

Strategien

zur Sicherung von Buchenwäldern



Mitteilungen aus der Forschungsanstalt
für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz
Nr. 59/06

Ralf Petercord und Joachim Block (Hrsg.)

INTERREG III A - DE LUX 



Ministère de l'Environnement Luxembourg
Administration des Eaux et Forêts



Ministerium für Umwelt, Forsten und
Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz

Strategien zur Sicherung von Buchenwäldern

Ergebnisse eines Projekts im Rahmen des INTERREG III A-Programms
Deutschland-Luxemburg mit der deutschsprachigen Gemeinschaft/
Wallonischen Region Belgiens
(Förderkennziffer: 5-RLP-I-2-2)

Gemeinsamer Bericht der Administration des Eaux et Forêts Luxembourg
und der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-
Pfalz

Autorenkollektiv

Ralf Petercord und Joachim Block (Hrsg.)



Titelbilder:

oben: Buchenwollschildlaus (*Cryptococcus fagisuga* LIND.)

Foto: Ralf Petercord

mitte: Laubnutzholzborkenkäfer (*Trypodendron domesticum* L.)

Foto: Claude Parini

unten: Brandkrustenpilz (*Ustulina deusta*, PETRAK)

Foto: Ralf Petercord

Gestaltung der Titelseite: Mireille Feldtrauer-Molitor

ISSN 1610-7705

Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und
Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz, Nr. 59/06

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung
vorbehalten

Herausgeber:

Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd
Forschungsanstalt für Waldökologie und
Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz

Verantwortlich:

Der Leiter der Forschungsanstalt für Waldökologie und
Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz

Dokumentation:

Mitteilung FAWF, Trippstadt
Nr. 59/06, 214 Seiten

zu beziehen über die Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz,
Schloss D-67705 Trippstadt, Tel.: 0049-6306-911-0, Telefax: 0049-6306-911-200 e-mail:
ZDF.FAWF@wald-rlp.de

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Lucien Lux, Minister für Umwelt des Großherzogtums Luxemburg Grenzüberschreitende Zusammenarbeit zum Wohle des (Buchen-)Waldes	03
Joachim Leonhardt, Leiter der Landesforsten Rheinland-Pfalz Forstwirtschaft mit Buche - fit für die Zukunft	07
Jean-Pierre Arend, Eberhard Eisenbarth und Ralf Petercord Schadsymptome und Schadentwicklung der Buchenkomplexkrankheit in Luxemburg und Rheinland-Pfalz in den Jahren 2001 bis 2005	11
Florian Hans und Ricarda Koopmann Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen der Buchenkomplexkrankheit und den Absterberaten epiphytischer Moose im Luxemburger Oesling	23
Christoph Dittmar und Wolfram Elling Dendroökologische Untersuchungen von Buchenbeständen in der Programm-Region des INTERREG III A-Projektes	31
Werner Maurer Genetische Begleituntersuchungen zum aktuellen Schadgeschehen in ausgewählten luxemburgischen und rheinland-pfälzischen Buchenbeständen	41
Ralf Petercord Die Buchenwollschildlaus als Auslöser der Buchenrindennekrose	53
Claude Parini und Ralf Petercord Der Laubnutzholzborkenkäfer <i>Trypodendron domesticum</i> L. als Schädling der Rotbuche	63
Rosemarie Langenfeld-Heyser, Christa Lang, Eberhardt Fritz, Ralf Petercord und Andrea Polle Stehendbefall von <i>Fagus sylvatica</i> L. mit <i>Trypodendron</i> - anatomische Untersuchungen	79
Rosemarie Langenfeld-Heyser, Gerlind Fiebelkorn und Andrea Polle Können Stichverletzungen oder Frühfrostereignisse bei <i>Fagus sylvatica</i> L. Rauborkigkeit und Holzstrahlproliferationen hervorrufen?	95
Gerlind Fiebelkorn, Dieter Ernst und Andrea Polle Untersuchungen von Genexpression und physiologischen Abwehrreaktionen an gesunden und geschädigten Buchen (<i>Fagus sylvatica</i> L.)	111
Gerrit Holighaus und Stefan Schütz Strategie der olfaktorischen Wirtsfindung von <i>Trypodendron domesticum</i> L.	119
Jörg Grüner und Berthold Metzler Nectria-Arten an Buchenrinde mit Phloemnekrosen	129

Berthold Metzler und Ulrike Hecht Pilzsukzession im Bereich von Bohrgängen von <i>Trypodendron domesticum</i> an stehenden Buchen	139
Thomas Maier, Julia Engels und Stefan Seegmüller Buchenholzmarkt und Buchenholzaufkommen im DeLux-Raum	149
Jochen Kubiniok und Claus Gerber Untersuchungen zu Ursachen der Fleckenbildung in Buchenhölzern an rheinland-pfälzischen und saarländischen Standorten	157
Eberhardt Fritz, Rosemarie Langenfeld-Heyser, Andrea Polle und Ralf Petercord Mangan im braunfleckigen Holz der Buche (<i>Fagus sylvatica</i> L)	167
Dan Nicolas / Aurelio Quatraro Auswirkungen der Buchenkomplexkrankheit auf die Bewirtschaftung der Buchenbestände in FFH-Gebieten	181
Ralf Petercord Totholzmanagement in Buchenwäldern	191
Joachim Block Empfehlungen zur Sicherung der Buchenwälder unter dem Aspekt der aktuellen Buchenerkrankung	203

Grenzüberschreitende Zusammenarbeit zum Wohle des (Buchen-)Waldes

Vorwort des Ministers für Umwelt des Großherzogtums Luxemburg, Lucien Lux

Buchenwälder in Luxemburg

Die Waldfläche Luxemburgs beträgt 89.150 ha. Dies entspricht 34,3 % der Landesfläche. Luxemburg kommt bei einer Bevölkerung von 441.000 Einwohnern auf 0,2 ha Wald pro Einwohner. Im Vergleich mit dem angrenzenden Ausland zählt dieser Wert zu den höchsten. 69 % der Waldfläche werden von Laubwäldern bedeckt, 31 % von Nadelwäldern.

Die Fläche des, in diesem Projekt im Mittelpunkt stehenden Buchenwaldes beträgt rund 20.650 ha.

Was die Altersstruktur der luxemburgischen Buchenwälder angeht, so entfällt der größte Flächenanteil auf die Altersklasse von 121-140 Jahre. Diese Tatsache wirkt sich positiv auf die ökologische Funktion des Buchenwaldes aus.

Interreg III A DeLux-Projekt

Interreg III ist eine Gemeinschaftsinitiative des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung für die Zusammenarbeit zwischen den Regionen der Europäischen Union im Zeitraum 2000-2006.

Die EU unterstützt das Programm Interreg III A *DeLux* für die grenzübergreifende Zusammenarbeit zwischen Deutschland, Luxemburg und der deutschsprachigen Gemeinschaft in Belgien, das im Rahmen der Gemeinschaftsinitiative INTERREG III A finanziert wird. Schwerpunkte sind die Förderung der Wirtschaft in diesen Regionen und eine bessere Unterstützung der transnationalen Zusammenarbeit.



Was ist der besondere Anlass des Interreg III A *DeLux*-Projektes?

Seit Sommer 2000 tritt in der deutsch-luxemburgisch-belgischen Grenzregion eine Erkrankung der Buche auf. Zusammenbrechende Baumkronen sowie ein Befall von äußerlich gesund erscheinenden Buchen durch holzbrütende Insekten waren zu beobachten. Diese Tatsache hat in Luxemburg und dem angrenzenden Ausland zu erheblichen ökologischen und wirtschaftlichen Schäden geführt. Das Auftreten der Symptome hat zudem in der Region eine starke Verunsicherung bei Waldbesitzern, Forstleuten und in den buchenholzverarbeitenden Betrieben ausgelöst. Es war zudem zu befürchten, dass die Buche als wich-

tigste Baumart der naturnahen Waldbewirtschaftung durch diese Schäden einen erheblichen „Imageverlust“ erleiden könnte.

In den folgenden Jahren sahen wir es als zwingend erforderlich an, im Rahmen eines länderübergreifenden Projektes, rasch auf die beträchtlichen Waldschäden zu reagieren. Im Jahre 2002 wurde somit von den Forstverwaltungen Luxemburgs und von Rheinland-Pfalz das Interreg III A *DeLux*-Projekt „Entwicklung von Strategien zur Sicherung von Buchenwäldern“ aus der Taufe gehoben. Dieses Projekt soll die Ursachen der Erkrankung untersuchen und Strategien zur Sicherung der Buchenwälder in der betroffenen Region entwickeln. Die Arbeiten sind vor allem darauf ausgerichtet, negative Folgen der aktuellen Buchenerkrankung für den Naturhaushalt, das Landschaftsbild, die Artenvielfalt und die Nutzungsmöglichkeiten des Ökorohstoffes Buchenholz zu mindern.

Was sind die Ziele des Interreg III A *DeLux*-Projektes?

Vorrangiges Ziel des Projektes ist die Erarbeitung von Grundlagen für die Erhaltung, nachhaltige Entwicklung und nachhaltige Nutzung der durch die neuartige Erkrankung gefährdeten Buchenwälder der Programmregion *DeLux*. Aus diesem Zweck wurden alle bedeutsamen Schadfaktoren wie Insekten- und Pilzbefall, die Einwirkung von Luftschadstoffen sowie die Ursachen der beobachteten Schwächung der Abwehrkräfte der Bäume untersucht. Aus den ermittelten Befunden wurden Maßnahmen zur Erhaltung und nachhaltigen Nutzung der Buchenwälder der Region abgeleitet.

Die biologische Vielfalt und die Naturnähe der Wälder der Programmregion sollen erhalten und gegebenenfalls verbessert werden. Durch

konkrete Maßnahmen wird versucht, die Akzeptanz des Naturschutzes bei dem Waldbesitzer zu steigern.

Es ist außerordentlich wichtig, die mitteleuropäischen Buchenwälder zu erhalten und zu schützen. Dies gilt insbesondere für Gegenden, welche flächenmäßig einen relativ kleinen Anteil an Buchenwaldökosystemen aufweisen können. Hierzu zählt unter anderem das Wuchsgebiet des Luxemburger Öslings, welches stark von der Buchenkomplexkrankheit heimgesucht wurde.

Wenn heutzutage in Luxemburg sich zahlreiche Buchenbestände durch eine relativ hohe biologische Vielfalt und einen ökologisch gesehen, guten Zustand hervortun, so ist dies vor allem auf eine über Jahrzehnte hinweg durchgeführte naturnahe Waldwirtschaft zurückzuführen. Die Philosophie des naturnahen Waldbaus wurde ebenfalls im *Nationalen Plan für eine nachhaltige Entwicklung* festgehalten und dürfte weiterhin zu einer Anreicherung der Vielfalt unserer Buchenwälder führen.

Naturnahe Buchenwälder - Garant für Biodiversität

Verschiedene Buchenwaldhabitate stehen zudem im Anhang der NATURA 2000-Richtlinie und werden somit als schützenswert angesehen. Im Sinne der Richtlinien für eine nachhaltige Bewirtschaftung müssen die Forsteinrichtungswerke der von der Buchenkomplexkrankheit betroffenen Gebiete den aktuellen Gegebenheiten Rechnung tragen. Dies gilt umso mehr, da für die Gebiete in der Programmregion ein Verschlechterungsverbot vorgeschrieben ist. Inwieweit die aktuelle Buchenerkrankung die Ziele des NATURA 2000-Programms gefähr-

det, wird in einem folgenden Beitrag dargestellt.

Zudem sind die Buchenwälder Bestandteil von Naturwaldreservaten, die ihrer natürlichen Entwicklung überlassen werden und sich in das zukünftige Biodiversitäts-Netzwerk einfügen. Diese Flächen übernehmen die Funktion einer genetischen Reserve und bilden das Ziel wissenschaftlicher Beobachtungen. Trotzdem sollen die Naturwaldreservate keine abgeriegelten Schutzgebiete darstellen, sondern weiterhin der Naherholung und Schulung dienen. Die luxemburgische Regierung strebt an, bis 2010 5 % der Waldfläche als Naturwaldreservate auszuweisen und eine angepasste Betreuung zu gewährleisten.

Für die Auswahl der Naturwaldreservate, auf denen dynamische Prozesse mit möglichst großen räumlich-zeitlichen Dimensionen geschützt werden sollen, spielen langfristige Kriterien eine wichtige Rolle. Hierzu zählen vor allem die Flächengröße, der Vernetzungsgrad der Fläche mit benachbarten Flächen gleicher Art, sowie das Potential zur Erlangung von Naturnähe. Die Gebiete sollen darüber hinaus die Vielfalt der Luxemburger Waldgesellschaften repräsentativ erfassen. Ein Großteil der geplanten, unter Schutz zu stellenden Fläche kommt hierbei Buchengesellschaften zu.

Totholz ist ein sehr wichtiges Element unserer Waldökosysteme.

Im Rahmen des Waldnaturschutzes wird daher eine Anhebung des Totholzvorrates in den Wäldern angestrebt. Die Beziehung zwischen dem durch die Komplexkrankheit in unseren Buchenwäldern massiv anfallenden Totholz und den Forstschädlingpopulationen sind Teil

der Untersuchungen, welche im Rahmen dieses Projektes durchgeführt wurden.

Nicht zuletzt wird durch den Schutz unserer Buchenwälder, der parallel mit dem Erhalt des Landschaftsbildes einhergeht, die touristische Attraktivität der walddreichen Regionen des Grenzraumes gesichert.

Ökorohstoff Buchenholz - vielfältig nutzbar

Die Nutzungsmöglichkeiten des Ökorohstoffes Buchenholz aus der Programmregion sollen gesichert werden. Durch grenzüberschreitende Buchenholznutzungsstrategien und Vermarktungskonzepte wird eine Stabilisierung/Steigerung der Verwendung des nachwachsenden Rohstoffes Buchenholz angestrebt.

Die durch die Buchenkomplexkrankheit hervorgerufene Verunsicherung der Waldbesitzer und vor allem der Holzverarbeitenden Betriebe im Hinblick auf das tatsächliche Ausmaß der schadensbedingten Qualitätsmängel im Buchenrohholz hemmt einen konsequenten Einsatz des regional nachwachsenden Rohstoffes Buchenholz in der Programmregion. Im Rahmen dieses Teilprojektes sollen grenzüberschreitende alternative Buchenholznutzungsstrategien und Vermarktungskonzepte entwickelt werden, die der regionalen Holzverwendung durch transregionale Zusammenarbeit neue Impulse verleihen.

Als einer der Schwerpunkte des Projektes gilt die Förderung des Absatzes von rotkernigem Buchenholz. Trotz seiner uneingeschränkten Verwendungsmöglichkeiten kann dieses Holz nur mit einem erheblichen Preisabschlag gegenüber rein weißem Buchenholz verkauft werden. Als Grund wird oft die fehlende Nachfrage für rotkerniges Holz beim Kunden angeführt. Daher ist es essentiell, den potentiellen Käufer mit Produkten aus diesem verfärbten

Holz zu konfrontieren und ihn von der Lebendigkeit des rotkernigen Holzes zu überzeugen.

Grenzüberschreitende Zusammenarbeit

Schließlich dient das Projekt der Intensivierung der grenzüberschreitenden Zusammenarbeit der Forstdienststellen und der für die Landespflege und den Naturschutz zuständigen Experten in der Programmregion. Luftverschmutzung, Rückgang der Artenvielfalt und Schädlingskalamitäten sind nur einige Beispiele, die aufzeigen, dass Umwelt- und Forstschutz keine nationale Grenzen kennen. Die effiziente Lösung ökologischer Fragestellungen setzt eine ebenso effiziente Zusammenarbeit der Behörden und Experten benachbarter Länder voraus. Dieser Berichtsband, aber auch die Fülle gemeinsam durchgeführter Veranstaltungen und insbesondere auch die aus der Projektkooperation ent-

standene Zusammenarbeit bei der grenzüberschreitenden Erhaltung seltener Baumarten beweisen, dass dieses Ziel erreicht wurde.

Die soziale, umweltpolitische, gesundheitsfördernde, gesellschaftliche, ja wirtschaftliche Bedeutung des Waldes steht außer Zweifel. Aber es bedarf noch großer Anstrengungen, dass dieser Bedeutung in allen anderen Politiken Rechnung getragen wird.

Ich bin mir sicher, dass das Projekt „Sicherung von Buchenwäldern“ einen Beitrag hierzu geleistet hat. Deshalb geht mein Dank an jeden Einzelnen und die beteiligten Institutionen für das bisher Geleistete, sowie mein Wunsch für eine erfolgreiche Umsetzung in der Praxis und eine Fortsetzung und Intensivierung der Zusammenarbeit.

Forstwirtschaft mit Buche - fit für die Zukunft

Vorwort des Leiters der Landesforsten Rheinland-Pfalz, Ministerialdirigent Joachim Leonhardt

Nachhaltigkeit / grenzenlos

Kaum ein anderer Begriff hat in den letzten Jahrzehnten eine solche Karriere gemacht wie der Begriff der Nachhaltigkeit. War er zunächst ein rein forstlicher Bewirtschaftungsgrundsatz, so ist er heute eine generelle Maxime politischen Handelns.

Der Weltgipfel der Vereinten Nationen 1992 in Rio de Janeiro, die daraus folgenden Übereinkommen über die biologische Vielfalt und v.a. auch die Ministerkonferenzen zum Schutz der Wälder in Europa sind Meilensteine dieser Entwicklung. Sie bezeugen zugleich, wie aus einer technischen Regel ein Prozess und ein umfassendes Programm für das menschliche Miteinander und den Umgang mit den Ressourcen wurde. Im Forstsektor ist es inzwischen selbstverständlich geworden, unser Handeln an international vereinbarten Kriterien und Indikatoren zu Nachhaltigkeit zu messen.

Bei globaler Betrachtung kommt man zum Schluss: Nachhaltigkeit ist der Schlüssel zur Verhinderung von Verteilungskonflikten. Nachhaltigkeit ist Friedenssicherung.

Nachhaltigkeit bedeutet auch, Zukunftsstrategien zu entwickeln. Die Veränderung des Klimas, das immer häufigere Auftreten von Witterungsextremen und ihren Folgen mit teilweise erheblichen wirtschaftlichen und ökologischen Schäden muss im Zentrum der Ausrichtung der Wälder der Zukunft liegen. Ohne Analyse von Ursache-Wirkungs-Beziehungen ist es uns unmöglich, Risiko zu streuen und Leitbilder für die Wälder der kommenden Jahrhunderte zu



entwerfen. Das Interreg-Buchen-Projekt leistet hierzu einen entscheidenden Beitrag.

Die Natur kennt keine Grenzen. Die Natur hat ihre eigenen Gesetze, hat ihre eigene Macht. Und dennoch ist Natur sensibel und verletzlich. Um so wichtiger ist es, Kräfte zu bündeln, gemeinsame Anstrengungen zu unternehmen und auch Forschung und Handlungsprogramme zu koordinieren, wenn Natur bedroht ist.

Im Interreg III A-Projekt „Entwicklung von Strategien zur Sicherung von Buchenwäldern“ ist dies in hervorragender Art und Weise gelungen.

Buche in Rheinland-Pfalz

Kommen wir nun von der globalen Betrachtung zur regionalen Sichtweise: Lassen Sie mich in wenigen Sätzen auf die Bedeutung der Buche im Land Rheinland-Pfalz eingehen.

Wie nur wenige andere Länder wird Rheinland-Pfalz von der Buche dominiert. Auf über 90 % der Landesfläche ist das Fagetum die natürliche Waldgesellschaft. Wir sind froh, in der aktuellen Bestockung zu rund 56 % Laubwälder vorzufinden, die durch Buche geprägt sind

bzw. deren natürlichen Vegetationsserie zu Buchenwäldern hin verläuft. Die Prognose für eine naturnahe Waldentwicklung, die durch stabile und elastische Strukturen fit ist für die Zukunft, fällt somit sehr günstig aus.

Wir bekennen uns klar zum durch Buche geprägten Wald. Sie ist ein globales Alleinstellungsmerkmal unserer Forstwirtschaft. Fageten gibt es weltweit nur in Europa und hier wiederum kaum in einer anderen Region in dieser Ausprägung. Der hohe Anteil von Buchenwald-Lebensraumtypen in den Flächen des europäischen Schutzgebietsnetzes Natura2000 ist Zeugnis dieser besonderen Rolle.

Die Bundeswaldinventur hat uns gezeigt, dass die Nutzungspotentiale bei Buche erheblich sind und unter Wahrung aller Aspekte der Nachhaltigkeit noch weiter zu steigern sind. Die Buche wird daher künftig auch einen hohen ökonomischen Stellenwert behalten. Die Ursachenforschung bei Schäden in Buchenwäldern und die Entwicklung von Behandlungsstrategien haben somit eine unmittelbare wirtschaftliche Bedeutung für die Waldbesitzenden.

Wir dürfen jedoch nicht vergessen, dass nicht etwa die Euphorie über unsere Buchenwälder Anlass für das Projekt war, sondern gravierende und plötzlich auftretende Schäden in Buchenwäldern. Das Ausmaß und die Rasanz der Entwicklung sind neu und geben erheblichen Grund zur Sorge.

Das Interreg-Buche-Projekt wurde daher sehr schnell ins Leben gerufen.

Forschungsverbund / Untersuchungsschwerpunkte

Die Struktur des Projektes mit ihrem For-

schungsverbund und der Einbindung vielfältiger Disziplinen bildet Herausforderungen und die daraus resultierenden Aufgaben in nahezu idealer Weise ab. Auch die Beiträge in diesem Berichtsband zeigen die Breite des Spektrums von Untersuchungen auf.

Alle Studien zu Fragen des Schadensausmaßes und der möglichen Ursachen oder auch Bekämpfung sind daher von zentraler Bedeutung. Neben den fast schon klassischen Untersuchungen, die die gesamten standörtlichen und klimatischen Aspekte beleuchten, ist es ein besonderes Novum des Projektes, auf Fragen der genetischen Disposition sowie der Wechselbeziehungen zu Insekten und Pilzen einzugehen. Besondere Aufmerksamkeit hat zwischenzeitlich auch der Gesichtspunkt erlangt, in wie weit die Einlagerung von Mangan in das Holz und die Bildung von Flecken eine neue Kategorie „Neuartiger Waldschäden“ bilden.

