

Das CODIT-Prinzip

Von den Bäumen lernen für eine fachgerechte Baumpflege

Prof. Dr. Dirk Dujesiefken, Institut für Baumpflege, Hamburg

1. Einleitung

Die Wundreaktionen von Bäumen wurden bereits im vorletzten Jahrhundert zunächst an Waldbäumen beobachtet. Beschrieben wurde vor allem die Abschottung des funktionsfähigen Holzes gegenüber dem verletzten, abgestorbenen bzw. infizierten Gewebe. Es ging damals um ein grundlegendes Verständnis über den Aufbau von Bäumen und deren Abwehrreaktionen gegenüber Krankheiten, später auch um die Folgen des Aufastens von Jungbäumen sowie die Auswirkungen von Rückeschäden an Altbäumen im Forst.

Mit dem wachsenden Umweltbewusstsein stieg in den 1970er und 1980er Jahren der Bedarf an pflegenden und erhaltenden Maßnahmen für Bäume, wurden vermehrt Baumpflegefirmen gegründet, die meist noch als „Baumchirurgen“ firmierten. Zugleich wurden jedoch die zu dieser Zeit üblichen Methoden der Baumbehandlung in Frage gestellt. Äste wurden stammparallel statt „auf Astring“ geschnitten. Größere Wunden wurden damals noch ausgefräst und mit Holzschutzmittel eingestrichen, Höhlungen mit Gewindestangen versehen oder mit Beton ausgefüllt.

Zu dieser Zeit waren die komplexen Reaktionen von Bäumen nach Verletzung das Arbeitsgebiet des amerikanischen Forstbiologen Alex Shigo, der hierzu eine modellhafte Darstellung entwickelte und CODIT benannte (siehe Kapitel 2).

Das Wissen über die Biologie der Bäume ist in letzten Jahren stark gewachsen. Es gibt vielfältige Erkenntnisse über die Einflussfaktoren auf die Abschottung von den ersten Reaktionen im Baum nach Verletzung bis zu den Wechselwirkungen zwischen Baum und Pilz. Rund 30 Jahre nach der ersten Veröffentlichung des CODIT-Modells wurden die komplexen Vorgänge im Baum nach Verletzung zusammenfassend als CODIT-Prinzip vorgestellt (Dujesiefken & Liese 2006, 2008).

2. Das CODIT-Modell

Ein Modell über die Wundreaktionen von Bäumen entwickelten erstmals Shigo und Marx (1977), das vornehmlich für die Baumpflegepraxis den Aufbau von Bäumen und deren Reaktionen auf Fäule vereinfachend beschreibt: das CODIT-Modell. CODIT steht für **Compartmentalization of Decay in Trees** (Abschottung von Fäule in Bäumen). Dieses Modell befasst sich vor allem mit der räumlichen Ausdehnung eines Pilzbefalls im Baum nach Verletzung und den hierdurch angeregten Abschottungen. Hierbei wurden Bäume als gekammerte Organismen dargestellt, die bei Verletzung bzw. Fäule so genannte Kompartimente (engl.: compartments = Abteilungen) bilden. Die Grenzschichten zur Abschottung werden in dem Modell als Wände bezeichnet. Je nach Ausrichtung im Holz werden die Grenzschichten unterschieden in die Wände 1, 2 und 3. Als Wand 4 wird die Barrierzone bezeichnet.

In der Fachwelt führte dieses Modell zu kontroversen Diskussionen. Zunächst wurde es abgelehnt (Koch 1986), später kritisch diskutiert oder erweitert (z. B. Shigo 1984, Liese & Dujesiefken 1989, 1996, Holdenrieder 1994, Pearce 1996, Schwarze et al. 2002, Dujesiefken & Liese 2006). Hierbei wurden auch neuere physiologische, anatomische und mykologische Aspekte berücksichtigt.

Ein wesentlicher Aspekt in der Diskussion war die Erkenntnis, dass Bäume unmittelbar nach Verletzung zunächst nicht auf Fäulnis, sondern auf die eindringende Luft reagieren (Tyree & Sperry 1988, Liese & Dujesiefken 1989, Rayner 1993, Dujesiefken et al. 1997). Die Luftembolie in das wasserleitende Gewebe unmittelbar nach Verletzung ist die wesentliche Veränderung und bedeutet eine Funktionsstörung. Erst nachfolgend schottet der Baum auch gegen Fäule ab. Daher wird **CODIT** heute als „**Compartmentalization of Damage in Trees**“ (Abschottung von Schäden in Bäumen) verstanden. Der Begriff „damage“ (Schaden) ist umfassender und schließt alle Veränderungen nach Verletzung von der Luftembolie über eine Funktionsstörung bis hin zur Fäule (decay) mit ein.

3. Das CODIT-Prinzip

CODIT wird heute umfassender verstanden und beschreibt die Abschottung von Schäden in Bäumen sowie die Überwallung bzw. Einkapselung in der zeitlichen Abfolge (Dujesiefken & Liese 2008). Die Wundreaktionen können im Einzelfall sehr unterschiedlich ausgeprägt sein. Stets ist jedoch das gleiche Prinzip erkennbar: in aufeinander folgenden Phasen erfolgt die Abschottung und Überwallung von Schäden (Abb. 1 und 2).

Es gibt jedoch auch Wunden, die nicht engräumig abgeschottet und nachfolgend überwallt werden. Die Wundgröße hat hierbei besondere Bedeutung. Weitere Einflussfaktoren sind Baumart, Wundtyp, Jahreszeit der Verletzung und Wundbehandlung. Beim Kronenschnitt ist zudem die Art der Schnittführung entscheidend. Für die Baumpflege ist es daher wichtig, das Prinzip der Wundreaktionen von Bäumen sowie die verschiedenen Einflussfaktoren zu kennen.

