

1 THEORIE

1.1 Schallausbreitung in festen Stoffen

Schallwellen sind mechanische Wellen. Ihre Ausbreitung ist an ein Medium gebunden. Im Vakuum kann sich Schall nicht ausbreiten. In Festkörpern breitet sich Schall mit zwei verschiedenen Wellentypen aus (longitudinale oder transversale Wellen), die sich in ihrer Ausbreitungsgeschwindigkeit unterscheiden. Vereinfacht kann man die Schallgeschwindigkeit im Festkörper Holz aus seinen physikalischen Eigenschaften nach der Formel [1] berechnen (RENNERT et al., 1986).

$$[1] \quad c = \sqrt{\frac{E}{\delta}}$$

E: Elastizitätsmodul [N/m²]

δ : Dichte [kg/m³]

Unabhängig vom Ausbreitungsmedium kann die durchschnittliche Geschwindigkeit für den Schall auch nach der Formel [2] berechnet werden.

$$[2] \quad v = \frac{s}{t}$$

s: Messtrecke

t: Zeit

1.2 Holz als Medium für die Schallausbreitung

Holz (Xylem) entsteht beim **sekundären Dickenwachstum** der Gehölze. Es wird laufend in der Vegetationsperiode von einem zylinderförmigen Teilungsgewebe (Meristem) erzeugt. Dieses so genannte **Kambium** bildet durch Teilung zwei grundsätzliche Typen Leitgewebe: Phloem (Sieb- oder Bastteil) zum Transport der Assimilate und Xylem (Gefäß- oder Holzteil) für den Transport von Wasser und Nährsalzen.

Da **Nadelholzbäume** in ihrer stammesgeschichtlichen Entwicklung viel älter und ursprünglicher sind, ist ihr Holzaufbau auch einfacher als bei den Laubbäumen. Festigungs- und Leitungsfunktion werden bei den Nadelhölzern von denselben Zellen erfüllt.

Man unterscheidet Tracheiden (für Wassertransport und Festigung) und Parenchymzellen (für Stoffspeicherung, -leitung, -umwandlung). Im Frühjahr werden vom Kambium weitlumige (dünnwandige) Frühholztracheiden gebildet, die vorrangig für den Wassertransport optimiert sind. Im Spätsommer werden die dickwandigen Spätholztracheiden gebildet, deren Aufgabe vor allem die Festigung ist. Die Grenzen zwischen den dickwandigen Spätholzzellen und dem im Frühjahr nach der Winterruhe gebildeten Frühholz sind auf dem Querschnitt des Stammes oder eines Balkens als **Jahrringe** zu sehen.

Laubbäume bilden mehr Zelltypen, die sich stärker spezialisiert haben. Die Wasserleitung geschieht zum größten Teil in Gefäßzellen, die zu langen Gefäßen (Tracheen) verbunden sind. Die Festigung wird von den dickwandigen Fasertracheiden und Libriformfasern übernommen. Außerdem gibt es, genau wie bei den Nadelgehölzen, Parenchymzellen.

Sowohl bei Laub- als auch bei Nadelholz unterscheidet man je nach Inhaltstoffen und Funktion **Splint- und Kernholz**. Im Kernholz sind alle Zellen tot, es ist am Wassertransport des Baumes nicht mehr beteiligt. Durch die Einlagerung von Farb- und Gerbstoffen ist das Kernholz meist dichter. Baumarten, deren Kernholz farbig ist, nennt man obligatorische Kernholzbildner. Hierzu zählen u. a. Eiche, Ulme, Robinie, Lärche und Kiefer. Im Splintholz findet noch aktiver Wassertransport statt. In diesem Teil des Stammes findet man noch lebende Zellen, der Wassergehalt ist hoch. Baumarten mit verzögerter Kernholzbildung, wie z. B. Spitz- und Berg-Ahorn, Erle, Birke und Hainbuche nennt man **Splintholzarten**. Baumarten, deren Kern niemals andersfarbig ist, nennt man **Reifholzarten**. Hierzu zählen Fichte, Tanne und Linde. In deren Kern findet man einen geringeren Wassergehalt. Eine Besonderheit sind Baumarten, die gelegentlich Farbstoffe im hellen Kernholz einlagern, z. B. beim Rotkern der Rot-Buche (WAGENFÜHR, 1996).

Von den Inhaltstoffen im gesunden Baumstamm beeinflusst wahrscheinlich der Wassergehalt die Schallgeschwindigkeit am meisten. Während sich Schall in Luft mit nur ca. 333 m/s, in reinem Wasser mit einer Geschwindigkeit von ca. 1500 m/s ausbreitet, hat der Schall im Holz der Rot-Buche je nach Ausbreitungsrichtung eine Geschwindigkeit zwischen 1200 m/s (tangential) bis weit über 3000 m/s (axial). Sobald jedoch die Dichte und das Elastizitätsmodul des Holzes durch die Tätigkeit von Mikroorganismen (holzerstörende Pilze) verändert werden, sinkt die Schallgeschwindigkeit. Außerdem wird die Schallausbreitung beim Wechsel verschiedener Medien beeinflusst und besonders an den Grenzschichten stark gedämpft. Im relativ inhomogenen Ausbreitungsmedium Holz können Dichteschwankungen zwischen Splint- und Kernholz oder beim Nasskern bereits großen Einfluss auf die Schallgeschwindigkeit haben. In Stämmen mit ausgedehnter Fäule oder gar Hohlräumen ist die Schallgeschwindigkeit drastisch verringert (Abbildung 1).

