

Einfluß der Verletzungszeit auf die Wundheilung bei Buche (*Fagus sylvatica* L.)*

D. Dujesiefken und W. Liese

Ordinariat für Holzbiologie der Universität Hamburg, verbunden mit dem Institut für Holzbiologie und Holzschutz der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg

Der Einfluß der Verletzungszeit wurde an 20 Parkbuchen untersucht, die zu Beginn der Monate Oktober, Dezember, Februar und April mit einem Bohrer verletzt wurden. Bewertet wurden die Wundreaktionen, auch im Vergleich zu Kronenzustand, elektrischem Widerstand im Kambialbereich, Holzfeuchte und Jahrringbreite. Je nach Verletzungszeit unterscheiden sich die Reaktionen z. T. erheblich. Bei den April-Wunden stirbt weniger Kambium am Wundrand ab, und die Kallusbildung ist stärker als bei den anderen Zeiten. Die Verfärbung ist bei der Dezember-Bohrung um 30% vergrößert, bei der Februar-Bohrung sogar um 100% im Vergleich zu den Verletzungen im Oktober und April. Die Zeit einer Baumverletzung hat somit wesentlichen Einfluß auf die mögliche Wundheilung.

Time of wounding and wound healing in beech (*Fagus sylvatica* L.)

Seasonal influences on wound effects were investigated on 20 beech trees (*Fagus sylvatica* L.) which were wounded with a borer in early October, December, February and April. The wound reactions on xylem and cambium were analysed, also in relation to crown vitality, cambial electrical resistance, moisture content and width of annual rings. The reactions are quite different according to the time of wounding: Wounds effected in April lead only to marginal cambial necrosis around the wound and exhibit good callus growth as compared to wounding during the dormant season. The extension of discoloration emanating from the wounds increases by 30% (December) and even 100% (February), respectively, as compared to April and October. The time of wounding has thus considerable influence on the possible woundhealing.

1 Einleitung

Durchforstungen und Baumpflegearbeiten werden zumeist im Winterhalbjahr durchgeführt, wobei der Baum vielfältig verletzt wird, z. B. durch Astungen, Schlag- und Rückeschäden. Auch die Entnahme von Bohrkernen kann im Stamminnern erhebliche Verfärbungen und Fäulnis verursachen. Dabei zeigen die baumeigenen Reaktionen zur Abgrenzung des Schadens offenbar je nach Baumart und Vitalität sowie auch in Abhängigkeit zur Verletzungszeit erhebliche Unterschiede (Lenz, Oswald 1971; Knigge 1975; Rademacher et al. 1984; Dujesiefken et al. 1989; Liese, Dujesiefken 1989).

Für eine schonende Behandlung von Beständen und Einzelbäumen in der Baumpflege sind detaillierte Kenntnisse über den Einfluß der Verletzungszeit auf die Abschottung im Holz sowie die Überwallung notwendig. Nachstehend werden Unterschiede der Wundheilung an Buchen mit gleichartigen Verletzungen zu verschiedenen Jahreszeiten dargestellt.

* Herrn Prof. Dr. W. Knigge zum 70. Geburtstag gewidmet

2 Material und Methoden

Die holzbiologischen Untersuchungen über die Reaktionen im Baum nach jahreszeitlich unterschiedlicher Verletzung erfolgten im Rahmen eines Forschungsprojekts über Baumsanierungsmethoden (Dujesiefken, Liese 1988a¹) im Meyers Park in Hamburg an insgesamt 20 Buchen (*Fagus sylvatica* L.)². Die 100- bis 170jährigen Bäume standen zumeist innerhalb des waldähnlichen Parks unterdrückt, vier waren mit-herrschend. Die Baumhöhe betrug 21 bis 28 m, der Brusthöhendurchmesser zwischen 25 und 45 cm. Während des Winterhalbjahres 1986/87 wurden die Bäume zu Beginn der Monate Oktober, Dezember, Februar und April an der Stammbasis mit einem 18 mm starken Holzbohrer in radialer Richtung 10 cm tief angebohrt. Verbleibende Bohrspäne wurden aus dem Bohrloch entfernt.

Im Spätsommer 1987 und 1988 wurden die Bäume nach den Kriterien der Waldschadens-Zustandserfassung bonitiert (I-CF 1986) und die Einbohrungen jeweils nach Abschluß der Vegetationsperiode begutachtet sowie die horizontale Lochweite zwischen den seitlichen Überwallungswülsten gemessen.

