

Eingehende Untersuchung: Verifizierung unterschiedlicher Methoden

Untersuchung von Stockfäule an Robinie

Ulrich Weihs, Till Jaschinski

Zur Vorbereitung eines Forschungsvorhabens zur eingehenden Untersuchung von Stockfäule an 26 Straßen-Akazien in der Göttinger Innenstadt wurden im August und September 2011 Vorversuche an drei Robinien eines Waldstandorts im NLF-Forstamt Reinhausen durchgeführt. Im Rahmen der Vorversuche lieferte die elektrische Widerstandstomographie die aussagekräftigsten Diagnoseergebnisse. Wegen geringer Stammdurchmesser und wuchsbedingter Stammanomalien waren die Schalltomogramme teilweise schwierig zu interpretieren. Anhand der Bohrwiderstandsmessungen ließen sich nur punktuelle Rückschlüsse auf die Holzbeschaffenheit ziehen.

Zur Vorbereitung eines gemeinsamen Forschungsvorhabens der HAWK-Fakultät Ressourcenmanagement und der Stadt Göttingen zur eingehenden Untersuchung von Stockfäule an 26 Straßen-Akazien (*Robinia pseudoacacia* 'Monophylla') in der Göttinger Innenstadt fanden im August und September 2011 orientierende Vorversuche an drei Robinien (*Robinia pseudoacacia* L.) eines Waldstandorts im Forstamt Reinhausen der Niedersächsischen Landesforsten (NLF) statt. Die im Rahmen der Vorversuche erzielten Resultate sollten Aufschluss über die Aussagekraft der eingesetzten Methoden zur Diagnose von Stockfäule liefern und dazu beitragen, die Interpretationssicherheit der im Hauptversuch erzielten Ergebnisse zu erhöhen, um korrekte baumpflegerische Handlungsempfehlungen abzuleiten.

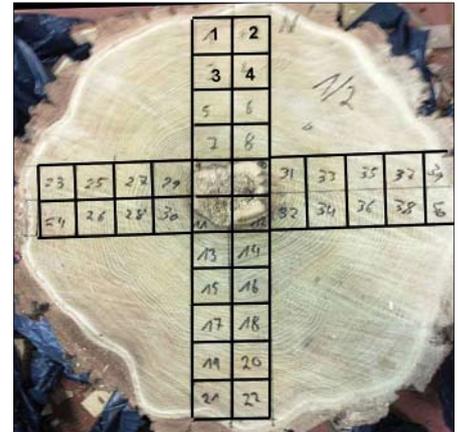


Abb. 1: Stammscheibe mit Schnittmuster für Prüfkörper

Versuchsdurchführung

Die eingehenden Untersuchungen an drei 90-jährigen Robinien mit einem Stammdurchmesser im bodennahen Bereich von 50 bis 55 cm wurden mit folgenden Methoden/Geräten durchgeführt:

- einmalige **Bohrwiderstandsmessung** in den Stammfuß in einem abwärts gerichteten Winkel von 15 bis 20° (IMLResiF400S, IML-Instrumenta Mechanik Labor GmbH, Wiesloch);
- **elektrische Widerstandstomographie** (Geotom, Geolog2000 Fuß&Hepp GbR, Augsburg) jeweils in drei übereinander liegenden Querschnittsebenen im Stammfuß- und anschließenden, bodennahem Stammbereich in 10, 30 und 60 cm Stammhöhe. Die elektrische Widerstandstomographie wurde mithilfe eines Konfigurationsringes mit 24 Stichelektroden durchgeführt. Wegen der hohen Elektrodenanzahl und der relativen Robustheit der Methode gegenüber Geometrieabweichungen wurde auf das zeitaufwändige Einmessen der Stammgeometrie in der Messebene verzichtet und vereinfachend ein kreisförmiger Stammquerschnitt angenommen. Die Auswertung der Messdaten erfolgte mit dem Inversions-Programm DC2Dtree [6].
- **Schalltomographie** (PiCUS Schalltomograph, Argus electronic GmbH, Rostock) jeweils in drei übereinander liegenden Querschnittsebenen im Stammfuß- und anschließenden, bodennahem Stammbereich in 10, 30 und 60 cm Stammhöhe mit 10 Sensoren.