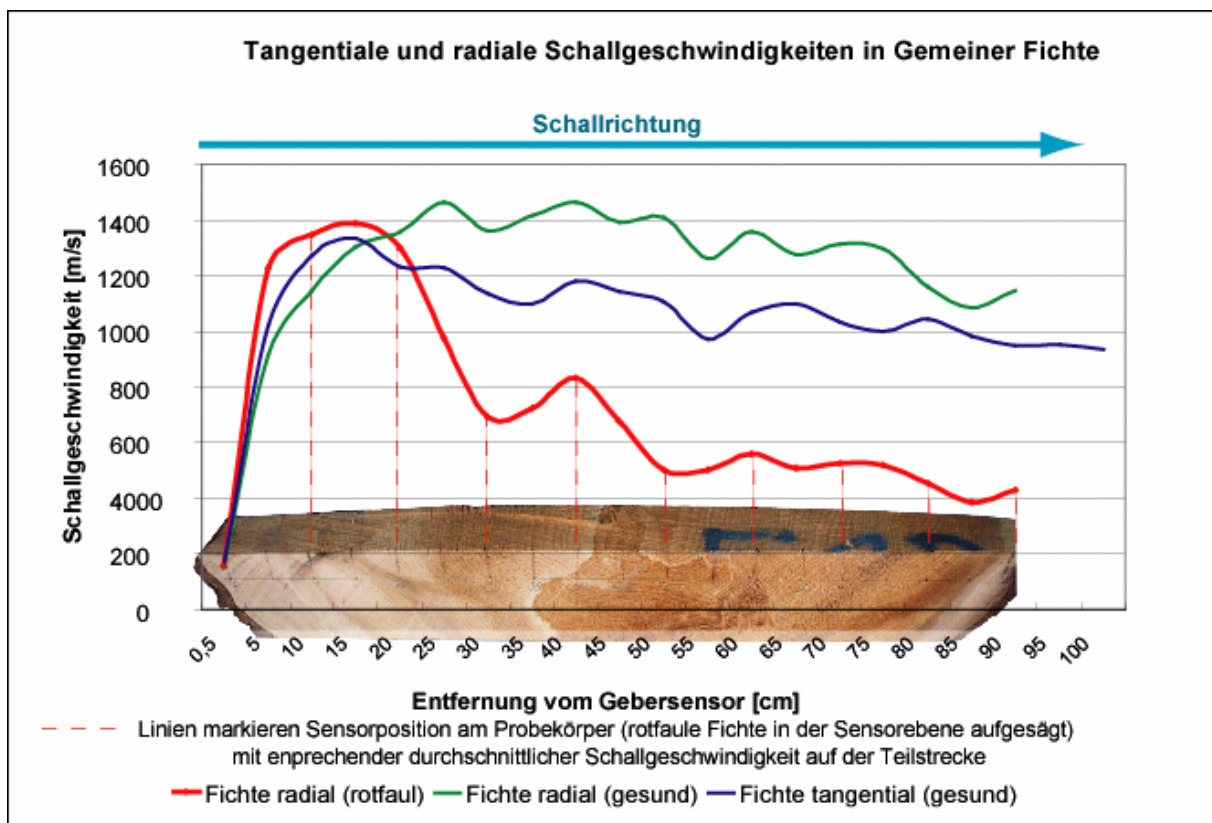


Abbildung 1: Einfluss der Holzersetzung auf die Schallgeschwindigkeit bei Fichte

1.3 Anwendung des PICUS Schalltomografen

Der PICUS-Schalltomograf ist ein neuartiges Diagnosegerät, das erst seit einigen Jahren auf dem Markt erhältlich ist. Genutzt wird dabei die oben beschriebene Eigenschaft des Holzes, den Schall entsprechend der Holzstruktur unterschiedlich schnell weiterzuleiten. Der PICUS-Schalltomograf ermöglicht die Untersuchung von Baumstämmen auf veränderte Holzstrukturen, die auf Fäulnis oder Hohlräume hinweisen. Er ist damit ein wichtiges Instrument für das frühzeitige Erkennen verminderter Bruchsicherheit an stehenden (lebenden) Bäumen.

Das Gerät besteht im Wesentlichen aus einer Anzahl von Messmodulen, einer zentralen PICUS-Einheit und einem Taschen-PC. Die Messmodule werden in der Messhöhe um den Stamm verteilt und an einem Gurt befestigt (Abbildung 2).



