

Untersuchungen zur Flächenkallus-Bildung an Nadelbäumen

Investigations on surface-callus formation in conifers

Dipl.-Ing. Oliver Gaiser, Prof. Dr. Dirk Dujesiefken, Prof. Dr. Stefan Pelz und Dr. Horst Stobbe

Zusammenfassung

Die Flächenkallus-Bildung an Laubbäumen wurde schon vor ca. 200 Jahren beschrieben und in jüngerer Zeit eingehend untersucht. Zur Flächenkallus-Bildung der Nadelbäume gibt es kaum Erkenntnisse. In der vorliegenden Arbeit wurde die Flächenkallus-Bildung von drei Laubbaumarten und vier Nadelbaumarten an künstlich angelegten Rindenfenstern untersucht. Bei allen drei Laubbaumarten wurde Flächenkallus festgestellt, wobei die Intensität und Häufigkeit von der Baumart und der Behandlung abhängig war. Auf den Wunden der Nadelbäume konnte Flächenkallus-ähnliches Gewebe beobachtet werden, welches stets unter Phloemresten entstanden war. Die Intensität und Häufigkeit schwankte ebenfalls stark, je nach Baumart und der Behandlung. Die mikroskopische Untersuchung zeigte, dass hier erhebliche strukturelle Unterschiede zu einem Flächenkallus vorlagen, die sich in erster Linie durch die Bildung einer Barrierzone mit traumatischen Harzkanälen charakterisieren lassen. Fehlen Phloemreste auf der Wundfläche, entsteht gar kein Zellwachstum – Nadelgehölze sind somit nicht fähig einen Flächenkallus auszubilden.

Summary

Although surface callus formation of deciduous trees was first documented about 200 years ago, further investigations on this subject have been made only recently. As of yet, there were almost no results regarding surface callus development in conifers. In this survey, the surface callus formation on artificial bark wounds of three deciduous tree species and four conifer species was examined. Surface callus was found in all three deciduous trees, the intensity and frequency depending on the tree species and the wound treatment. On wounds of conifers tissue similar to surface callus was observed, but it always developed under residual phloem parts. The intensity and frequency of tissue production varied strongly as well, depending on the tree species and treatment. Microscopic investigations showed considerable structural differences to true surface callus. New tissue formed under phloem parts was characterized as a barrier-zone with traumatic resin ducts. If phloem parts were missing on the surface of the wound, no tissue growth developed. Therefore, it can be stated that conifers are not able to produce surface callus.

1 Einleitung

An Stammwunden mit Rindenablösungen kann sich unter Umständen auf der Wundfläche ein Flächenkallus bilden. Diese Gewebe-Neubildung wurde bereits an vielen verschiedenen Laubbaumarten und in mehreren Klimazonen beobachtet (z. B. NOEL 1968, CHUDNOFF 1971, SHORTLE & SHIGO 1978, ZHENGLI & KEMING

1988, STOBBE et al. 2002), so dass davon ausgegangen werden kann, dass alle Laubbaumarten auf allen Kontinenten in der Lage sind, Flächenkallus auszubilden. Eine besondere Bedeutung hat dies für Anfahrtschäden an Alleebäumen. Über Nadelbäume gibt es unterschiedliche Aussagen: An Kiefer (BROWN & SAX 1962, CHUDNOFF 1971) und Lärche (HARTIG 1853) sind derartige Reaktionen beobachtet worden, an Fichte

konnte hingegen auch mit einer Wundbehandlung keine Flächenkallus-Bildung initiiert werden (DUJESIEF-KEN et al. 2001). Die vorliegende Untersuchung soll klären, ob Nadelbäume genauso wie Laubbäume (z. B. an Rückeschäden) Flächenkallus bilden können.