Grundsätzlich beginnen die Wundreaktionen von Bäumen unmittelbar nach einer Verletzung. Nach dem CODIT-Prinzip gliedern sich die Reaktionen in vier Phasen, die nacheinander, zum Teil auch zeitgleich ablaufen:

Phase 1: Eindringende Luft

Als Folge stirbt das Gewebe in Wundnähe ab

Als Reaktion bildet

- die Rinde ein Wundperiderm
- das Kambium am Wundrand einen Kallus sowie in Wundnähe eine Barrierzone
- das Holz eine Grenzschrift zur Abschottung.

Phase 2: Eindringen von Schaderregern (z. B. holzzerstörende Pilze)

- in der Rinde bis zum Wundperiderm

- im Holz bis zur Grenzschrift

Zum späteren Verschließen der Wunde bildet sich

- aus dem Kallus ein Überwallungswulst.

Phase 3: Ausbreitung der Schaderreger

Vor allem im älteren Holz kann die Grenzschrift durchbrochen werden.

Als Reaktion bildet daraufhin

- das Holz eine neue Grenzschrift
- erreichen die Schaderreger die Barrierzone, bildet diese zur Abwehr verstärkt Inhaltsstoffe
- zeitgleich wachsen die Überwallungswülste weiter aufeinander zu.

Phase 4: Einkapselung der Schaderreger

Die Überwallung verschließt die Wunde und kapselt den Schaden ein.

In der Folge sterben die holzzerstörenden Pilze ab. Eine weitere

Ausdehnung der Schaderreger ist nicht mehr möglich.

Die Einkapselung ist die Überlebensstrategie von Bäumen nach Verletzung.

Kann die Wunde nicht eingekapselt werden, bleiben die Schaderreger aktiv und stellen zumindest latent eine Gefahr für den Baum dar.

Wird Phase 4 nicht erreicht (z. B. bei großen Wunden, geschwächten oder schwachwüchsigen Bäumen), verbleibt die Wunde in der Phase 3 und die holzzerstörenden Pilze können sich weiter ausbreiten. Gleiches gilt, wenn eingekapselte Schäden in Bäumen wieder geöffnet werden, z. B. durch Anfahrtschäden, Bohrungen, Stammrisse oder Spechte. Der zunächst eingeschlossene, doch dann erneut mit Sauerstoff versorgte Pilz kann die Grenzschrift durchwachsen. In der Folge können umfangreiche Schäden im gesamten Baum entstehen. Sind die Wunden klein bzw. wird der Schaden schnell überwältigt, ist die Phase 3 kurz oder wird übersprungen.

Für die Baumpflege-Praxis bedeutet dies, dass größere Eingriffe in Krone, Stamm und Wurzeln zu vermeiden sind. Je nach Baumart muss die Behandlung so erfolgen, dass der Baum die Verletzungen noch einkapseln kann.