Abbildung 2: Anbringen der Sensoren für die Schallmessung

Die eigentlichen Sensoren werden magnetisch auf Nägel gesetzt, die durch die Rinde hindurch bis zum Splintholz des Baumes reichen. Genau an dieser Stelle (Sensor 1 in Abbildung 3) wird auch der Schallimpuls mit einem kleinen Hammer in den Baumstamm eingekoppelt. Es handelt sich dabei um einen „Knall“, dessen Frequenzbreite aus dem hörbaren Bereich stammt. Das Messsignal ist damit eigentlich ein ungerichtetes Breitbandsignal, das sich mit unterschiedlicher Amplitude und Frequenz in alle Richtungen innerhalb des Stammes ausbreitet. Da die Sensoren in einer Ebene, senkrecht zur Stammachse, angebracht sind, wird bei diesem Verfahren jedoch nur die Schallgeschwindigkeit in radialer oder tangentialer Richtung gemessen. Die Sensoren erfassen ein breites Spektrum (etwa im Bereich von 100 – 3500 Hz) erst ab einer bestimmten Intensität. Diese reduzierte Empfindlichkeit soll eine Verfälschung der Messung durch Umgebungsgeräusche verhindern. Alle übrigen Nägel übertragen den ankommenden Schallimpuls auf die Empfängersensoren, die dann den ankommenden Schallimpuls signalisieren. Für jede Strecke (vgl. Abbildung 3) wird so die genaue Laufzeit ermittelt und gespeichert. Beim Messvorgang wird die Zeit nicht in Sekunden gemessen, sondern es werden die Prozessortakte (interne Funktion des angeschlossenen Pocket-PC) gezählt, die bis zum Eintreffen des Schallimpulses beim entsprechenden Sensor vergehen. Die Anzahl der Takte wird je Klopfung und Sensor als ganzzahliger Wert in der oben beschriebenen Textdatei gespeichert (vgl. a. INSTITUT FÜR GEHÖLZE UND LANDSCHAFT DR. GUSTKE GMBH & ARGUS ELECTRONIC GMBH, 2002).

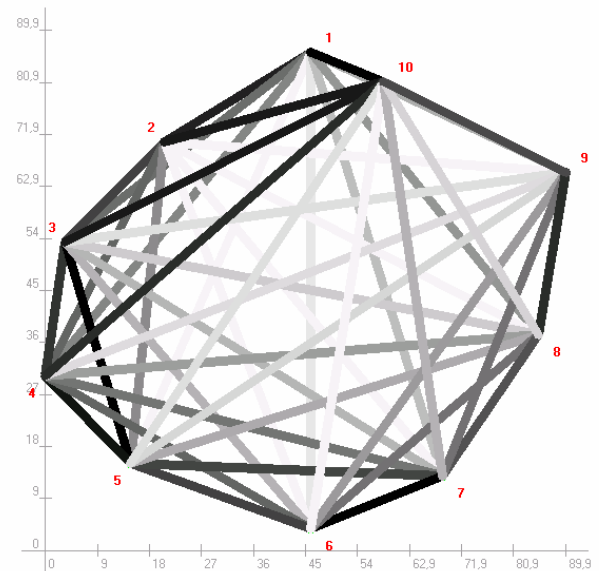
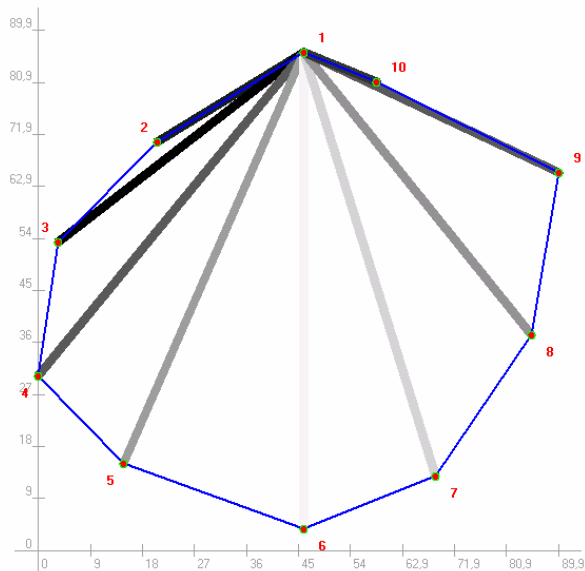


Abbildung 3: idealisierte Schallausbreitung beim Klopfen von Sensor 1; je dunkler der Strahl, desto schneller die Schallgeschwindigkeit

Abbildung 4: Durch Klopfen jedes Sensors reihum entsteht ein dichtes Netz von Messwerten mit den ermittelten Geschwindigkeiten

Während eines Messvorgangs wird jeder Sensor einmal zum Gebersensor (vgl. Abbildung 4). Die Messergebnisse werden in einer kleinen Text-Datei gemeinsam mit Parametern zum untersuchten Baum gespeichert. Aus den vielen verschiedenen Laufzeiten, beim "Klopfen" reihum an allen Sensoren wird über ein mathematisches Modell das farbige Tomogramm errechnet (hier: aus Abbildung 3 und Abbildung 4 entstand Abbildung 19). Dabei werden Bereiche mit hoher Schallgeschwindigkeit als Referenz verwendet. Dieses Verfahren hat den Vorteil, dass es sich für jeden Baum neu justiert. Probleme könnten dabei eventuell bei einigen Weichholzarten auftreten, da hier der Dichteunterschied zwischen zersetztem und gesundem Holz nicht so groß ist, dass daraus kein eindeutiges Bild errechnet werden kann.