Für Vorversuche wurden zwei Buchen bereits nach einer Vegetationsperiode im Januar 1988 gefällt, die anderen nach einem weiteren Jahr. Aus den Stammabschnitten wurden ca. 10 cm dicke Segmente mit je einem Bohrloch herausgeschnitten und tangential in 2 cm starke Brettchen aufgetrennt. Auf den jeweiligen Tangentialflächen wurde die axiale Ausdehnung der Verfärbung in verschiedenen Stammtiefen ermittelt. Zur Bestimmung der Kambialreaktionen an der Einbohrung wurde das äußere Brettchen zudem radial und quer aufgetrennt und unter einem Binokular mit Meßskala vermessen. Zur mikroskopischen Untersuchung der Wundreaktionen wurden von zwei gut und zwei schlecht kompartimentierenden Bäumen an allen Einbohrungen in 3 bis 4 cm Stammtiefe würfelförmige Proben aus Verfärbungsbereich und „Grenzschicht“ entnommen (Kantenlänge ca. 10 mm), und zwar axial in 1, 2 und 3 cm Abstand zum Bohrloch, in der Mitte zwischen Bohrloch und der Spitze der spindelförmigen Verfärbungsfläche sowie in der Verfärbungsspitze.

Von allen Proben wurden ca. 20 µm dicke Tangential-schnitte angefertigt und jeweils 10 min mit Safranin (1%ig,

¹ F + E-Vorhaben 1080374 der Umweltbehörde Hamburg und des Umweltbundesamtes, Berlin

² Für die Hilfe bei den Untersuchungen danken wir Frau U. Bander-mann, Frau S. Ebenritter und Herrn C. Sander

alkoholisch) und Astrablau (0,5%ig, alkoholisch) angefärbt. Der Nachweis von Stärke erfolgte mit Lugolscher Lösung.

Zur Charakterisierung der Baumvitalität wurden außer der Bonitierung des Kronenzustandes auch der elektrische Widerstand im Kambialbereich mit einem Shigometer gemessen, nach der Fällung die Holzfeuchte und die Jahrringbreiten.

Der elektrische Widerstand der Kambialzone gibt in begrenztem Maße Aufschluß über die Wüchsigkeit und damit die Vitalität des Baumes.

Das Shigometer mißt hierfür über eine Doppelnadelsonde den Widerstand eines Gewebes, der vor allem von der Kationenkonzentration und dem Feuchtegehalt abhängt (Shigo, Shortle 1985). Jeweils im Spätsommer wurde die Sonde pro Stamm viermal in Brusthöhe im rechten Winkel zur Oberfläche durch die Rinde in den Kambialbereich getrieben und der elektrische Widerstand gemessen.

Zur Bestimmung der Holzfeuchte (u) in verschiedenen Stammtiefen wurden von 16 Buchen in ca. 1,5 m Höhe je vier Riegel im Winkel von 90° zueinander herausgetrennt und in Klötzchen von $3 \times 3 \times 1$ cm Kantenlänge gespalten. Für jeden Baum wurden die mit der Darrgewichtsmethode nach DIN 52183 errechneten Feuchten pro cm Stammtiefe gemittelt.

Die Jahrringbreitenanalyse von 16 Buchen erfolgte ebenfalls an je vier Riegeln aus ca. 1,5 m Höhe. Die Meßwerte (Genauigkeit 0,01 mm) wurden mit dem EDV-System CATRAS (Aniol 1983) gespeichert, dargestellt, verglichen, auf Fehler überprüft und gemittelt.

Kambialreaktionen und Verfärbungslänge wurden mit Kronenzustand, elektrischem Widerstand, Holzfeuchte und Jahrringbreite mittels linearer Regression auf Abhängigkeiten überprüft.

3 Ergebnisse

3.1 Zustand der Bäume

Die Buchen besaßen in den Jahren 1987 und 1988 eine leichte Verlichtung in der Krone mit 10 bis 20% Blattverlusten; 30% Verlust zeigten 1987 zwei, 1988 eine Buche. Laubgröße und die Morphologie der Verzweigung erschienen normal. Alle Bäume waren von der Buchenwollaus (*Cryptococcus fagi* BÄR.) leicht befallen.

Die Wüchsigkeit dieser im Kronenbild ähnlichen Bestandesglieder unterschied sich jedoch z. T. erheblich. Innerhalb der letzten zehn Jahre hatte ein Baum zumeist keine Jahrringe mehr gebildet, drei waren ebenfalls schwachwüchsig mit Jahrringbreiten unter 1,0 mm, die meisten Buchen zeigten mit durchschnittlich 2,3 mm ein gutes Wachstum (Bild 1).