Aber noch andere offene Fragen stellen sich: Wie geht es weiter mit der Behandlung des durch Buche geprägten Waldökosystems? Wie sichert man wirtschaftliche und ökologische Standards? Ich halte es für äußerst gelungen, dass es im Zuge des Projektes möglich wurde, auch diese forstbetrieblichen und forstpolitischen Themen aufzunehmen. Es ist von ganz zentraler Bedeutung, den Forstbetrieben Hinweise zu geben, welche waldbaulichen Aktivitäten notwendig und sinnvoll sind, welche besonderen Hinweise in der Unfallverhütung und Verkehrssicherung gegeben werden müssen. Nicht zuletzt auch der Umgang mit Managementplänen und Verschlechterungsverboten in Natura2000 gewinnt eine ganz neue Dimension, wenn Buchenwälder sich großflächig auflösen.

Ein dritter und nicht minder wesentlicher Aspekt der Entwicklung von Strategien zur Sicherung von Buchenwäldern ist die Frage, welche Formen der Vermarktung von Buchenholz über die bestehenden Möglichkeiten hinaus eröffnet werden können. In einer ohnehin nicht günstigen Marktsituation sind vielfältige Anstrengungen zu unternehmen, ein Mehraufkommen an Buche gezielt und zeitnah zu vermarkten. Die Forstbetriebe sind über das eigentliche Schadereignis und die Auflösung der Bestände hinaus hier existenziell auf Unterstützung angewiesen. Ich freue mich sehr, dass auch diesem Gesichtspunkt in besonderem Maße Rechnung getragen wurde und nicht nur der regionale Cluster Forst und Holz analysiert, sondern auch neue Wege bei der Vorstellung des Produktes Buchenholz für stoffliche und thermische Nutzung beschrritten wurden.

So waren die Präsentation rotkerniger Buche bei der Landesgartenschau in Trier im Jahr 2004 mit allein dort 32.000 Besuchern oder die diesjährigen Beiträge bei der Ökomesse in Luxemburg und der Messe „Renovieren und Sanieren“ in Trier überzeugende und nicht nur innovative, sondern auch schöne und handwerklich gelungene Wege.

Dank

Last but not least gilt es an dieser Stelle Dank zu sagen.

Danke für das große Engagement eines jeden Einzelnen, danke für das große Engagement, das von den insgesamt 10 beteiligten Institutionen aufgebracht wurde. Ein Blick auf den Internet-Auftritt des Projektes und auch die über 30 Veröffentlichungen zum Thema sind bered-

tes Zeugnis einer großartigen Arbeit.

Mein Dank richtet sich aber auch an die EU, deren Co-Finanzierung dieses Projekt überhaupt erst ermöglicht hat und die über diese Förderung treibende Kraft bei der Realisation derartiger Vorhaben ist.

Vergegenwärtigt man sich die Zielsetzung des Interreg III A-Programmes, so heißt es dort:

(Zitat)

„Wesentliches Ziel ist es, die gemeinsame Entwicklung des Programmgebiets in ökonomischer, soziokultureller und ökologischer Sicht voranzutreiben. Hierzu bedarf es einer intensivierten und weiter systematisierten grenzüberschreitenden Zusammenarbeit, die den Abbau noch bestehender grenzbedingter Hemmnisse und Nachteile und eine effiziente Nutzung der grenzüberschreitenden Potentiale verfolgt.“

Ich stelle fest: Diese Zielsetzung wurde in den zurückliegenden Jahren voll und ganz erfüllt.

Ausblick

Ich wünsche uns allen eine Fortsetzung der über dieses konkrete Projekt hinausgehenden Arbeit. Viele Fragen sind noch offen, in vielen Fällen konnten zunächst erst Anstöße gegeben werden, die weitere Arbeit an den Themen notwendig machen.

Ganz besonders wünsche ich mir aber auch die Fortsetzung der grenzüberschreitenden Zusammenarbeit. Hier zeigt sich, dass das gemeinsame Europa nicht nur vertragliches Konstrukt ist, sondern auch auf fachlicher, kollegialer und freundschaftlicher Ebene gelebt wird.

Buchenkomplexkrankheit in Luxemburg und Rheinland-Pfalz - Schadsymptome, Ausmaß und Entwicklung der Schäden

Arend, J.-P., Eisenbarth, E. und Petercord, R.

Zusammenfassung

Die seit Sommer 2000 in Luxemburg, Teilen von Rheinland-Pfalz, Walloniens und dem nordöstlichen Frankreich auftretenden Schäden in Buchenbeständen entsprechen von ihrer Symptomatik her weitgehend der bereits 1878 von R. HARTIG beschriebenen Buchenrindennekrose. Allerdings wurden beim aktuellen Krankheitsgeschehen und auch in den Vorjahren nur die Symptome des Endstadiums dieser Erkrankung (flächige Rindenschäden, Befall durch holzbrütende Insekten und holzzerstörende Pilze, Stammbruch), nicht aber die Anfangssymptome (Buchenwollschildlausbefall, Schleimfluss, Rindennarben) beobachtet. Jahrringanalysen belegen eine Entstehung der Kambiumnekrosen Mitte der 90er Jahre.

In Luxemburg wurden die Schäden im Jahr 2004 von einem externen Unternehmen kartiert. Insgesamt konnten auf einer Fläche von 340 ha Schäden mit einem stehenden Schadholumen von etwa 5.400 fm nachgewiesen werden. Der Schwerpunkt lag in den Forstämtern Wiltz und Mersch.

In Rheinland-Pfalz wurden die Schäden in den Jahren 2001 bis 2005 jährlich von den Forstämtern der betroffenen Region eingeschätzt. Dabei wurden jährlich ca. 43.000 ha Buchenwälder erfasst. Die Schadfläche stieg von 200 ha im Jahr 2001 auf 435 ha im Jahr 2005 an. Die Buchenwälder des Forstamtes Bitburg waren mit einem Anteil von Buchenbeständen mit Schadsymptomen von etwa 3 % an der gesamten aufgenommenen Buchenwaldfläche am stärksten betroffen. Insgesamt wurde in Rheinland-Pfalz eine Schadholumenge von 84.000 fm gemeldet.

Zwischen dem Auftreten der Erkrankung und Standortfaktoren wie Höhenlage, Trophie oder Wasserversorgung wurden keine Zusammenhänge gefunden. Betroffen waren Bestände ab der zweiten Altersklasse mit einem Schwerpunkt in über 120-jährigen Beständen. In jüngeren Beständen waren vornehmlich die vorherrschenden Bäume, in mittelalten und älteren Beständen alle sozialen Klassen gleichermaßen erkrankt.

Schlüsselwörter: Buchenkomplexkrankheit, Buchenrindennekrose, Schadsymptome, Schadentwicklung, Standorte, Befallsschwerpunkte, INTERREG DeLux

The beech complex disease in Luxembourg and Rhineland-Palatinate - damaging symptoms, extent and history of the damage

Summary

The damages observed in beech (*Fagus sylvatica*) stands since summer 2000 in Luxembourg, some regions of Rhineland-Palatinate, the Wallonie (Région Wallone in Belgium) and the north-eastern part of France largely resemble the symptoms of the beech bark necrosis which had already been described by R. HARTIG in 1878.

However, for the damaging incidence occurring currently as well as in the years before, only the symptoms of the final stage of this disease (extended bark damages, infestation by timber-breeding insects and wood-destroying fungi, broken boles) were observed, but not the initial symptoms (attack by the beech scale *Cryptococcus fagisuga*, slime flux, bark scarves). Annual ring analyses reveal that the origin of cambium necroses happened in the mid-1990s.

In Luxembourg the damages were mapped by an external employer in the year 2004. Within an area of 340 ha, the damages aggregated to a volume of damaged standing wood of about 5.400 cubic meters. The damaging center was determined to be located in the forest districts of Wiltz and Mersch.

In Rhineland-Palatinate the damages in the years 2001 to 2005 were estimated annually by the forest district offices of the regions concerned. Approximately 43.000 ha of beech forests were recorded annually. The total area of damaging increased in 2001 from 200 ha to 435 ha in 2005. Beech forests located in the forest district Bitburg were affected most seriously by a portion of beech stands exhibiting damaging symptoms at about 3% of the total area of registered beech forest. 84.000 cubic meters of damaged wood were recorded in Rhineland-Palatinate.

No correlations were found between the occurrence of the disease and site factors like altitudinal location, trophy or water supply. Stands found to be damaged included those from the second age class up to stands aged 120 years and older, the latter exhibiting the maximum of damaging. In younger stands primarily the predominant trees were affected by the disease, in middle-aged and in older stands all social classes were affected equally seriously.

Keywords: Beech complex disease, beech bark disease, damaging symptoms, damaging history, sites, centres of infestation, INTERREG DeLux

Einleitung

In den vergangenen Jahren wurde die Buchenwirtschaft in Luxemburg und Rheinland-Pfalz durch mehrere Schadereignisse negativ beeinflusst. Im Einzelnen handelt es sich dabei um eine Erkrankung der Buchenrinde, die zunächst entsprechend ihrer vielfältigen Symptomatik als Buchenkomplexkrankheit bezeichnet wurde, einen Stehendbefall vital erscheinender Buchen durch den holzbrütenden Borkenkäfer *Trypodendron domesticum* L. und - in Rheinland-Pfalz und dem angrenzenden Saarland - braunfleckige Holzverfärbungen, die eine technische Entwertung des Holzes darstellen. Alle drei Schadphänomene stellen für sich bereits eine Gefährdung für die Erhaltung und Entwicklung der europaweit bedeutsamen Lebensraumtypen der Buchenwälder dar, so dass die wissenschaftliche Bearbeitung und die Entwicklung von Strategien zur Gefahrenabwehr geboten schien.

Im Folgenden wird über die Entwicklung der Buchenkomplexkrankheit im Zeitraum 2001 bis 2005 in Luxemburg und Rheinland-Pfalz berichtet. Ausführungen zum Stehendbefall durch *Trypodendron*

domesticum L. finden sich in dem Beitrag von PARINI und PETERCORD (2006), über die braunfleckigen Holzverfärbungen berichten KUBINIOK und GERBER (2006) sowie FRITZ et al. (2006).

Beschreibung der Schadsymptome der Buchenkomplexkrankheit

Die Buchenkomplexkrankheit trat erstmals im Sommer 2000 in Luxemburg sowie in Teilen von Rheinland-Pfalz, Wallonien und dem nordöstlichen Frankreich vermehrt in Erscheinung (EISENBARTH et al. 2001). Innerhalb der Bestände verteilen sich die betroffenen Bäume in der Regel einzelstammweise über den ganzen Bestand. Teilweise kam es aber auch zu gruppenweisen Ausfällen bis hin zu einem bestandesbedrohenden Umfang. Die Belaubung der erkrankten Buchen war unauffällig und konnte nicht zur Krankheitserkennung herangezogen werden.

Charakterisiert wird die Krankheit durch ein partielles Absterben des Kambiums, das allerdings erst im Endstadium der Krankheit durch ein Aufreißen bzw. Aufplatzen der Rinde über der Kambium-

nekrose (Abb. 1) bzw. dem Auftreten von Pilzfruchtkörpern (Abb. 2) sichtbar wird. Der Holzkörper ist zu diesem Zeitpunkt bereits stark von den holzerstörenden Pilzen durchsetzt (Abb. 3) und seine holztechnischen Eigenschaften damit stark eingeschränkt.

Das Aufreißen der Rinde und das Auftreten der Pilzfruchtkörper wurde mehrheitlich auf den nord-exponierten Stammseiten in einer Stammhöhe von 4 bis 8 m, teilweise auch bis in die Höhe des Kronenansatzes hinauf beobachtet. Die Kambiumnekrosen sind spindelförmig. Ihre Längsausdehnung kann mehrere Meter betragen, während die Breite an der breitesten Stelle 1/4 bis 1/3 des Stammumfangs ausmachen kann.

Häufig findet sich in diesem Krankheitsstadium auch ein massiver Befall holzbrütender Insekten, insbesondere durch den Sägehörnigen Werftkäfer *Hylecoetus dermestoides* und den Laubnutzholzborkenkäfer *Trypodendron domesticum*, der durch den massiven Auswurf weißen Bohrmehls leicht erkennbar ist (Abb. 4). Diese vorwiegend technischen Lagerholzschädlinge befallen nur absterbende oder frisch gefällte Bäume. In ihren Brutgängen, die tief in den Stamm eindringen, dienen ihnen Pilzhyphen eines an den Wänden wachsenden *Ambrosia*-Pilzes als Nahrung. Der Nährpilz wird durch die Larven von *Hylecoetus dermestoides* bzw. die Elterntiere von *Trypodendron domesticum* in die Fraßgänge bzw. bei der Anlage der Brutgänge eingeschleppt. Ein späteres Absterben der Pilzkultur bewirkt eine Schwarzfärbung der charakteristischen Fraßgänge.

In Luxemburg wurde an erkrankten Buchen zudem eine schwarze Verfärbung und Verfilzung der Moos- und Flechtenschicht bis hin zum Absterben derselben beobachtet (Abb. 5). Inwieweit es sich dabei tatsächlich um ein Erkennungsmerkmal der Erkrankung handelt wurde von HANS und KOOPMANN (2006) untersucht.

Letztlich sterben die erkrankten Buchen durch einen Stammbruch infolge der weitgehenden Holzersetzung durch Pilzbefall ab. Zwischen dem Erkennen der Krankheit und dem finalen Stammbruch können wenige Monate bis mehrere Jahre vergehen.

Insgesamt handelt es sich bei der beobachteten Symptomatik um das Endstadium der Buchenrindennekrose, die erstmalig bereits 1878 von ROBERT HARTIG beobachtet und seitdem unter verschiedenen synonymen Bezeichnungen beschrieben wurde. In der Vergangenheit wurde die Erkrankung durch Symptome, die im Vorfeld der eigentlichen Holzentwertung auftreten, jedoch frühzeitig entdeckt. Bei diesen Symptomen handelt es sich um Massenvermehrungen der Buchenwollschildlaus (Abb. 6), Schleimflussflecken (Abb. 7) und charakteristische Rindennarben (Abb. 8). Allerdings wurden diese Anfangssymptome weder beim aktuellen Krankheitsgeschehen noch in den Vorjahren in größerem Umfang beobachtet, so dass die Erkrankung scheinbar schlagartig in den Beständen auftrat. Den Waldbesitzenden fehlte damit jede Möglichkeit, in angemessener Weise frühzeitig auf die Krankheit zu reagieren und finanzielle Verluste zu minimieren. Jahrringanalysen, die 2001 direkt nach der Krankheitserkennung an erkrankten Buchen durchgeführt wurden, zeigen, dass die Kambiumnekrosen bereits Mitte der Neunziger Jahre entstanden sind (Abb. 9). Die Krankheit kam also bereits seit mehreren Jahren unerkannt in den Beständen vor. Eine ausführliche Darstellung der Krankheitsursache und des Krankheitsverlaufs findet sich im Beitrag von PETERCORD (2006a).

Schadkartierung zur Buchenkomplexkrankheit

Die Kartierung der Schäden erfolgte mit dem Ziel, die zeitliche Dynamik und räumliche Entwicklung der Krankheit zu ermitteln. Fußend auf diesen Erkenntnissen können wesentliche Entscheidungen getroffen werden, wie dringend und in welchem Ausmaß Gegenmaßnahmen zu ergreifen sind.

Zur großflächigen Aufnahme wurden für die Feldarbeit erstmals GPS unterstützte Handrechner (PDA) eingesetzt, auf welchen die Datenerfassung durch informatisierte Formulare unterstützt wurde.

Gebietsbeschreibung

Luxemburg

Der Großteil der in Luxemburg betroffenen Fläche erstreckt sich über das Ösling, den luxemburgi-

schen Teil der Ardennen und des Rheinischen Schiefergebirges. Durchzogen von tief eingeschnittenen Flusstälern liegen die Höhen über NN zwischen 200 und 550 m. Hohe jährliche Niederschläge von 800 bis 1.000 mm im Mittel zeichnen diese Gegend ebenso aus wie niedrige Jahresmitteltemperaturen ($7^{\circ}\text{C} - 9^{\circ}\text{C}$).

Das ganze Ösling besteht geologisch aus Devon, welcher von Schiefergestein und Quarziten gebildet wird. Die meist flachgründigen steinig-lehmigen Böden sind nicht oder mäßig vernässt. Durch das Ausgangsgestein bedingt, herrschen saure Böden vor.

Im Mittel liegt das Bewaldungsprozent bei 50 %, kann aber regional 75 % erreichen. Heute machen die Hainsimsen-Buchenwälder nur noch 15 % der Waldflächen aus. In den letzten beiden Jahrhunderten wurden die natürlichen Buchenwaldgesellschaften großflächig durch Eichenniederwälder und Fichten- resp. Douglasienaufforstungen ersetzt.

Entlang der belgischen Grenze zieht sich das Schadgebiet im Gutland etwa bis nach Steinfurt hin. Geologisch jüngere Schichten lösen das Devon ab. Vom Muschelkalk bis hin zu Keupergesteinen können viele Varianten angetroffen werden. Die mittleren Jahresniederschläge liegen zwischen 850 und 950 mm, die mittlere Jahrestemperatur bei ($8^{\circ}\text{C} - 9^{\circ}\text{C}$).

Rheinland-Pfalz

In Rheinland-Pfalz trat die Buchenkomplexkrankheit in den nordwestlichen und nördlichen Landesteilen in Erscheinung. Betroffen waren Buchenbestände in der West- und Osteifel, im Gutland, im westlichen Hunsrück sowie in geringerem Umfang auch im Westerwald.

Der Größe der betroffenen Region entsprechend variieren die klimatischen und standörtlichen Bedingungen teilweise in erheblichem Umfang. Insgesamt kann das Klima jedoch als kühl-gemäßigt, atlantisch geprägt eingestuft werden. Die höchsten Erhebungen finden sich mit 700 bzw. 800 m ü. NN in der Westeifel, dem westlichen Hunsrück und im Westerwald. Sie haben ihren Ursprung in devonischen Quarzitrücken. Die tiefsten Lagen finden sich

im Übergang zu den Tälern von Saar, Mosel und Rhein in Höhenlagen von ca. 150 m ü. NN. Entsprechend dieser Höhenunterschiede und der teilweisen Lage im Regenschatten der westlich vorgelegerten Höhen schwankt die mittlere Niederschlagsmenge zwischen 550 – 800 mm/Jahr in der Osteifel und 800 - 1.100 mm/Jahr im westlichen Hunsrück bzw. in den Höhenlagen von Westeifel und Westerwald. Analog dazu stellen sich die Temperaturverhältnisse dar, die eine Schwankungsbreite bezogen auf die Jahresmitteltemperatur ($6^{\circ}\text{C} - 9^{\circ}\text{C}$) von 3°C aufweisen. Neben den devonischen Grundgesteinen, von denen neben dem Quarzit auch sandige Schiefer und Tonschiefer vorkommen, finden sich in der Region auch Standorte mit Mergel, Kalken, Kalksandsteinen, Dolomiten, Buntsandsteinen oder Ergussgesteinen, wie Basalt, Phonolith und Bims als geologisches Grundgestein. Teilweise sind diese durch mehr oder minder mächtige tertiäre Deckschichten und/oder diluviale Decklehme (kalkfreie Lößlehme) überlagert. Entsprechend des jeweils vorliegenden Ausgangsmaterials haben sich unterschiedliche Bodentypen entwickelt (ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG, 1985). Die Mehrheit der Buchenbestände stockt auf meist basenarmen Braunerden in der submontanen bis montanen Stufe. Es finden sich aber auch Bestände auf verschiedenen basenreichen Bodentypen.

Großflächige Kartierung der von der Buchenkomplexkrankheit betroffenen Buchenbestände

Methodik

In Rheinland-Pfalz wurde seit 2001 die jährliche Schadentwicklung von den Forstämtern der betroffenen Regionen für alle Buchenbestände eingeschätzt und an das Waldschutzreferat der Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd gemeldet. 2003 wurden die Aufnahmen, aufbauend auf den Erfahrungen aus den Vorjahren, durch eine Ansprache der einzelnen Schadsymptome und eine anschließende Einstufung des jeweiligen Bestandes in eine Schadstufe detaillierter und objektiver durchgeführt.

Neben den herkömmlichen Angaben zum Waldort und den Naturaldaten der Bestände wurde in der



Abb. 1: Abplatzende Rinde
Fig. 1: Chipping off bark



Abb. 2: Fruchtkörper holzersetzender Pilze
Fig. 2: Fruit body of wood destroying fungi



Abb. 3: Ausdehnung des Pilzbefalls im Holz
Fig. 3: Expansion of the fungal attack in the wood



Abb. 4: Auswurf weißen Bohrmehls nach Käferbefall
Fig. 4: Ejection of white boring powder after beetle infestation



Abb. 5: Veränderungen von Flechten und Moosen auf der Rindenoberfläche
Fig. 5: Changes of lichens and mooses on the bark surface



Abb. 6: Massenvermehrung der Buchenwollschildlaus (*Cryptococcus fagisuga* LIND.)
 Fig. 6: Mass propagation of the beech scale (*Cryptococcus fagisuga* LIND.)