2 FALLBEISPIELE AUS DER PRAXIS

2.1 Quercus cerris L. ssp. cerris (Zerr-Eiche)

2.1.1 Standort und Baumdaten

Die 140-jährige Zerr-Eiche stand im Forstbotanischen Garten Tharandt, am Steilhang in unmittelbarer Nähe eines gepflasterten Weges. Der Baum war bei einem BHD von 74 cm ca. 26 m hoch.

2.1.2 Zustandsbeschreibung:

Die stark in Richtung Osten ausgeprägte, einseitige Krone wies deutliche Pinzelstrukturen und absterbende Astpartien in der Oberkrone auf und wurde der Vitalitätsstufe 2-3 (ROLOFF, 2001) zugeordnet. Ein Regenerationsvermögen war nicht erkennbar.

Der Stamm war ca. 5° geneigt und zeigte eine deutliche Stammverdickung im unteren Bereich (sog. Flaschenhals, Abbildung 5). Am Stammfuß waren im gesamten Herbst Fruchtkörper von *Hypsizygus ulmarius* (Ulmenrasling, Abbildung 6) sichtbar.

Auf Grund dieser Symptome wurde eine PICUS-Schallmessung in 40 cm Höhe am Stamm mit 10 Sensoren durchgeführt.



Abbildung 5: Standort der Zerr-Eiche im Forstbotanischen Garten



Abbildung 6: Messebene und Pilzfruchtkörper des Ulmenrasling

2.1.3 Ergebnis

Die Schallmessung ergab einen ausgedehnten Bereich intensiver Holzersetzung im Kernholz (Abbildung 7). In Kombination mit der Fruchtkörperbestimmung wurde zunächst auf eine fortgeschrittene Braunfäule geschlossen, wobei die genaue Determination des

Erregers noch aussteht. Der Ulmenraslig ist ein Braunfäuleerreger, der jedoch relativ selten auftritt und hauptsächlich als Schwächeparasit an überalterten Bäumen und als Saprobiont an Totholz lebt (KRIEGLSTEINER, 2001). Es ist deshalb denkbar, dass noch ein weiterer Erreger an der Holzersetzung beteiligt ist.

Da sich die Fäule bereits in den Bereichen der Restwand, die zur Gewährleistung der Bruchsicherheit des Baumes erforderlich wäre, ausgebreitet hat, wurde der Baum zur Fällung freigegeben und im Januar 2003 entfernt.

Die entnommene Stammscheibe in Höhe der Messebene bestätigt im Wesentlichen das Bild der PICUS-Messung (Abbildung 8), zeigt aber kleine Ungenauigkeiten im Ausdehnungsbereich und in der Intensität der Holzersetzung. Insbesondere die eingewachsene Rinde bei Sensor 6 führt zur Verringerung der Schallgeschwindigkeit und damit zum abgebildeten Tomogramm.

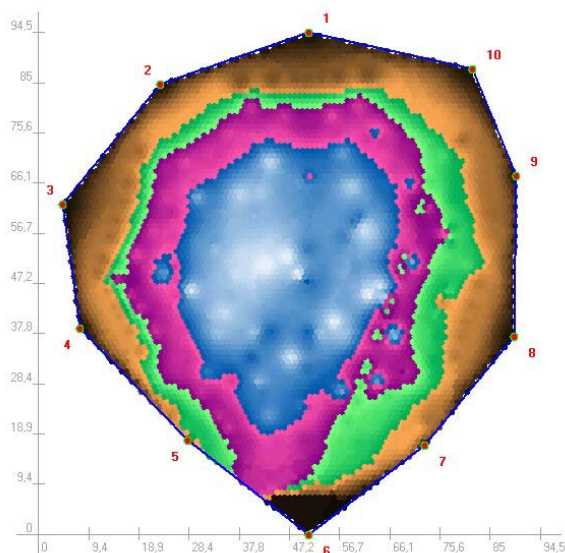


Abbildung 7: PICUS-Bild Zerr-Eiche



Abbildung 8: Querschnitt der Stammscheibe in Messebene

2.2 *Abies concolor* var. *lowiana* (Gord.) Lemn.

2.2.1 Standort und Baumdaten

Die 33-jährige Sierra-Tanne stand im Forstbotanischen Garten Tharandt auf einem Plateau. Der Baum war bei einem BHD von 34,5 cm ca. 19 m hoch.

2.2.2 Zustandsbeschreibung:

Der Baum zeigte deutliche Absterbeerscheinungen in der Oberkrone und wurde der Vitalitätsstufe 3 (ROLOFF, 2001) zugeordnet. Auch hier war kein Regenerationsvermögen des Baumes feststellbar (Abbildung 9).

Während eines Frühjahrsturmes im Jahr 2002 wurde der Baum angeschoben und schräg gestellt (Abbildung 9).