2 Material und Methoden

Die Versuchsanlage erfolgte im Winter 2003/2004 in Baden-Württemberg an je 20 Bäumen der Baumarten Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* [MIRB.] FRANCO), Fichte (*Picea abies* (L.) KARST.), Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) und Weiß-Tanne (*Abies alba* MILL.) sowie Eiche (*Quercus robur* L.), Gewöhnliche Esche (*Fraxinus excelsior* L.) und Rot-Buche (*Fagus sylvatica* L.). Es wurden je drei 10 × 10 cm große künstliche Wunden pro Baum mit einem Abstand von mind. 3 cm zueinander angelegt. Hierzu wurde mit einer Astungssäge die Rinde bis zum Holzkörper eingesägt und anschließend mit Hammerschlägen vom Holzkörper gelöst und entfernt. An jedem Baum erfolgten zwei unterschiedliche Wundbehandlungen und zwar mit einem Wundverschlussmittel (Lac Balsam®) sowie mit einer schwarzen lichtundurchlässigen Kunststoffolie aus Polyethylen. Des Weiteren blieb eine Wunde pro Baum als Kontrolle unbehandelt. Nach einer Vegetationsperiode erfolgte die Bonitur in Form einer visuellen Beurteilung der Reaktionen auf der Wundoberfläche. Für lichtmikroskopische Untersuchungen wurden aus den Wundflächen der Nadelbäume mit einem Stechisen Holzproben entnommen und in Polyethylenglycol (PEG)

eingebettet. Anschließend wurden hiervon auf einem Schlittenmikrotom ca. 10 µm dicke Schnitte hergestellt und lichtmikroskopisch untersucht. Zum Kenntlichmachen der unterschiedlichen Gewebearten erfolgte ein Anfärben der Schnitte mit Safranin und Astrablau sowie mit Lugol'scher Lösung zur Anfärbung stärkehaltiger Substanzen.

3 Ergebnisse

3.1 Bonitur der Laubbäume

An allen drei Laubbaumarten war Flächenkallus entstanden. Es gab Unterschiede in der Intensität und Häufigkeit der Flächenkallus-Bildung, und zwar in Abhängigkeit von der Baumart. Buche bildete wenig, Eiche etwas mehr und Esche am meisten Flächenkallus. Darüberhinaus war bei allen drei Laubbaumarten die Intensität und Häufigkeit der Flächenkallus-Bildung abhängig von der Behandlung: An Kontrollwunden bildete sich wenig, unter dem Lac Balsam etwas mehr und unter der Kunststoffolie am meisten Flächenkallus (Abbildung 1).

3.2 Bonitur der Nadelbäume

Auf den Wunden zeigte sich zumeist Harzfluss, der teilweise so stark war, dass die gesamte Wundfläche mit Harz verschlossen war. Für die Beurteilung einer möglicherweise erfolgten Flächenkallus-Bildung musste zunächst dieses Harz und auch, wenn vorhan-

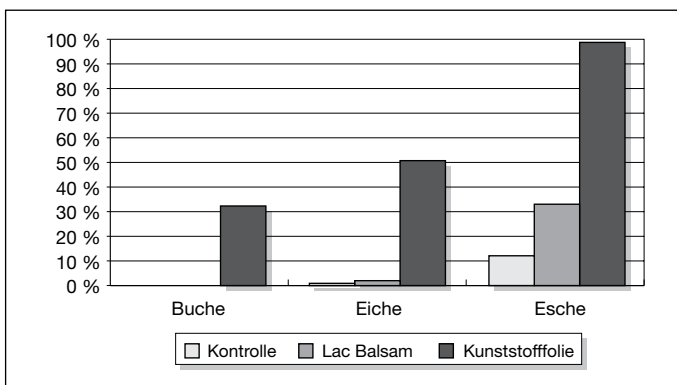
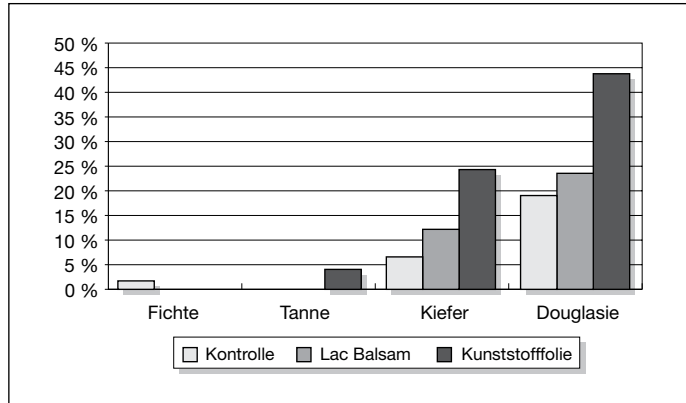