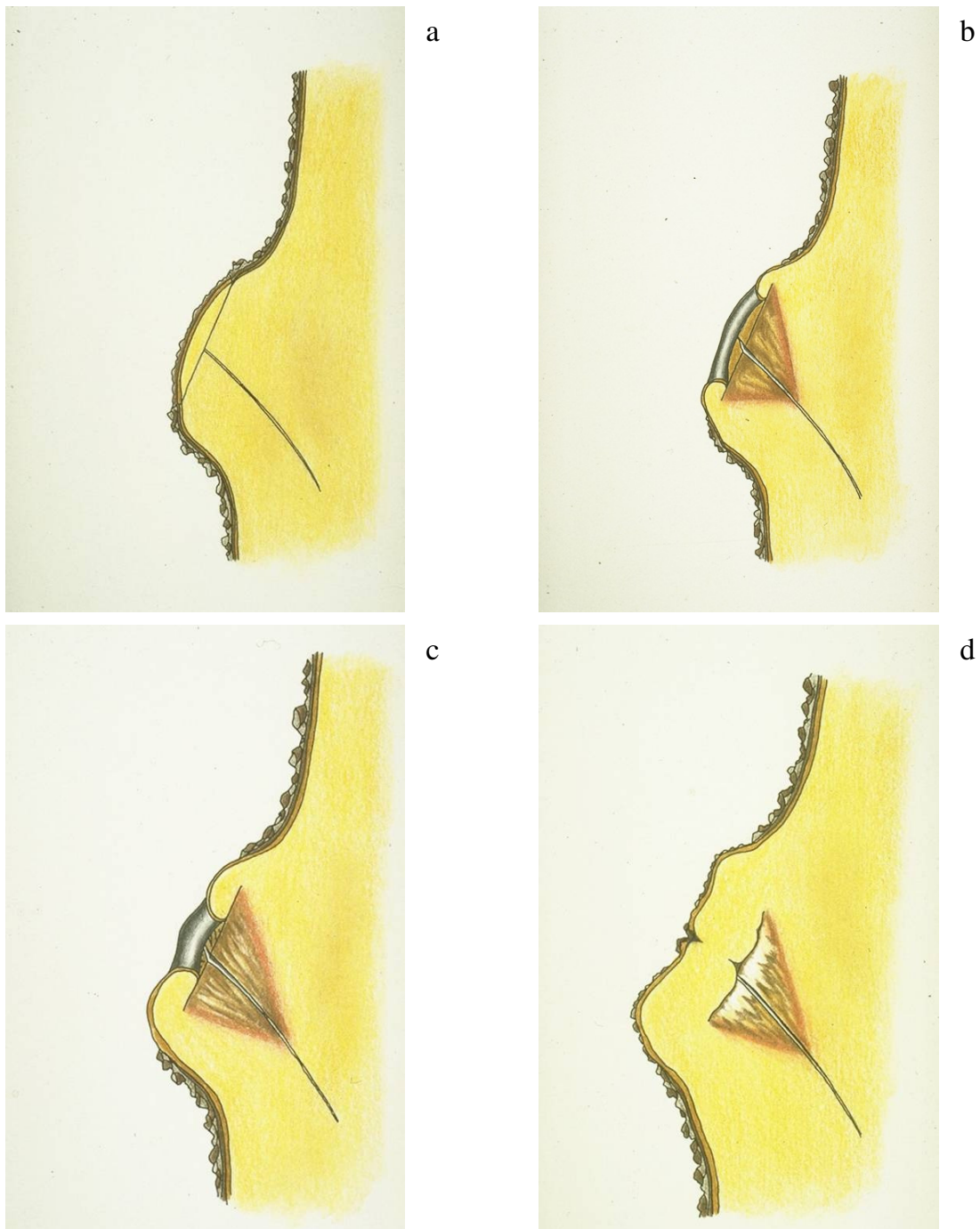


Abb. 1 a-d: Das CODIT-Prinzip am Beispiel einer effektiv abschottenden Baumart. a: Phase 1: Eindringen der Luft; b: Phase 2: Eindringen von Schaderregern, z. B. holzerstörende Pilze; c: Phase 3: Ausbreitung der Schaderreger; d: Phase 4: Einkapselung der Schaderreger – in der Folge sterben die holzerstörenden Pilze ab.



Abb. 2 a-d: Das CODIT-Prinzip am Beispiel einer effektiv abschottenden Baumart. a: Phase 1: Eindringen der Luft; b: Phase 2: Eindringen von Schaderregern, z. B. holzerstörende Pilze; c: Phase 3: Ausbreitung der Schaderreger; d: Die Wunde verbleibt in der Phase 3. Der Schaden wird nicht eingekapselt, die Schaderreger bleiben aktiv und stellen zumindest latent eine Gefahr für den Baum dar.

4 Das CODIT-Prinzip – Einflussfaktoren und Konsequenzen für die Baumpflege

Die Einkapselung von Verletzungen ist die Überlebensstrategie von Bäumen. Hinsichtlich der Effektivität der Abschottung (Kompartimentierung) und der Stärke der Überwallung bestehen jedoch z. T. erhebliche Unterschiede je nach Baumart, Wundtyp, Jahreszeit der Verletzung und Wundbehandlung.

4.1 Baumart

Aus Praxiserfahrungen ist seit langem bekannt, dass sich nach Verletzung z. B. an Pappel und Weide häufig umfangreiche Fäule bilden, an Buche und Eiche dagegen weniger. Je nach Standort, Wundgröße, Alter und Vitalität können jedoch auch gegenteilige Beobachtungen gemacht werden. Für einen Vergleich verschiedener Arten bzw. Gattungen erfolgten daher zeitlich gleichartige Verletzungen, z. B. Astungswunden oder Bohrungen (Lenz & Oswald 1971, Shortle 1979, Bauch et al. 1980, Rademacher et al. 1984, Dujesiefken et al. 1988, 1989, 1991, 1996, 1998, Dujesiefken & Stobbe 2002, Stobbe et al. 1999). Die Gattungen können anhand der Ergebnisse in ihrer Fähigkeit zur Abschottung in zwei Hauptgruppen differenziert werden:

Zu den **schwachen Kompartimentierern** gehören u. a. Birke, Esche, Pappel, Weide sowie Obstgehölze und Fichte. Dabei reagieren Birke, Pappel und Weide relativ schwach auf Verletzungen, ebenso Obstgehölze, während Esche im Vergleich etwas besser abschottet.

Zu den **effektiven Kompartimentierern** gehören u. a. Buche, Eiche, Hainbuche, Linde, Platane sowie Kiefer. Stiel-Eichen können auch relativ große Schäden effektiv abschotten, Rot-Eichen hingegen weniger.

Die Gattung Acer besitzt sowohl effektiv abschottende Arten, wie z. B. Berg- und Feld-Ahorn, als auch schwach abschottende, wie Silber-Ahorn. Der Spitz-Ahorn kann je nach Alter und Art der Verletzung schwach, häufig jedoch auch effektiv abschotten.

Der wesentliche Grund für die unterschiedliche Effektivität der Abschottung liegt offenbar im Aufbau des Holzes; bei Laubgehölzen sind vor allem der Anteil und die Anordnung der Parenchymzellen sowie der Gefäße entscheidend: Effektiv abschottende Arten besitzen z. B. mehr Parenchym als schwach abschottende. Bei

Pappel zeigen besser abschottende Hybriden weniger und kleinere Gefäße mit geringerer Vernetzung als schwächer abschottende (Eckstein et al. 1979).

Die Gefäßgröße beeinflusst auch die Abschottung von gefäßparasitären Krankheiten, wie z. B. bei Ulme und der Holländischen Ulmenkrankheit durch den Pilz *Ceratocystis ulmi* (Shigo 1981, Shigo & Tippett 1981). Resistente Ulmen besitzen geringere Gefäßdurchmesser als empfindliche Sorten. Dieses biologische Wissen kann z. B. eine Selektion resistenter Bäume erleichtern. Bei Nadelgehölzen ist die Fähigkeit zur Verharzung von Wunden ausschlaggebend für eine effektive Abschottung.

Auch innerhalb eines Baumes sind die Wundreaktionen offenbar unterschiedlich effektiv. Dies ist ebenfalls aus der Holzstruktur erklärbar, da Anteil und Verteilung der Zellarten in Ast, Stamm und Wurzeln z. T. sehr verschieden sind (Cutler et al. 1987, Schweingruber 1990, Möller-Lindenhof 1992). Die wenigen Untersuchungen hierzu zeigen, dass Verletzungen an Wurzeln meist effektiver abgeschottet werden als am Stamm und im unteren Stamm engräumiger als oberhalb (Buntrock 1989, Balder et al. 1995, Sager 2000).