Als statisch bedenklich wurde die Stammneigung von 15° in Zusammenhang mit dem Auftreten von Längsrissen am Stamm und Bodenaufwölbungen bzw. -rissen eingeschätzt.



Abbildung 9: Standort der Sierra-Tanne



Abbildung 10: Messebene mit Nägeln für die Sensoren

2.2.3 Ergebnis

Auf Grund der akuten Wurfgefährdung wurde der Baum im Herbst 2002 gefällt. Um weitere Vergleichswerte zu erhalten, wurde im Vorfeld eine PICUS-Messung durchgeführt (Abbildung 11, Abbildung 12).

Das Bild liefert eine aussagekräftige Information über das Ausmaß der Fäule. Beim Vergleich mit der Stammscheibe aus der Messebene wird deutlich, dass der völlig zersetzten Bereich (Loch) nicht genau mit einer Farbe im Tomogramm übereinstimmt. Die Zuordnung der Farbbereiche stößt hier scheinbar an ihre Grenzen.

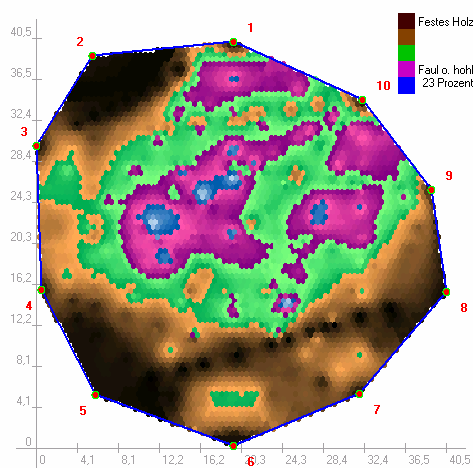


Abbildung 11: PICUS-Bild Sierra-Tanne



Abbildung 12: Querschnitt der Stammscheibe in Messebene

2.3 Tilia cordata (Mill.)

2.3.1 Standort und Baumdaten

Die ca. 50-jährige Winter-Linde steht in einer Baumreihe im Stadtgebiet Pirna an einer Fernverkehrsstrasse.

Der Baum hat in Messhöhe (55 cm) einen Durchmesser von 63 cm, bei einer Höhe von 20 m (Abbildung 13).



Abbildung 13: Standort der Winter-Linde



Abbildung 14: Anfahrtschaden mit seitlichen Überwallungswülsten

2.3.2 Zustandsbeschreibung

Die Linde ist ein typischer Straßenbaum, bei dem die Einkürzung von Seitenästen, teilweise im Starkastbereich, zu einem schlanken Habitus führte. Das HD-Verhältnis ist mit 40 jedoch noch relativ günstig. In der Oberkrone sind bereits deutlich pinselartige Strukturen erkennbar. Die Langtriebe verzweigen sich kaum noch und die Astreinigung lässt den Wipfelbereich lückig erscheinen. Der Baum wird als Übergang von der Degenerationsphase zur Stagnationsphase (ROLOFF, 2001) eingeschätzt. Das wesentliche Merkmal im Stammbereich ist der große Anfahrtschaden. Die alte Wunde ist ohne Rinde, das Holz ist ausgetrocknet. Der Baum versucht die Schadstelle von beiden Seiten aus zu überwallen (Abbildung 14). Die offene Wunde gab Anlass für die Vermutung einer Morschung im Stamm, die die Bruchsicherheit einschränken könnte.

2.3.3 Ergebnis

Die Schalluntersuchung zeigte jedoch, dass die Linde den Schaden hervorragend abgeschottet hat. Dies zeigt, dass die Linde zu den effektiv kompartimentierenden Baumarten gehört (DUJESIEFKEN & STOBBE, 2002; ROLOFF & DUJESIEFKEN, 2003). Sicher hat

die schnelle Austrocknung des Holzkörpers zusätzlich eine Besiedlung mit Holzfäuleerregern verhindert.

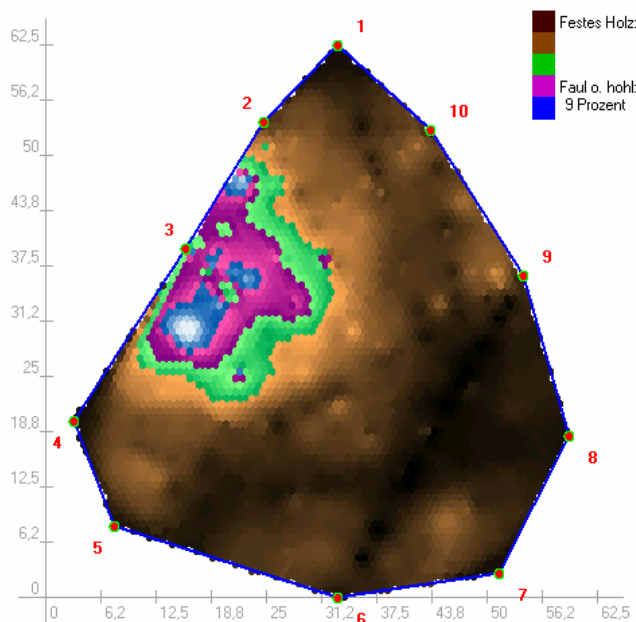


Abbildung 15: lokal begrenzte Fäule hervorgerufen durch einen Anfahrtschaden an Linde, Messhöhe 55 cm über dem Boden

Da durch die eingehende Untersuchung die statischen Bedenken zerstreut werden konnten, steht die Linde heute noch.