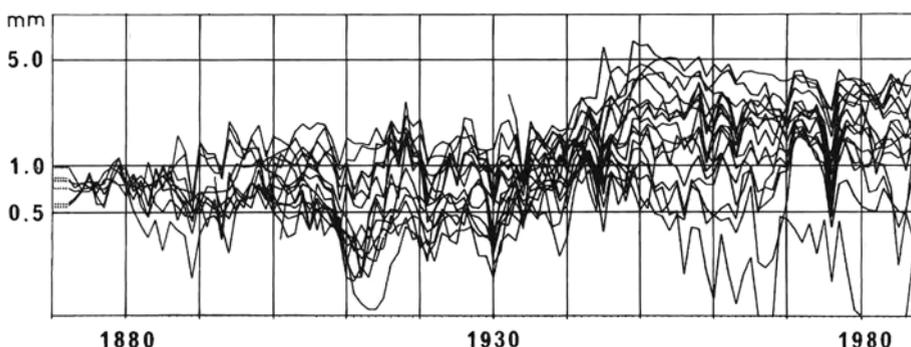


Bild 1. Zuwachsverlauf der Buchen, Meyers Park, Hamburg
Fig. 1. Growth rates of beech trees, Meyers Park, Hamburg

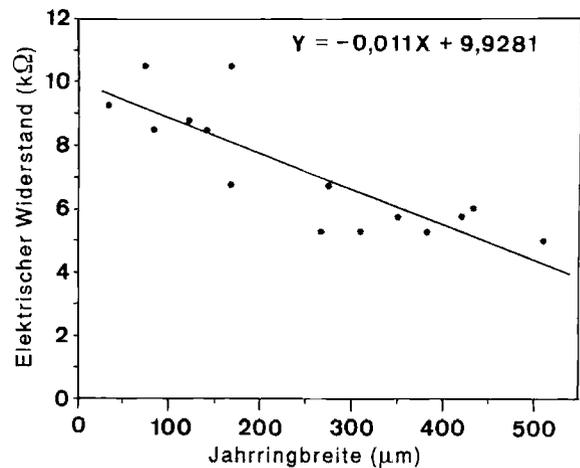


Bild 2. Elektrischer Widerstand ($k\Omega$) und Jahrringbreite (μm) für 1988. $r = -0,652$, Vertrauensniveau 99%

Fig. 2. Electrical resistance ($k\Omega$) related to growth rate (μm) in 1988. $r = -0,652$, confidence interval 99%

Der elektrische Widerstand im Kambialbereich lag in beiden Vegetationsperioden zwischen 5 und 11 $k\Omega$, vereinzelt auch darüber. Die Widerstandswerte in Beziehung zu den Zuwachsraten desselben Jahres verlaufen umgekehrt proportional und ergeben für die Buchen mit breiteren Jahrringen einen geringeren elektrischen Widerstand (Bild 2). Diese Abhängigkeit zeigt sich auch für die Durchschnittswerte der beiden Vegetationsperioden; 1988 war bei allen Bäumen der Zuwachs stärker als 1987, und der elektrische Widerstand sank im selben Zeitraum von 7,9 auf 7,6 $k\Omega$.

Auch bei der Holzfeuchte zeigt das Buchenkollektiv eine große Variabilität mit $u = 55$ bis 98%. Für den einzelnen Baum kann der Feuchtegehalt in verschiedenen Stammtiefen stark schwanken; allgemein nimmt die Holzfeuchte von außen nach innen leicht ab (Bild 3).

3.2 Wundreaktionen im Kambium

Das Kalluswachstum begann bei allen Bohrlöchern an den seitlichen Wundrändern. Oben und unten setzte die Entwicklung stets mit zeitlicher Verzögerung ein und ging häufig mit einem zungenförmigen Absterben des Kambiums einher. Die April-Wunden waren nur am oberen und unteren Rand etwas zurückgetrocknet, die Februar-Bohrungen dagegen auch seitlich und insgesamt weitreichender. Die stärkste nachträgliche Vergrößerung der Wunde erfolgte an den Oktober- und Dezember-Wunden (Bild 4). Bei den vier schwachwüchsigen Buchen war bei allen Bohrungen das Kambium etwas großflächiger abgestorben als bei den wüchsigeren.