Abbildung 1:
Durchschnittliche prozentuale Flächenkallus-Bildung der Laubbäume

Abbildung 2:
Durchschnittliche prozentuale
Wundbedeckung der Nadel-
bäume mit Flächenkallus-
ähnlichem Gewebe



den, der Wundverschlussmittel-Belag vorsichtig entfernt werden. Auf zahlreichen Wundflächen war ein neues Gewebe entstanden, das makroskopisch Ähnlichkeiten hatte mit einem Flächenkallus. Die Intensität der Bedeckung der Wundfläche mit diesem Kallus-ähnlichen Gewebe war abhängig von der Behandlung und der Baumart (Abbildung 2). Kontrollwunden zeigten grundsätzlich nur sehr wenig Zellwachstum auf der Wundfläche, die Wunden mit einem Wundverschlussmittel etwas mehr. Unter Kunststoffolie zeigten sich die stärksten Reaktionen.

3.3 Mikroskopie

Die Bereiche mit Zellwachstum auf der Wundfläche der Nadelbäume wurden strukturell untersucht. An allen vier Arten hatte sich nur neues Gewebe gebildet, wenn auf der Wundfläche noch Phloemreste verblieben waren. Auf Flächen, auf denen das Phloem vollständig entfernt war, hatte sich in keinem Fall neues Gewebe gebildet.

Die Überwallung war bei allen untersuchten Baumarten hinsichtlich ihres Aufbaus gleich. Am Wundrand war durch das Kambium ein so genanntes Kallusmark gebildet worden. Die Radial-Orientierung der Holzstrahlen und der Zellen des Überwallungswulstes gingen nicht mehr vom Mark des Stammes, sondern vom Kallusmark aus. Der Überwallungswulst bestand aus Wundxylem, -kambium, -phloem und -periderm (Abbildung 3). Eine Analyse des Zellwachstum unter Phloemresten brachte folgende Ergebnisse.

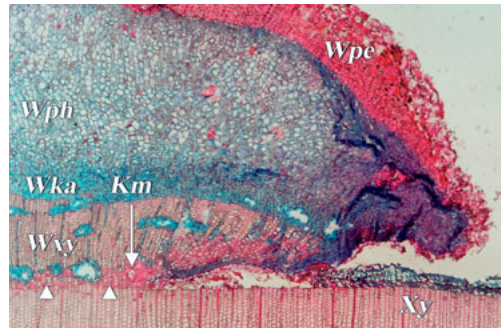


Abbildung 3: Fichte: Überwallungswulst mit Kallusmark (Km). Umorientierung der Zellen des Kallus auf die Mitte der Wundfläche. Barrierzone (Pfeilköpfe); Wundperiderm (Wpe); Wundphloem (Wph); Wundkambium (Wka); Wundxylem (Wxy); Xylem (Xy). Querschnitt 4-fache Vergrößerung

3.3.1 Fichte und Tanne

Vereinzelt kam es an Fichte und Tanne unter Phloemresten zur Bildung einer Barrierzone d. h. einem Band aus parenchymatischen und annähernd isodiametrischen Zellen, die meist mit Inhaltsstoffen gefüllt waren. Diese Zone wurde gleich zu Beginn des Jahrrings gebildet. Weiterhin bildeten sich tangenziale Bänder aus traumatischen Harzkanälen.

3.3.2 Kiefer

Die Kiefer bildete nach der Verletzung unter Phloemresten einen neuen Jahrring ohne ausgeprägte Früh- und Spätholz-Unterschiede. Zu Beginn der Jahrringbildung entstand eine Barrierzone mit vermehrten Holzstrahlen (Abbildung 4). Im tracheidalen Grundgewebe des Wundholzes waren zahlreiche Parenchymzellen ohne lignifizierte Wände in Gruppen oder einzeln vorhanden, die sowohl partiell als auch ganz mit Stärkekörnern ausgefüllt waren. Ab etwa der Mitte des Jahrringes kam ein Band aus axial ausgerichtete-