2.4 Tilia cordata (Mill.)

2.4.1 Standort und Baumdaten

Die Linde steht in einem Wohngebiet unmittelbar an der Strasse. Wegen der reduzierten Krone war der Baum trotz eines BHD von 70 cm (o. R.) nur 16 m hoch.

2.4.2 Zustandsbeschreibung:

Obwohl die Linde wegen deutlicher Schadsymptome am Stammfuß und im Stammbereich mehrmals stark eingekürzt (bzw. eigentlich gekappt) wurde, hat sich die Krone besonders durch Austrieb von Wasserreisern gut regeneriert. Der Baum steht etwas in Richtung Strasse geneigt. An NO- und NW-Seite sind am Stammfuß bis in ca. 1,50 m Höhe mehrere Jahre alte Fruchtkörper von *Ganoderma* sp. erkennbar (Abbildung 18).



Abbildung 16: Linde mit stark reduzierter Krone und gutem Regenerationsvermögen



Abbildung 17: Höhlung zwischen den Wurzelanläufen, sträßenseitig unterhalb der Sensorpunkte 7 und 8

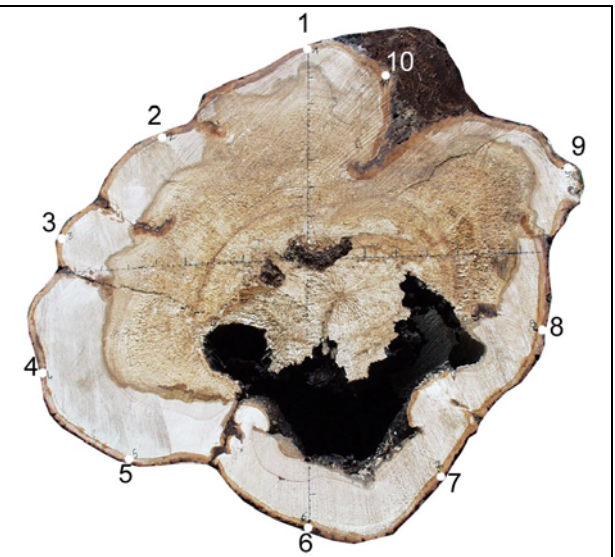
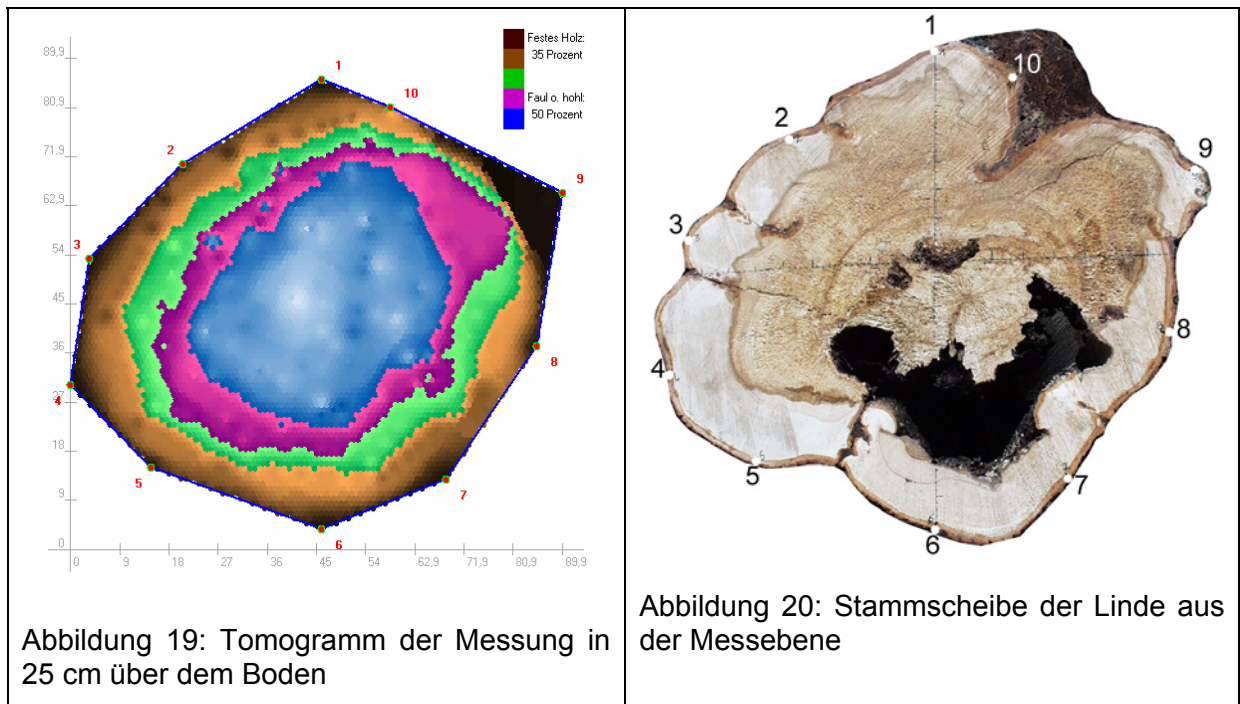