Abb. 7: Schleimflussfleck
 Fig. 7: Mark of slime flux



Abb. 8: Rindennarben
 Fig. 8: Scars on the bark surface

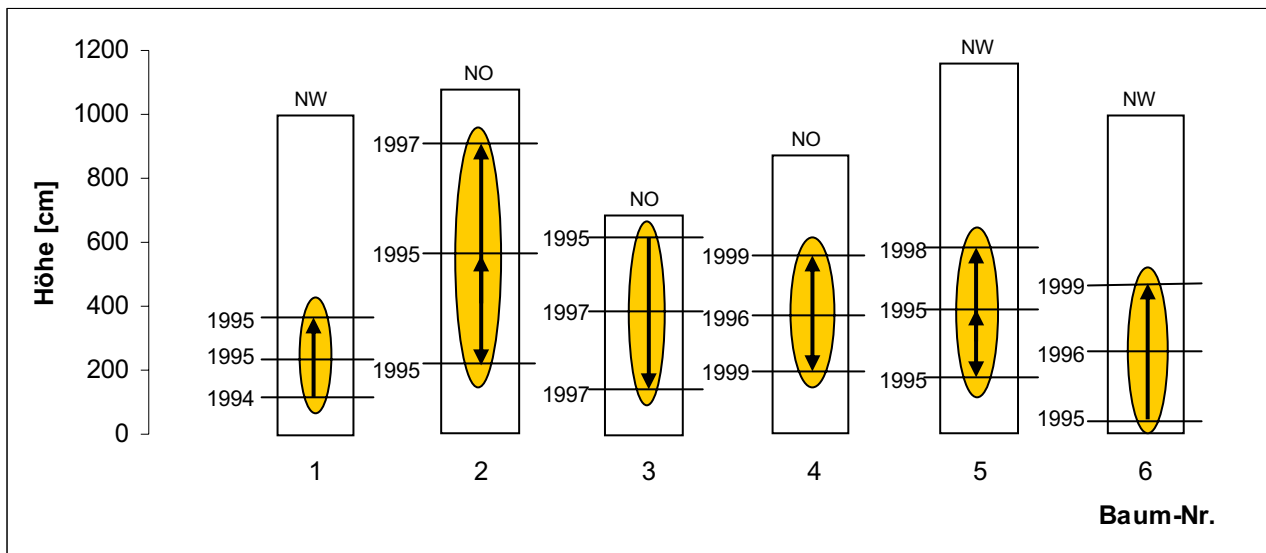


Abb. 9: Schematische Darstellung der Ausdehnung und Exposition der Kambiumnekrosen an sechs Buchenstämmen in nordwestlicher (NW) und nordöstlicher (NO) Exposition. Pfeile zeigen die Richtung der vermuteten Nekroseentwicklung. Jahreszahlen geben das Jahr des letzten intakten Jahrrings in der jeweiligen Stammhöhe wieder.

Fig. 9: Schematic representation of the expansion and exposition of the cambium necrosis on six beech trunks on north-west (NW) and north-east (NO) exposed sides. Arrows indicate the direction of the assumed necroses development. Years indicate the year of the last intact annual ring in the respective stem height.

Forstamtsumfrage das Vorkommen nachfolgender Krankheitssymptome abgefragt:

- Befall durch Buchenwollschildlaus
- Schleimfluss
- raue Rindenstruktur
- Veränderung des Moosbesatzes
- Rindenrisse
- Rindenablösungen
- Pilzkonsolen
- Frischer Befall durch Holzbrüter

Neben dieser Symptomabfrage, die als Ja/Nein-Entscheidung konzipiert war, wurden die Exposition der Schäden an der Mehrheit der Stämme, der Austriebsstatus, die Verteilung der erkrankten Stämme im Bestand, die effektive Befallsfläche, die geschätzte Schadholzmenge sowie die bisher durchgeführten forstsanitären Maßnahmen abgefragt. Jeder Bestand wurde entsprechend seinem Krankheitsbild einer Schadstufe zugeordnet. Dabei wurde zwischen einer Warnstufe und vier Krankheitsstufen unterschieden. In die Warnstufe fallen Bestände, in denen an mehreren Stämmen ein auffälliger Befall durch die Buchenwollschildlaus, frische oder alte Schleimflussflecke, eine auffällige Veränderung der Rindenstruktur oder eine auffällige Veränderung der Moosflora beobachtet wurde. Der Krankheitsstufe 1 wurden Bestände zugeordnet, in denen Einzelstämme bzw. bis zu 10 % der Buchen akute Krankheitssymptome der Buchenrindennekrose aufwiesen. Sind 11 bis 25 % der Buchen erkrankt und über die Fläche einzelne abgebrochene Buchen verteilt, so wurde der Bestand der Krankheitsstufe 2 zugeordnet. Die Krankheitsstufe 3 ist durch 26 bis 60 % erkrankte Buchen und mehrere über die Fläche verteilte abgebrochene Buchen gekennzeichnet. Bestände, in denen über 60 % der Buchen akute Krankheitssymptome aufwiesen und bereits viele abgebrochene Buchen vorhanden waren, bilden die Krankheitsstufe 4.

In Luxemburg wurde das Ausmaß der Schäden von einem externen Unternehmen im Rahmen eines Werkvertrages ermittelt. Die Aufnahmen wurden

2004 nach der gemeinsam mit den rheinland-pfälzischen Partnern ausgearbeiteten Richtlinie durchgeführt.

Einbindung in ein geographisches Informationssystem

Mit der Einführung eines digitalen Erfassungssystems im Rahmen der Schadpunktkartierung wurden verschiedene Ziele verfolgt. Mit Hilfe der GPS-Positionsanzeige in Echtzeit sowie der Hinterlegung einer topographischen Karte (1:25.000) sollten die Orientierung und Navigation im Gelände unterstützt werden. Die Aufnahmen wurden mit Hilfe eines Pocket-PCs durchgeführt. Mit den in ArcPad eingesetzten Formularen für die Sachdatenerfassung sollen analoge Formulare ersetzt werden und schon beim Gang in das Gelände digitale Daten erzeugt werden. Das GIS-Programm ArcPad-Studio ermöglichte es, durch eine spezifische Benutzeroberfläche und eines installierten Aufnahmeformulars, die Schäden in den Buchenbeständen digital zu erfassen und so in ein geographisches Informationssystem einzubinden. Durch den Einsatz von ArcPad lagen diese dann im Shape-Format vor und konnten zum Beispiel in ArcView/ArcGIS ohne weiteren Konvertierungsaufwand weiter verwendet werden.

Ausmaß und Entwicklung des Krankheitsgeschehens

Luxemburg

In Luxemburg beschränkte sich die Erhebung auf die kommunalen und staatlichen Buchenwälder des Forstamtes Wiltz (Reviere Clervaux, Grosbous, Harlange, Haut-Sûre-Nord, Haut-Sûre-Sud, Hosingen, Perlé, Wiltz-Est, Wiltz-Quest und Wincrange), des Forstamtes Diekirch (Reviere Bastendorf, Beaufort, Diekirch, Ettelbrück, und Vianden) und des Forstamtes Mersch (Reviere Bissen, Boevange, Hobscheid, Koerich, Mersch-Est, Mersch-Quest, Redange und Saeul). In den übrigen Forstämtern des Landes, für die keine Meldungen auffälliger Buchenschäden vorliegen, wurden keine Erhebungen durchgeführt. Insgesamt betrug die Aufnahme-fläche 6.423 ha. Die Kartierung erfolgte in Anhalt an die bereits durchgeführten Kartierungen in

Rheinland-Pfalz, so dass die Ergebnisse, auf das Jahr 2004 bezogen, für beide Länder vergleichbar sind.

Insgesamt konnten auf einer Fläche von 340 ha Schäden nachgewiesen werden. Flächenmäßig am stärksten betroffen war das Forstamt Mersch (213 ha). Setzt man allerdings die Befallsfläche ins Verhältnis zur gesamten Aufnahme- fläche eines Forstamtes, weist das FA Wiltz mit 11 % (90 ha) das höchste Befallsprozent auf. Im landesweiten Mittel beträgt das Befallsprozent 5 %.

Im Jahr 2004 konnte innerhalb des Aufnahmegebietes in Luxemburg das stehende Schadholzvolumen auf 5.422 fm beziffert werden. Hiervon fallen allein auf das FA Mersch 3.472 fm. Obwohl im FA Wiltz nur 822 ha Buchenwälder aufgenommen wurden, konnten hier 1.145 fm als befallen eingestuft werden. Akute Krankheitssymptome (Krankheitsstufe 4) konnten auf 44,22 ha nachgewiesen werden. Von dieser Fläche entfallen alleine auf das Forstamt Wiltz 41 ha. Diese Tatsache bestärkt die Annahme, dass das Forstamt Wiltz am schwersten von der Buchenkrankheit heimgesucht wurde. Hervorzuheben ist auch, dass die Befallsstufe K2 (11–25 %) am häufigsten auftritt (123,8 ha).

Rheinland-Pfalz

In den Forstämtern der rheinland-pfälzischen Programmregion wurden jährlich knapp 43.000 ha Buchenwälder erfasst. Die Schadfläche stieg von 200 ha im Jahr 2001 auf 435 ha im Jahr 2005 an.

Der Vergleich der Schadholzmengen in den fünf Aufnahmejahren zeigt eine deutliche Schadzunahme von 2001 bis 2004, welche im Jahr 2005 auf konstant hohem Niveau blieb.

Insgesamt wurde in Rheinland-Pfalz eine Schadholzmenge von 84.023 fm von den Forstämtern gemeldet, davon entfielen 74.550 fm auf Forstämter

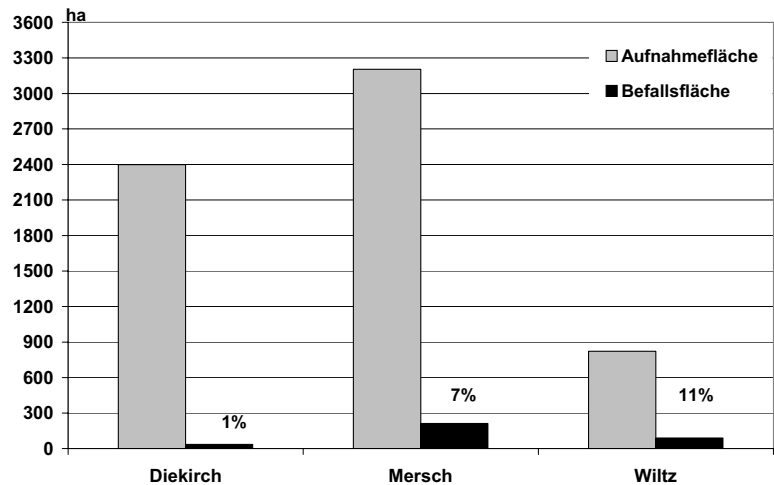


Abb. 10: Aufnahmefläche 2004 in Luxemburg mit prozentual befallener Buchenwaldfläche nach Forstämtern

Fig. 10: Surveying area 2004 for Luxembourg showing the attacked beech forest area (%) for each forest district

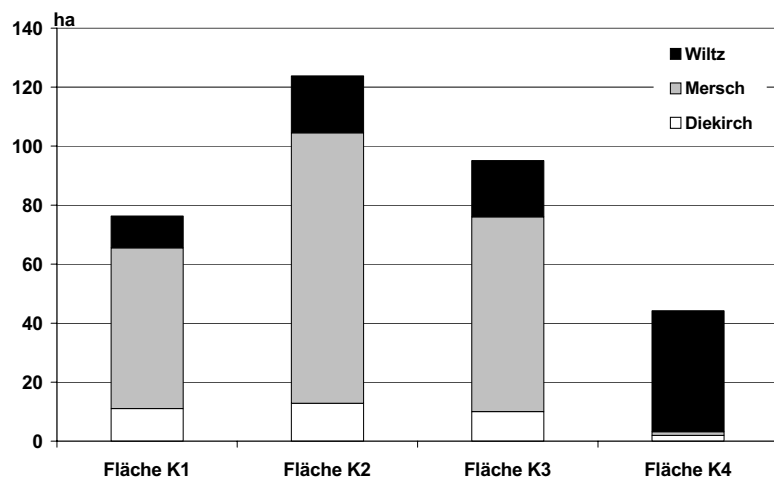


Abb. 11: Schadfläche nach Befallsgrad in den betroffenen Forstämtern

Fig. 11: Damaged area according to damage class in surveyed forest districts

aus dem Projektgebiet bzw. direkt benachbarte Forstämter (Abb. 12).

Im Gegensatz zu den relative hohen Befallsgraden in Luxemburg, wo bis zu 11 % der untersuchten Buchenbestände Schäden aufwiesen, liegt das Befallsprozent im Programmgebiet in Rheinland-Pfalz deutlich niedriger. Die Buchenwälder im Forstamt Bitburg waren mit einem Befallsprozent von 2,6 % am stärksten betroffen. Im Mittel sind 0,9 % der Buchenwaldgesellschaften durch die Buchenrindennekrose beeinträchtigt (Tab. 1). In Rheinland-Pfalz überwiegt, ebenso wie in Luxemburg, die Krankheitsstufe K2, der rund 50 % aller erkrankten Bu-

chenbestände zugeordnet werden können. In der Krankheitsstufe K1 befinden sich gut 1/3 der Bestände. Die Krankheitsstufen K3 und K4 machen in Rheinland-Pfalz gemeinsam ca. 16 % der erkrankten Bestände aus. Eine Bestandesgefährdung durch die Buchenrindennekrose besteht nur in Ausnahmen.

Ein Zusammenhang zwischen Standortfaktoren und dem Auftreten der Erkrankung, wie z.B. der Höhenlage der Bestände, wie zunächst vermutet wurde, konnte nicht gefunden werden. Die Erkrankung trat sowohl auf basenarmen, wie auch auf basenreichen Standorten in allen Höhenlagen und bei unterschiedlicher Wasserversorgung auf. Allerdings war der Anteil der schwer erkrankten Bestände (Krankheitsstufe K4) zu gering, um mögliche Tendenzen zu sichern.

Betroffen waren Bestände aller Altersklassen, mit Ausnahme der ersten Altersklasse (0 -20 Jahre), allerdings ist die Mehrheit der erkrankten Bestände über 120 Jahre alt.

Innerhalb der Bestände sind Bäume aller Durchmesserstufen betroffen. Nur in Beständen der Altersklassen II (20-40 Jahre) und III (40-60 Jahre) sind vorherrschende Bäume stärkeren Durchmessers überproportional häufig an der Buchenrindennekrose erkrankt.

Diskussion

Die Buchenrindennekrose gilt als die bedeutendste Krankheitserscheinung in Buchenwäldern (WACHENDORF, 1983). Seit der Erstbeschreibung trat die Erkrankung in Deutschland überregional in 4 „Hauptbefallsperioden“ (SCHINDLER, 1951) in den Jahren 1910-14, 1939-43, 1947-51 und 1959-66 und darüber hinaus mehrmals regional begrenzt auf. Die Erkrankung als solche ist also kein neuartiges Krankheitsphänomen.

Tab. 1: Befallsprozent der Buchenbestände in rheinland-pfälzischen Forstämtern des Programmgebietes

Tab. 1: Percentage of infected of the beech stands in Rhineland-Palatinate forest districts of the program area

Forstamt	Aufnahme­fläche (ha)	Befalls­prozent
Birkenfeld	5205	0,8 %
Bitburg	3408	2,6 %
Daun	4019	1,2 %
Drohnecken	3504	0,8 %
Gerolstein	3556	1,6 %
Hochwald	3803	1,3 %
Neuerburg	2643	0,5 %
Prüm	1301	1,7 %
Saarburg	4566	0,5 %
Trier	5647	0,0 %
Wittlich	5297	0,3 %
Programmgebiet	42953	0,9 %

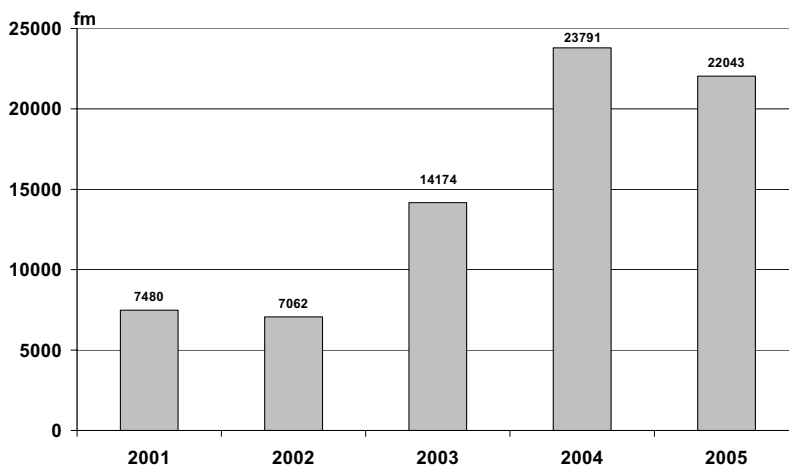


Abb. 12: Volumen des als geschädigt eingestuftes Buchenholzes in Rheinland-Pfalz

Fig. 12: Volume of damaged beech timber in Rhineland-Palatinate

Das Fehlen der Schadsymptome zu Beginn der Krankheit (insb. deutlich sichtbare Massenvermehrungen der Buchenwollschilddlaus und die Bildung von Schleimflussflecken), an denen die Krankheit in der Vergangenheit frühzeitig erkannt werden konnte, hat bei dem aktuellen Krankheitsausbruch zu einer besonders schweren Schadsituation geführt. Die holztechnische Entwertung der erkrankten Stämme war häufig beim Erkennen der Erkrankung bereits so weit vorangeschritten, dass Gegenmaßnahmen zur Verminderung der monetären Verluste nicht mehr ergriffen werden konnten. Hinzu kommt, dass in einigen Regionen vital erscheinende

Buchen ohne die sonstigen Symptome der Buchenrindennekrose von *Trypodendron domesticum* besiedelt wurden (vgl. PARINI und PETERCORD, 2006). Den Projektergebnissen entsprechend waren auch in der Vergangenheit Buchen-Rein- und Mischbestände jeder Altersklasse ab einem Alter von ca. 15 Jahren betroffen (HEß und BECK, 1927; v. EICHEL STREIBER, 1950; PAUCKE und GROH, 1965; LANG, 1983). Während in England die Krankheit besonders in Stangenhölzern im Alter von 20-45 Jahren beobachtet wurde (PARKER, 1983), betonen deutsche Autoren das Auftreten schwerster Schäden in mittelalten, 60-140 jährigen Baumhölzern (HARTIG, 1880; SCHINDLER, 1951; PAUCKE und GROH, 1965, WAGENHOFF, 1968; LANG, 1983). Im aktuellen Schadgeschehen liegt der Befallsschwerpunkt bei Beständen ab einem Bestandesalter über 120 Jahren.

Inwieweit ein Zusammenhang zwischen den Standortverhältnissen und dem Auftreten der Erkrankung bzw. deren Ausmaß besteht, ist umstritten. SCHINDLER (1951) betont, dass die Buchenrindennekrose auf allen Buchenstandorten unabhängig von den Standortbedingungen auftrat. Höhenlage, Grundgestein, Nährstoffgehalt und Feuchtigkeitsverhältnisse hatten keinen Einfluss auf die Erkrankung. Im Gegensatz dazu kommt PAUCKE (1966) in seiner Erhebung zum standörtlichen Vorkommen der Buchenrindennekrose in der ehemaligen DDR zu dem Ergebnis, dass mit fallender Nährstoff- und Wasserversorgung eines Standorts die Anfälligkeit der Buchen für die Erkrankung sinkt. In Untersuchungen zum Auftreten der Buchenrindennekrose 1959-65 im Forstamt Bovenden konnte Wagenhoff (1968) zeigen, dass die Krankheit standortunabhängig auftrat, das Ausmaß der Schäden jedoch standortsabhängig war. Bestände, die auf Muschelkalk- oder Keuperstandorten stockten, waren stärker betroffen als solche auf Buntsandsteinstandorten. Allerdings differierte das Ausmaß der Schäden nicht nur zwischen den Standortseinheiten sondern auch innerhalb derselben. Die stärksten Schäden entstanden auf Standorten, die unter „normalen“ Witterungsbedingungen ausreichend wasserversorgt waren, bei extremer Trockenheit jedoch ein

hohes Matrixpotential aufwiesen. Über entsprechende Beobachtungen berichten auch ZYCHA (1951) und CONRAD (1972). In der aktuellen Schadkartierung in Luxemburg und Rheinland-Pfalz konnte ein Zusammenhang zwischen Krankheitsausbruch bzw. -ausmaß und Standortbedingungen allerdings nicht beobachtet werden.

Verschiedene Autoren vermuten, dass waldbauliche Maßnahmen bzw. deren Unterlassung Bestände für die Erkrankung disponieren. THOMSEN et al. (1949) beobachteten Massenvermehrungen der Buchenwollschildlaus nach starken Durchforstungseingriffen in vormals dicht geschlossenen Beständen. Nach PEACE (1954, zit. n. PARKER, 1983) und SINNER (1965) tritt die Buchenrindennekrose vornehmlich in Beständen mit Durchforstungsrückständen auf. Ein geringmächtiger, gut drainierter Boden, ein Bestandesalter über 100 Jahre und Durchforstungsrückstände, die zu großem Konkurrenzdruck innerhalb der Bestände führen, bilden nach PEACE (1954, zit. n. PARKER, 1983) einen Faktorenkomplex, der das Krankheitsrisiko der Bestände erhöht. WUJCIAK (1975) vermutet, dass „ökologischer Stress“ die Bäume für die Buchenrindennekrose disponiert. LUNDERSTÄDT (1990), KÖNIG (1992) und PETERCORD (1999) betonen die Bedeutung des physiologischen Zustands des Einzelbaums für die Krankheitsentstehung.

Im Vergleich mit dem durchschnittlichen jährlichen Bucheneinschlag in Luxemburg und Rheinland-Pfalz blieb die bisher aufgelaufene Schadholzmenge der Jahre 2001 bis 2005 entgegen den Befürchtungen zu Beginn des Projektes gering und dürfte den Buchenmarkt kaum beeinflusst haben. Die landesweit vergleichsweise geringen Schadholzmengen dürfen allerdings nicht darüber hinwegtäuschen, dass durch die krankheitsbedingte, technische Entwertung des Holzes einzelnen Waldbesitzern hohe finanzielle Verluste entstanden sind, die private und kommunale Waldbesitzer in besonderem Maße getroffen haben. Für die Landesforsten Rheinland-Pfalz kann dieser Verlust bei vorsichtiger Schätzung auf bisher ca. 4 Millionen Euro beziffert werden, dabei sind der Mehraufwand der erschwerten Holzernte (Notwendigkeit von Seil-

zugverfahren), die Verluste durch mögliche Folgeschäden, sowie Hiebsunreifeverluste nicht berücksichtigt.