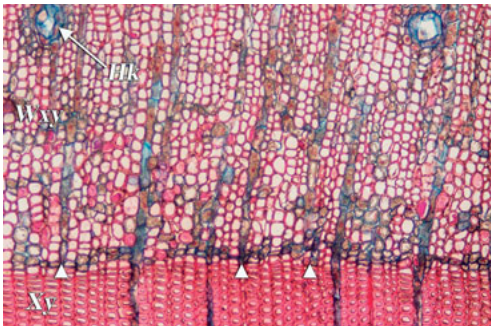


Abbildung 4: Kiefer: Parenchymatische Zellen mit und ohne Inhaltsstoffen zu Beginn des Jahrrings und vermehrte Holzstrahlen-Bildung (Pfeilköpfe). Harzkanal (Hk); Wundxylem (Wxy); Xylem (Xy).
Querschnitt 10-fache Vergrößerung

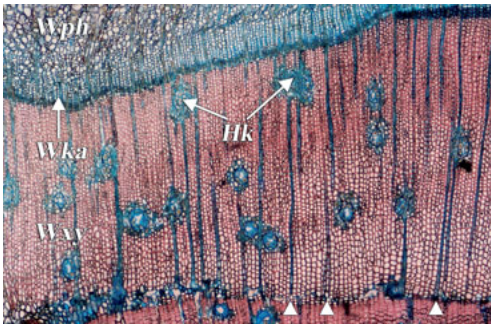


Abbildung 6: Kiefer: Harzkanäle (Hk) über den Jahrring verteilt, mit nahezu normaler Xylembildung und verstärkter Holzstrahlen-Bildung (Pfeilköpfe). Wundphloem (Wph); Wundkambium (Wka); Wundxylem (Wxy).
Querschnitt 4-fache Vergrößerung

ten Harzkanälen mit größeren Abständen zwischen den einzelnen Harzkanälen hinzu. Diese traumatischen Harzkanäle hatten dünnwandige Epithelzellen und waren von Parenchymzellen mit Inhaltsstoffen umrandet (Abbildung 5).

Bei einigen Wunden bildeten sich keine Harzkanalbänder, die Harzkanäle waren stattdessen nahezu gleichmäßig über den Querschnitt verteilt. In diesem Fall zeigte sich eine nahezu normale Holzbildung mit Früh- und Spätholz. Die Barrierzone war nur eine bis wenige Zellen breit, ihre Zellen waren spärlich mit In-

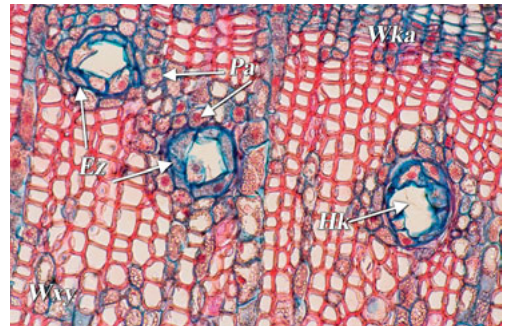


Abbildung 5: Kiefer: Harzkanäle (Hk) mit dünnwandigen Epithelzellen (Ez), umgeben von Parenchymzellen (Pa) und rötlich angefärbtes Grundgewebe aus Tracheiden.
Querschnitt 20-fache Vergrößerung

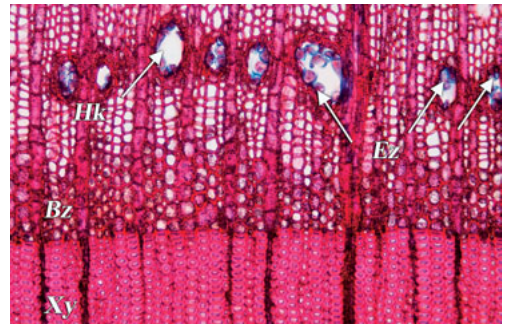


Abbildung 7: Douglasie: Barrierzone (Bz) mit Inhaltsstoffen, im Anschluss daran ein Band aus Harzkanälen (Hk) mit dünnwandigen Epithelzellen (Ez). Xylem (Xy).
Querschnitt 10-fache Vergrößerung

haltsstoffen gefüllt. Auch hier bildeten sich vermehrt Holzstrahlen (Abbildung 6).