Holzprobenanalyse

Aus jeweils drei Messebenen pro Baum wurde eine 5 cm starke Stammscheibe zur Laboranalyse entnommen. Auf den Stammscheiben wurden zwei von N-S und von O-W durch die Markröhre verlaufende

Transecte mit quaderförmigen, durchgehend nummerierten Prüfkörpern markiert (s. Abb. 1). Die Prüfkörper wurden mithilfe eines Holzhammers sowie eines aufgesetzten Beils abgespalten.

Bei der Abgrenzung der Prüfkörper wurde nach Bereichen „gesunden“ und „faulen“ Holzes mit drei Ausprägungen steigenden Zersetzungsgrads von „gering“ über „mittel“ bis „hoch“ sowie nach radialer Tiefenlage („außen“, „intermediär“ und „zentral“) differenziert. Eine getrennte Analyse von Splint- und Kernholz war wegen des geringen Splintanteils nicht möglich. Die Analyse von 48 Holzproben einer anderen umgestürzten Straßenakazie in Göttingen ergab eine mittlere Darrbezugsfeuchte des Splintholzes von 79 % und 73 % für das gesunde Kernholz.

Für die Berechnung der Darrbezugsfeuchte (w) und der Rohdichte für darrtrockenes Holz (ρ_0) wurde zunächst die Frischmasse m_u [g] der Prüfkörper auf 10 mg genau durch Wiegen erhoben und ihr Frischvolumen v_u [cm³] durch Tauchen in Wasser auf 10 mm³ genau bestimmt. Danach wurden die Holzproben in einem Trockenofen bei 103° C auf 0 % Holzfeuchte bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und anschließend zur Ermittlung ihrer Trockenmasse m_0 [g] und ihres Trockenvolumens v_0 [cm³] erneut gewogen und getaucht.

Zur Bestimmung der pilzlichen Fäuleerreger wurden infizierte Holzproben in Pet-

Dr. U. Weihs ist Professor für Baumsachverständigenwesen, Verkehrssicherheit für Bäume und Baumwertermittlung an der Hochschule für Angewandte Wissenschaft und Kunst (HAWK) in Göttingen sowie von der Landwirtschaftskammer Niedersachsen öff. best. u. vereidigt. Sachverständiger für Baumpflege, Verkehrssicherheit von Bäumen und Baumwertermittlung.

T. Jaschinski ist Student im BSc-Studiengang Arboristik an der HAWK-Fakultät Ressourcenmanagement in Göttingen. Im Rahmen seiner Bachelorarbeit (in Vorbereitung) unterstützte er die Felddatenerhebungen des Forschungsprojekts und führte die Laboranalysen durch.



Ulrich Weihs
weihs@hawk-hhg.de

$$\text{Darrbezugsfeuchte } \omega = \frac{(m_u - m_0) \times 100}{m_0}$$

$$\text{Rohdichte darrtrockenen Holzes } \rho_0 = \frac{m_0}{V_0}$$

rischalen mit sterilisiertem Malzextrakt-Agar aufgebracht und eine Artbestimmung des darin wachsenden Pilzmyzels durchgeführt.

Statistische Auswertung

Die Auswertung des Datenmaterials erfolgte mit den Statistikprogrammen WinSTAT und SPSS. Neben deskriptiven Statistiken wurde die Methode der Varianzanalyse sowie der Korrelations- bzw. Regressionsanalyse angewandt, mit deren Hilfe sich anhand von Stichproben die Mittelwerte von Grundgesamtheiten auf signifikante Unterschiede testen lassen (Varianzanalyse) bzw. sich der Grad der Bestimmtheit des stochastischen Zusammenhangs zweier natürlicher Variablen nach dem Prinzip der „kleinsten Quadrate“ darstellen lässt. Für die Beurteilung der Repräsentanz der Stichprobenmittelwerte wurde der Variationskoeffizient ausgewiesen bzw. die grafische Darstellung in Form von Box-Whisker-Plots gewählt, die Auskunft über die Lage und Verteilung der untersuchten Stichprobenkollektive geben.

Ergebnisse der Holzanalyse

Den in der Tab. 1 dargestellten Analyseergebnissen der Darrbezugsfeuchte (ω) und der Rohdichte darrtrockenen Holzes (ρ_0) liegen insgesamt 347 Holzproben aus den drei Messhöhen der Robinien aus dem NLF-Forstamt Reinhausen zugrunde.