Gerade bei kleineren Forstbetrieben mit geringen Buchenvorräten können die Auswirkungen der Erkrankung kaum ausgeglichen werden, so dass die Buche durchaus in den Ruf einer Risikobaumart kommen könnte. Die Entwicklung waldbaulicher Techniken zur Minimierung des Krankheitsrisikos, die auf den Aufbau möglichst diversifizierter Bestände und die Förderung der Einzelbaumvitalität abzielen, erscheinen daher dringend geboten.

Literatur

- ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG IN DER ARBEITSGEMEINSCHAFT FORSTEINRICHTUNG (Hrsg.) (1985): Forstliche Wuchsgebiete und Wuchsbezirke in der Bundesrepublik Deutschland. Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup: 170 S.
- CONRAD, J. (1972): Weitere Ungereimtheiten bei der Buchenrindenschleimflußkrankheit. *Allg. Forstz.* 27: 758.
- DITTMAR, CH. und ELLING, W. (2006): Dendroökologische Untersuchungen von Buchenbeständen in der Roggramm-Region des Interreg III A-Projektes. *Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59*, 31 - 40.
- EICHEL STREIBER, H.v. (1950): Die möglichen Ursachen des Buchensterbens. *Allg. Forstz.* 5: 284.
- EISENBARTH, E.; WILHELM, G. J. und BERENS, A. (2001): Buchen-Komplexkrankheit in der Eifel und den angrenzenden Regionen. *AFZ-DerWald* 56 (23): 1212 – 1217.
- FRITZ, E.; LANGENFELD-HEYSER, R.; POLLE, A. UND PETERCORD, R. (2006): Mangan im braunfleckigen Holz der Buche (*Fagus sylvatica* L.). *Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59*, 167 - 180.
- HEB UND BECK (1927): *Forstschutz*, 1. Bd., 5. Aufl., Verlag von J. Neumann-Neudamm: 588 S.
- HANS, F. UND KOOPMANN, R. (2006): Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen der Buchenkomplexkrankheit und den Absterberaten epiphytischer Moose im Luxemburger Oesling. *Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59*, 23 - 30.
- HARTIG, R. (1878): Die krebsartigen Krankheiten der Rothbuche. *Z. Forst- u. Jagdwesen* 9: 377 – 383.
- HARTIG, R. (1880): Die Buchen-Wolllaus (*Chermes fagi* Kltb. In: *Untersuchungen aus dem Forstbotanischen Institut zu München I*, Springer-Verlag, Berlin: 156 – 162.
- KÖNIG, J. (1992): Ökologische und physiologische Untersuchungen zur Disposition der Buche (*Fagus sylvatica* L.) in der Altersphase für den Befall durch die Buchenwollschildlaus (*Cryptococcus fagisuga* Lind.) (*Coccina, Pseudococcidae*). *Diss. Forstw. FB Univ. Göttingen*: 131 + IV S.
- KUBINIOK, J. UND GERBER, C. (2006): Untersuchungen zu Ursachen der Fleckenbildung in Buchenhölzern an rheinland-pfälzischen und saarländischen Standorten. *Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59*, 157 - 166.
- LANG, K. J. (1983): Present state of beech bark disease in Germany. *Proceedings I.U.F.R.O. Beech bark disease Working Party Conference, Hamden, Connecticut, September 1982*: 10 – 12.
- LUNDERSTÄDT, J. (1990): Untersuchungen zur Abhängigkeit der Buchen-Rindennekrose von der Stärke des Befalls durch *Cryptococcus fagisuga* in Buchen- (*Fagus sylvatica*) Wirtschaftswäldern. *Eur. J. For. Path.* 20: 65 – 76.
- PARINI, C. UND PETERCORD, R. (2006): Der Laubnutzholzborkenkäfer *Trypodendron domesticum* L. als Schädling der Rotbuche. *Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59*, 63 - 78.
- PARKER, E. J. (1983): Beech bark disease in Great Britain. *Proceedings I.U.F.R.O. Beech bark disease Working Party Conference, Hamden, Connecticut, September 1982*: 1 – 6.
- PAUCKE, H. (1966): Zum Standörtlichen Vorkommen der Buchenrindennekrose. *Sozialistische Forstwirtschaft* 16: 280 – 283.
- PAUCKE, H. UND GROH, M. (1965): Das Vorkommen der Buchenrindennekrose um Bleicherode und ihre Beziehung zu Stammhöhe, Bestandesalter und Rindendicke. *Sozialistische Forstwirtschaft* 15: 344 – 349.
- PETERCORD, R. (1999): Entwicklung bewirtschafteter Buchen-Edellaubholz-Mischbestände unter dem Einfluß der Buchenwollschildlaus (*Cryptococcus fagisuga* Lind.) unter besonderer Berücksichtigung physiologischer und genetischer Aspekte. *Hainholz Forstwissenschaften Bd. 7*, Hainholz Verlag, Göttingen, Braunschweig: 277 S.
- PETERCORD, R. (2006a): Die Buchenwollschildlaus als Auslöser der Buchenrindennekrose. *Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59*, 53 - 62.
- SCHINDLER, U. (1951): Das Buchensterben. *Forstarchiv* 22: 109 – 119.
- SINNER, K. (1965): Rindenflecken an der Buche. *Allg. Forstz.* 20: 109.
- THOMSEN, M.; BUCHWALD, N. F. UND HAUBERG, P. A. (1949): Angreb af *Cryptococcus fagi*, *Nectria galligena* og andre parasiter paa bog i Danmark 1939-43. *Det forstlige Forsøgsvaesen* 18: 97-317.
- WACHENDORF, R. (1983): Erfahrungen über das Auftreten von Krankheiten und Schad-erregern in den Buchenwäldern des nordwestlichen Mitteleuropas und deren Auswirkungen. *Der Forst- und Holzwirt* 38: 146 – 149.
- WAGENHOFF, E. (1968): Grenzen für das Gedeihen der Rotbuche (im besonderen mit Untersuchungsergebnissen aus dem Forstamt Bovenden/ S-Niedersachsen). *Geographische Hausarbeit zur Fachwissenschaftlichen Prüfung für das Lehramt an höheren Schulen an der Universität Göttingen* (unveröffentl.).
- WUJCIAK, R. (1975): Untersuchungen über die Buchenrindennekrose und deren Einfluß auf den technologischen Gebrauchswert des Buchenschälholzes. *Diss. Forstw. FB*

univ. Göttingen: 111 + II S.

ZYCHA, H. (1951): Das Rindensterben der Buche. Phytopathologische Zeitschrift 17: 444 – 461.

Autorenanschriften:

Jean-Pierre Arend
Cantonnement de Luxembourg-Est
3, rue Neihaisgen, L-2633 Senningerberg
Email: jean-pierre.arend@ef.etat.lu

Dr. Eberhard Eisenbarth
Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd
Zentralstelle der Forstverwaltung
Gartenstr. 30, D-67433 Neustadt
Tel. 06321-992618
Email: eberhard.eisenbarth@wald-rlp.de

Dr. Ralf Petercord
Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz
Hauptstr. 16, D-67705 Trippstadt (bis Dezember 2005)
Tel. 05232-3940
Email: rpetercord@web.de

Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen der Buchenkomplexkrankheit und den Absterberaten epiphytischer Moose im Luxemburger Oesling

Hans, F. und Koopmann, R.

Zusammenfassung

Im Rahmen des INTERREG III A DeLux-Projektes „Entwicklung von Strategien zur Sicherung von Buchenwäldern“ wurden bryologische Untersuchungen in drei unterschiedlich von der Buchenkomplexkrankheit betroffenen Buchenbeständen durchgeführt. Anlass waren beträchtliche Schäden an stammbesiedelnden Moosen in von der Buchenerkrankung betroffenen Beständen in Luxemburg. Erhoben wurden das Artenspektrum und die Häufigkeit der einzelnen Moosarten sowie die jeweils auftretenden Schäden. Mit Hilfe dieser Aufnahmen und einer eingehenden chemischen Untersuchung von Moos- und angrenzendem Borkengewebe wurde nach den Ursachen der Mooschädigung gesucht und geprüft, ob ein Zusammenhang zwischen den Schäden an den Moosen und den Schäden an den Buchen besteht.

Zwischen der Absterberate des Mooses *Hypnum cupressiforme* und der Ausprägung der Buchenschäden zeigten sich deutliche Zusammenhänge. Auch wurden Zusammenhänge zwischen der Ausprägung der Schädigung von *Hypnum cupressiforme* und dem Vorkommen bestimmter Moosarten gefunden. Dem Moos *Dicranum tauricum* kommt offenbar eine Indikatorfunktion zu. Waldbestände mit mittelhoher und hoher Frequenz an *Dicranum tauricum* wiesen stets hohe Schäden sowohl bei *Hypnum cupressiforme* als auch an den Buchen auf.

Der vielfach beobachtete grün-braun gefärbte „Überzug“ auf stark geschädigten Moosen konnte als Gallerschicht identifiziert werden, die durch einzellige Grünalgen gebildet wird. Als Nebenbestandteil treten in dieser Gallerte Pilzhyphen auf.

Die biochemischen Analysen zeigen bei zunehmender Schädigung einen abnehmenden Chlorophyll-A-Gehalt bei *Hypnum cupressiforme*. Demgegenüber ergaben sich keine Zusammenhänge zwischen der Borkenchemie und den Mooschäden.

Als Ursache für die Schäden an den Moosen werden überhöhte Stickstoffeinträge in die Buchenwälder vermutet. Diese könnten sowohl die Moose schädigen als auch die Abwehrkraft der Buchen gegenüber Pilz- und Insektenbefall schwächen.

Schlüsselwörter: Buche, *Fagus sylvatica*, Buchenkomplexkrankheit, Borkenchemie, Tannine, Stickstoffeintrag, *Dicranum tauricum*, *Hypnum cupressiforme*

Research concerning the coherence between the beech bark disease and the dying off rates of epiphytic mosses in the Oesling of Luxembourg

Summary

Within the scope of the INTERREG III A DeLux-Project „Development of strategies to protect beech forests“, bryologic studies were carried out in three beech stands, each stand being affected by the beech bark disease at a different degree. The reason to start off the research was the considerable damage on trunk colonizing mosses in these beech stands in Luxembourg. The species spectrum, the frequency of the different moss species, and the occurring damage have been highlighted. With these results and by performing a detailed chemical analysis of the mosses and the adjacent bark texture, it was possible to study the causes of

moss damage. Furthermore it can be tested whether or not any coherence exists between the damage on the mosses and the damage on the beech trees.

A clear relation between the dying-off rate of the moss *Hypnum cupressiforme* and the degree of beech bark damages could be shown. Relations have also been identified between the degree of the damage on *Hypnum cupressiforme* and the occurrence of certain moss species. The moss *Dicranum tauricum* apparently plays the role of an indicator. Forest stands with a medium or high frequency of *Dicranum tauricum* have always shown a high damage level, both on *Hypnum cupressiforme* and on beech trees.

The commonly observed greenish-brown "cover" on heavily damaged mosses were identified as a jelly film, formed by unicellular green algae. Fungus hyphen represent a minor component of this jelly.

The biochemical analyses show that for the species *Hypnum cupressiforme* increasing damage results in a decrease in chlorophyll A content. On the other hand, no relation between the chemical compounds of the bark and the moss damage was found.

Increased nitrogen depositions in beech stands are assumed to be the cause for the damage on mosses. They could lead to damage on mosses as well as to a weakening of the defence of beech trees in relation to infestations by fungi and insects.

Keywords: European beech, *Fagus sylvatica*, beech bark disease, chemical composition of outer bark, tannins, nitrogen deposition, *Dicranum tauricum*, *Hypnum cupressiforme*

Einleitung

Die bereits im Jahr 2004 durchgeführten Untersuchungen zu Absterberaten von epiphytischen Moosen in geschädigten Buchenwaldbeständen im Luxemburger Oesling ließen einen deutlichen Zusammenhang zwischen Schädigungsgraden von *Hypnum cupressiforme* und unterschiedlich stark geschädigten Buchenbeständen erkennen. Darüber hinaus wurde ein Zusammenhang zwischen dem Vorkommen bestimmter epiphytischer Moosarten und unterschiedlichen Schädigungsstufen von *Hypnum cupressiforme* vermutet. Diese Arten könnten möglicherweise eine wertvolle Indikatorfunktion für ein frühes Stadium der Buchenkomplexkrankheit darstellen.

Bei den weiterführenden Untersuchungen im Jahr 2005 sollte auch geklärt werden, ob ein Zusammenhang zwischen Borkenchemie und der Absterberate bzw. dem Schädigungsgrad von *Hypnum cupressiforme* vorliegt.

Die pflanzliche Abwehr gegen pathogene Pilze und Schaderreger sowie Fraßfeinde basiert nämlich im Wesentlichen auf strukturellen und chemischen Eigenschaften der einzelnen Gewebetypen. Der

chemische Schutz der Abschlussgewebe beruht in der Einlagerung von wasserabstoßenden Polymeren, wie dem phenolischen Lignin oder den aliphatischen Säuren des polymeren Suberins (FENGEL und WEGENER, 1984). Innerhalb des lebenden Gewebes sind es vorrangig lösliche phenolische Verbindungen, die bei Stress oder Pathogenbefall vermehrt gebildet werden können und so eine lokalisierte und zeitlich begrenzte Abwehrreaktion ermöglichen (HARBORNE, 1995).

Zwischen den verschiedenen Stoffwechselwegen einer Pflanze gibt es grundlegende Zusammenhänge. So beruht eine der wesentlichen Hypothesen zum Einfluss erhöhter Stickstoffeinträge auf Pflanzen in der Wechselwirkung der Biosynthesewege von Aminosäuren und Phenolen (REICHHARDT et al., 1991).

Die Artenzusammensetzung von Moosgesellschaften nach künstlicher Düngung verändert sich (SOLGA, 2003) und chemische Merkmale, wie z.B. der Gehalt an Gesamtstickstoff, Chlorophyll A und einigen Aminosäuren erfahren signifikante Veränderungen, die von der Höhe der applizierten Düngung abhängig sind (FRANZEN-REUTER, 2004).

Anhand von Untersuchungen in Dauerbeobachtungsflächen in der Eifel wurden an verschiedenen Trägerbaumarten die Auswirkungen erhöhten Stickstoffeintrags auf die Epiphytenvegetation experimentell festgestellt. Die Epiphyten wurden über einen Zeitraum von fast zwei Jahren mit unterschiedlichen stickstoffhaltigen Lösungen besprüht (NH_4Cl , KNO_3^- , NH_4NO_3^-). Die reine Stickstoffkonzentration betrug 11 und 22 mM. Vor allem Ubiquisten wie *Hypnum cupressiforme* haben sich stark ausgebreitet. Andere Arten entwickelten Nekrosen (Schwarzverfärbungen).

Methoden

Die bryologischen Untersuchungen wurden auf drei Standorten im Luxemburger Ösling durchgeführt, die sich hinsichtlich der Ausprägung der Buchenerkrankung unterscheiden (Tab. 1). An jedem Standort wurden an jeweils 50 Bäumen verschiedene Baumparameter, Schadsymptome an den Bäumen und der Moosbesatz sowie Schäden an den Moosen erfasst. Über ein in 120 cm Höhe angebrachtes Raster wurden die vorkommenden Arten erhoben und der Deckungsgrad sowie Beschädigungsgrad eingeschätzt (Abb. 1).

In einem zweiten Schritt wurden an allen drei Standorten Proben von mindestens jeweils 5 Bäumen auf die Gehalte an Chlorophyll A in Moosgeweben unterschiedlicher Schädigungsgrade sowie chemische Untersuchungen (pH-Werte, Tanningehalte) im angrenzenden Borkengewebe durchgeführt. An zwei Proben von Moosen mit starker Schädigung erfolgte zudem eine eingehende mikroskopische Untersuchung des grün-braunen Überzugs. Weiterhin wurden gezielt alle drei Bestände auf Bäume durchmustert, die von *Dicranum tauricum* besiedelt sind. Diese Bäume wurden eingehend



Abb. 1: Erfassungsrahmen an einer Buche
Fig. 1: Assessment frame at a beech tree

auf das Vorliegen von Schadmerkmalen an Moosen und Buchen begutachtet.

Ergebnisse

Zusammenhang zwischen Borkenchemie und Mooschädigungen

Moose unterschiedlicher Schädigungsgrade, eingeteilt in die Klassen 1 bis 5, weisen starke Unterschiede in Farbe, Geruch und Vitalität auf. Während Moose der Klasse 1 dunkelgrün, vital und von angenehmem Geruch sind, zeigen Moose der Klassen 2 bis 4 gelbe bis braune Verfärbungen. In der Klasse 5 sind Gewebe aufgelöst, der Geruch ist unangenehm und es zeigt sich häufig ein grün-brauner Überzug, der eine gelartige Konsistenz aufweist und beim Trocknen der Probe das Gewebe verkrustet.

Einhergehend mit den sichtbaren Verfärbungen von grün über gelb nach braun ist eine nachweisbare Abnahme des Chlorophyllgehaltes (Tab. 2).

Von den drei Untersuchungsgebieten zeigte der

Tab. 1: Kennwerte der drei Untersuchungsstandorte

Tab. 1: Characteristics of the three research sites

Bezeichnung	Gemeinde	Forstrevier	Waldort	Höhe ü.NN	Exposition	Hangneigung	Alter	Schadausmaß
				[m]		[%]		
1	Hosingen	Hosingen	Akescht	ca. 460	S - SO	ca. 29	ca. 120	gering
2	Bastendorf	Bastendorf	Grousseboesch	ca. 300	S	ca. 6	ca. 120	mittel
3	Rambrouch	Perlè	Grousseboesch	ca. 500	O - NO	ca. 12	ca. 120	hoch

Standort Hosingen die deutlichste Abstufung im Chlorophyllgehalt von 0,26 mg/g (Klasse 1) bis 0,09 mg/g (Klasse 4), während in den anderen beiden Standorten (Bastendorf und Rambrouch) die Minimalwerte in der Klasse 4 oberhalb 0,15 mg/g lagen.

Borkenproben der Buchen wiesen Tanningehalte zwischen 16 und 52 mg/g Trockengewicht (TG) auf, der Mittelwert lag bei 31 mg/g TG.

Die Borken-pH-Werte schwanken zwischen 4,45 und 5,29 (Tab. 3). Eine einzelne Probe zeigte einen pH-Wert von 6,1 (Hosingen, H9, SG 5). Borken-pH-Werte oberhalb pH 5,0 waren ausschließlich in den zu den Schadensgruppen 4/5 gehörenden Bäumen zu finden (Tab. 4), jedoch konnte nur für den Standort Hosingen eine pH-Zunahme von Klasse 1 bis 5 auch für die Mittelwerte aus 5 Proben mit statistischer Sicherheit gezeigt werden. Die bei den unterschiedlichen Schädigungsgraden ermittelten pH-Maximalwerte sind bei Betrachtung aller Standorte zusammen deutlich mit den Schädigungsklassen korreliert.

Unsere Ergebnisse verifizieren die nach visuellen Symptomen erfolgte Einteilung des untersuchten Mooses *Hypnum cupressiforme* in Schadensgruppen mithilfe des Parameters „Gehalt an Chlorophyll A“. Diese Übereinstimmung zwischen visueller Schadenssymptomatik und dem biochemischen Parameter „Chlorophyll A“ im Moos *Hypnum cupressiforme* ist für die praktische ökologische Kartierungsarbeit wertvoll. Ein Absinken des Chlorophyll A-Gehaltes um 35 - 65 % im Vergleich der Schadensklassen 1 bis 4 belegt eine erhebliche Vitalitätsabnahme der untersuchten Gewebe. Die Schadensklasse 5 mit Besiedlung durch Grünalgen zeigt in vier von fünf untersuchten Proben sogar eine Chlorophyllabnahme von 85 – 96 %.

Es konnte ausgehend von ausschließlich organischen Metaboliten (hier Borken-Tannine und Moos-Chlorophylle) als Untersuchungsparameter keine verifizierbare Kausalkette zwischen der Borkenchemie und den Mooschädigungen abgeleitet werden. Borken-pH-Werte korrelierend zu geschädigten Moosproben der Schadensstufen 4 und 5

Tab. 2: Chlorophyll A Gehalte in Moosen unterschiedlicher Schadensgruppen

Tab. 2: Chlorophyll-A-concentration in moss of different damage classes

Standort Hosingen	
Schadensgruppe	Chlorophyll A (mg/g)*
1	0,26 (+/- 0,06)
2	0,18 (+/- 0,10)
3	0,10 (+/- 0,04)
4	0,09 (+/- 0,02)
5	0,01 **

Standort Bastendorf	
Schadensgruppe	Chlorophyll A (mg/g)*
1	0,24 (+/- 0,06)
2	0,26 (+/- 0,10)
3	0,18 (+/- 0,04)
4	0,17 (+/- 0,08)
5	n.d.

Standort Rambrouch	
Schadensgruppe	Chlorophyll A (mg/g)*
1	n.d.
2	0,16 (+/- 0,05)
3	0,15 (+/- 0,03)
4	0,14 (+/- 0,05)
5	0,13 (+/- 0,10)

* Daten sind Mittelwerte aus 4 - 7 Proben

** Einzelwert in SG 5

n.d. Nicht beprobt / nicht vorhanden

ergaben sich wie folgt: pH > 4,9 und Chlorophyll A < 20 mg/g.

Eine Korrelation zwischen Borken-pH-Wert und Borken-Tanningehalten konnte für die Mehrzahl

Tab. 3: Borken-pH-Werte

Tab. 3: pH in outer bark

Standort Hosingen	
Schadensgruppe	Chlorophyll A (mg/g)*
1	4,7 (+/- 0,1)
2	4,8 (+/- 0,1)
3	4,7 (+/- 0,1)
4	5,0 (+/- 0,1)
5	6,1 (+/-0,10) **

* Daten sind Mittelwerte aus 4 - 7 Proben

** Einzelwert

der Proben nicht aufgezeigt werden. Entscheidend ist offenbar der tatsächlich das Moosgewebe erreichende Stammwasserabfluss und nicht ausschließlich das angrenzende Borkengewebe.

Der grün-braune, gelartige „Überzug“ auf Moosen starker Schädigung konnte anhand zweier exemplarischer Proben der Schadensstufe 5 identifiziert werden. Hauptbestandteil sind einzellige Grünalgen, die eine Gallertschicht bilden. Als Nebenbestandteil treten Pilzhyphen auf (< 10%).