3.3.3 Douglasie

Auch die Douglasie bildete zu Beginn des Jahrringes eine Barrierzone aus kurzen, nahezu isodiametrischen Parenchymzellen mit Inhaltsstoffen. Einzeln bis in kleine Gruppen waren Parenchymzellen auch ohne Inhaltsstoffe vorhanden. In der Barrierzone war ebenfalls eine vermehrte Holzstrahl-Bildung feststellbar. Daran schloss sich ein tangenciales Band aus axialen, traumatischen Harzkanälen mit dünnwandigen Epithelzellen an. Die Harzkanäle waren umgeben von Parenchymzellen mit Inhaltsstoffen (Abbildung 7). Die Inhaltsstoffe der Zellen in der Barrierzone und die Zellen, die die Harzkanäle umgaben, verfärbten sich durch Lugol'sche Lösung schwarz, und zeigten somit Stärkeeinlagerungen an. Nach dem ersten Band aus traumatischen Harzkanälen normalisierte sich die Holzbildung wieder. Im Spätholz kam teilweise ein weiteres Band aus axialen Harzkanälen vor, die dicht beieinander standen. Sie waren zum Teil ebenfalls mit dünnwandigen Epithelzellen ausgekleidet und von Parenchymzellen mit Inhaltsstoffen umgeben (Abbildung 8). Die wenigen letzten Zellreihen des Jahrrings hatten dicke Zellwände und kleine Lumina, wie dies üblicherweise Spätholz aufweist. Somit hatte sich bereits ein Jahr nach der Verletzung die Holzbildung wieder weitgehend normalisiert.



Abbildung 8: Douglasie: Ausbildung von zwei Bändern mit axialen Harzkanälen (Hk) mit dünnwandigen Epithelzellen. Wundphloem (Wph); Wundkambium (Wka); Xylem (Xy). Querschnitt 4-fache Vergrößerung

4 Diskussion

Bei allen drei untersuchten Laubbaumarten war Flächenkallus auf den Wundflächen entstanden. Die stärkste Flächenkallus-Bildung kam an Esche vor, die schwächste an Buche. Unter der Kunststoffolie bildete sich am meisten Flächenkallus, an den Kontrollwunden am wenigsten. Damit können bisherige Untersuchungen, die ebenfalls an Laubbäumen durchgeführt wurden, bestätigt werden (DUJESIEFKEN et al. 2001; STOBBE et al. 2002; BALDER 2003; WEBER & MATTHECK 2004; STOBBE & DUJESIEFKEN 2004).

An Fichte und Tanne war das Zellwachstum unter Phloemresten sehr gering; bei Kiefer und besonders bei Douglasie häufiger und stärker. Ähnliche Ergebnisse wurden auch an Rückeschäden im Forst, die unterschiedlich behandelt wurden festgestellt (GAISER et al. 2006). Somit fördert die Abdeckung mit Kunststoffolie, wie dies auch Untersuchungen an Laubbäumen gezeigt haben (STOBBE et al. 2002), auch die Wundreaktionen von Nadelbäumen. Auf der Wundfläche verbliebene Phloemreste werden durch Abdeckung mit einer Kunststoffolie offenbar am Leben gehalten und können neues Gewebe bilden. Hierbei handelt es sich um Wundgewebe, das zu Beginn des Jahrringes aus einer Barrierzone besteht. An unbehandelten Wunden und unter Wundverschlussmittel sind die Bedingungen ungünstiger, so dass sich dort seltener neues Gewebe auf den Wundflächen bildet. Die Abdeckung mit lichtundurchlässiger Kunststoffolie fördert somit nicht nur die Flächenkallus-Bildung bei Laubbäumen, sondern auch die baum-eigenen Wundreaktionen von Nadelbäumen nach Rindenverletzungen.

Zunächst wurden die Überwallungswülste der Nadelbäume lichtmikroskopisch untersucht. Hierbei zeigte sich, dass sie folgendermaßen aufgebaut waren: Sie bestanden aus einer Initiierungszone, Wundxylem, Wundkambium, Wundphloem und Wundperiderm. Somit ist der Aufbau der Überwallung bei Nadelbäumen dem der Laubgehölzen sehr ähnlich (GRÜNWARD et al. 2002). Die Zellen des Wundxylems und die Holzstrahlen waren zudem auf das Kallusmark ausgerichtet.