4.2 Wundtyp

Unabhängig von der Baumart hat auch der Wundtyp einen erheblichen Einfluss auf die Abschottung im Holz. Hierbei muss zwischen den wesentlichen Typen von Wunden unterschieden werden: Astungswunden und Kronenbrüche, Bohrungen, Rindenschäden (z. B. Anfahr- bzw. Rückeschäden) und Wurzelkappungen.

- Astungswunden und Kronenbrüche

Bei Astungswunden und Kronenbrüchen wird das Holz quer zum Faserverlauf durchgetrennt und damit das wasserleitende System geöffnet. In Wundmitte werden hierbei stets ältere Gewebeschichten verletzt, die physiologisch weniger aktiv sind und weniger Reservestoffe enthalten. Diese Zellen können nach Verletzung nur eine schwächere Abschottung bewirken als die jüngeren Zellen am Wundrand. Die schwächere Abschottung mit zunehmendem Alter des Holzes im Astinnern führt zu einer kegelförmigen Verfärbung im Astansatz. Schnittwunden faulen deshalb über die Jahre häufig trichterförmig ein. Je mehr älteres Gewebe verletzt wird, umso größer ist die Fäule. Bei zu großen Wunden sind die Wundreaktionen in Wundmitte sehr schwach, die Fäule weitet sich im Stamm aus und führt letztendlich zu einem hohlen Baum. (Dujesiefken et al. 1988, Stobbe et al. 1998, 1999).

Die Wundgröße beim Kronenschnitt hat zusammen mit der Fähigkeit zur Abschottung (schwache oder effektive Kompartimentierer,) wesentlichen Einfluss auf die Baumpflege: Beim Kronenschnitt sollten schwach abschottende Baumarten nur bis in Schwachaststärke geschnitten werden (bis 5 cm Durchmesser), effektiv abschottende bis Grobaststärke (bis 10 cm Durchmesser; Dujesiefken & Stobbe 2002).

- Stammb Bohrungen

Grundsätzlich werden durch Bohrung in einen lebenden Baum (z. B. mit Zuwachsbohrer oder Bohrwiderstands-Messgerät) sowohl Rinde und Kambium als auch Holz verletzt. In der Rinde ist die Abschottung i. d. R. sehr engräumig. Das Kambium stirbt am Rand des Bohrlochs ab. Das abgestorbene Kambium wird auch als Kambialnekrose bezeichnet. Die Ausdehnung der Nekrose beträgt seitlich der Bohrung stets nur wenige Millimeter, in axialer Richtung kann sie eine Länge von einem oder wenigen Zentimetern erreichen. Trotz der Nekrose werden Bohrlöcher von wenigen Millimeter Durchmesser meist innerhalb eines Jahres überwältigt.

Die stärkste Beeinträchtigung durch eine Bohrung entsteht im Holz. Da die meisten Zellen im Holz axial ausgerichtet sind, erfolgt die Luftembolie und nachfolgend die Verfärbung und der Pilzbefall hauptsächlich in dieser Richtung, so dass derartige Schäden stets elliptisch geformt sind. Die Breite der Verfärbung beträgt meist nur wenige Millimeter, die Längsausdehnung kann dagegen sehr unterschiedlich sein. Die Verfärbungen von effektiv kompartimentierenden Baumarten sind i. d. R. wenige Zentimeter lang, von schwachen Kompartimentierern mehrere Dezimeter, beim Zuwachsbohrer z. T. über 1 m. Die längeren Verfärbungen entstehen in den älteren Jahrringen (Eckstein & Dujesiefken 1998/1999).

In den Jahren 1998 und 1999 wurden nahezu zeitgleich und unabhängig voneinander an vier Forschungseinrichtungen vergleichende Untersuchungen über die Auswirkungen von Bohrungen im Baum von verschiedenen Untersuchungsgeräten begonnen (Jaskula & Blatt 2001, Kersten 2001, Kowol et al. 2001, Stobbe et al. 2001). Die Studien belegen, dass der Umfang an Verfärbung im Holzkörper abhängig ist vom Bohrlochdurchmesser.

- Anfahr- und Rückeschäden

Anfahr- und Rückeschäden sind Stammverletzungen, bei denen meist nur die Rinde im Bereich des Kambiums vom Holz gelöst wird. Das wasserleitende Gewebe bzw. der für die Baumstatik wichtige Holzkörper bleibt zunächst unbeschädigt. Die Wunden können durchaus großflächig sein. Im Vergleich zu Astungswunden erfolgt jedoch auch selbst bei größeren Rindenverlusten i. d. R. eine engräumige Abschottung (Schwarze & Heuser 2005). Der Grund hierfür ist das Alter des verletzten Gewebes: Durch den Anfahr- oder Rückeschaden wird vom Holzkörper meist nur der jüngste und damit reaktionsfähigste Jahrring verletzt. Auch Rindenschäden an Ästen und Wurzeln werden entsprechend engräumig abgeschottet.

Große Anfahr- und Rückeschäden können von den Wundrändern her meist nicht mehr vollständig überwältigt werden. Nach dem CODIT-Prinzip sind dies Wunden, die die Phase 4 nicht erreichen können. Kann der Baum jedoch einen Flächenkallus bilden, wird bei einem vollflächigen Verschluss bereits nach kurzer Zeit die Phase 4 erreicht.

- Wurzelkappungen

Zu Wurzelkappungen kommt es häufig bei Tiefbaumaßnahmen. Speziell bei der Verlegung von Ver- und Entsorgungsleitungen, aber auch beim Straßenbau wird bis in den Wurzelbereich von Bäumen gearbeitet und hierbei werden Wurzeln gekappt. Anders als z. B. bei Stammverletzungen bleiben die Beeinträchtigungen an den Wurzeln aufgrund der anschließenden Bodenbearbeitung verdeckt. Von gekappten Wurzeln ausgehend kann sich ein Befall mit holzzerstörenden Pilzen bis in den Wurzelstock hinein ausbreiten und nach Jahren die Verkehrssicherheit des Baumes gefährden (Dujesiefken 1993, Watson & Neely 1993, 1995, Balder 1998, Stobbe & Kowol 2005).