Untersuchung von Indikatorarten zur Feststellung eines frühen Stadiums der Buchenkomplexkrankheit

Die Gegenüberstellung von *Dicranum tauricum* zur prozentualen Verteilung der Schadensgruppen 1 bis 5 und Befall oder Nichtbefall mit Pilzen ergab im Rahmen der Untersuchung im Jahr 2004 einen Anteil von 57 Prozent an den Schädigungsklassen 4 und 5. Der Anteil von nur 17 Prozent an ungeschädigtem *Hypnum cupressiforme* an den betroffenen Bäumen ließ vermuten, dass *Dicranum tauricum* eine Indikatorfunktion für eine kurz bevorstehende Erkrankung besitzen könnte.

Um diese Hypothese zu prüfen wurden alle Bestände auf das Vorkommen des Mooses *Dicranum tauricum* durchmustert. Am Standort Rambrouch ist *Dicranum tauricum* ein häufiges Moos und an fast allen erkrankten Buchen anzutreffen. Demgegenüber ist dieses Moos am Standort Bastendorf nur an einigen sehr alten Buchen anzutreffen. Am Standort Hosingen wurde *Dicranum tauricum* an 15 Bäumen gefunden. An den mit *Dicranum tauricum* bewachsenen Buchen sind häufig Bohrlöcher oder rundliche, vernarbte Strukturen anzutreffen, die vermuten lassen, es könne sich dabei um überwachsene Bohrlöcher handeln (Tab. 5, Abb. 2).

Tab. 4: pH-Wert-Spannen verschiedener Schädigungsklassen von *Hypnum cupressiforme*

Tab. 4: pH range at different damage classes of *Hypnum cupressiforme*

Schädigungsgrad	pH-min	pH-max
Schädigungsklasse 1	4,45	4,93
Schädigungsklasse 2	4,46	4,88
Schädigungsklasse 3	4,37	4,97
Schädigungsklasse 4	4,45	5,29
Schädigungsklasse 5	4,43	6,1
n=69		

Diskussion

Abnehmende Chlorophyllgehalte in Thallophyten, wie Flechten und Moosen sind nach FRANZENREUTER (2004) zum Beispiel bei sehr stark erhöhten Stickstoffdepositionen zu erwarten. Obwohl die Gehalte von Chlorophyll A bei Düngungsversuchen

Tab. 5: Moosartenzusammensetzung von *Dicranum tauricum*-Buchen mit Bohrlochsymptomatik

Tab. 5: Species distribution of mosses at beech trees with *Dicranum tauricum* and bore hole symptomatic

Moosarten	Hosingen	Bastendorf	Summe
<i>Dicranum tauricum</i>	15	13	28
<i>Hypnum cupressiforme</i>	9	6	15
<i>Dicranum montanum</i>	4	9	13
<i>Dicranum scoparium</i>	1	12	13
<i>Metzgeria furcata</i>	7	4	11
<i>Isothecium alopecuroides</i>	1	8	9
<i>Ulota bruchii</i>	6	2	8
<i>Brachythecium rutabulum</i>	2	1	3
<i>Orthotrichum stramineum</i>	4	0	4
<i>Plagiothecium denticulatum</i>	0	6	6
<i>Isothecium myosuroides</i>	0	5	5
<i>Lophocolea heterophylla</i>	0	4	4
<i>Frullania tamarisci</i>	0	5	5
<i>Ulota crispa</i>	0	1	1
<i>Orthotrichum affine</i>	0	2	2
<i>Platygyrium repens</i>	0	1	1
<i>Zygodon rupestris</i>	0	1	1
<i>Bryum laevifilum</i>	0	1	1
<i>Mnium hornum</i>	0	1	1



Abb. 2: Bohrlochsymptomatik an Buchen mit *Dicranum tauricum*-Bewuchs
 Fig. 2: Borehole symptomatic at a beech with *Dicranum tauricum*

zunächst anstiegen, sind ab einem Schwellenwert die Chlorophyllgehalte jedoch wieder stark abnehmend. Magnesiummangel ist ein weiterer Faktor, der Chlorophyllmangel und damit einhergehende Gewebeverfärbungen bedingen kann (BERGMANN, 1986).

STAPPER (2000) stellt die Erhöhung des Stickstoffeintrages in Zusammenhang mit der Zunahme der Artenzahlen in Level II Waldflächen in Nordrhein-Westfalen. Die maximal gemessenen Stickstoffeinträge liegen in diesen Flächen bei 46 kg/ha/a. Auch wurde auf diesen Flächen mit sehr hohen Stickstoffeinträgen eine Überwucherung der Moose durch fadenförmige Grünalgen beobachtet.

Eutrophierung bewirkt durch Zunahme basischer Stickstoffeinträge eine Erhöhung von Borken-pH-Werten (FRANZEN-REUTER, 2004). Wasserlösliche Extraktstoffe der Borke, insbesondere solche mit phenolischen Gruppen, führen aufgrund deren Azidität zu einer Herabsenkung des Borken-pH-Wertes (FENGEL und WEGENER, 1984). Sowohl der niedrige pH-Wert als auch der hohe Anteil an antimikrobiell wirksamen phenolischen Extraktstoffen bilden

einen effektiven Schutz gegen Pathogene und Insekten.

Unsere Arbeitshypothese zur biochemischen Kausalkette basiert auf der Annahme, dass erhöhte Stickstoffdepositionen aufgrund einer Verschiebung der Phenol- zugunsten der Aminosäuresynthese zu erniedrigten Borken-Tanningehalten und allgemein verminderter Abwehrkraft führen.

Wir führen Mooschädigungen auf äußere Einflüsse zurück, und zwar auf die Eutrophierung mit basischen Stickstoffverbindungen. In einzelnen Proben hoher Schadensstufen waren Borken-pH-Werte > 4,9 mit erniedrigtem Extraktstoffanteil korreliert. Damit ergibt sich ein Hinweis auf eine verminderte Abwehrkraft des untersuchten Baumes nach der im vorangegangenen vorgestellten Hypothese, dass erhöhte Stickstoffeinträge zu einer Umschaltung der Biosynthesewege von abwehrrelevanten Phenolen zu proteingebundenen Phenolen führen (HYVÄRINEN et al., 2002).

Letztere Hypothese sollte sich an biosynthetisch aktivem Gewebe oder durch direkte Messung des Gesamtstickstoffgehaltes im Rahmen weiterer For-

schungsarbeiten prüfen lassen.

Eine mit der Borken-pH-Wert-Erhöhung einhergehende Erhöhung der Schadsymptome bei *Hypnum cupressiforme* konnte auch in unserer Untersuchung an einem Untersuchungsstandort (Hosingen) belegt werden.

Stickstoffbelastung führt zunächst zu einer verstärkten Ansiedlung von Moosen. Weitere Stickstoffbelastung führt zu Schädigungen und schließlich zum Absterben der Moose. Ab einem bestimmten Schwellenwert der Stickstoffüberdüngung kommt es zu einer Abnahme des Chlorophyllgehaltes. Magnesium-, Kalzium- oder Kaliummangel oder der Mangel an Fe^{++} , das wesentlicher Bestandteil der Proteine des Photosynthesystemes ist, können hierfür eine Ursache sein.

Stickstoffbelastung führt aber gleichzeitig zu einer Wachstumszunahme bei Buchen. Dies zeigen die vielerorts zu beobachtenden überdurchschnittlich hohen Zuwachsraten der Buchen in den vergangenen 10 bis 15 Jahren. Gleichzeitige Mangelsymptomatik kann zu einer verstärkten Anfälligkeit der Buchen gegenüber Schädlingen führen.

Buchen auf extrem sauren und nährstoffarmen Böden dürften dabei empfindlicher reagieren. Hier spielen wahrscheinlich auch Vorschädigungen des Feinwurzelsystems durch Bodenversauerungsprozesse eine wesentliche Rolle.

Epiphytische Moose reagieren (nicht nur in Wald-ökosystemen!) parallel zum verstärkten Wachstum der Buchen. Insbesondere in niederschlagsreichen Gebieten resultiert dies in einem starken Moosbewuchs und in einer Veränderung des Artenspektrums. Dabei sind die möglicherweise komplementären Auswirkungen der rezenten klimatischen Veränderungen auf das Artengefüge der Moose (HANS, 2004) nicht außer Acht zu lassen.

Die Schädigungen an Moosen und Buchen sind insofern an den drei unterschiedlichen Standorten Bastendorf, Rambrouch und Hosingen in Zusammenhang zu bringen. Die Schadensursache liegt aber wahrscheinlich in der Überdüngung durch Stickstoffeinträge. Ein direkter kausaler Zusammenhang zwischen Borkeninhaltsstoffen und der Schädigung von Moosen besteht nicht.

Literatur

- BERGMANN, W. (1986): Farbatlas Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen Visuelle und analytische Diagnose. 2, erw. Aufl. Jena, Fischer.
- FENGEL, D. und WEGENER, C. (1984): Wood – Chemistry, Ultrastructure, Reactions. W. De-Gruyter Verlag, Berlin, New York.
- FRANZEN-REUTER, I. (2004): Untersuchungen zur Auswirkung atmosphärischer Stickstoffeinträge auf epiphytische Flechten und Moose im Hinblick auf die Bioindikation. Dissertation, Universität Bonn; elektron. publ.: <http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss-online>.
- HANS, F. (2004): Neue und seltene Arten aus der Familie der Orthotrichaceae (Musci) für Luxemburg – Mögliche Indikatoren für einen Klimawechsel? Bull. Soc. Nat. luxemb. 105: 15-25.
- HARBORNE, J.B. (1995): Ökologische Biochemie. Spektrum Verlag, Heidelberg.
- HYVÄRINEN, M.; WALTER, B. und KOOPMANN, R. (2002): Secondary metabolites in *Cladonia stellaris* in relation to reindeer grazing and thallus nutrient content. Oikos, 96: 273-280.
- REICHHARDT, P.B.; CHAPIN, F.S.; BRYANT, J.P.; MATTES, B.R. und CLAUSEN, T.P. (1991): Carbon/nutrient balance as a predictor of plant defense in Alaskan balsam poplar: Potential importance of metabolic turnover. Oecologia 88: 401-406.
- SOLGA, A. (2003): Untersuchungen zur Eignung von Moosen als Bioindikatoren atmosphärischer Stickstoffeinträge. Dissertation, Universität Bonn.
- STAPPER, N. (2000): Epiphytische Moose und Flechten als Monitororganismen auf Level-II Waldökosystem-Dauerbeobachtungsflächen in NRW. LÖBF-Mitteilungen 4/2000. 67-74.

Autorenanschriften:

Florian Hans
Oeko-Bureau
Boite Postale 44
L-3701 Rumelange
Email: oekoburo@pt.lu

Dr. Ricarda Koopmann
Nees-Institut für Biodiversität der Pflanzen
Meckenheimer Allee 170
D-53115 Bonn
Email: nees@uni-bonn.de

Dendroökologische Untersuchungen von Buchenbeständen in der Programmregion des INTERREG III A-Projektes

Dittmar, C. und Elling, W.

Zusammenfassung

Im Rahmen des INTERREG III A DeLux-Projektes „Entwicklung von Strategien zur Sicherung der Buchenwälder“ wurden an Buchen auf vier Flächen innerhalb der Programmregion Jahrringanalysen durchgeführt. Im Zuwachsverlauf von insgesamt 92 untersuchten Bäumen konnten keine Hinweise auf eine Prädisposition bzw. Vorschädigung der von der Komplexerkrankung betroffenen Buchen festgestellt werden. Auch für eine vorausgehende Schädigung durch Sturmereignisse Anfang der 1990er Jahre oder Frostereignisse im Herbst 1998 als mögliche Ursachen konnten im Radialzuwachs keine Belege gefunden werden. Die entlang eines Höhentransektes (220 – 700 m ü.NN) untersuchten Witterungs-Zuwachs-Beziehungen zeigen Unterschiede hinsichtlich der Ansprüche an Wärme- und Wasserangebot. Eindeutige Beziehungen zwischen Wasserangebot und Radialzuwachs ergaben sich nur für die Tieflage, auf der die Buche jedoch einen auffällig hohen und stabilen Zuwachs zeigt. Mit der Seehöhe nimmt die Bedeutung von Wärme- und Strahlungsangebot zu. Nur an einem der Standorte wurden länger andauernde Zuwachsdepressionen Ende der 1970er Jahre gefunden. Sie sind mit Witterungsereignissen nicht ausreichend zu erklären und erfordern daher weitere Untersuchungen. Hierbei sollten Wasserhaushaltsberechnungen und Wurzelanalysen wie auch ein möglicher Ozoneinfluss berücksichtigt werden.

Schlüsselwörter: Buche, *Fagus sylvatica*, Jahrringe, Dendrochronologie, Dendroökologie, Zuwachs, Buchenkomplexkrankheit, Buchenrindennekrose

Dendroecological investigation of common beech stands in the programme region of the INTERREG III A-project

Summary

As part of the INTERREG III A DeLux-Project “Development of strategies to protect beech forests”, tree-ring analyses were carried out in four stands within the programme region. In the radial growth as checked in a series of a total of 92 investigated beech trees, no evidence of predisposition or previous damages were detected explaining the currently observed disease. Moreover, signals of damages by storm events at the beginning of the 1990’s or frost events in autumn 1998 could not be detected as possible causes. Climate-growth-relationships along the altitudinal gradient (220–700 m a.s.l.) show differences with regard to the requirements of beech on temperature and water supply. Unambiguous relations between water supply and radial growth were only obtained at the low altitude site, where beech however shows a conspicuous high and stable growth level. The importance of temperature and radiation increases as a function of the altitude. Growth depressions over several years at the end of the 1970’s were found at one of the investigated sites. They are not sufficiently explained by weather influences. More investigations are required considering water-balance calculations and root analyses as well as potential influences by ozone pollution.

Keywords: European beech, *Fagus sylvatica*, annual rings, dendrochronology, dendroecology, increment, beech complex disease, beech bark disease

Einleitung

Untersuchungen des Jahrringbaus und die dendroökologische Auswertung von Jahrringdaten erlauben Aussagen über den Verlauf, den Grad und in Verbindung mit zusätzlichen Erhebungen auch über die potentiellen Ursachen von Schädigungsprozessen in Wäldern (ELLING, 1993; DITTMAR et al., 2003; DITTMAR et al., 2006). Im Rahmen des Interreg III A DeLux-Projektes „Sicherung von Buchenwäldern“ wurden dendroökologische Analysen an Buchen zur Kennzeichnung von besonderen Stresssituationen in der Vergangenheit, Prädispositionen für Schädlingsbefall und möglicherweise neuartigen Veränderungen durchgeführt. Die Untersuchungen konzentrierten sich dabei auf folgende Aspekte:

Aspekt 1: Suche nach Hinweisen auf besondere Stresssituationen für die Buche in der Programmregion in jüngerer Vergangenheit, die gegebenenfalls die Erkrankung bzw. den Befall durch holzbrütende Insekten mit ausgelöst sowie möglicherweise eine reduzierte Widerstandsfähigkeit der Bäume gegenüber anderen Stressfaktoren verursacht haben.

Aspekt 2: Kennzeichnung der Wachstumsgeschichte und des Witterungs-Zuwachs-Zusammenhangs von Buchenbeständen unter verschiedenen Standortbedingungen in der Programmregion und besondere Berücksichtigung des Einflusses von Trockenstress.

Der Vergleich des Radialzuwachses von befallenen und nicht befallenen Buchen auf der Intensivmessfläche des Projektes im FA Saarburg (Abt. 147, Revier Klink) diente zur Klärung der Frage, ob dem Befall ein im Jahrringbau dokumentierter Schädigungsprozess vorausging. Zur Kennzeichnung von Witterungs-Zuwachs-Beziehungen der Buche in der Programmregion wurden im Rahmen von Diplomarbeiten an der Fachhochschule Weihenstephan drei weitere Buchenbestände entlang eines Höhentransektes auf Standorten mit unterschiedlicher Wasserversorgung bearbeitet (GROSSE et al., 2005). Folgender Beitrag stellt eine Zusam-

menfassung der durchgeführten Untersuchungen und der damit erzielten Ergebnisse dar.

Material und Methoden

Im Frühjahr wurden in den Bereichen der Forstämter Hochwald und Saarburg vier geeignete Untersuchungsbestände ausgewählt (Tab. 1). Für den unmittelbaren dendrochronologischen Vergleich von mit Holzbrütern befallenen und nicht befallenen Buchen (Paarvergleich) wurde die Dauerbeobachtungsfläche im FA Saarburg (Abt. 147, Revier Klink, 640 – 680 m üNN) ausgewählt. Auf den in diesem Bestand angelegten drei Teilflächen sowie zwischen ihnen wurden 16 Baumpaare beprobt. Ziel der Auswahl waren jeweils zwei möglichst nahe nebeneinander stehende Buchen der Baumklasse 2 nach KRAFT (1884), von denen ein Baum einen aktuellen Befall durch Holzbrüter aufwies. Da der Bestand teilweise stark aufgelichtet ist, war es notwendig, Baumpaare in möglichst geschlossenen Bestandesbereichen mit vergleichbarer Kronenspannung zu finden. In den meisten Fällen konnten Baumpaare ausgewählt werden, die zumindest zu 75 % ihres Kronenumfangs unter Kronenspannung stehen. An jedem der Probebäume (32 Bäume, 16 Baumpaare) wurden noch vor der Vegetationsperiode zwei Bohrkerne von gegenüberliegenden Himmelsrichtungen (West und Ost) mit einem Zuwachsbohrer (Firma SUUNTO, 400 mm, teflonbeschichtet) entnommen. An einigen der befallenen Buchen mussten wegen des bereits stark zerstörten Holzes z.T. weitere Bohrkerne gezogen werden. Die Bohrlöcher wurden anschließend mit einem Holzdübel und Wundbalsam verschlossen.

An den Probebäumen wurden der Brusthöhen-durchmesser und die Baumhöhe vermessen. Auf der Teilfläche 3 in Abt. 147 wurde neben einer im Winter 2002/2003 umgestürzten Buche ein Bodenprofil bis in eine Tiefe von etwa 1 m für die Abschätzung der Wasserhaushaltseigenschaften und für chemische Analysen angelegt.

Für die Darstellung von Witterungs-Zuwachs-Beziehungen wurden 3 Flächen entlang eines Höhentransektes von für die Programmregion typischen Hoch- bis Tieflagen (Weinbauklima) ausge-

Tab. 1: Untersuchungsflächen und –bestände

Tab. 1: Sites and stands of investigation

Kurzbezeichnung	Forstamt	Fläche	Gauß-Krüger Rechtswert	Hochwert	Höhe ü.NN [m]
107 QPSH	Saar-Hochwald	Schimmelkopf (Abt. 147)	2558400	5495500	640-680 (660)
108 QPOR	Osburg	Rösterkopf (Abt. 34a1)	2560180	5504650	690-700 (695)
109 QPOM	Osburg	Misselbach (Abt. 55a)	2558710	5507260	440-460 (450)
110 QPST	Saarburg	Tavern	2537680	5503280	220-300 (260)

Kurzbezeichnung	Exposition	Hangneigung	Bestandesalter (Jahrringmessung)	Anzahl der Probestämme
107 QPSH	NO bis SW	7 - 18	ca. 130 Jahre	32 (16 Paare)
108 QPOR	NW	3 - 5	ca. 130 Jahre	20
109 QPOM	N bis W	30 - 40	ca. 160 Jahre	20
110 QPST	NO	20 - 35	ca. 115 Jahre	20

wählt (Tab. 1). Dadurch sollten möglichst unterschiedliche Witterungsverhältnisse – insbesondere hinsichtlich der Wasserversorgung – erfasst werden. Die drei ausgewählten Flächen sind im Rahmen von Diplomarbeiten am Fachbereich Wald und Forstwirtschaft der Fachhochschule Weihenstephan dendrochronologisch bearbeitet worden (GROSSE et al., 2005). Auf den 3 Untersuchungsflächen des Höhenprofils wurden jeweils 20 Probestämme der Baumklasse 2 nach KRAFT (1884) für die Bohrkernentnahme ausgewählt.

Die Messung, Aufbereitung und Auswertung der Jahrringdaten erfolgte nach den bei DITTMAR und ELLING (1999) beschriebenen Verfahren. Für die Analyse von Witterungs-Zuwachs-Beziehungen wurden langjährige Reihen von Klima- bzw. Niederschlagsstationen des Deutschen Wetterdienstes herangezogen. Entlang des Höhentransektes beträgt das Niederschlagsangebot im langjährigen Mittel (1965-2003) während der Vegetationsperiode (Mai – August) 270 mm (Tiefelage QPST) bis 370 mm (Hochlage QPOR). In Trockenjahren können die Werte auf unter 100 mm in der Tiefelage bzw. 210 mm in der Hochlage fallen (GROSSE et al., 2005).

Ergebnisse

Paar-Vergleich befallener und nicht befallener Buchen im FA Saarburg

Nach Synchronisierung und Datierung aller gemessenen

Radien wurde der Zuwachsverlauf der befallenen und mit dem der nicht befallenen Bäume verglichen. Bereits in den Radienkurvenscharen sind keine signifikanten Unterschiede zu erkennen (Abb. 1). Um 1992 zeigen einzelne der befallenen Bäume stärkere Reaktionen, dafür fällt der Einschnitt im Jahr 1996 bei den befallenen schwächer aus als bei den nicht befallenen. Die Schädigung des aktuellen Befalls durch Holzbrüter (etwa seit 1999/2000) wirkt sich offenbar nur an einem Teil der Bäume auf den Radialzuwachs aus, was an einem Auffächern der Kurvenschar in den Jahren 2001 und 2002 zu erkennen ist (Abb. 1 unten).

Vergleicht man das Wachstum der Baumpaare in den Jahren 1990 bis 2002, zeichnet sich kein systematischer Unterschied zwischen befallenen und nicht befallenen ab. Im Vergleich der beiden Kollektive hat das Kollektiv „befallen“ sogar ein etwas höheres Zuwachsniveau (Abb. 2).