Tab. 1: Varianzanalytische Auswertung von Darrbezugsfeuchte (ω) und Rohdichte (ρ_0)

		ω [%]		ρ_0 [g/cm ³]	
Robinie	N	\bar{x}	VK %	\bar{x}	VK %
Nr. 1	118	B 50	26	A 0,70	9
Nr. 2	100	A 57	62	B 0,61	28
Nr. 3	129	B 47	19	B 0,59	24
Messhöhe	N	\bar{x}	VK %	\bar{x}	VK %
10 cm	134	A 59	50	B 0,61	30
30 cm	108	B 48	26	A 0,65	18
60 cm	105	B 44	16	A 0,65	13
insg.:	347	51	42	0,63	22

Mittelwerte mit gleichen Großbuchstaben sind nicht signifikant unterschiedlich ($\alpha = 0,05$)

Abb. 2: Beziehung zwischen Darrbezugsfeuchte und Rohdichte

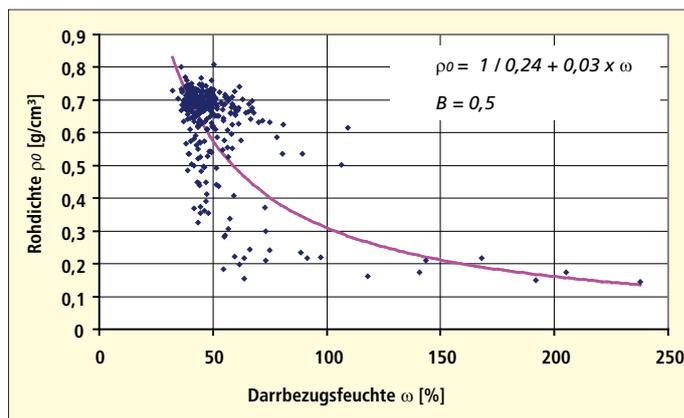


Abb. 3: Verlauf von Darrbezugsfeuchte und Rohdichte entlang des Nord-Süd-Transekts der bodennahen Stammscheibe von Robinie 1

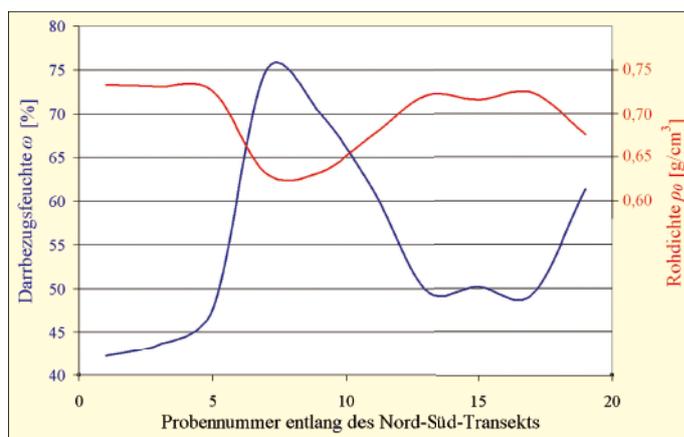
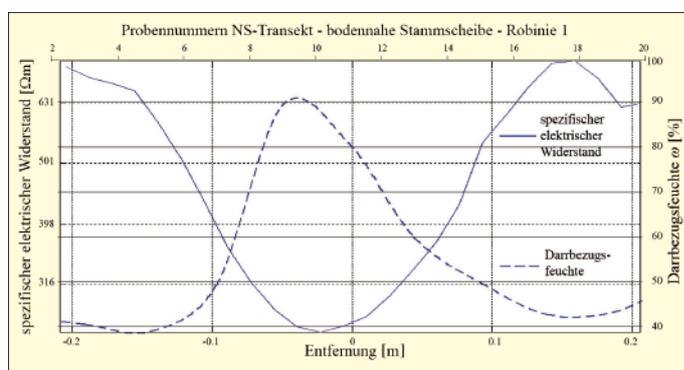


Abb. 4: Verlauf von Darrbezugsfeuchte und spezifischem elektrischem Widerstand entlang des Nord-Süd-Transekts der Stammscheibe aus 30 cm Messhöhe von Robinie 1



Im Durchschnitt betrug die mittlere Rohdichte aller Holzproben 0,63 g/cm³ und variierte zwischen 0,15 (stark zersetztes Holz) bis 0,81 g/cm³ (gesundes Kernholz) bei einem mittleren VK % von 22. Die im Vergleich zu Robinie 1 bis um das Dreifache höheren VK % der Robinien 2 und 3 weisen auf die fäulebedingte Inhomogenität des Holzes im Stammfuß dieser Bäume hin.