Weiterhin wurde das als Flächenkallus-ähnliche Gewebe, das auf den Wundflächen entstanden war, mikroskopisch untersucht. Hierbei zeigte sich, dass die Reaktionen stets strukturell den gleichen Aufbau hatten: Bei den Verletzungen verblieben Phloemreste auf Teilen des Holzkörpers. Diese reagierten zum Großteil durch die Bildung eines Wundperiderms sehr effektiv auf Verletzungen und grenzten somit zerstörtes Gewebe engräumig aus (OVEN & TORELLI 1998; TROCKENBRODT & LIESE 1991). Das Kambium unter den Phloemresten blieb unbeschädigt und konnte weiterhin nach innen Xylem und nach außen Phloem produzieren. Insbesondere das unmittelbar nach der Verletzung in Wundnähe gebildete Gewebe ist im Vergleich zum normalen Holz anatomisch verändert. Dieses Reaktionsgewebe wird als Barrierzone bezeichnet (SHIGO 1984; LIESE & DUJESIEFKEN 1995). Die direkt an der Jahrringgrenze liegenden Zellschichten bestanden weitestgehend aus Parenchymzellen, zum Teil mit, zum Teil ohne Inhaltsstoffe. Daran schlossen sich traumatische, axiale Harzkanäle an. Mit zunehmender Entfernung von der Verletzung normalisierte sich die Holzstruktur wieder. Es ist daher anzunehmen, dass im zweiten Jahr nach der Verletzung wieder ein Jahrring mit Frühholz und Spätholz und somit ohne wundbedingte Veränderungen gebildet wird.

Somit zeigte sich an den Nadelbäumen, dass sich die Reaktionen auf den Wundflächen strukturell ähneln. In keinem Fall hatte sich ein Flächenkallus aus noch teilungsfähigen Zellen des Holzes gebildet. Wenn sich ein Zellwachstum auf den Wundoberflächen zeigte, so entstand dieses stets nur unter Phloemresten. Während also bei Laubgehölzen auch nach vollständigem Verlust der Rinde die Teilungsfähigkeit von Zellen auf der Wundoberfläche nicht in jedem Fall verloren geht, ist dies bei Nadelgehölzen offenbar anders. Auch in anderen Untersuchungen wurde bei Nadelbäumen kein Flächenkallus nach Rindenablösungen festgestellt (DUJESIEFKEN et al. 2001). An Kiefer wurde hingegen ein Flächenkallus beobachtet (BROWN & SAX 1962; CHUDNOFF 1971), jedoch auf der Innenseite von gelösten Rindenzungen, nicht auf der Holzoberfläche. Offenbar hatten auch hier die Rindenzellen maßgeblichen Einfluss auf die Gewebe-Bildung.

Die Untersuchungen von HARTIG (1853) an Lärche beruhen auf makroskopischen Beobachtungen, hierbei

handelte es sich vermutlich, wie auch in der vorliegenden Arbeit, um Reaktionen unter Phloemresten. Eine Flächenkallus-Bildung auf dem freigelegten Holzkörper ist bei den Nadelgehölzen somit offenbar nicht möglich.