Abbildung 18: Fruchtkörper von Ganoderma sp. (vermutlich Wulstiger Lackporling)

Auf der Straßenseite ist eine tiefe Höhlung zwischen den Wurzelanläufen (Abbildung 17) zu erkennen. Beide Symptome (Fruchtkörper und Höhlung) ließen eine fortgeschrittene Morschung im Bereich der Wurzel bis weit in den Stammbereich hinein vermuten.

2.4.3 Ergebnis

Die Untersuchung mit dem Schalltomografen zeigte eine ausgedehnte Holzzersetzung. Die Restwandstärke beträgt an einigen Stellen nur wenige cm. Wegen der geringen Gesamthöhe und dem starken Durchmesser an der Messstelle hätte der Baum bei vollem Stamm eine Grundsicherheit von über 500% (WESSOLY & ERB, 1998). Für die einfache Sicherheit ist bereits eine Restwandstärke von ca. 3 cm ausreichend – das ist wohl auch der Grund warum die Linde die letzten Stürme trotz der fortgeschrittenen Fäule überstanden hat. Der Baum wurde dennoch im Sommer 2002 gefällt. Die Stammscheibe bestätigt das Schalltomogramm gut. An einigen Stellen hatte sich die Weißfäule fast bis zur Rinde ausgebreitet (Abbildung 19, Abbildung 20).



2.5 Fazit

Der PICUS-Schalltomograf ist als Diagnosegerät für die Baumbewertung, insbesondere der Bruchsicherheit gut geeignet. Die Messung verursacht am stehenden Baum keine nennenswerten Verletzungen. Die Reaktions- oder gar Barrierezone im lebenden Holz werden nicht durchbrochen und das Verfahren erscheint damit weit weniger schädlich für den Baum als der Einsatz bohrender Diagnosegeräte. Bei der Untersuchung mit invasiven Diagnosegeräten (Resistograf, Zuwachsbohrer) besteht die Gefahr, dass bereits abgeschottete Erreger die Reaktionszone im Bohrkanal überwinden und sich im gesunden Splintholz etablieren können (KERSTEN, 2001).

Es muss erwähnt werden, dass die Aussage des PICUS-Schalltomografen erst in Kombination mit einer allumfassenden Baumannsprache zu einem objektiven Gesamturteil führt. Besonders wichtig ist für den Gutachter, dass er die statisch relevanten Symptome am Stamm erkennt und danach seine Messebene festlegt. Die Positionierung der Nägel für die Sensoren muss nicht in jedem Falle im gleichmäßigen Abstand erfolgen. Ist der Stammquerschnitt nicht kreisförmig (wie bei den meisten Bäumen, z.B. durch Unrundigkeit, Spannrückigkeit, Wurzelanläufe) muss für die Geometrie zur Berechnung des Tomogramms die freie Form verwendet werden. In diesem Fall ist es sinnvoll, den Sensorabstand entsprechend der vermuteten Schadausdehnung zu variieren. Neben dem Tomogramm als Ergebnis, ist eine gewisse Erfahrung bei der Deutung der Farbdarstellung erforderlich. Die Interpretation ist dabei zum Teil baumarten- aber auch symptomabhängig. Gute Ergebnisse liefert der Tomograf bei scharf abgegrenzten Schäden in Hölzern hoher Dichte. Fehldiagnosen können hier evtl. bei einer zentralen Ringschale oder einem Spinnenriss entstehen. Durch den Übergang zwischen den beiden Medien Holz und Luft (im Riss) wird der Schallimpuls stark gedämpft und die Schallgeschwindigkeit ist an dieser Stelle im

Vergleich zum übrigen Holz klein. Obwohl die Festigkeit des Holzkörpers nur unwesentlich herabgesetzt ist, wird ein deutlicher Schaden angezeigt.

Aus Untersuchungen an Erle geht hervor, dass Schäden an Weichhölzern teilweise in Ausdehnung und Fäuleintensität nicht richtig wiedergegeben werden (SCHUMANN, 2002). Da dieses Problem jedoch an Linde in dem Ausmaß nicht beobachtet wurde, ist möglicherweise die Dichte alleine nicht das entscheidende Kriterium. Das Verhältnis von E-Modul zu Dichte oder die Härte spielen sicher auch eine Rolle, dieser holzphysikalische Zusammenhang zur Schallausbreitung ist noch nicht ausreichend geklärt.