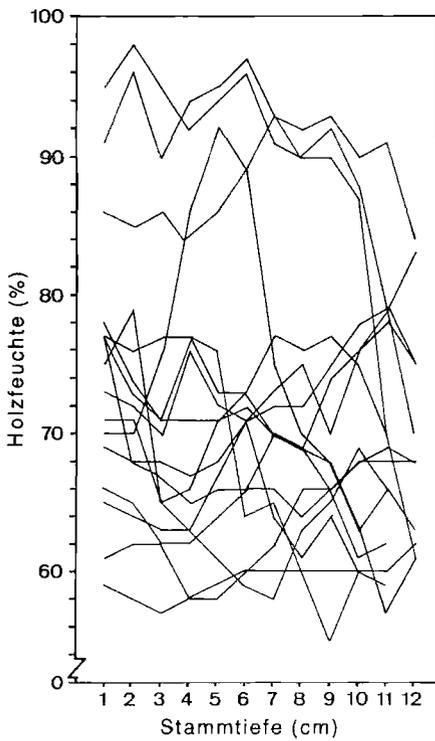


Bild 3. Holzfeuchte (%) in verschiedenen Stammtiefen (cm)
Fig. 3. Moisture content (%) at different depths of the tree (cm)

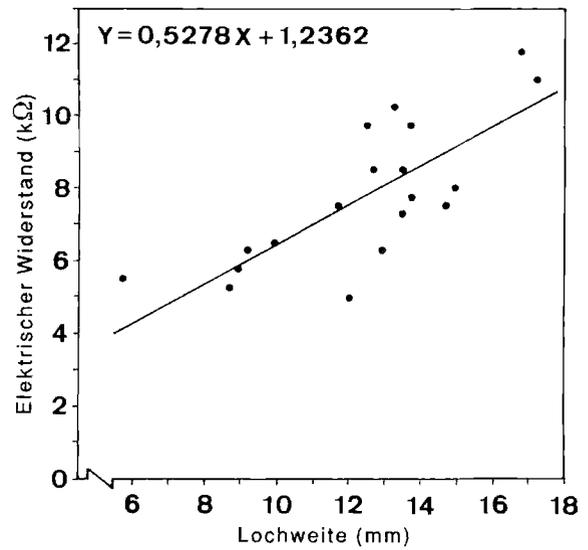


Bild 5. Elektrischer Widerstand (kΩ) und durchschnittliche Lochweite (mm) im Jahr 1987. $r=0,707$, Vertrauensniveau 99,9%
Fig. 5. Electrical resistance (kΩ) and average distance between callus ridges (mm) in 1987. $r=0,707$, confidence interval 99.9%

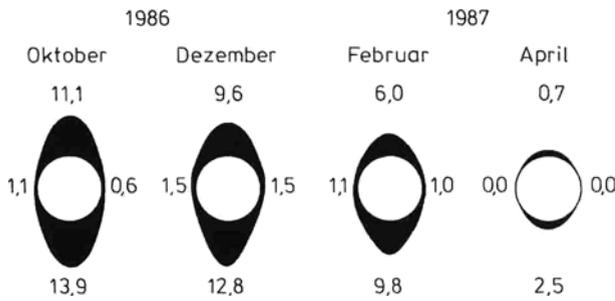


Bild 4. Totes Kambium (mm) am Wundrand der Bohrung (18 mm Durchmesser) bei verschiedenen Verletzungszeiten im Winter 1986/87
Fig. 4. Dieback of the cambium (mm) at the edge of a drilled hole (18 mm diameter) at different times of wounding in the winter 1986/87

Auch die Intensität der Überwallung, ermittelt als Abstand der seitlichen Kalluswülste, war je nach Verletzungszeit unterschiedlich. Nach einer Vegetationsperiode betrug die verbleibende Lochweite der Dezember-Bohrung 15,3 mm, die vom Oktober und Februar 13,1 bzw. 13,2 mm und die vom April nur 8,8 mm. Nach einem weiteren Jahr war die Dezember-Wunde noch 6,4 mm geöffnet, die vom Oktober 5,2 mm, vom Februar 4,3 mm und vom April lediglich 1,4 mm.

Die durchschnittliche Lochweite aus den vier Verletzungszeiten, korreliert mit dem elektrischen Widerstand derselben Vegetationsperiode, ergibt bei den Bäumen mit allgemein schwacher Überwallung im Kambialbereich einen Widerstand von etwa 10 kΩ. Buchen mit Werten um 5 kΩ, d. h. mit einem höheren Kationen- und Feuchtegehalt, überwachsen die Wunde schneller (Bild 5). Lochweite und Jahrringbreite besitzen dagegen offenbar keine Abhängigkeit; lediglich die schwachwüchsigen Bäume zeigen am Wundrand meist schwache, zuweilen stärkere Überwallung.