Bei Wurzelkappungen wird das Holz, wie bei Astungswunden, quer zur Faserrichtung durchgetrennt und das wasserleitende System geöffnet. Durch den Schnitt wird auch älteres Holzgewebe verletzt, das weniger effektiv auf die Verletzung reagiert als das äußere, jüngere Holz. Hierdurch entstehen eine kegelförmige Verfärbung und nachfolgend eine trichterförmige Fäule (Abb. 5.2.7). Das Kappen stärkerer und damit älterer Wurzeln bewirkt deutlich umfangreichere Verfärbungen als das Kappen dünner, jüngerer Wurzeln (Balder et al. 1995).

4.3 Jahreszeit

Die Effektivität der Wundreaktionen in Bäumen wird vor allem bei Laubbäumen auch von der Jahreszeit der Verletzung beeinflusst. Die Wundreaktionen werden durch lebende Zellen bestimmt, deren physiologische Aktivität wesentlich von der Speicherung und Mobilisierbarkeit der Reservestoffe abhängt. Art, Menge und Mobilisierbarkeit der Reservestoffe unterliegen einem ausgeprägten jahreszeitlichen Wechsel, bestimmt durch die Wachstumsrhythmik des Baumes sowie die Temperatur.

In der Mobilisierungs- und der folgenden Wachstumsphase sind die Parenchymzellen hoch aktiv und können auf Verletzungen schnell reagieren. Weiterhin erfordert die Bildung von Abwehrstoffen (z. B. Phenole) ausreichend Wärme. Deshalb werden Verletzungen im Holz in der Vegetationszeit engräumiger abgeschottet als im Winter. Neben der Jahreszeit haben auch die Witterung bzw. die Temperatur innerhalb des Winters Bedeutung. Wundreaktionen nach Verletzung vor oder während einer Frostperiode verlaufen offenbar weniger effektiv als nach Verletzung bei milder Witterung im gleichen Monat. Diese Abhängigkeiten sind je nach Baumart verschieden stark ausgeprägt (Borsdorf 1966, Armstrong et al. 1981, Mireku & Wilkes 1989, Dujesiefken & Liese 1990, Dujesiefken et al. 1991, 1996).

Auch das Kambium reagiert unterschiedlich im Jahreslauf. Nach Verletzung im Winter trocknet das Kambium am Wundrand zurück, und es bilden sich die so genannten Kambialnekrosen. Je nach Baumart und Witterung innerhalb des Winters entstehen die größten Nekrosen in der Vegetationsruhe, meist in den Monaten Oktober und November. In der Vegetationszeit werden nur kleine Kambialnekrosen verursacht; die geringste Ausdehnung zeigen häufig Verletzungen im Frühjahr. Aus baumbiologischer Sicht sind große Kambialnekrosen nachteilig für den Baum. Mit dem Absterben des Kambiums am Wundrand vergrößert sich die Wunde, und die vollständige Überwallung (und damit Einkapselung des Schadens) benötigt mehr Zeit als bei kleinen Kambialnekrosen.

Untersuchungen zur Überwallung an gleichartigen Wunden, an denselben Bäumen zu unterschiedlichen Jahreszeiten, ergaben folgende Abhängigkeit: Frühjahrswunden zeigen stärkere Überwallungswülste als Verletzungen aus anderen Jahreszeiten.

Der jahreszeitliche Einfluss auf die Wundreaktion in der Rinde ist offenbar gering. Die Beobachtungen ergaben zu jeder Jahreszeit eine im Vergleich zu den Reaktionen im Holz sehr engräumige Abschottung.

Die Konsequenzen für die Baumpflege können folgendermaßen zusammengefasst werden:

Bei der Durchführung von Baumpflegearbeiten, z. B. Kronenschnitt, werden Bäume verletzt. Durch die Wundreaktionen werden die negativen Einflüsse begrenzt. Somit sind eine starke Überwallung, kleine Nekrosen am Wundrand und eine effektive Abschottung im Holz das Ziel für eine fachgerechte Baumpflege. Durch die Wahl des Schnittzeitpunktes können diese Reaktionen beeinflusst werden.

In den Wintermonaten sind alle Reaktionen des Baumes deutlich schwächer als zu anderen Jahreszeiten. In der Vegetationszeit entstehen die effektivsten Reaktionen bezüglich Abschottung im Holz, Ausdehnung der Kambialnekrosen und Stärke der Überwallung. Die geringsten Nekrosen bilden sich nach Verletzung in den Monaten März und April, die stärkste Überwallung nach Verwundung zwischen April und Juni und die effektivste Abschottung im Holz zwischen Mai und August. Der günstigste Zeitraum für den Kronenschnitt liegt demnach je nach Parameter zwischen April und August. Ungünstig ist in jedem Fall die Zeit zwischen September und Januar.

4.4 Wundbehandlung

Wundbehandlungen an Bäumen erfolgen bereits seit Jahrhunderten. Früher kamen Naturrezepturen zur Anwendung, später verschiedene Holzschutzmittel sowie Wachse, seit Anfang der 1960er Jahre auch Wundverschlussmittel auf Kunststoffdispersionsbasis. Von allen Mitteln und Verfahren wird allgemein erwartet, dass durch die Behandlung eine Fäulnis im Holz verhindert und die Überwallung gestärkt wird.