Literatur

- BALDER, H., 2003: Wundverschluss doch besser mit Folie? AFZ-Der Wald **58**: 276–277.
- BROWN, C. L.; SAX, K., 1962: The influence of pressure on the differentiation of secondary tissues. *American Journal of Botany* **49**: 683–691.
- CHUDNOFF, M., 1971: Tissue regeneration of debarked Eucalypts. *Forest Science* **17**: 300–305.
- DUJESIEFKEN, D.; STOBBE, H.; KOWOL, T., 2001: Der Flächenkallus eine Wundreaktion von Bäumen nach Rücke- und Anfahrtschäden. Forstw. Cbl. Berlin, **120**: 80–89.
- FINK, S., 1999: *Pathological and Regenerative Plant Anatomy*. Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart, 1095 S.
- GAISER, O.; DUJESIEFKEN, D.; PELZ, S.; STOBBE, H., 2006: Untersuchungen über die Wundbehandlung an Rückeschäden im Forst. AFZ **58**: 276–277.
- GRÜNWALD, C.; STOBBE, H.; SCHMITT, U., 2002: Entwicklungsstufen der seitlichen Wundüberwallung von Laubgehölzen. *Forstw. Cbl. Berlin*, **121**: 50–58.
- HARTIG, T., 1853: Ueber die Entwicklung des Jahrringes der Holzpflanzen. *Bot. Zeitung*, Berlin, **31**: 553–562.
- LIESE, W.; DUJESIEFKEN, D., 1995: Wundreaktionen bei Bäumen. In: DUJESIEFKEN, D. (Hrsg.): *Wundbehandlung an Bäumen*. Bernhard Thalacker Verlag, Braunschweig, 23–32.
- MCDUGALL, D. N.; BLANCHETTE, R. A., 1996: Polyethylene plastic wrap for tree wounds: A promoter of wound closure on fresh wounds. *Journal of Arboriculture* **22**: 206–210.
- NOEL, A. R. A., 1968: Callus formation and differentiation at an exposed cambial surface. *Annals of Botany N. S.* **32**, 347–359 und 2 Tafeln.
- OVEN, P.; TORELLI, N., 1998: Wundreaktionen in der Rinde – Die Entstehung einer ligno-subernisierten Schicht und des nekrophylaktischen Periderms bei Tanne und Buche. In: DUJESIEFKEN, D.; KÖCKERBECK, P. (Hrsg.): *Jahrbuch der Baumpflege 1998*. Bernhard Thalacker Verlag, Braunschweig, 239–241.
- SHIGO, A. L., 1984: Compartmentalization: A conceptual framework for understanding how trees grow and defend themselves. *Ann. Rev. Phytopatol.* **22**: 189–214.
- SHORTLE, W. C.; SHIGO, A. L., 1978: Effect of plastic wrap on wound closure an internal compartmentalization of discoloured and decayed wood in red maple. *Plant Disease Reporter Vol.* **62**: 999–1002.
- STOBBE, H., 2001: Entwicklung und Feinstruktur von Flächenkallus-Gewebe und seine Bedeutung für die Behandlung von Anfahrtschäden an Aaleebäumen. Dissertation Universität Hamburg, Hamburg, 116 S.
- STOBBE, H.; DUJESIEFKEN, D., 2004: Vergleich der Wirksamkeit verschiedener Folien zur Wundbehandlung von frischen Anfahrtschäden. In: DUJESIEFKEN, D.; KÖCKERBECK, P. (Hrsg.): *Jahrbuch der Baumpflege 2004*. Bernhard Thalacker Verlag, Braunschweig, 257–261.

- STOBBE, H.; DUJESIEFKEN, D.; ECKSTEIN, D.; SCHMITT, U., 2002: Vergleich der Wundreaktionen an Stammverletzungen von Laubgehölzen nach Behandlung mit Wundverschlussmitteln und Kunststoffolie. *Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst* **54**: 312–318.
- TROCKENBRODT, M.; LIESE, W., 1991: Untersuchung zur Wundreaktion in der Rinde von *Populus tremula* L. und *Platanus × acerifolia* (AIT.) WILLD. *Angewandte Botanik*. **65**: 279–287.
- WEBER, K.; MATTHECK C., 2004: Der Flächenkallus. *bi GaLaBau* 8+9: 118–124.
- ZHENGLI, L., KEMING, C., 1988: Differentiation of secondary xylem after girdling. *IAWA Bulletin (n.s.)* **9**: 375–383.

Autoren

Diese Arbeit basiert auf der Diplomarbeit von *Dipl.-Ing. Oliver Gaiser*, die an der Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg in Zusammenarbeit mit dem Institut für Baumpflege, Hamburg entstand. Hieran mitgewirkt haben *Prof. Dr. Dirk Dujesiefken* und *Dr. Horst Stobbe* vom Institut für Baumpflege sowie *Prof. Dr. Stefan K. Pelz* von der Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg.

Institut für Baumpflege
Brookkebre 60
D-21029 Hamburg
Tel: 00 49-40-72 41 31-0
Fax: 00 49-40-7 21 21 13
info@institut-fuer-baumpflege.de

Prof. Dr. Stefan K. Pelz
Hochschule Rottenburg
Schadenweilerhof
D-72108 Rottenburg
Tel: 00 49-74 72-9 51-2 83
Fax: 00 49-74 72-9 51-2 00
pelz@fh-rottenburg.de