Um der Frage einer möglichen Vorschädigung durch die heftigen Sturmereignisse Anfang 1990 genauer nachzugehen, wurden alle Westradien mit allen Ostradien verglichen. Durch die einseitige Sturmeinwirkung könnte ein in den Folgejahren auseinander gehender Zuwachsverlauf auf eine entsprechend nachwirkende Schädigung hinweisen. Jedoch sind das mittlere Zuwachsniveau und der Zuwachsverlauf der beiden Kollektive auch nach 1990 sehr ähnlich. Auch besteht kein signifikanter

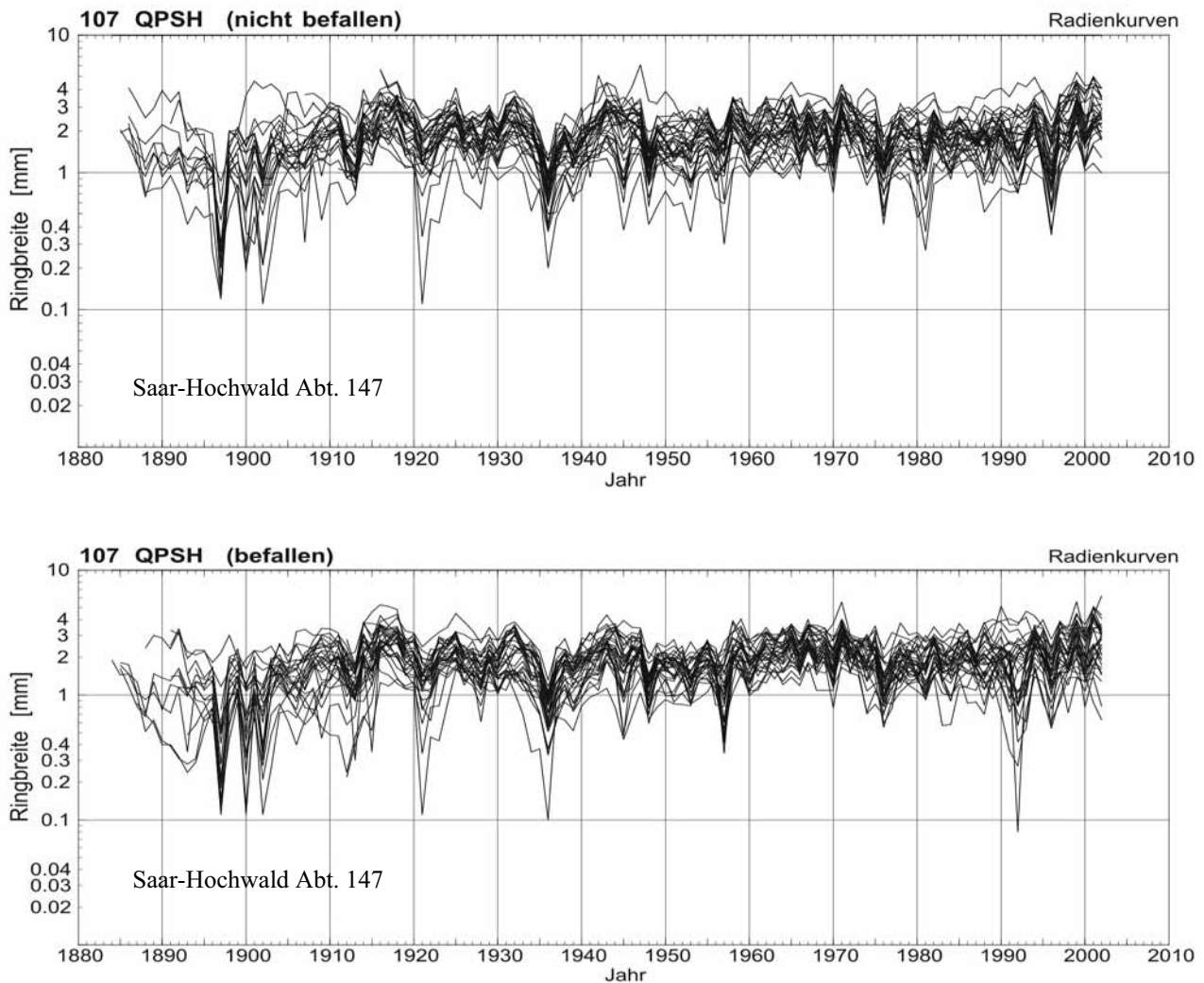


Abb. 1: Radienkurven (jeweils 32 Radien von 16 Bäumen) nicht befallener und befallener Buchen auf der Fläche QPSH

Fig. 1: Radial series of not attacked and attacked trees at plot QPSH

Unterschied zwischen Ost- und Westradien, der auf eine starke einseitige mechanische Belastung des Holzes oder Wurzelschädigung hinweisen könnte.

Zuwachsverlauf der Buchenbestände entlang des Höhentransektes

Entsprechend ihrer durchschnittlichen Jahrringbreiten haben die Hoch- (QPOR) und die Mittellage (QPOM) entlang des untersuchten Höhenprofils ein vergleichbares Zuwachsniveau (Abb. 3). Die Buchen der mittleren Lage sind jedoch deutlich älter und zeigen teilweise Zuwachseinbrüche in der zweiten Hälfte der 1970er Jahre, wie sie für Bestände am Nordrand der Alpen beschrieben wurden (ELLING und DITTMAR, 2003). Auf dieser Fläche wurden für die Jahre 1913 ein und während der Zu-

wachstdepression in den Jahren 1977 bis 1979 fünf datierbare Ringausfälle festgestellt.

Das auffällig höchste Zuwachsniveau weisen die gegenüber der Hochlage im Mittel um etwa 15 Jahre jüngeren Buchen der trockenen Tieflage auf (QPST). Heftige und länger andauernde Einbrüche sind im Jahrringverlauf der Buchen auf dieser Fläche nicht zu verzeichnen. Da die Bohrkerns auf den drei Flächen erst nach Ende der Vegetationsperiode 2003 gewonnen wurden, konnte die Breite des Jahrrings 2003 vollständig erfasst werden. Trotz der außergewöhnlichen Witterung der Vegetationsperiode 2003 ist bei allen Beständen – auch in der trockenen Tieflage – gegenüber 2002 im Jahr 2003 ein Anstieg der Ringbreite zu erkennen.

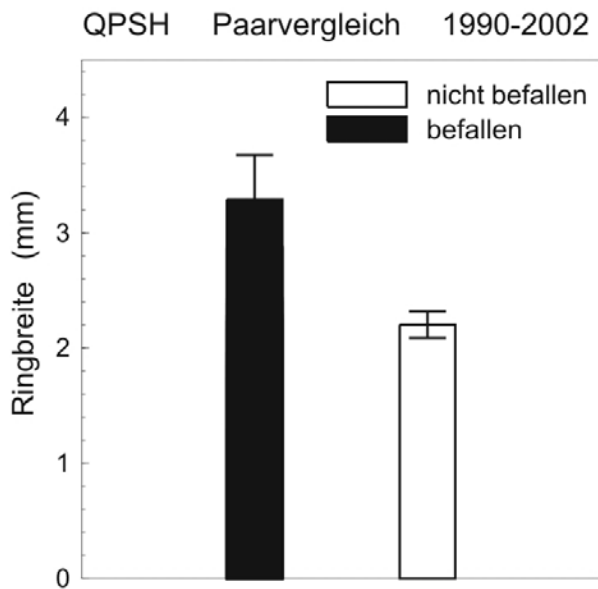


Abb. 2: Mittlere Jahrringbreite der Kollektive „befallen“ und „nicht befallen“ im Zeitraum 1990-2002 auf der Fläche QPSH

Fig. 2: Mean radial growth of the two collectives „attacked“ and „not attacked“ in 1990-2002 at plot QPSH

Witterungs-Zuwachs-Beziehungen

Entlang des Höhentransektes wurden mit kontinuierlichen Zeitreihenanalysen Jahrringbreiten und Klimadaten verglichen. Zwischen den beiden Einzelfaktoren (vgl. DITTMAR und ELLING, 1999) Wärme- und Niederschlagsangebot während der Vegetationsperiode ergaben sich nur für die Tieflage QPST statistisch abgesicherte Beziehungen (GROSSE et al., 2005). Dort zeigen sich für den Zeitraum 1965 – 2003 eine signifikant positive Abhängigkeit zwischen Niederschlag und Jahrringbreite ($r = 0,34$ mit $p < 0,05$) sowie eine signifikant negative Abhängigkeit zwischen Temperatur und Jahrringbreite ($r = - 0,37$ mit $p < 0,05$). Beide Korrelationen weisen auf einen in erster Linie niederschlagssensitiven Zuwachs hin.

Neben kontinuierlichen Zeitreihenanalysen wurde zur Darstellung von Witterungs-Zuwachs-Beziehungen auch Einzeljahranalysen durchgeführt. Darin werden auffällig breite oder schmale Jahrringe und Signaturen im Zuwachsverlauf mit den verfügbaren Witterungsdaten und anderen Informationen (z.B. Mastjahren) in Beziehung gesetzt und bewertet. Aufgrund ihrer größeren ökologi-

schen Aussagekraft und besseren Interpretierbarkeit beschränkten sich die Analysen auf Zuwachsminima, die nach dem bei DITTMAR und ELLING (1999) beschriebenen Verfahren als negative Weiser- bzw. Ereignisjahre ausgewählt wurden.

Da die verfügbaren Klimadaten teilweise größere Lücken aufweisen und kaum spezifische Angaben zu Mastjahren vorlagen, konnte nur ein Teil der Minima analysiert und es konnten in einzelnen Jahren keine gesicherten Aussagen gemacht werden (Tab. 2, Abb. 4). Die Witterungsdaten wurden auch im Hinblick auf Spätfrostereignisse zu Beginn der Vegetationsperiode ausgewertet, da diese nach neueren Untersuchungen insbesondere in höheren Lagen massive Rückgänge des Radialzuwachses in bestimmten Jahren verursachen können (DITTMAR et al., 2006).

Entgegen erster Vermutungen stellen Trockenjahre keine ausreichende Erklärung für die vorhandenen Minima im Radialzuwachs dar. Das gilt auch für den als trockensensitiv einzustufenden Tieflagenbestand QPST. Zum einen gibt es Zuwachsrückgänge auch in kühl-feuchten Jahren (z.B. 1913/14), und zum anderen ist der Rückgang der Jahrringbreite in niederschlagsarmen Jahren am trockensten Standort nicht größer, sondern z.T. sogar schwächer als auf den anderen Flächen (Abb. 4). Obwohl keine Angaben zu den Blattaustriebsterminen der Buche in den betreffenden Jahren vorlagen – und somit eine abschließende Bewertung nicht möglich ist –, konnten keine Jahrringbreitenminima mit Spätfrosten anhand der zur Verfügung stehenden Klimadaten in Beziehung gebracht werden.

Als massivstes Trockenjahr der letzten 100 Jahre in der Programmregion ist das Jahr 1976 zu bezeichnen. Die Niederschlagsdefizite während der Vegetationszeit waren 1976 deutlich länger und ausgeprägter als im Jahr 2003, wie dies am Beispiel der Temperatur- und Niederschlagsdaten an der DWD-Klimastation Schneifelforsthaus erkennbar ist (Abb. 5). In den Jahrringbreitenzeitreihen ist 1976 auf allen Flächen als deutliches Minimum dokumentiert. Bemerkenswert ist aber, dass die Intensität des Minimums am trockenen Tieflagenstandort QPST gegenüber den anderen Standorten nicht größer ist

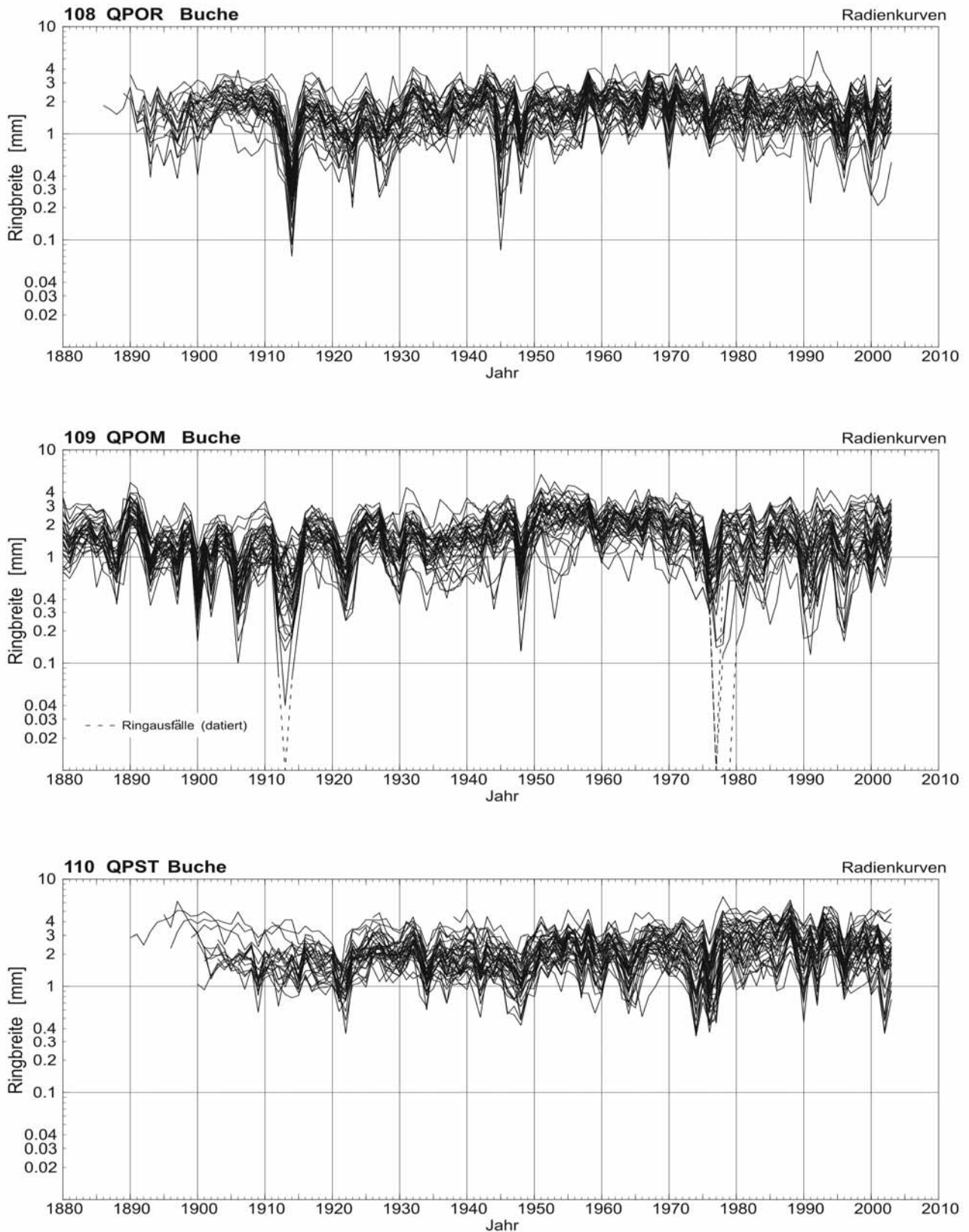


Abb. 3: Jahrringbreitenverlauf (Radenkurven von jeweils 20 Prohebäumen) von Buchen entlang des Höhen transektes; datierte und eingesetzte Ringausfälle sind durch unterbrochene Linien gekennzeichnet (nach GROSSE et al., 2005)

Fig. 3: Radial growth (radial series of 20 trees at each site) of beech trees at the three altitudes; missing rings are dated, inserted and signed by dotted lines (data according to GROSSE et al., 2005)

und der Zuwachsrückgang nur auf einer Fläche (QPOM) auch die Folgejahre mit betrifft. Daher wird vermutet, dass neben Trockenstress im Jahr 1976 weitere Stressfaktoren zur Erklärung der Zuwachsdepressionen Ende der 1970er Jahre auf dieser Fläche wirksam waren.

Diskussion

Mit dem Paarvergleich von Buchen im FA Saarburg konnten im Jahrringbau keine Hinweise auf eine Prädisposition oder Vorschädigung der von Holzbrütern befallenen Bäume festgestellt werden. Nach den Ergebnissen zeigen aktuell befallene Buchen im Hinblick auf die kambiale Aktivität im unteren Stammbereich keine Hinweise auf eine verminderte Vitalität in den dem Befall vorausgehenden Jahren. Das hohe Zuwachsniveau aller 32 auf der Fläche QPSH (Saarburg) untersuchten Bäume mit einem Zuwachsanstieg nach 1990 bei beiden Kollektiven spricht gegen eine Vorschädigung.

Mit den Jahrringuntersuchungen kann die „Dürrehypothese“, nach der Trockenperioden in jüngster Vergangenheit als Auslöser der Komplexschädigung gesehen werden, nicht bestätigt werden. Die Darstellung der langjährigen Witterungszuwachs-Beziehungen erbrachte nur für die Tieflage (QPST) einen Zusammenhang zwischen Wasserangebot und Zuwachs. Das hohe und stabile Zuwachsniveau der Buche gerade auf diesem dem Weinbauklima zuzuordnenden Standort unterstreicht das wiederholt festgestellte hohe Potential der Buche auf warm-trockenen Standorten in Mitteleuropa (FELBERMEIER, 1994; ELLING und DITTMAR, 2003; DITTMAR et al., 2003; AMMER et al., 2005). Auf den anderen Flächen ergab sich kein Hinweis auf einen spezifischen Zuwachs steuernden Witterungsfaktor. In den mittleren und höheren Lagen dieser Region sind die Witterungsbedingungen für das Wachstum der Buche in den meisten Jahren offenbar günstig bis optimal bzw. es treten

Tab. 2: Einzeljahr-Analyse ausgewählter Minima in den Jahrringbreitenzeitreihen der 4 in der Programmregion untersuchten Buchenbestände (vgl. Abb. 4)

Tab. 2: Single-year analysis of selected growth minima in the tree-ring data of the four investigated beech stands within the programme region (cf. Fig. 4)

Minimum (Weiser-/Ereignisjahr)	Potentielle Ursachen
1900	Juli überdurchschnittlich warm, Niederschläge durchschnittlich
1912	Juli trocken und warm
1913/1914	1913: Ende Juni bis Mitte August deutlich kühler als im langjährigen Durchschnitt, Niederschläge durchschnittlich, kein Frost nach dem 14.04. (DWD-Station Aachen); ggf. Fruktifikation 1914: Witterung durchschnittlich, eher kühle Vegetationsperiode (keine Reaktion in der Tieflage: Trockenstress unwahrscheinlich)
1921/1922	1921: vor und während der Vegetationsperiode niederschlagsarm mit überdurchschnittl. hohen Temperaturen im Früh- und Hochsommer (Trockenjahr!) 1922: trocken-warmer Frühsommer + Fruktifikation
1936	Ende Mai kühl, Anfang Juni warm, Juni bis August eher kühl und Niederschläge hoch im Vergleich zum langj. Durchschnitt. Vegetationsperiode kühl+feucht (Tieflage reagiert nicht)
1945	Frühsommer überdurchschnittlich warm ? (fehlende Daten)
1948	Faktorenkomplex: Jahrhundertmast 1946, Spätsommerdürre 1947, kühl-feuchte Vegetationsperiode 1948, Spreng- bis Halbmast 1948
1976	Massives Trockenjahr (vgl. Abb. 5)
1991/1992	Vegetationsperioden wärmer als langj. Durchschnitt mit kurzen, aber ausgeprägten Trockenperioden, Fruktifikationen
1996	Ausgeprägtes Trockenjahr

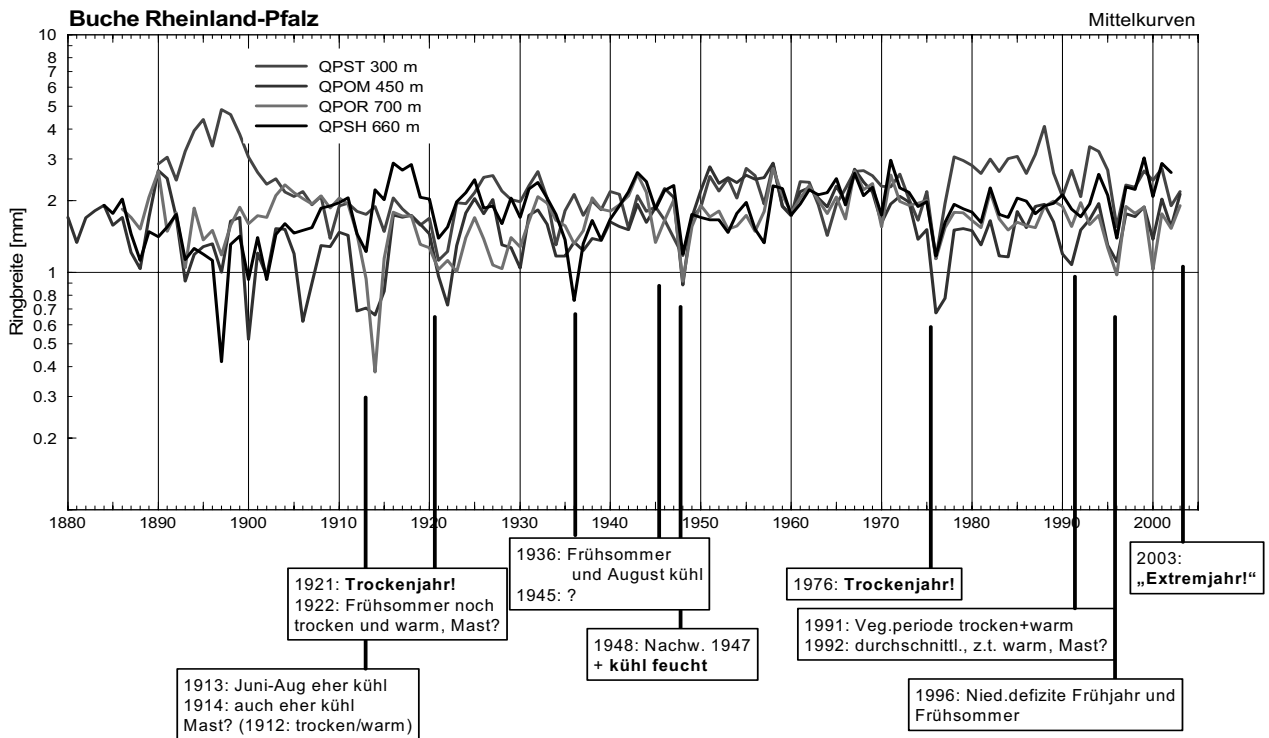


Abb. 4: Mittelkurven des Radialzuwachses der 4 Untersuchungsbestände und Ergebnisse der Einzeljhranalyse
 Fig. 4: Mean radial growth of the 4 stands investigated and results of the single-year analysis