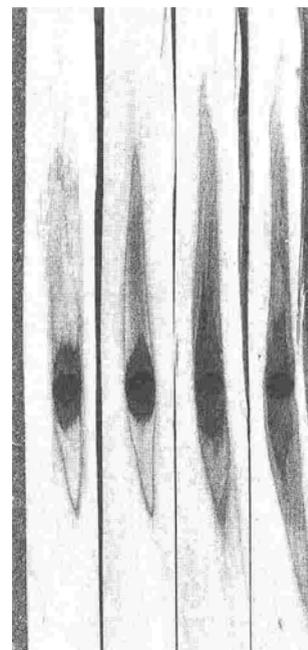


Bild 6. Verfärbung einer schlecht kompartimentierenden Buche in 2, 4, 6 und 8 cm Stammtiefe, jeweils mit einer schwarzbraunen „inneren Verfärbung“ am Bohrloch
Fig. 6. Discoloration of a badly compartmentalized beech in 2, 4, 6 and 8 cm depth with a dark colored „inner discoloration“ near the hole

3.3 Wundreaktionen im Holz

Vom Bohrloch ausgehend verfärbt sich das Holz in tangentialer und radialer Richtung nur geringfügig, axial dagegen weitreichend. Um die Bohrung herum entsteht somit eine spindelförmige Verfärbung, die zum unverfärbten Gewebe hin mit einem dunklen Rand, der „Grenzschicht“, deutlich abgesetzt ist. Innerhalb des meist mittelbraun verfärbten Holzes befindet sich eine dunklere, z. T. schwarzbraune Zone, die zuweilen eine makroskopisch erkennbare Weißfäule aufweist (Bild 6). Mikroskopisch sind in dieser „inneren Verfärbung“ Pilzhypen erkennbar, dagegen nur gelegentlich in

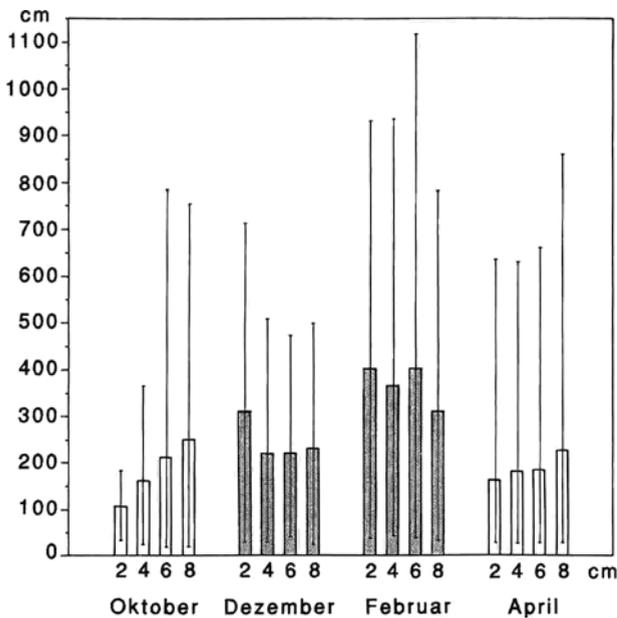


Bild 7. Durchschnittliche Länge der Verfärbung sowie Extremwerte in 2, 4, 6 und 8 cm Stammtiefe nach verschiedenen Verletzungszeiten

Fig. 7. Vertical extension of discoloration (average and extrem) in 2, 4, 6 and 8 cm depth after different times of injury

der helleren, „äußeren Verfärbung“, und dann nur in der Nähe des dunklen Gewebes. Das unverfärbte Holz auch direkt in Wundnähe ist stets ohne Pilzinfektion.

Zwei Jahre nach der Verletzung variiert die Verfärbungslänge zwischen 20 und 110 cm, wobei einige Buchen an allen Einbohrungen verhältnismäßig lange Verfärbungen aufweisen und andere auf engem Raum kompartimentieren. Vor allem die gut abgeschotteten Wunden mit Verfärbungslängen bis ca. 50 cm zeigen in verschiedenen Stammtiefen etwa gleich starke Wundreaktionen, während bei schlechter kompartimentierten die Verfärbungslänge mit der Stammtiefe stark ansteigen oder auch abnehmen kann.

Die durchschnittliche Länge der Verfärbung eines Baumes hat keinen erkennbaren Zusammenhang mit der Wüchsigkeit und dem Kronenzustand der Jahre 1987 und 1988. Auch der elektrische Widerstand im Kambialbereich oder die Holzfeuchte stehen in keiner Abhängigkeit zur Intensität dieser Wundreaktionen.