Entsprechend lag die mittlere Rohdichte ρ_0 der Robinien 2 mit 0,61 g/cm³ und 3 mit 0,59 g/cm³ signifikant unter derjenigen von Robinie 1 (0,70 g/cm³), die nur eine kleine zentrale Kernfäule aufwies. Die bodennahen Messebenen der drei Robinien in 10 cm Höhe zeigten eine signifikant geringere mittlere Rohdichte ρ_0 (0,61 g/cm³) gegenüber den beiden höher gelegenen Messebenen (0,65 g/cm³).

Wie aus den Abb. 2 und 3 hervorgeht, verhält sich der Verlauf der Darrbezugsfeuchte ω umgekehrt proportional zur Rohdichte ρ_0 . Die Rohdichte ρ_0 steigt mit abnehmender Darrbezugsfeuchte ω exponentiell an. Entsprechend wiesen die in besonderem Maße von Weißfäule betroffenen, bodennahen Stammscheiben in 10 cm Stammhöhe mit 59 % eine signifikant höhere Darrbezugsfeuchte auf als die beiden darüber liegenden Messebenen mit 48 bzw. 44 %.

Die Zuordnung der Holzproben in vier Gruppen mit zunehmendem Zersetzungsgrad und ihre varianzanalytische Auswertung (Tab. 2) ergab für die Holzproben ohne Fäule die signifikant höchste Rohdichte (0,70 g/cm³) und niedrigste Darrbezugsfeuchte (45 %), während die stark zersetzten Proben die signifikant ge-

ringste Rohdichte ($0,30 \text{ g/cm}^3$) bei gleichzeitig höchster Darrbezugsfeuchte (79 %) aufwiesen. Die zentral gelegenen Proben zeigten gegenüber denjenigen intermediärer und äußerer Lage die signifikant geringste Rohdichte (53 g/cm^3) bei gleichzeitig höchster Darrbezugsfeuchte (64 %). Die Ergebnisse der RD und der DBF für gesundes Robinienholz entsprechen den von [5] ermittelten Werten.

Im Gegensatz zur PiCUS-Software [7], die keine Option für den koordinatenbezogenen Export der Messwerte bietet, konnten die spezifischen elektrischen Widerstände aus der Inversionssoftware DC2Dtree u. a. für frei wählbare Transekte ausgelesen werden, womit ein Verlaufsvergleich mit der Darrbezugsfeuchte entlang der analysierten Stammscheibentransekte möglich war (Abb. 4).

Es wird deutlich, dass sich der spezifische elektrische Widerstand umgekehrt proportional zur Darrbezugsfeuchte verhält und den Feuchtigkeitsgradienten entlang des dargestellten Transekts sensibel widerspiegelt.

Verifizierung der Diagnoseergebnisse

Zunächst erfolgte eine visuelle Betrachtung der Stammscheibenquerschnittsflächen mit anschließender grafischer Überlagerung durch die entsprechenden Farbtomogramme. In den Abb. 5 und 6 sind exemplarisch die Überlagerung der bodennahen Messebene sowie das Profil der Bohrwiderstandskurve der Robinie 2 aus dem NLF-Forstamt Reinhausen dargestellt.

Insgesamt zeigte die Überlagerung bei allen neun Stammscheiben eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den faulen Querschnittsbereichen und den Bereichen mit geringen spezifischen elektrischen Widerständen bzw. geringen Schallgeschwindigkeiten. Die Bohrwiderstandsprofile sind mit den Tomographieergebnissen nicht direkt vergleichbar, da sie in einem abwärts gerichteten Winkel von 15 bis 20° unmittelbar über der Erdoberfläche in den Stammfuß geführt wurden. Ein starker Abfall des Bohrwiderstands, wie er aus Abb. 6 hervorgeht, ließ sich nur bei Robinie 2 beobachten.

Im Vergleich zu den Bohrwiderstandsmessungen, die lediglich eine lineare, nicht zerstörungsfreie Einschätzung der Fäuleausprägung erlauben, kommt den „minimalinvasiven“ Tomographieverfahren eine höhere Aussagekraft zu, da sie zweidimensionale Rückschlüsse auf die gesamte Querschnittsfläche des Stammfußes zulassen.