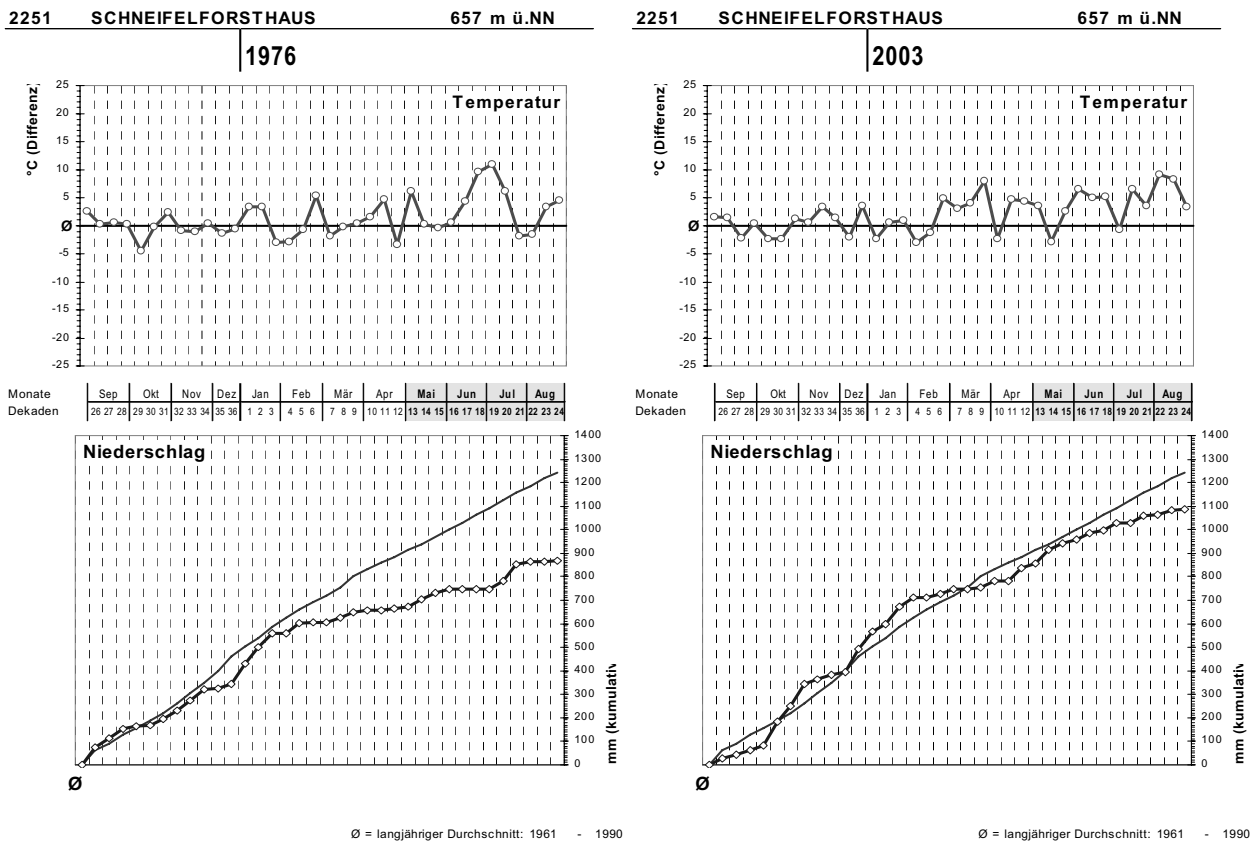


Abb. 5: Abweichung der Temperatur und des Niederschlags (kumulativ) vom langjährigen 10-Tages-Mittel an der Klimastation Schneifelforsthau des Deutschen Wetterdienstes (DWD) in den Jahren 1976 und 2003 jeweils vom September des Vorjahres bis zum August des laufenden Jahres

Fig. 5: Deviation of temperature and precipitation (cumulative) from the long-term average of 10-day intervals at the climate station Schneifelforsthau of the German Weather Service during the years 1976 and 2003, calculated for September of the previous year to August of the current year.

von Jahr zu Jahr wechselnde Witterungsfaktoren als Zuwachs limitierend auf. Die Befunde der Einzeljahranalyse zeigen, dass in diesen Lagen in bestimmten Jahren auch das Wärme- und Strahlungsangebot für den Radialzuwachs ausschlaggebend ist.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass nur ein Teil der auffälligen Zuwachsminima befriedigend geklärt und aufgrund fehlender Daten der Einfluss von Fruktifikationen und Spätfrösten nicht genau analysiert werden konnte. Insbesondere die Ursachen des heftigen und über mehrere Jahre andauernden Zuwachseinbruchs Ende der 1970er Jahre auf der Fläche QPOM in mittlerer Höhenlage bleiben unklar. Nachwirkungen auf das Trockenjahr 1976 erscheinen im Vergleich zu den Signaturen der anderen Standorte (insbesondere der trockenen Tieflage) als alleinige Ursache unwahrscheinlich. Möglicherweise spielen auf dem Standort QPOM, dessen Bodeneigenschaften auf Hangzugwasser hinweisen (PETERCORD, schriftl. Mittlg., 2005), zusätzliche Stressfaktoren eine Rolle. Weitere spezifische Untersuchungen sind hier erforderlich, um z.B. auch einen möglichen Ozoninfluss zu erfassen. Die Ozonbelastung liegt in der Programmregion in den meisten Jahren über den für Waldbestände derzeit festgelegten critical loads. In warm-trockenen Jahren mit hohen Ozonwerten sind gerade solche Bäume bzw. Bestände gefährdet, die über längere Phasen noch gut wasserversorgt sind (DITMAR et al., 2004, 2005). Ozonsymptome an Buchenblättern im Sommer 2003 in der Programmregion (PETERCORD, schriftl. Mittlg., 2005) unterstreichen die Notwendigkeit, diesen Stressfaktor in weitere Untersuchungen einzubeziehen.

Im Vergleich früherer (vor ca. 1970) und aktueller (nach 1970) Zuwachsminima ist die Tendenz zu einer gestiegenen Sensitivität der Buche gegenüber Trockenjahren in mittlerer und höherer Lage erkennbar. Um mögliche Veränderungen in dieser Hinsicht zu erfassen, sind jedoch eine breitere Datenbasis sowie die Durchführung langjähriger Wasserhaushaltsberechnungen notwendig.

Die beobachteten Schäden an Buchen in der Programmregion werden insbesondere von Forstleuten

immer wieder als Folge der massiven Sturmereignisse Anfang der 1990er Jahre gesehen. Es wird vermutet, dass starke mechanische Einwirkungen Wurzelschäden verursacht und damit in der Folge zu einer Schwächung der Buchen geführt haben. In den Jahrringbreitenzeitreihen aller untersuchten Buchenbestände sind jedoch nur an einzelnen Bäumen Reaktionen Anfang der 1990er Jahre zu erkennen, die mit einer derartigen Schädigung in Verbindung stehen könnten. Einzelne der befallenen Buchen auf der Fläche QPSH im FA Saarburg zeigen im Jahr 1992 eine sensitivere Reaktion als die übrigen im Kollektiv bzw. die Buchen des Kollektivs „nicht befallen“, allerdings ohne entsprechende Nachwirkungen. Ein systematischer Unterschied zwischen den beiden Kollektiven in den Jahren 1990 und danach ergab sich nicht.

Auch ein Temperatursturz im Herbst 1998 als möglicher Auslöser der Komplexerkrankung der Buche in der Programmregion (NAGELEISEN und HUART, 2005) kann anhand der Jahrringuntersuchungen nicht bestätigt werden. Im Jahr 1999 wird auf allen vier untersuchten Flächen ein Zuwachshoch erreicht.

Insgesamt sind aufgrund der dendroökologischen Befunde keine Unterschiede zwischen den untersuchten Bäumen bzw. Beständen zu erkennen, aus denen sich eine Prädisposition und Vorschädigung der von der Komplexerkrankung betroffenen Bäume ableiten lässt. Offene Fragen, die weitere Untersuchungen erforderlich machen, bestehen hinsichtlich einer möglichen Zunahme der Trockensensitivität in jüngerer Vergangenheit und der auch in anderen Regionen Mitteleuropas festgestellten Zuwachseinbrüche der Buche auf bestimmten Standorten Ende der 1970er Jahre.

Danksagung

Die Autoren danken Frau Anja Grosse, Frau Sandra Sasse und Herrn Michael Matuschek für die Durchführung der dendrochronologischen Untersuchungen auf drei der vier bearbeiteten Flächen im Rahmen ihrer Diplomarbeit am Fachbereich Wald und Forstwirtschaft der Fachhochschule Weihenstephan. Ein besonderer Dank gilt auch Herrn Dr. Ralf

Petercord, den Kollegen der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz sowie der Administration des Eaux et Forêts Luxembourg für die Möglichkeit der Teilnahme am Projekt und ihre vielfältige Unterstützung. Den Forstämtern Hochwald und Saarburg danken wir für die freundliche Hilfe bei der Auswahl der Bestände und Durchführung der Geländearbeiten. Dem Deutschen Wetterdienst danken wir für die Überlassung der Klimadaten.

Literatur

- AMMER, C.; ALBRECHT, L.; BORCHERT, H.; BROSINGER, F.; DITTMAR, C.; ELLING, W.; EWALD, J.; FELBERMEIER, B.; VON GILSA, H.; HUSS, J.; KENK, G.; KÖLLING, C.; KOHNLE, U.; MEYSER, P.; MOSANDL, R.; MOSSMAYER, H.U.; PALMER, S.; REIF, A.; REFUESS, K.E. und STIMM, B. (2005): Zur Zukunft der Buche (*Fagus sylvatica* L.) in Mitteleuropa – Kritische Anmerkungen zu einem Beitrag von RENNENBERG et al. (2004). Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 176/4: 60 – 67.
- DITTMAR, C. und ELLING, W. (1999): Jahringbreite von Fichte und Buche in Abhängigkeit von Witterung und Höhenlage. Forstwissenschaftliches Centralblatt 118: 251 – 270.
- DITTMAR, C.; ZECH, W. und ELLING, W. (2003): Growth variations of Common beech (*Fagus sylvatica* L.) under different climatic and environmental conditions in Europe – a dendroecological study. Forest Ecology and Management 173: 63 – 78.
- DITTMAR, C.; ELLING, W.; GÜNTHARDT-GOERG, M.; MAYER, F.-J.; GILGE, S.; WINKLER, P. und FRICKE, W. (2004): Ozonbelastung und Schadsymptome im Extremsommer 2003. Allgemeine Forstzeitschrift/Der Wald 59: 683 – 685.
- DITTMAR, C., PFAFFELMOSE, K., RÖTZER, T. und ELLING, W. (2005): Quantifying ozone uptake and its effect on the stand level of common beech (*Fagus sylvatica* L.) in Southern Germany. Environmental Pollution 134/1: 1 – 4.
- DITTMAR, C., FRICKE, W. und ELLING, W. (2006): Impact of late frost events on radial growth of common beech (*Fagus sylvatica* L.) in Southern Germany. European Journal of Forest Research 125, 249-259.
- ELLING, W. (1993): Immissionen im Ursachenkomplex von Tannenschädigung und Tannensterben. Allgemeine Forstzeitschrift 48/2: 87 – 95.
- ELLING, W. und DITTMAR, C. (2003): Neuartige Zuwachsdepressionen bei Buchen. Allgemeine Forstzeitschrift/Der Wald 58: 42 – 45.
- FELBERMEIER, B. (1994): Die klimatische Belastbarkeit der Buche. Forstwissenschaftliches Centralblatt 113: 152 – 174.
- GROSSE, A.; MATUSCHEK, M. und SASSE, S. (2005): Jahringuntersuchungen von drei Buchenbeständen im Hunsrück. Diplomarbeit am Fachbereich Wald und Forstwirtschaft der Fachhochschule Weihenstephan, 207 S.
- KRAFT, G. (1884): Beitrag zur Lehre von Durchforstungen, Schlagstellungen und Lichtungshieben. Klindworth, Hannover.
- NAGELEISEN, L.-M. und HUART, O. (2005): Current health issues in beech forests – beech disease in the Ardenne Area. Revue Forestiere Francaise 75/2: 249 – 254.

Autorenanschrift:

Dr. Christoph Dittmar
UFB - Umweltforschung und -bildung
Am Sandacker 25
D-95511 Mistelbach
Email: christoph.dittmar@freenet.de

Prof. Dr. Wolfram Elling
Fachhochschule Weihenstephan
Fachbereich Wald und Forstwirtschaft
Am Hochanger 5
D-85354 Freising
Email:wolfram.elling@fh-weihenstephan.de

Genetische Begleituntersuchungen zum aktuellen Schadgeschehen in ausgewählten luxemburgischen und rheinland-pfälzischen Buchenbeständen

Maurer, W. D.

Zusammenfassung

In der von der Buchenkomplexkrankheit betroffenen Schadregion wurden im Rahmen des INTERREG III A-DeLux-Projekts „Entwicklung von Strategien zur Sicherung von Buchenwäldern“ in Luxemburg und Rheinland-Pfalz an zwei als Modellbestände ausgewiesenen Buchen-Altbeständen erste genetische Untersuchungen durchgeführt. Die genetische Charakterisierung beider Modellbestände mittels Isoenzym-Genmarkern machte deutlich, dass beide genetisch sehr ähnlich sind wie auch keine genetischen Besonderheiten im Vergleich zu anderen Buchenpopulationen in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen aufweisen. Beim Befall von Bäumen mit der Buchenwollschildlaus (*Cryptococcus fagisuga*) scheint dem Genort IDH-A womöglich eine noch zu eruiierende Rolle zuzukommen. Mit ausgewählten universell verwendbaren AFLP-Genmarkern wurde ein erstes Screening zur genetischen Unterscheidbarkeit von erkrankten und gesunden Bäumen durchgeführt. Anhand eines genetischen Begleitmonitorings wird die Schadensentwicklung in den beiden Modellbeständen zukünftig weiter verfolgt.

Schlüsselwörter: Buche, *Fagus sylvatica*, Buchenkomplexkrankheit, Luxemburg, Rheinland-Pfalz, INTERREG IIIA-DeLux-Projekt, Isoenzym-Genmarker, AFLP-Genmarker

A genetic study on selected diseased beech (*Fagus sylvatica* L.) stands in Luxembourg and Rhineland-Palatinate

Summary

In the framework of the INTERREG III A-DeLux-Project “Development of strategies to protect beech forests”, first genetic studies were carried out in two mature European beech (*Fagus sylvatica*) stands designated model stands in Luxembourg and Rhineland-Palatinate in the region that became damaged by the “beech complex disease”. The genetic characterization of the model stands by isozyme gene markers revealed a very close genetic relationship between the two stands. Moreover, they do not show any peculiarities as compared to other beech populations growing in Rhineland-Palatinate and North Rhine-Westphalia. Infestation by the woolly beech scale (*Cryptococcus fagisuga*) seems to be somehow correlated to gene locus IDH-A. By applying selected universal AFLP gene markers, a first screening for the differentiation of genetic structures in damaged and undamaged trees was performed. In future the damaging evolution in the two model stands will be followed by a genetic monitoring.

Keywords: European beech, *Fagus sylvatica*, beech complex disease, Luxembourg, Rhineland-Palatinate, INTERREG IIIA-DeLux-Project, isozyme gene markers, AFLP molecular gene markers

Einleitung

Die im Rahmen eines multidisziplinären Forschungsansatzes definierte Schwerpunktsetzung des Gesamtprojekts „*Entwicklung von Strategien zur Sicherung von Buchenwäldern in der Programmregion DeLux*“, nämlich den Ursachen der Schädigung der Buchen infolge der Buchenkomplexkrankheit nachzugehen und effiziente Handlungsstrategien zur Sicherung der Buchenwälder in der Schadregion als Zukunftsvorsorge zu entwickeln (vgl. hierzu ANONYMUS, 2003), schließt auch genetische Aspekte mit ein. So stellt sich nämlich an vorderster Stelle die grundsätzliche Frage danach, ob ein Einzelbaum für eine Schädigung oder eine Nichtschädigung genetisch (prä-)disponiert ist und die betroffenen Bestände bzw. die Baumkollektive innerhalb solcher Befallsbestände womöglich genetisch „anders“ sind als nicht geschädigte Buchenpopulationen. Zudem ist natürlich auch zu prüfen, inwieweit eine genetisch kontrollierte Wirt-Pathogen-Interaktion auf Pheromonbasis für den letztlich als wesentlichen Schädling identifizierten Laubnutzholzborkenkäfer [*Xyloterus domesticus* L.] (PETERCORD, 2004, PARINI & PETERCORD, 2006) zum Auffinden bruttauglicher Bäume eine Rolle spielt.

Diese genetische Betrachtungsweise zieht die prinzipielle Frage nach sich, inwieweit die derzeit verfügbaren genetischen Methoden, die hauptsächlich so genannte „Genmarker“ beinhalten, diesbezüglich überhaupt entsprechende Informationen zu liefern vermögen. So stellen nämlich die meisten morphologischen, physiologischen und (bio-)chemischen Eigenschaften von Organismen keine genetischen Merkmale im eigentlichen Sinne dar, da sie sich unter nur schwer durchschaubarer genetischer, zumeist polygenischer Kontrolle befinden. D.h. sie werden von mehr als nur einem einzigen Gen bestimmt, und zudem sind sie nicht unabhängig von Umweltfaktoren (BERGMANN, 1991). Auch sind solche Komplexeigenschaften hinsichtlich des unterschiedlichen Sensitivitäts- bzw. Toleranzverhaltens von pflanzlichen Organismen auf von außen einwirkende biotische wie abiotische Stressoren als

Ausdruck des Zusammenspiels von mehr als nur einem einzigen Gen zu bewerten (MÜLLER-STARCK, 1993). Zur Erkennung von möglichen genetischen Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen bei der Buchenkomplexkrankheit ist also den üblicherweise verwendeten biochemisch-genetischen Isoenzym-Genmarkern wie auch der derzeit verfügbaren Palette an molekulargenetischen DNA-Markern (cf. GILLET, 1991) diesbezüglich eine nur sehr schwer einzuschätzende Bedeutung beizumessen.

Allerdings spiegeln die für die Baumart Buche soweit entwickelten spezifischen Isoenzym-Genmarker die genetische Information für solche Enzymsysteme wider, welche im Stoffwechselgeschehen an wichtigen Schaltstellen verschiedener Reaktionswege des Primär- und Sekundärstoffwechsels katalytische und zum Teil regulatorische Funktionen ausüben.

Auf dieser Grundlage und selbst, wenn somit erst einmal von der Prüfung eines genetischen Ursache-Wirkungs-Zusammenhangs abgesehen werden muss, ist in dem Gesamtprojekt in einem einleitenden Ansatz eine genetische Untersuchung dennoch dahingehend sinnvoll abzuklären, inwieweit sich auf der Basis einer einzelbaumweise vorgenommenen Genotypisierung derzeit phänotypisch erkennbar geschädigte Bäume genetisch von solchen unterscheiden, die zum gleichen Zeitpunkt visuell ungeschädigt erscheinen.

Unter Berücksichtigung der Machbarkeit einer solchen Untersuchung innerhalb der Projektlaufzeit mit dem verbundenen Aufwand an Zeit und Kosten wurde für diese genetische Studie auf luxemburger und rheinland-pfälzischer Seite jeweils ein Buchenschadbestand mit visuell gesunden und geschädigten bis bereits abgestorbenen Bäumen als Modellbestand ausgewiesen. Mit der flächenmäßig vorgenommenen individuellen genetischen Identifizierung aller Altbäume in diesen beiden Buchenbeständen kann zukünftig auch der dynamische Aspekt der weiteren Schadensentwicklung als begleitendes genetisches Monitoring berücksichtigt werden.

In Ergänzung zu den isoenzymatischen Untersuchungen ergab sich zu Ende der Projektlaufzeit zudem die Möglichkeit, eine molekulargenetische Untersuchung mittels der AFLP-Fingerprint-Technik im Rahmen eines sondierenden Paarvergleichs mit einigen wenigen geschädigten und ungeschädigten Buchen vorzunehmen.

Die Durchführung der genetischen Untersuchungen sowie die soweit erzielten wesentlichen Ergebnisse und die daraus gezogenen Schlussfolgerungen werden im Folgenden dargestellt und diskutiert.

Material und Methoden

Die nachstehende Tab. 1 fasst die methodische Vorgehensweise bei der Planung und Durchführung des genetischen Begleitprojekts zusammen und verweist auf das verwendete Untersuchungsmaterial

und die im Labor angewendeten genetischen Analysemethoden.

In Tab. 2 sind die Isoenzym-Genmarker mit den jeweilig zugrunde liegenden Enzymsystemen und deren Bedeutung für den Pflanzenstoffwechsel zusammengestellt.

