentlichte Diplomarbeit ETH, 72 S.
- Crane, B.G. (1989), Guide to tree inspection. *Arboricultural Journal* 13: 17–24.
- Dujesiefken, D. und Liese, W. (1991), Sanierungszeit und Kronenschnitt – Stand der Kenntnis. *Das Gartenamt* 40: 455–459.
- Egger, A. und Tomiczek, Ch. (1985), Stammfäulebestimmung an Fichte mittels Conditiometer AS-1. Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien, Informationsdienst Nr. 229. Wien, 3 S.
- Eslin, W.E. (1959), Radiographical determination of decay in living trees by means of the thulium x-ray unit. *Forest Science* 5: 37–47.
- Hoffmeyer, P. (1978), The Pilodyn instrument as a non-destructive tester of the shock resistance of wood. In: Washington State University (ed.): *Fourth non-destructive testing of wood symposium. Proceedings*. Pullmann, S. 47–66.
- Höster, H.R. (1977), Veränderungen von Holzstruktur als Indikator für Umweltbelastungen bei Bäumen. *Bericht der Deutschen Botanischen Gesellschaft* 90: 253–260.
- Kucera, L.J. (1986), Kernspintographie und elektrische Widerstandsmessung als Diagnosemethoden der Vitalität erkrankter Bäume. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 137: 673–690.
- Kucera, L.J. und Bucher, H.P. (1988), Ein neuartiges Messgerät für Holzuntersuchungen. *Schweizer Ingenieur und Architekt* 106: 1243–1246.
- Kucera, L.J., Bonsen, K.J.M., Bucher, H.P. und Jacobi, C. (1990), Untersuchungen an 25 Strassenbäumen in der Stadt Basel. *Wissenschaftlicher Schlussbericht an die Kantonsregierung Basel-Stadt*. Zürich, 23 S. und 191 S. Anhang.
- Lenz, O. und Oswald, K. (1971), Über Schäden durch Bohrspanentnahme an Fichte, Tanne und Buche. *Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das Forstliche Versuchswesen* 47: 5–27.
- Mattheck, C. und Breloer, H. (1992a), Wie hohl darf ein Baum sein? *LOELF-Mitteilungen* 3: 77–79.
- Mattheck, C. und Breloer, H. (1992b), Zugversuche zur Überprüfung der Bruchsicherheit. *Das Gartenamt* 41: 633–634.

- Mayr, H. (1909), Waldbau auf naturgesetzlicher Grundlage. Paul Parey, Berlin, 87 S.
- Miller, B.D., Taylor, F.L. and Popeck, R.A. (1965), A sonic method for detecting decay in wood poles. American Wood Preservers' Association, Proceedings 61: 109–115.
- Rinn, F. (1989), Eine neue Bohrmethode zur Holzuntersuchung. Holz-Zentralblatt 115: 529–530.
- Roloff, A. (1989), Kronenarchitektur als Zeichen der Baumvitalität bei Bäumen. Das Gartenamt 38: 490–496.
- Sanio, K. (1872), Über die Grösse der Holzzellen bei der gemeinen Kiefer (*Pinus silvestris*). Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik 8: 401–410.
- Schwartz, V., Habermehl, A. und Ridder, H.-W. (1989), Zerstörungsfreier Nachweis von Kern- und Wundfäulen im Stamm stehender Bäume mit der Computer-Tomographie. Forstarchiv 60: 239–245.
- Schwendener, S. (1874), Das mechanische Prinzip im anatomischen Bau der Monocotylen mit vergleichenden Ausblicken auf die übrigen Pflanzenklassen. Verlag von Wilhelm Engelmann, Leipzig, 179 S.
- Schwerdtfeger, F. (1981), Die Waldkrankheiten. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 4. Auflage, 486 S.
- Shigo, A.L. and Shigo, A. (1974), Detection of discoloration and decay in living trees and utility poles. USDA Forest Service, Res. Paper NE-294, Upper Darby, 11 S.
- Sinn, G. (1993), Das Anbohren von Bäumen. Das Gartenamt 42: 42–43.
- Sinn, G. and Wessolly, L. (1989), A contribution to the proper assessment of the strength and stability of trees. Arboricultural Journal 13: 45–65.
- Wessolly, L. (1991), Verfahren zur Bestimmung der Stand- und Bruchsicherheit von Bäumen. Holz als Roh- und Werkstoff 49: 99–104.
- Wolf, H.W. (1985), Wie's da drin aussieht. Kosmos 9: 74–77.
- Zycha, H. und Dimitri, L. (1962), Erfahrungen mit einem Gerät zur Fäuleermittlung an stehenden Stämmen. Forstwissenschaftliches Centralblatt 81: 222–230.