Tab. 2: Varianzanalytische Auswertung von Darrbezugsfeuchte und Rohdichte nach visuellem und gefühitem Zersetzungsgrad sowie radialer Tiefenlage der Holzproben

Zersetzungsgrad	N	ω [%]	ρ_0 [g/cm^3]	Radiale Tiefenstufe	N	ω [%]	ρ_0 [g/cm^3]
		\bar{x}	\bar{x}			\bar{x}	\bar{x}
ohne	179	C 45	A 0,70	außen	133	B 46	A 0,69
gering	64	B 51	B 0,57	intermediär	83	B 45	A 0,67
mittel	44	B 53	B 0,56	zentral	107	A 64	B 0,53
stark	36	A 79	C 0,30				

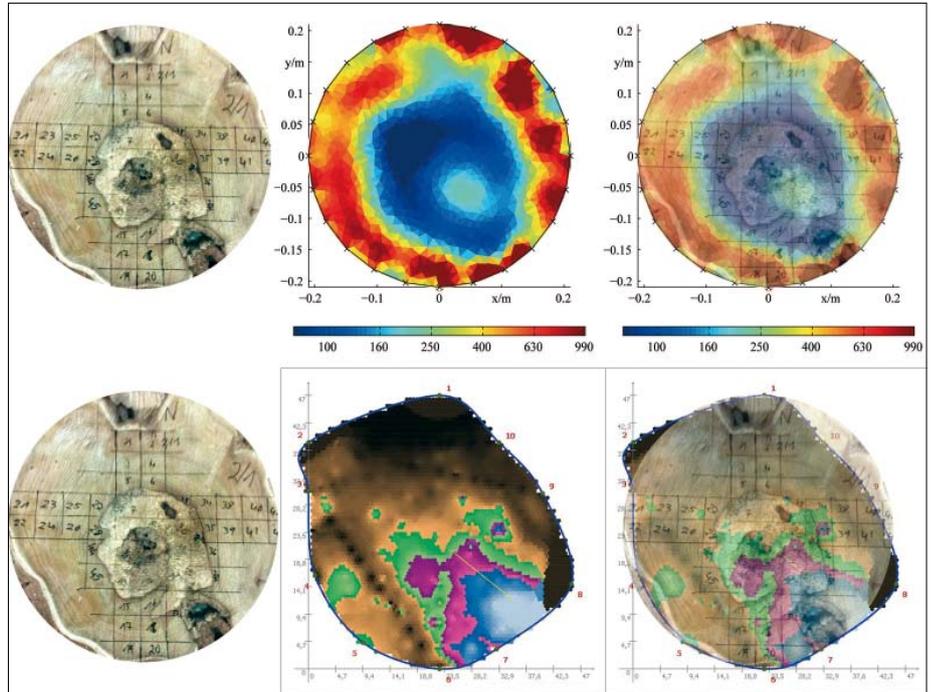


Abb. 5: Überlagerung der bodennahen Stammscheibe (links) mit Schnittbene der Beprobung von Robinie 2 mit dem elektrischen Widerstandstomogramm (oben) und dem Schalltomogramm (unten)

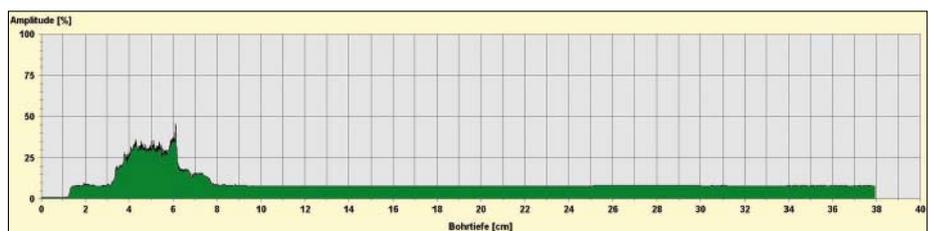


Abb. 6: Bohrwiderstandsprofil bis 38 cm Tiefe in den Stammfuß von Robinie 2 aus Süd

Diskussion

Als Verursacher für die festgestellte Stockfäule kommen verschiedene Erreger wie der Eschenbaumschwamm (*Perenniporia fraxinea* [FR.] RYV.), Lackporlinge (*Ganoderma* spp.) oder der Hallimasch (*Armillaria* spp.) in Betracht [3]. Im vorliegenden Fall war es der „Honiggelbe Hallimasch“ (*Armillaria mellea*). Die untersuchten Robinien ließen vor der Fällung nur zum Teil Defektsymptome im Stammfußbereich erkennen und zeigten insgesamt eine altersentsprechend gute Vitalität.