Dagegen ist das Ausmaß der Verfärbung an Wunden unterschiedlicher Verletzungszeit deutlich verschieden, und zwar sowohl bei gut als auch bei schlecht kompartimentierenden Buchen. Im Vergleich zur Oktober-Wunde sind die vom Dezember und Februar in 2 cm Stammtiefe durchschnittlich drei- bzw. viermal mehr verfärbt, die vom April etwa 1,5 mal. Tiefer im Stamminnern sind die Unterschiede weniger ausgeprägt. Über den gesamten Stammquerschnitt besitzen die Oktober- und April-Wunden ähnlich viel verfärbtes Gewebe, die vom Dezember zumeist deutlich mehr, im Mittel etwa 30%. Von den Februar-Bohrungen gehen stets die weitreichendsten Wundreaktionen aus, durchschnittlich etwa 100% mehr als bei den Oktober- und April-Wunden (Bild 7). Unterhalb des Bohrlochs sind die Verfärbungen zumeist länger als oberhalb, lediglich bei den Dezember-Verletzungen ist das Gewebe unterhalb weniger verfärbt.

Lichtmikroskopisch sind in allen Verfärbungsbereichen Thyllen sowie Einlagerungen akzessorischer Substanzen erkennbar, wobei in der „Grenzschicht“ diese reichlicher vorkommen. In der Verfärbung ist das Parenchym offenbar ab-

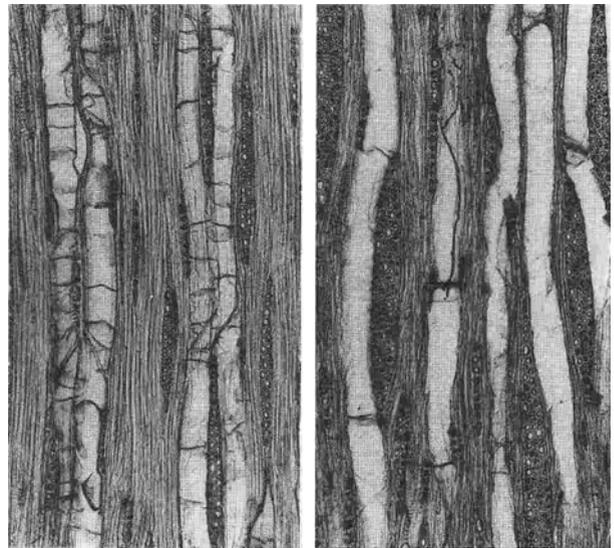


Bild 8. Beispiel einer guten und einer schlechten Verthyllung in Wundnähe

Fig. 8. Example of well developed and incomplete formation of tyloses near the wound

gestorben, die Stärkereserven sind abgebaut. Die Intensität des Gefäßverschlusses unterscheidet sich je nach Verletzungszeit zum Teil erheblich. Die geringste Thyllendichte zeigt sich direkt an der Lochwandung bei den Dezember-, häufig auch bei den Februar-Bohrungen. Mit zunehmendem Abstand vom Bohrloch wird die Verthyllung stärker. Dagegen sind an den Oktober- und April-Verletzungen auch direkt an der Wandung häufiger Thyllen ausgebildet (Bild 8). Bei allen Wunden steigt die Thyllendichte mit dem Abstand vom Bohrloch, wobei die Intensität des Gefäßverschlusses bei den schlecht kompartimentierenden Buchen insgesamt geringer ist als bei gut abschottenden. In der „Grenzschicht“, der eigentlichen Schutzzone zwischen funktionsfähigem und abgestorbenem Holz, unterscheiden sich jedoch die Abschottungsreaktionen der verschiedenen Verletzungen nicht.

4 Diskussion

Die vom Kronenzustand ähnlich erscheinenden Buchen zeigen hinsichtlich Überwallung sowie Abschottung der Verletzung z. T. große Unterschiede. Vom äußeren Erscheinungsbild, das häufig als Vitalitätskriterium herangezogen wird, kann somit nicht auf die Fähigkeit zur Kompartimentierung geschlossen werden. Dagegen besteht eine Abhängigkeit zwischen dem elektrischen Widerstand im Kambialbereich und der Wüchsigkeit des Baumes sowie dessen Möglichkeit zur Überwallung einer Wunde. Doch gibt dieser Wert keine Aussage zur Kompartimentierung des verletzten Holzkörpers. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit Befunden an anderen Gehölzen (Shortle et al. 1977; Blanchard et al. 1983; Smith et al. 1984). Der elektrische Widerstand ist somit eine Möglichkeit, den Zustand von Bäumen zu erfassen, um die Folgewirkung einer Verletzung und eines Sanierungserfolges in der Baumpflege abzuschätzen.