Seit Mitte der 1980er Jahre erfolgten an mehreren Institutionen Untersuchungen über Wundverschlussmittel, wobei künstlich angelegte Wunden (z. B. Astungswunden, Stammverletzungen) an Straßen- und Parkbäumen sowie an Waldbäumen behandelt wurden (Dujesiefken 1995). Die Ergebnisse können folgendermaßen zusammengefasst werden:

Amtlich zugelassene Wundverschlussmittel haben keine schädigende Wirkung (Phytotoxizität) auf den Baum. Vor allem bei größeren Wunden können jedoch die Beläge der Wundverschlussmittel bereits nach wenigen Monaten rissig werden und abblättern. Mit keinem Mittel wurde eine befallsfreie Wunde erzielt, d. h. trotz eines Anstrichs wird das Holz im Wundbereich von holzzerstörenden Pilzen besiedelt und abgebaut. Auch der Zusatz von Fungiziden kann einen Befall nicht nachhaltig

verhindern. Unabhängig davon haben die untersuchten Präparate teilweise einen positiven Einfluss auf die Wundreaktionen; zeigen sich an behandelten Wunden geringere Kambialnekrosen und eine stärkere Überwallung, und zwar je nach Jahreszeit und Baumart in unterschiedlichem Maße. Die Unterschiede zwischen den untersuchten Wundverschlussmitteln sind hinsichtlich ihrer Wirksamkeit vergleichsweise gering.

Innerhalb der Vegetationsperiode reagieren Bäume auf Verletzung stärker bzw. effektiver als in der Vegetationsruhe. Diese Tendenz trifft auch für behandelte Wunden zu. Bei Verletzungen in der Vegetationsruhe bilden behandelte Wunden häufig stärkere Überwallungswülste und z. T. deutlich geringere Kambialnekrosen als unbehandelte. Damit bewirkt ein Wundverschlussmittel bei Verletzungen in der Vegetationsruhe einen Schutz des angeschnittenen Kambiums. Es verhindert das Zurücktrocknen dieser empfindlichen Zuwachsschicht und verstärkt die Überwallung am Wundrand. Bei ringporigen Baumarten (Eiche, Esche, Robinie, Ulme) ist dieser Effekt ganzjährig über feststellbar. Damit unterstützt ein Wundverschlussmittel die Wundreaktionen des Kambiums, bewirkt eine stärkere Überwallung und somit eine schnellere Einkapselung der Wunde – die Phase 3 nach dem CODIT-Prinzip kann somit verkürzt werden.

Eine neuere Art der Wundbehandlung ist die Abdeckung von frischen Stammschäden (z. B. Anfah- oder Rückeschäden) mit lichtundurchlässiger Folie. Verbleiben nach dem Rindenverlust auf der Wundfläche noch lebende, teilungsfähige Zellen, können diese einen Flächenkallus bilden. Langjährige Untersuchungen haben gezeigt, dass die Folienabdeckung im Vergleich zu einer Nichtbehandlung oder einem Anstrich mit Wundverschlussmitteln deutlich effektivere Wundreaktionen bewirkt: Durch die Folienbehandlung wird vor allem die Bildung von Flächenkallus stark angeregt (Shortle & Shigo 1978, Dujesiefken et al. 2001, Stobbe et al. 2002 a, b, Balder 2003, Kehr 2003, Weber & Mattheck 2004, Gaiser et al. 2006, Marion & Oven 2007). Ob bzw. wie stark sich ein Flächenkallus bilden kann, hängt davon ab, wie viele reaktionsfähige Zellen noch auf der Wundfläche vorhanden sind und wie schnell eine Abdeckung mit Folie nach dem Unfall erfolgt.

8 Literaturverzeichnis

Armstrong, J.E.; Shigo, A.L.; Funk, D.T.; McGinnes, E.A. Jr.; Smith, D.E., 1981: A macroscopic and microscopic study of compartmentalization and wood closure after mechanical wounding of Black Walnut trees. *Wood Fiber* 13, 275-291.

Balder, H., 1998: Die Wurzeln der Stadtbäume: Ein Handbuch zum vorbeugenden und nachsorgenden Wurzelschutz. Parey Buchverlag, Berlin, 180 S.

Balder, H., 2003: Wundverschluss doch besser mit Folie? *AFZ-DerWald* 58, 276-277.

Balder, H.; Dujesiefken, D.; Kowol, T.; Schmitz-Felten, E., 1995: Zur Wirkung von Wundbehandlungen an Wurzeln bei Eiche und Linde. *Nachrichtenblatt für den Deutschen Pflanzenschutzdienst* 47 (2), 28-35.

Bauch, J.; Shigo, A.L.; Starck, M., 1980: Auswirkungen von Wunden im Xylem von Ahorn- und Birkenarten. *Holzforschung* 34, 153-160.

Borsdorf, W., 1966: Zur Frage des jahreszeitlich günstigsten Astungstermins bei der Pappel. *Archiv für Forstwesen* 15, 153-167.

Buntrock, M., 1989: Anatomische Untersuchungen über die Wundreaktion der Pappel. Diplomarbeit Universität Hamburg, 74 S.

Cutler, D.F.; Rudall, P.J.; Gasson, P.E.; Gale, R.M.O., 1987: *Root Identification Manual of Trees and Shrubs. A Guide to the Anatomy of Roots of Trees and Shrubs hardy in Britain and Northern Europe.* Chapman and Hall, London, 245 S.

Dujesiefken, D., 1993: Baumschäden als Folge von Tiefbaumaßnahmen – Schutz von Alleebäumen im Bereich von Baustellen. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* 45, 222-227.

Dujesiefken, D. (Hrsg.), 1995: *Wundbehandlung an Bäumen.* Mit Beiträgen von H. Balder, L. Dimitri, D. Dujesiefken, P. Grimm-Wetzel, T. Kowol, W. Liese, T. Maag, K. Schröder, E. Schmitz-Felten, G. Seehann, H. Strohm und S. Wiebe. Verl. B. Thalacker, Braunschweig, 151 S.

Dujesiefken, D.; Liese, W., 1990: Einfluss der Verletzungszeit auf die Wundheilung bei Buche (*Fagus sylvatica* L.). *Holz als Roh- und Werkstoff* 48, 95-99.