Da nach den bisher vorliegenden Erfahrungen Robinien schon in relativ jungem Alter ab ca. 20 Jahren zu Fäule im Wurzel-

stock neigen und Pilzfruchtkörper, insbesondere des Eschenbaumschwamms, erst im Spätstadium eines Befalls ausgebildet werden [18], entwickelt sich die Stockfäule mit der damit einhergehenden Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit häufig symptomlos, d.h. durch den Baumkontrolleur von außen nicht erkennbar. Das eigentliche Ausmaß der gravierenden Schädigung wird erst im Versagenszeitpunkt des betroffenen Baumes sichtbar [19]. Im urbanen Bereich sind es vor allem Faktoren wie eine zu kleine Baumscheibe, verdichtete bzw. ungünstige Straßenstandorte sowie ein hoher Stickstoffgehalt (z.B. Hundeurin) die die Befallsdisposition der Robinie gegenüber Stockfäuleerregern erhöhen [9]. Die

Verifizierung der erzielten Ergebnisse zeigte, dass sich eine hohe Aussagekraft bei der am stehenden Stamm zu treffenden Diagnose v. a. durch eine gesamtheitliche Beurteilung der eingesetzten eingehenden Untersuchungsmethoden erzielen lässt. Die Vielzahl der in den letzten Jahren bei unterschiedlichsten Versuchsfragestellungen erzielten Diagnoseergebnisse belegt, dass die zweidimensional abbildenden, minimalinvasiven Tomographieverfahren seit mehr als 10 Jahren den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik bei der eingehenden Baumuntersuchung widerspiegeln. Mit ihrer Hilfe lässt sich bei der überwiegenden Mehrzahl relevanter Fragestellungen eine hohe Diagnosequalität erreichen [1, 8, 11, 12, 14, 15, 16].

Für die Diagnose von Stockfäule ist die elektrische Widerstandstomographie in besonderem Maße geeignet, da sie sehr sensibel auf Feuchtigkeitsveränderungen reagiert [1, 2, 4, 8, 10, 16]. Diese lassen sich auch unterhalb der jeweiligen Messebene bis in eine Entfernung von ca. dem 1 ½-fachen des Stammdurchmessers abbilden [6, 13]. Bei bodennahen Messungen im Stammfußbereich sind somit Rückschlüsse auf eine im Wurzelstock befindliche Fäule möglich. Die bei den drei untersuchten Robinien im bodennahen Stammfußbereich festgestellten, für ihr gesundes, hochhohmiges Kernholz atypisch niedrigen spezifischen elektrischen Widerstände weisen deutlich auf eine vorangeschrittene Fäule im Wurzelstock hin. Ferner lassen sich mit der elektrischen Widerstandstomographie auch Bäume von geringem Stammdurchmesser hoch auflösend mit 24 Elektroden untersuchen, während zur Erfassung der Schalllaufzeiten bei Bäumen in einem Durchmesserbereich von 40 bis 60 cm vom PICUS-Programm nur acht Sensoren empfohlen werden.

Im Vergleich zu den Widerstandstomogrammen zeigen die Schalltomogramme bei Robinien mit Spannrisen, eingewachsener Rinde oder Rissen im Holzkörper relativ häufig Bereiche geschädigten Holzes an, da die Ausbreitung des Schalls durch diese Anomalien empfindlich gestört wird.

Literaturverzeichnis:

- [1] BIEKER, D. (2011): New applications for the electric resistivity tomography. Dissertation Georg-August-Universität Göttingen – Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie, Göttingen, 77 S.
- [2] CLASMEIER, O. (2011): Der Einfluss des Nasskerns an Rosskastanien (*Aesculus hippocastanum* L.) auf die elektrische Widerstands- und Schalltomographie. Bachelorarbeit im Studiengang Arboristik, HAWK (Hochschule für Angewandte Wissenschaft und Kunst, Göttingen), 52 S. [3] DUJESIEFKEN, D.; JASKULA, P.; KOWOL, T. & WOLERS, A. (2005): Baumkontrolle unter Berücksichtigung der Baumart – Bildatlas der typischen Schadenssymptome und Auffälligkeiten. Fachamt für Stadtgrün und Erholung, Hamburg (Hrsg.), Haymarket Media GmbH & Co.KG, Braunschweig, 296 S. [4] FITZNER, S. & SCHILLING, M. (2005): Der Eschenbraunkern und seine Diagnose mittels „Elektrischer Widerstandstomographie“. Diplomarbeit im Studiengang Forstwirtschaft, HAWK (Hochschule für Angewandte Wissenschaft und Kunst, Hildesheim/Holzminde/Göttingen), 80 S. [5] GÖHRE, K. (1952): Die Robinie und ihr Holz. Deutscher Bauernverlag, Berlin, 344 S. [6] GÜNTHER, T. u. RÜCKER, C. & SPITZER, K. (2006): 3-dmodellierung und inversion of DC resistivity data incorporating topography – Part II: Inversion. *Geophysical Journal International* 166: 506-517 [7] GUSTKE, B. & GÖCKE, L. (2006): PICUS Schall Tomograph – Handbuch. Argus electronic GmbH, Rostock, Neu Gersdorf, 65 S. [8] HANSKÖTTER, B. (2004): Diagnose fakultativer Farbkerne an stehender Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) mittels „Elektrischer Widerstandstomographie“. Dissertation Georg-August-Universität Göttingen – Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie, Göttingen, 133 S. [9] KEHR, R.; WOHLERS, A.; DUJESIEFKEN, D. & WULF, A. (2000): Der Eschenbaumschwamm an Robinien – Diagnosemerkmale und Kultureigenschaften. In: Dujesiefken, D.; Kockerbeck, P. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 2000. Thalaker Medien, Braunschweig, 200-207. [10] PFEIFER, C. & STRATMANN, H. (2000): Untersuchung von Kernbildung und Feuchtigkeitsverteilung an Rotbuchenstammholz. Diplomarbeit im Studiengang Forstwirtschaft, HAWK (Hochschule für Angewandte Wissenschaft und Kunst, Göttingen), 51 S. [11] RUST, S. (2001): Baumdiagnose ohne Bohren. AFZ-DerWald 18/2001, Deutscher Landwirtschaftsverlag, München, 924-925. [12] SCHWARZE, F.; RABE, C.; FERNER, D.; FINK, S. (2004): Schalltomographische Untersuchungen an pilzinfizierten Bäumen. AFZ-DerWald 2/2004, Deutscher Landwirtschaftsverlag, München, 55-60. [13] WEIDELT, P. & WELLER, A.: Computation of geoelectrical configuration factors for cylindrical core samples. *Scientific Drilling* 6 (1997), 27-34 [14] WEIHS, U. & DUBBEL, V.; KRUMMHEUER, F.; JUST, A. (1999): Die elektrische Widerstandstomographie – Ein viel versprechendes Verfahren zur Farbkerndiagnose am stehenden Rotbuchenstamm. *Forst und Holz* 54, 166-169. [15] WEIHS, U. & RUST, S. (2007): Geräte und Verfahren zur eingehenden Baumuntersuchung – Aussagekraft und Schädigungsgrad von Baumdiagnose-Geräten. AFZ-DerWald 8/2007, 396 - 399 [16] WEIHS, U., BIEKER, D. & RUST, S. (2007): Zerstörungsfreie Baumdiagnose mittels „Elektrischer Widerstandstomografie“. In: Dujesiefken, D.; Kockerbeck, P. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 2007. Thalaker Medien, Braunschweig, 230-241. [17] WEIHS, U. (2009): Kernfäule an Vogelkirsche (*Prunus avium* L.) – Entstehungsursachen und Diagnose am stehenden Stamm. *Wertermittlungsforum* 2/2009, 27. Jhg., 2. Quartal, 69-74. [18] WOHLERS, A.; KOWOL, T. & DUJESIEFKEN, D. (2001): Baumkontrolle nach Baumart differenziert – typische Schadenssymptome und Auffälligkeiten bei Ahorn, Pappel und Robinie. In: Dujesiefken, D.; Kockerbeck, P. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 2001. Thalaker Medien, Braunschweig, 145-163. [19] WULF, A. (2004): Krankheiten und Schädlinge an fremdländischen Baumarten. In: Dujesiefken, D.; Kockerbeck, P. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 2004. Thalaker Medien, Braunschweig, 15-29.