Ein weiteres Problem stellen gefrorene Stämme dar. Aus eigenen Erfahrungen und aus Mitteilungen des Herstellers (RUST & GUSTKE, 2002) geht hervor, dass ungleichmäßig gefrorene Stämme im Tomogramm ausgedehnte Schäden anzeigen, die sich durch Festigkeitsuntersuchungen mit Fraktometer oder Wiederholungsmessung im Sommer nicht bestätigen lassen. Ähnlich unkalkulierbar ist das Messergebnis beim Phänomen "Nasskern". Untersuchungen bei Pappel scheinen den Nasskern korrekt als festes Holz abzubilden, während bei Rosskastanien verschiedentlich ausgedehnte, zersetzte Bereiche im Tomogramm angezeigt wurden, die sich in der Stammscheibe nicht bestätigten (FRANZ, 2002; RUST et al., 2002). Allerdings zeigen neuere Untersuchungen, dass sich beim Nasskern in Rosskastanien bereits holzzersetzende Erreger etabliert haben könnten und nur solche befallenen Bereiche vom PICUS-Schalltomografen als zersetzt abgebildet werden (Rust 2002).

Für die statische Beurteilung des Baumes sollte der Gutachter aus dem Tomogramm die tatsächliche Restwandstärke ablesen können. Bei begründeten Zweifeln am Ergebnis der Schallmessung, kann die Stärke der Restwand mit einem Zuwachsbohrer o.ä. überprüft werden. Obwohl die Untersuchung dann nicht mehr zerstörungsfrei ist, lässt sich die erforderliche Anzahl der Bohrungen gegenüber einer Diagnose ohne Tomogramm stark einschränken.

An der Weiterentwicklung des Gerätes wird derzeit intensiv gearbeitet (auch am Lehrstuhl für Forstbotanik der TU Dresden), so dass möglicherweise einige der beschriebenen Probleme bald gelöst werden können.

Literatur

- Dujesiefken, D. & Stobbe, H. (2002): Neuartige Stammschäden an Jungbäumen. In: Dujesiefken, D. & Kockerbeck, P. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 2002. Thalacker Medien, Braunschweig.
- Franz, S. (2002): Der Nasskern und seine Erkennung durch den PICUS Schalltomografen. Diplomarbeit, TU Dresden, Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften, 96 S. Institut für Gehölze und Landschaft Dr. Gustke GmbH & argus electronic GmbH, 2002. Schallmessung mit dem PICUS Schalltomografen. Bedienungsanleitung., Neu Gersdorf, Rostock.
- Kersten, W. (2001): Infektionsgefahr durch Einsatz invasiver Diagnosegeräte am lebenden Baum. In: Dujesiefken, D. & Kockerbeck, P. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 2001. Thalacker Medien, Braunschweig, S. 195-202.

- Krieglsteiner, G.J. (Hrsg.), (2001): Die Großpilze Baden-Württembergs. Band 3. Blätterpilze: Ständerpilze, 3. Ulmer Verlag, Stuttgart.
- Rennert, P.; Schmiedel, H. & Weißmantel, C. (Hrsg.) (1986): Kleine Enzyklopädie Physik. Bibliografisches Institut, Leipzig.
- Roloff, A. (2001): Baumkronen: Verständnis und praktische Bedeutung eines komplexen Naturphänomens. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Roloff, A. & Dujesiefken, D. (2003): Zum Umgang mit ehemals gekappten Linden. In: Dujesiefken, D. & Kockerbeck, P. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 1999. Thalacker Medien, Braunschweig, S. 103-112.
- Rust, S.; Franz, S.; Minke, M.; Schumann, I. & Roloff, A. (2002): Schalltomographie zur Erkennung von Fäulen und Höhlungen an stehenden Bäumen. Stadt+Grün (6/02): 50-52.
- Rust, S. & Gustke, B. (2002): Dezember Information zum PICUS Schalltomograph, Institut für Gehölze und Landschaft Dr. Gustke GmbH, Neu Gersdorf.
- Schumann, I. (2002): Der PICUS-Schalltomograf im Vergleich zu Bohrwiderstandsmessung, visueller Baumdiagnose und Stammscheibe nach Fällung. Diplomarbeit, TU Dresden, Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften, Tharandt.
- Wagenführ, R. (1996): Holzatlas. Fachbuchverlag, Leipzig.
- Wessoly, L. & Erb, M. (1998): Handbuch der Baumstatik und Baumkontrolle. Patzer Verlag, Berlin.

Vertrieb / Herstellung des PICUS Schalltomografen:

Institut für Gehölze & Landschaft	argus electronic gmbh
Dr. Gustke GmbH	Joachim-Jungius-Str. 9
Unter den Eichen	18059 Rostock
16259 Neu Gersdorf	www.argus-electronic.de
www.picus-online.de	

Kontakt der Autoren:

Sächsisches Landesarboretum /	HAPPY TREE – Baumpflege
Forstbotanischer Garten Tharandt	Dipl.-Forstingenieur Matthias Goede
Dr. Henrik Weiss	Altlöbtau 14
Piener Str. 8	01159 Dresden
01737 Tharandt	Tel: 0351/4275820
Tel.: 0049 (0)35203 3831259	funk: 0172/9743176
Fax: 0049 (0)35203 3831604	Fax: 0351/4275822
email: weiss@forst.tu-dresden.de	email: info@happy-tree.de