Dujesiefken, D.; Liese, W., 1992: *Holzschutzmittel zur Wundbehandlung bei Bäumen?* Gesunde Pflanzen, Berlin, 44, 303-306.

- Dujesiefken, D., Liese, W., 2006: Die Wundreaktionen von Bäumen – CODIT heute. In: Dujesiefken, D.; Kockerbeck, P. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 2006. Thalacker Medien, Braunschweig, 61-73.
- Dujesiefken, D.; Liese, W.; 2008: Das CODIT-Prinzip – Von den Bäumen lernen für eine fachgerechte Baumpflege. Haymarket Media, Braunschweig, 160 S.
- Dujesiefken, D.; Stobbe, H., 2002: The Hamburg Tree Pruning System - A Guideline for proper pruning. Urban Forestry and Urban Greening 1: 75-82.
- Dujesiefken, D.; Kowol, T.; Liese, W., 1988: Vergleich verschiedener Schnittführungen von Linde und Rosskastanie bei der Astung. Allg. Forstzeitschrift 43, 331-332, 336.
- Dujesiefken, D.; Ebenritter, S.; Liese, W., 1989: Wundreaktionen im Holzgewebe bei Birke, Buche und Linde. Holz als Roh- und Werkstoff 47, 495-500.
- Dujesiefken, D.; Peylo, A.; Liese, W., 1991: Einfluß der Verletzungszeit auf die Wundreaktionen verschiedener Laubbäume und der Fichte. Forstwiss. Cbl. 110, 371-380.
- Dujesiefken, D.; Kowol, T.; Schmitz-Felten, E., 1996: Zum Einfluß der Behandlungszeit auf die Wirksamkeit von Wundverschlußmitteln bei Laubbäumen. Gesunde Pflanzen 4, 89-94. Nachdruck: Stadt und Grün 45, 687-691.
- Dujesiefken, D.; Ridder, H.W.; Habermehl, A., 1997: Zum Einsatz der Computer-Tomografie zu Fragen der Luftembolie bei verletzten Bäumen. In: Dujesiefken, D.; Kockerbeck, P. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 1997. Thalacker Medien, Braunschweig, 222-227.
- Dujesiefken, D.; Stobbe, H.; Eckstein, D., 1998: Langzeitwirkungen von Astungen im Holz von Linde und Roßkastanie. Forstwiss. Cbl. 117, 305-315.
- Dujesiefken, D.; Stobbe, H.; Kowol, T., 2001: Der Flächenkallus – eine Wundreaktion von Bäumen an Rucke- und Anfahrschäden. Forstwiss. Cbl. 120, 80-89.
- Eckstein, D.; Dujesiefken, D., 1998-1999: Long-term effects in trees due to increment borings. Dendrochronologia 16/17, 205-211.
- Eckstein, D.; Liese, W.; Shigo, A.L., 1979: Relationship of wood structure to compartmentalization of discolored wood in hybrid poplar. Can. J. For. Res. 9, 205-210.
- Gaiser, O.; Pelz, S.; Dujesiefken, D.; Stobbe, H., 2006b: Untersuchungen über die Wundbehandlung von Rückeschäden. AFZ 58, 276-277.

- Holdenrieder, O., 1994: Angriff und Abwehr im Baum: Die Entstehung von Kernfäulen. Schweiz. Z. Forstw. 145, 887-903.
- Jaskula, P.; Blatt, A., 2001: Vergleich der Wundreaktionen an Bohrlöchern vom Resistographen, Teredo-Prüfnadelmesssystem und Zuwachsbohrer. In: Dujesiefken, D.; Kockerbeck, P. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 2001. Thalacker Medien, Braunschweig, 191-194.
- Kehr, R., 2003: Biologische Grundlagen des Wundverschlusses bei Bäumen – Bedeutung für die Wertermittlung. Wertermittlungsforum 21: 88-93.
- Kersten, W., 2001: Infektionsgefahr durch den Einsatz invasiver Diagnosegeräte am lebenden Baum. In: Dujesiefken, D.; Kockerbeck, P. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 2001. Verlag Thalacker Medien, Braunschweig, 195-202.
- Koch, W., 1986: Beeinflussen die forstlichen Untersuchungsergebnisse von Shigo die Wert- und Schadenermittlung von Stadt- und Alleebäumen? Abschottungsmechanismen gegen Fäulnis als Selbsthilfeeinrichtung des Baumes. Das Gartenamt 35, 7-9.
- Kowol, T.; Kehr, R.; Wohlers, A.; Dujesiefken, D., 2001: Wundreaktionen und Pilzbefall im Holzkörper nach Resistograph- und Zuwachsbohrer-Einsatz zur Baumuntersuchung im Bereich von Fäulen. In: Dujesiefken, D.; Kockerbeck, P. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 2001. Thalacker Medien, Braunschweig, 203-211.
- Lenz, O.; Oswald, K., 1971: Über Schäden durch Bohrspanentnahme an Fichte, Tanne und Buche. Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchsw. 47, Heft 1, 29 S.
- Liese, W.; Dujesiefken, D., 1989: Wundreaktionen bei Bäumen. Tagungsbericht, 2. Symposium, Ausgewählte Probleme der Gehölzphysiologie – Gehölze, Mikroorganismen und Umwelt, Tharandt, 13.- 16. Juni, 75-80.
- Liese, W.; Dujesiefken, D., 1996: Wound reactions of trees. In: Raychaudhuri, S.P.; Maramosch, K. (Ed.). Forest Trees and Palms. - Disease and Control. Oxford & IBH Publishings Co. PVT. LTD, New Delhi, India, 20-42.
- Marion, L.; Oven, P., 2007: Zur Bildung von Flächenkallus und Überwallungswulst bei Spitzahorn. In: Dujesiefken, D.; Kockerbeck, P. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 2007. Haymarket Media, Braunschweig, 295-299.
- Mireku, E.; Wilkes, J., 1989: Seasonal variation in the ability of the sapwood of *Eucalyptus maculate* to compartmentalize discolouration and decay. Forest Ecology and Management, 28, 131-140.
- Möller-Lindenhof, Y., 1992: Strukturveränderungen im Wurzelholz von Birke (*Betula pendula* Roth), Erle (*Alnus glutinosa* L. Gaertn.), Esche (*Fraxinus excelsior* L.) und

Ulme (*Ulmus glabra* Huds.) sowie ihre Bedeutung für Funktion und Identifizierung. Diss. Univ. Hamburg, 243 S.