Die Befunde zeigen, daß für die Überwallung nicht nur die Wüchsigkeit, sondern auch der Zeitpunkt der Verletzung entscheidend ist. Verletzungen außerhalb der Wachstumsperiode hemmen die Kambialentwicklung. Während nach Oktober-Verletzung eine Abschottung im Holz offenbar noch möglich ist, stirbt am Wundrand das Kambium ab, und zwar stärker als zu anderen Verletzungszeiten. Diese nachträgliche

che Vergrößerung der Wunde ist bei den untersuchten Buchen nach Oktober-Verletzung größer als an Wunden der Monate Dezember und Februar. Es bleibt zu klären, ob Wundverschlusmittel in der Lage sind, das Zurücktrocknen des Kambiums zu verhindern bzw. zu vermindern. Das starke Absterben des Kambiums wird jedoch durch verbessertes Kalluswachstum in der folgenden Vegetationsperiode teilweise kompensiert, so daß die Oktober-Wunden gegenüber der vom Februar eine ähnliche, gegenüber Dezember eine etwas stärkere Überwallung aufweisen. Die April-Wunden zeigen dagegen eine deutlich bessere Wundreaktion im Kambialbereich als alle anderen Verletzungen. Auch andere Laubgehölze überwallen Wunden aus den Frühjahrsmonaten stärker als die anderer Zeiten (Marshall 1931; Perry, Hickman 1987). Die Unterschiede je nach Verletzungszeit sind deutlich stärker als nach verschiedenen Schnittführungen bei der Astentnahme (Dujesiefken et al. 1988) oder nach Einsatz verschiedener Wundverschlusmittel (Dujesiefken, Liese 1988 b).

Die Holzfeuchte der Buchen zeigt eine große Variationsbreite ohne erkennbare Abhängigkeit zur Intensität der Kompartimentierung. Die Menge an Luft, die nach Verletzung in das Gefäßsystem eindringt, wird offenbar kaum von dem Feuchtegehalt im Holz beeinflusst. Daher erscheint außer dem anatomischen Aufbau des Holzes (Eckstein et al. 1979; Bauch et al. 1980; Dujesiefken et al. 1989) vor allem die Verletzungszeit wesentlich für die Abschottung. Insbesondere in den jüngsten Zuwachsschichten wird die Verletzung gegen Ende oder vor Beginn der Vegetationsperiode (Oktober, April) auf relativ engem Raum abgeschottet. Auch im Oktober, nach Abschluß der Wachstumsphase ist die Buche offenbar noch fähig, das Hydrosystem durch intensive Verthyllung zu sichern, Verletzungen während der Vegetationsruhe werden dagegen nicht bzw. erst mit zeitlicher Verzögerung abgeschottet. Nach der Ruhepause im April kann verletztes Gewebe dagegen sofort verschlossen werden.

Bei Walnuß und auch Eucalyptus werden ebenfalls Frühjahrsverletzungen engräumig kompartimentiert, Herbstwunden dagegen deutlich schlechter (Armstrong et al. 1981; Mireku, Wilkes 1989). An Frühjahrswunden ist die Wundheilung bei verschiedenen Baumarten offenbar stets besser als nach Winterverletzung, doch können die Befunde nicht ohne weiteres verallgemeinert werden. Für die Wundreaktionen von Fichte, Tanne und Buche ergaben Verletzungen im Frühjahr zwar ebenfalls eine bessere Kompartimentierung als im Winter, jedoch im Sommer bei Buche eine noch bessere Abschottung und bei Fichte und Tanne eine deutlich schlechtere (Lenz, Oswald 1971).

Auch Art und Menge der auskeimenden Mikroorganismen auf der Wundfläche sind je nach Jahreszeit unterschiedlich (Shigo 1976; Roll-Hansen, Roll-Hansen 1980; Mireku, Wilkes 1989). Zwei Jahre nach Verletzung war bei den Buchen Pilzmycel noch nicht bis zur „Grenzschicht“ vorgegrungen. Für die Beurteilung von günstigen bzw. ungünstigen Zeiten, z. B. für eine Sanierung, sollten in einer längerfristigen Untersuchung auch die Wechselwirkungen zwischen Organismen und Baum in der „Grenzschicht“ berücksichtigt werden.

Nach diesen Befunden sind Verletzungen in der Ruhephase nachteilig für die Wundheilung, so daß in dieser Jahreszeit Astungen, Wundbehandlungen oder Bohrkernentnahmen bei Buchen möglichst unterbleiben sollten.