Pearce, R.B., 1996: Antimicrobial defences in the wood of living trees. *Transley Review* 87, 203-233.

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.

Rayner, A.D.M, 1993: New avenues for understanding processes of tree decay. *Arboricultural Journal* 17, 171-189.

Sager, S., 2000: Einfluss der Position der Wunde auf die Wundreaktion von Eiche und Robinie zu unterschiedlichen Jahreszeiten. Diplom-Arbeit, Univ. Hamburg, 75 S.

Schwarze, F.W.M.R.; Heuser, C., 2005: Stammverletzungen an Bäumen – Lappalie oder Gefahr? 23. Osnabrücker Baumpflegetage, 6. und 7. September 2005, Tagungsband, 22 S.

Schwarze, F.W.M.R.; Grüner, J.; Schubert, M.; Fink, S., 2002: Abwehrreaktionen und Pilzinfektion in *Fraxinus excelsior* und *Tilia platyphyllos* nach Stammverletzung – eine differenzierte Betrachtung des CODIT-Modells. 20. Osnabrücker Baumpflegetage, 3./4. Sept. 2002, Tagungsband, 43 S.

Schweingruber, F. H., 1990: Anatomie europäischer Hölzer - Anatomy of European woods. Ein Atlas zur Bestimmung europäischer Baum-, Strauch- und Zwergstrauchhölzer. Hrsg.: Eidgenöss. Forschungsanst. f. Wald, Schnee u. Landschaft, Birmensdorf, 800 S.

Shigo, A.L., 1981: Dutch elm disease: A CODIT perspective. In: Proc. Dutch elm disease symposium and workshop, 5.-9.10.1981, Winnipeg, Canada, 151-168.

Shigo, A.L., 1984a: Compartmentalization: A conceptual framework for understanding how trees grow and defend themselves. *Ann. Rev. Phytopathology.* 22, 189-214.

Shigo, A.L.; Marx, H., G., 1977: Compartmentalization of decay in trees. U.S. D.A. For. Serv. Agric. Bull. No 405, 74 S.

Shigo, A.L.; Tippett, J.T., 1981: Compartmentalization of American elm tissues infected by *Ceratocystis ulmi*. *Plant Dis.* 65, 715-718.

Shortle, W.C., 1979: Compartmentalization of decay in red maple and hybrid poplar trees. *Phytopathol.* 69, 410-413.

Shortle, W.C.; Shigo, A.L., 1978: Effect of plastic wrap on wound closure and internal compartmentalization of discolored and decayed wood in red maple. *Plant Disease Reporter* 62, 999-1002.

Stobbe, H.; Kowol, T., 2005: Gesunde Bäume trotz Leitungsbau – Handlungsempfehlungen für einen fachgerechten Baumschutz. In: Dujesiefken, D.; Kockerbeck, P. (Hrsg.): *Jahrbuch der Baumpflege 2005*. Thalacker Medien, Braunschweig, 140-148.

Stobbe, H.; Dujesiefken, D.; Kleist, G., 1998: Die Hamburger Schnittmethode - Grundlagen und Erkenntnisse. In: Dujesiefken, D.; Kockerbeck, P. (Hrsg.): *Jahrbuch der Baumpflege 1998*. Thalacker Medien, Braunschweig, 184-193.

Stobbe, H.; Dujesiefken, D., Schmitt, U., 1999: Zur Dynamik der Wundreaktionen nach Astung bei Roßkastanie. In: Dujesiefken, D.; Kockerbeck, P. (Hrsg.): *Jahrbuch der Baumpflege 1999*. Thalacker Medien, Braunschweig, 222-226.

Stobbe, H.; Dujesiefken, D.; Rhaesa, A.; Eckstein, D., 2001: Möglichkeiten und Grenzen eines Bohrlochverschlusses. In: Dujesiefken, D.; Kockerbeck, P. (Hrsg.): *Jahrbuch der Baumpflege 2001*. Thalacker Medien, Braunschweig, 203-211.

Stobbe, H.; Dujesiefken, D.; Eckstein, D.; Schmitt, U., 2002a: Behandlungsmöglichkeiten von frischen Anfahrschäden. In: Dujesiefken, D.; Kockerbeck, P. (Hrsg.): *Jahrbuch der Baumpflege 2002*. Thalacker Medien, Braunschweig, 43-55.

Stobbe, H.; Schmitt, U.; Eckstein, D.; Dujesiefken, D., 2002b: Developmental stages and fine structure of surface callus formed after debarking on living lime trees (*Tilia* sp.). *Ann. Bot.* 89, 773-782.

Tyree, M. T.; Sperry, J. S., 1988: Do woody plants operate near the point of catastrophic xylem dysfunction caused by dynamic water stress? *Plant Physiol.* 88, 574-580.

Watson, G.W.; Neely, D., 1993: *The Landscape below Ground*. International Society of Arboriculture, Savoy/ Illinois, 222 S.

Watson, G.W.; Neely, D., 1995: *Trees and Building Sites*. International Society of Arboriculture, Savoy/ Illinois, 191 S.

Weber, K.; Mattheck, C., 2004: Der Flächenkallus. *bi galabau* 8 + 9, 118-124.