Literatur

- Aniol, R.W. 1983: Tree-ring analysis using CATRAS. *Dendrochronol.* 1:45–53
- Armstrong, J.E.; Shigo, A.L.; Funk, D.T.; McGinnes, Jr. E.A.; Smith, D.E. 1981: A macroscopic and microscopic study of compartmentalization and wound closure after mechanical wounding of Black Walnut trees. *Wood Fiber* 13:275–291
- Blanchard, R.O.; Shortle, W.C.; Davis, W. 1983: Mechanism relating cambial electrical resistance to periodic growth rate of balsam fir. *Can. J. Forest Res.* 13:472–480
- Bauch, J.; Shigo, A.L.; Starck, M. 1980: Auswirkungen von Wunden im Xylem von Ahorn- und Birkenarten. *Holzforsch.* 34:153–160
- Dujesiefken, D.; Liese, W. 1988 a: Holzbiologisches Untersuchungsprogramm zu Methoden der Baumpflege. *Gartenamt* 37:618–622
- Dujesiefken, D.; Liese, W. 1988 b: Holzbiologische Untersuchungen über Einzelbaumsanierungen an Stadtbäumen. *Naturschutz und Landespflege Hamburg* 22:289–302
- Dujesiefken, D.; Kowol, T.; Liese, W. 1988: Vergleich der Schnittführung bei der Astung von Linde und Roßkastanie. *Allg. Forstz.* 43:331–332, 336
- Dujesiefken, D.; Ebenritter, S.; Liese, W. 1989: Wundreaktionen im Holzgewebe bei Birke, Buche und Linde. *Holz Roh-Werkstoff* 47:495–500
- Dujesiefken, D.; Liese, W. 1989: Holzbiologische Befunde zum Kronenschnitt. *Neue Landschaft* 34:337–339
- ECE 1986: Manual on Methodologies and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effect of air-pollution on Forests. Economic Commission for Europe (ECE) 93 S. unveröff.
- Eckstein, D.; Liese, W.; Shigo, A.L. 1979: Relationship of wood structure to compartmentalization of discolored wood in hybrid poplar. *Can. J. Forest Res.* 9:205–210
- Knigge, W. 1975: Die Auswirkungen von Schältschäden auf die Rohholzeigenschaften von Fichte und Buche. *Forstarchiv* 46:32–38
- Lenz, O.; Oswald, K. 1971: Über Schäden durch Bohrspanentnahme an Fichte, Tanne und Buche. *Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchsw.* 47 Heft (1):29 S. und Anhang
- Liese, W.; Dujesiefken, D. 1989: Aspekte und Befunde zur Sanierungszeit in der Baumpflege. *Gartenamt* 38:356–360
- Marshall, R.P. 1931: The relation of season of wounding and shel-lacking to callus formation in tree wounds. *US Dep. Agric., Techn. Bull.* No. 246:28 S.
- Mireku, E.; Wilkes, J. 1989: Seasonal variation in the ability of sapwood of Eucalyptus maculata to compartmentalize discoloration and decay. *Forest Ecol. Manag.* 28:131–140
- Perry, E.; Hickman, G. 1987: Wound closure in Eucalyptus. *J. Arboricult.* 13:201–202
- Rademacher, P.; Bauch, J.; Shigo, A.L. 1984: Characteristics of xylem formed after wounding in Acer, Betula and Fagus. *IAWA Bull.* n. s. 5:141–151
- Roll-Hansen, F.; Roll-Hansen, H. 1980: Microorganisms which invade Picea abies in seasonal stem wounds. II. Ascomycetes, fungi imperfecti, and bacteria. General discussion, Myxomycetes included. *Europ. J. Forest Pathol.* 10:396–410
- Shigo, A.L. 1976: Microorganisms isolated from wounds inflicted on Red Maple, Paper Birch, American Beech, and Red Oak in winter, summer and autumn. *Phytopathol.* 66:559–563
- Shigo, A.L.; Shortle, W.C. 1985: Shigometry – A reference guide. *USDA Forest Service, Agriculture Handbook* No. 646:48 S.
- Shortle, W.C.; Shigo, A.L.; Berry, P.; Abusamra, J. 1977: Electrical resistance in tree cambium zone: relationship to rates of growth and wound closure. *Forest Sci.* 23:326–329
- Smith, K.T.; Blanchard, R.O.; Shortle, W.C. 1984: Cambial electrical resistance related to the number of vascular cambial cells in balsam fir. *Can. J. Forest Res.* 14:950–952