Ergebnisse und Diskussion

Genetische Charakterisierung der Modellbestände Klink und Rambrouch

Im Rahmen des Gesamtprojekts erschien für die beiden Modellbestände Klink und Rambrouch zuerst einmal eine genetische Abklärung dahingehend von grundsätzlicher Wichtigkeit zu sein, inwieweit sich diese Bestände zum einen von den Buchenpopulationen im westlichen Bereich Deutschlands des Buchenverbreitungsgebiets unterscheiden bzw. die-

Tab. 1: Chronologische Übersicht über die Durchführung des genetischen Begleitprojekts

Tab. 1: A chronological overview of the realization of the genetic project

Zeitraum	Maßnahme
Sommer 2003	Begehung von Buchen-Schadbeständen in der Programmregion DeLux und Auswahl von 2 Beständen für die genetische Untersuchung; nachfolgend Ausweisung als Modellbestände für die genetische Untersuchung (i) in Luxemburg im FA Wiltz die Abt. 35/36 im FR Perlé (Gemeindewald Rambrouch; nachfolgend als 'Bestand Rambrouch' bezeichnet) sowie (ii) in Rheinland-Pfalz im FA Saarburg (bis 31.12.2003 FA Saar-Hochwald) die Abt. 147a1 (FR Klink, Staatswald; nachfolgend, 'Bestand Klink' genannt). Beide Modellbestände sind den Altersklassen 7-8 zugehörig, der Schadenszustand ist mit bis zu 25 % Anteil an geschädigten Bäumen mit augenscheinlich zunehmender Schadenstendenz einzustufen.
Herbst 2003	Kennzeichnung von jeweils 500 gesunden bzw. geschädigten Einzelbäumen in den beiden Modellbeständen über die jeweilige Bestandesfläche hinweg unter Berücksichtigung der vorhandenen Schadenszentren: (i) im Bestand Klink Komplettierung der im Rahmen des Schadmonitorings bereits zuvor nummerierten Bäume auf die Gesamtzahl 500; (ii) im Bestand Rambrouch vollständige Ersterfassung und Auszeichnung von 500 Einzelbäumen; Nachfolgend einzelbaumweise Probenahme von Blatruheknospen per Schrotflintenabschuss für die Isoenzymanalyse im Labor durch die Fa. ISOGEN Reckershausen
Winter 2003/04	Isoenzymanalyse an 11 Enzymgenloci nach MÜLLER-STARCK & STARKE (1993) (siehe hierzu Tab. 2) zwecks Genotypisierung der Buchen anhand des ermittelten Multilocus-Genotyps (vgl. Tabellen 4 und 5).
Sommer / Herbst 2004	Einmessen aller gekennzeichneten Bäume in den beiden Modellbeständen und einzelbaumweise Ansprache hinsichtlich ihres jeweiligen Befalls- bzw. Gesundheitszustands (erstmalig für den Bestand Rambrouch, vgl. auch Tab. 5; für Bestand Klink, vgl. Abb. 1 sowie Tab. 4).
September 2004	Vorstellung des Konzepts der genetischen Untersuchung beim FORUM Genetik-Wald-Forstwirtschaft „Ergebnisse forstgenetischer Feldversuche und Laborstudien und ihre Umsetzung in die Praxis“, am ASP Teisendorf [MAURER, 2005a]
Spätwinter / Herbst 2005	Probenahme von Blatruheknospen im Bestand Klink an acht unmittelbar benachbarten Baumpaaren mit jeweils gesundem und geschädigtem Partner für die nachfolgend durchgeführte zusätzliche Analyse mit molekulargenetischen AFLP-Genmarkern [durchgeführt an der Universität Göttingen, vgl. hierzu BÜNTGE et al., 2005].
Spätherbst 2005	Zusammenführung und Evaluierung des soweit vorliegenden Datenmaterials und Präsentation beim Abschluss-symposium am 16./17.11.2005 in Luxembourg Cité.

Tab. 2: Übersicht über die untersuchten Enzymsysteme, ihre Funktion im pflanzlichen Stoffwechsel und die als Genmarker analysierten kontrollierenden Genorte

Tab. 2: List of the enzyme systems studied, their distinct function in plant metabolism and the controlling gene loci analyzed as gene markers

Enzymsystem [Abk., EC-Nomenklaturnummer]	wirkt katalytisch / regulatorisch	Isoenzym-Genmarker
Glutamat-Oxalacetat Transaminase [GOT, EC 2.6.1.1] <i>syn.</i> Aspartat Amonotransferase [AAT]	im Stickstoff-Stoffwechsel	GOT-B <i>syn.</i> AAT-B
Isocitrat Dehydrogenase [IDH, EC 1.1.1.42]	im Citratcyclus, Energiestoffwechsel	IDH-A
Leucinaminopeptidase [LAP, EC 3.4.11.1]	beim Eiweißabbau, Proteinkatabolismus	LAP-A
Malat Dehydrogenase [MDH, EC 1.1.1.37]	im Citratcyclus, in Verbindung mit der Photosyntheseaktivität	MDH-A, MDH-B, MDH-C
Menadionreduktase [MNR, EC 1.6.99.2]	beim Elektronentransport und Redoxgleichgewicht	MNR-A
6-Phosphogluconat Dehydrogenase [6PGDH, EC 1.1.1.44]	im Pentosephosphatcyclus, Kohlenhydrat-Stoffwechsel	6PGDH-A
Phosphoglucose Isomerase [PGI, EC 5.3.1.9]	in der Glykolyse, Kohlenhydrat-Stoffwechsel	PGI-A
Phosphoglucomutase [PGM, EC 2.7.5.1]	in der Glykolyse, Kohlenhydrat-Stoffwechsel	PGM-A
Shikimat Dehydrogenase [SKDH, EC 1.1.1.25]	im Biosyntheseweg der aromatischen Aminosäuren, Sekundärstoffwechsel	SKDH-A

sen ähneln und zum anderen, wie genetisch ähnlich oder unähnlich die beiden Buchenbestände im gegenseitigen Vergleich sind.

Isoenzymatische Untersuchungen an Buchenpopulationen waren in den 1990er Jahren in Rheinland-Pfalz als Inventur zur Ausweisung von *in situ*-Buchen-Generhaltungsbeständen (MAURER & TABEL, 2000) an 22 Beständen mit Altbäumen und Samen sowie in Nordrhein-Westfalen an 27 Buchenbeständen (TUROK, 1993) mit Eckern zur genetischen Identifizierung dieser Bestände durchgeführt worden.

In Tab. 3 sind als vergleichende Übersicht die damals erzielten Untersuchungsergebnisse aus Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen zusammen mit den genetischen Daten der beiden Modellbestände Klink und Rambrouch zusammengestellt. Für die rheinland-pfälzischen und nordrhein-westfälischen Referenzbestände wurden die aufgeführten Zahlenangaben aus TUROK (1993 und 1996), TUROK et al. (1998) sowie ZIEHE et al. (2002) entnommen.

Auch wenn bei diesen Untersuchungen unterschiedliche Anzahlen von Individuen je Bestand isoenzymatisch analysiert wurden, so können doch die jeweiligen Ergebnisse deshalb miteinander verglichen werden, weil die gleiche Anzahl an Isoenzym-Genmarkern und nur anstelle von MNR das Enzym Diaphorase (DIA, EC 1.6.4.3), das im Stoffwechselgeschehen ähnliche Funktionen wie Menadionreduktase wahrnimmt, für die rheinland-pfälzischen und nordrhein-westfälischen Referenzbestände alternativ verwendet wurde.

Zur Erklärung der in Tab. 3 aufgeführten genetischen Maße [weitere Details hierzu siehe z.B. bei HATTEMER et al., 1993]:

Die **genische Diversität** v mittelt als harmonischer Mittelwert die an allen Genorten mit entsprechenden Häufigkeiten vorkommenden allelischen Varianten und spiegelt damit – extrem verdichtet – die für die untersuchten Genorte vorgefundene Variation des Genpools (sog. Genpool-Diversität) wider.

Tab. 3: Charakteristische genetische Daten für den Genpool der beiden Buchen-Modellbestände Klink und Rambrouch im Vergleich zu anderen Buchenbeständen aus Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen

Tab. 3: Characteristic genetic data as determined for the gene pool of the beech model stands Klink and Rambrouch in comparison to other beech stands from Rhineland-Palatinate and North Rhine-Westphalia

Isoenzymatisch untersuchte Buchenpopulationen	Anzahl Altbäume (A) bzw. Bucheckern (B)	genetische Diversität	Gesamtdifferenzierung des Allelbestands	allelische Genpool-Differenzierung	mittlere allelische Genpool-Differenzierung	genetischer Abstand
	n	v	δT (%)	D_j (%)	δ (%)	d_0 (%)
Bestand Klink (FA Saarburg)	500 (A)	1,38	27,8	3,50	-	3,40
Bestand Rambrouch (FA Wiltz)	500 (A)	1,36	26,6	2,50	-	
22 rheinland-pfälzische Buchenbestände (MAURER&TABEL 2000); darunter aus dem Wuchsgebiet	je 200 (A)	nicht veröffentlicht	26 - 29	2,1 - 4,6	3,0	1 - 8
Hunsrück (RLP) 3 Bestände			27,9	1,8	3,6	
Osteifel (RLP) 1 Bestand			27,7	2,2	-	
Westeifel (RLP) 5 Bestände			27,4	1,8	3,3	
Gutland (RLP) 2 Bestände			27,2	2,5	4,2	
27 nordrhein-westfälische Buchenbestände (TUROK, 1996) darunter aus dem Wuchsgebiet	je 100 (B)	1,30 - 1,51	23 - 38	2,8 - 11,8	5,5	3 - 16
Nordeifel (NRW) 6 Bestände		1,42	29,8	2,2	6,0	

Die Obergrenze des v -Wertes wird durch die Anzahlen der nachgewiesenen Allelvarianten begrenzt. Die **Gesamtdifferenzierung des Allelbestands** δ_T misst die genetische Variation innerhalb des Genpools von Beständen. Bei einem Wert von 100 % sind alle allelischen Varianten aller Genorte und damit alle Individuen entsprechend verschieden. Bei Null liegt jeweils nur ein einziges (monomorphes) Allel je Genort vor, d.h. die Individuen sind genetisch absolut identisch, wie dies z.B. für Kloneschwister zutrifft.

Im Maß der **Differenzierung** D_j spiegelt sich Verschiedenheit zwischen einem Bestand und seinem Komplement (das ist der Rest des insgesamt untersuchten Probekollektivs) wider. Der Wert Null bedeutet genetische Gleichheit mit dem Komplement. Je mehr der Wert von Null verschieden ist, desto deutlicher unterscheidet sich der betreffende Bestand von den anderen. Bei einem Wert von 100 % ist der Bestand absolut genetisch verschieden von allen anderen Beständen des Komplements.

Der **genetische Abstand** d_0 liegt zwischen Null (d.h. zwei Bestände besitzen übereinstimmende allelische Strukturen an allen Genorten) und 100 % (d.h. zwei Bestände besitzen überhaupt kein gemeinsames Allel). Mit $d_0 = 3,4$ % sind die Bestände Klink und Rambrouch hinsichtlich der allelischen Varianten und deren Verteilung äußerst ähnlich.

Nach MÜLLER-STARCK & ZIEHE (1991) ist das Ausmaß der genetischen Differenzierung zwischen den Buchenpopulationen im *Fagus sylvatica*-Verbreitungsgebiet grundsätzlich gering, der Hauptanteil der genetischen Variabilität ist innerhalb der Bestände vorzufinden. Wie die Daten in Tab. 3 deutlich machen, reihen sich die beiden Modellbestände Klink und Rambrouch hinsichtlich der bestandesinternen genetischen Variation wie auch der Differenzierung zwischen den Beständen direkt in die Liste der angeführten Referenzbestände aus dem westdeutschen Buchenverbreitungsgebiet ein. Aus genetischer Sicht weisen die beiden Buchenpopulationen Klink und Rambrouch mit den verwen-

deten Isoenzym-Genmarkern also dahingehend keine abweichenden Besonderheiten und Eigentümlichkeiten auf, welche gegebenenfalls mit der Buchenkomplexkrankheit in Verbindung gebracht werden könnten.

Genotypisierung der Modellbestände

Beispielhaft für die beiden genetisch charakterisierten Modellbestände ist in der Abb. 1 der Bestand Klink mit der räumlichen Verteilung aller Bäume dargestellt; hierbei markieren die dunkler erscheinenden Punkte die Schadbäume.

Ein jeder eingemessene Baum mit seinen spezifischen Lagekoordinaten innerhalb des jeweiligen Buchenbestands ist während des Projektzeitraums

zudem im jährlichen Turnus hinsichtlich seines Zustands zum Käfer- bzw. Pilzbefall erfasst worden.

Genetische Familienstrukturen

Da eine künstliche Begründung der beiden Modellbestände Klink und Rambrouch nicht bekannt ist, ist zu erwarten, dass diese Bestände durch sog. Familienstrukturen innerhalb von Bestandesteilflächen, welche typisch für natürlich entstandene Vorkommen sind, geprägt sind. Ausschlaggebend für solche Familienstrukturen sind bestimmte Einzelbäume, die im Generationenwechsel als dominierende Samenbäume für die Bestandesentstehung vorwiegend ihre eigene genetische Information an die Nachkommenschaften weitergeben konnten und somit sehr enge Verwandtschaftsverhältnisse entstehen ließen.

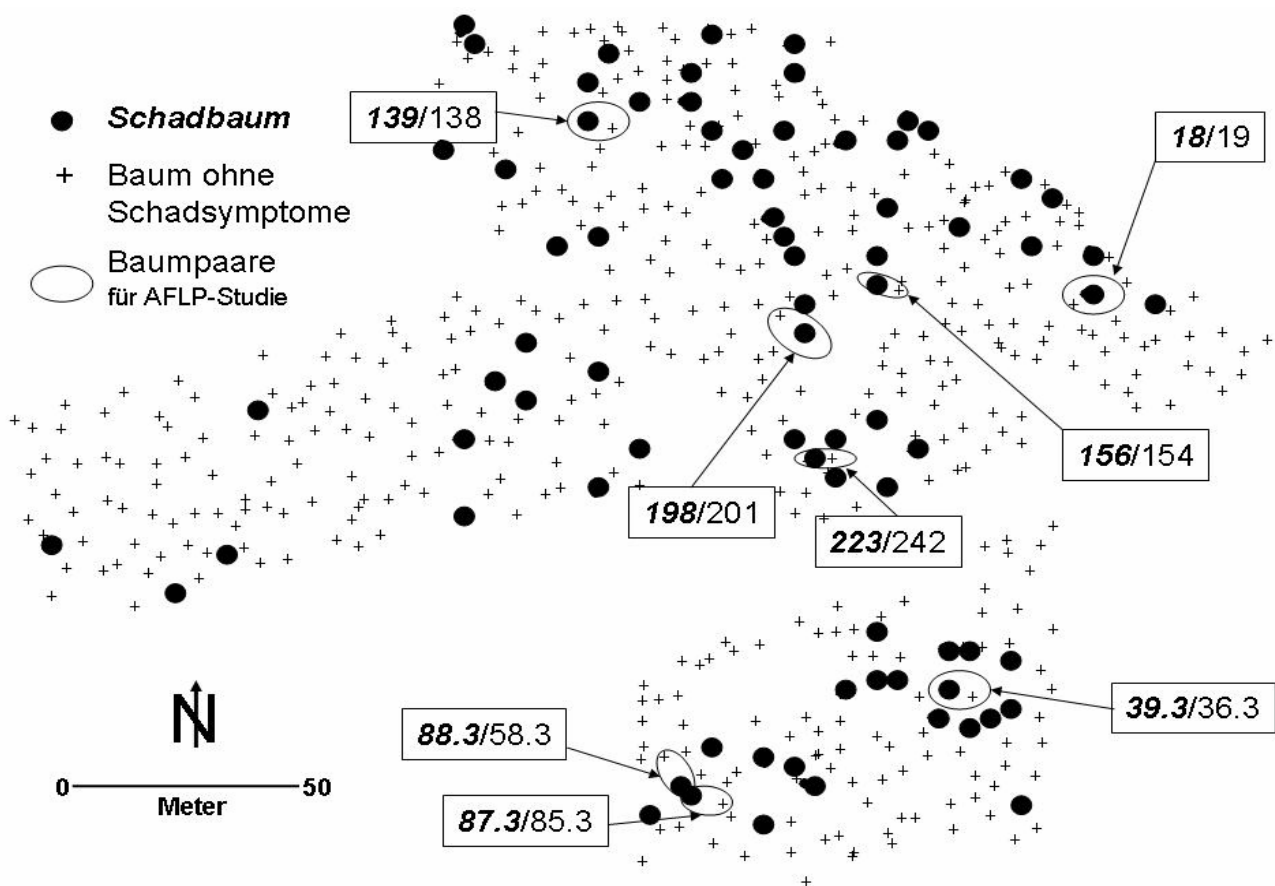


Abb. 1: Räumliche Lage der einzelbaumweise nummerierten Buchen im Bestand Klink; die dunkleren Kreise repräsentieren die im Jahr 2004 vorgefundenen geschädigten Bäume. Die Kreise beinhalten die acht Baumpaare mit jeweils unmittelbar benachbartem geschädigtem/gesundem Partner, die mittels AFLP-Markern genetisch untersucht wurden (siehe Abschnitt „Molekulargenetische Untersuchung mit AFLP-Genmarkern“)

Fig. 1: Spatial location of the marked individual beech trees in the studied stand Klink; the darker dots represent those trees found damaged in 2004. The circles include the eight tree pairs each consisting of a damaged and a healthy partner found in immediate neighborhood and studied by applying AFLP gene markers (cf. section “Molekulargenetische Untersuchung mit AFLP-Genmarkern”)

Die identifizierten Multilocus-Genotypen der Bäume der beiden Bestände Klink und Rambrouch bestätigen diesen Sachverhalt. Hinweise darauf, ob bestimmte Familienstrukturen auf der Basis der hier ermittelten Multilocus-Genotypen durch auffällige Allelkombinationen mit der Buchenkomplexkrankheit in Verbindung gebracht werden können, konnten soweit nicht erhalten werden.

Buchenwollschildlausbefall

Bei den meisten, von der Buchenkomplexkrankheit betroffenen Buchenbeständen in der Schadensregion ist auch ein Besatz von Bäumen mit der Buchenwollschildlaus (*Cryptococcus fagisuga*) in unterschiedlichem Ausmaß vorzufinden. Die Rolle, die diesen auch natürlicherweise auf Buchen saugenden Insekten in den Schadensbeständen zukommt, ist allerdings nicht eindeutig und umstritten (PETERCORD, mündl. Mitteilung; vgl. hierzu auch PETERCORD, 2006a).

So fanden GORA et al. (1994) bei ihrer genetischen Untersuchung mit Isoenzym-Genmarkern an einem im Solling gelegenen, teilweise von der Buchenwollschildlaus befallenen Buchenreinbestand einen von ihnen als signifikant beschriebenen Zusammenhang zwischen genetischer Information und Befallsdisposition der Buchen. Diese Beziehung beruhte auf den am Genort A des Enzyms Isocitrat Dehydrogenase (IDH-A) sowie den jeweiligen Genorten B der Enzyme Malat Dehydrogenase (MDH-B) und Peroxidase (PER-B) vorgefundenen Genotypen bezüglich ihrer jeweiligen relativen Häufigkeiten. Hierbei kamen unter den nicht befallenen Bäumen die homozygot besetzten Genorte jeweils häufiger vor als unter den befallenen (zitiert bei PETERCORD, 1999).

In einer ähnlichen Pärchen-Vergleichsstudie mit befallenen und nicht befallenen Bäumen aus anderen mit der Buchenwollschildlaus infizierten Beständen bestätigten KRABEL & PETERCORD (2000) diese Unterschiede beim Genort IDH-A. Durch die unabhängig am Genort IDH-A vorgefundenen Unterschiede schließen die Autoren auf einen Hinweis für eine genetisch bedingte Befallsdisposition dahingehend, dass dieser Genort in irgendeiner Weise

an deren Kontrolle mitbeteiligt ist. Zwar nimmt das Enzym Isocitrat Dehydrogenase innerhalb des Primärstoffwechselgeschehens als bedeutsamer Biokatalysator im für den Energiestoffwechsel verantwortlichen Citratcyclus eine zentrale Stelle ein, in welchem Zusammenhang dies jedoch mit Abwehrreaktionen und Resistenzen gegenüber Pathogenen steht, ist nicht bekannt.

MITTON (1989, zitiert nach MOPPER et al., 1991) weist allerdings darauf hin, dass durch einen effektiveren Primärstoffwechsel einer Pflanze mehr Energie zur Verfügung steht, welche vermehrt zur Bildung von Abwehrstoffen verwendet werden kann.

Für den Bestand Rambrouch wurde bei seiner Erstbeschreibung im Sommer 2004 im Rahmen der Zustandsaufnahme zur Schädigung neben Moosbesatz, Schleimfluss, Rindenrissen und -ablösungen sowie Pilzkonsolen auch der Befall mit Wollschildlaus erfasst. In Tab. 4 ist für diesen beispielhaft ein Teil der mit Wollschildlaus befallenen Bäume zusammen mit Ergebnissen der isoenzymatischen Untersuchung (von links nach rechts: individueller Multilocus-Genotyp, Heterozygotiegrad, Anzahl der homozygoten und heterozygoten Genorte) dargestellt. Unter den dort mit Isoenzym-Genmarkern genetisch eindeutig identifizierten 494 Bäumen befinden sich 81 Individuen mit deutlichem Wollschildlaus-Besatz, d.h. 16,4 % bzw. rd. ein Sechstel dieses Modellbestands sind zu diesem Zeitpunkt von der Wollschildlaus befallen. Bei der Überprüfung der für die Wollschildlaus als bedeutsam genannten Genorte IDH-A und MDH-B [Peroxidase spielt bei genetischen Untersuchungen als Genmarker insofern keine Rolle mehr, weil diese bei Waldbäumen als nicht umweltunabhängig betrachtet wird (BERGMANN, 1991)], konnten die Befunde der o.a. Autoren mit dem bei der vorliegenden Untersuchung gewonnenen Datenmaterial zum Teil bestätigt werden.

Wie aus Tab. 5 zu entnehmen ist, sind für den Genort IDH-A nicht befallene Bäume in homozygoter Besetzung mit 67,6 % um ca. 10 % anteilmäßig häufiger nachzuweisen als befallene mit 56,8 %.

Hingegen hält sich die entsprechende Verteilung bezüglich des Genorts MDH-B mit 60,5 % bzw. 60,8 % die Waage und ist somit indifferent. Inwieweit dieses beim Genort IDH-A hier reproduzierte Phänomen für den Wollschildlausbefall von Buchen von tatsächlicher grundlegender Bedeutung ist, sollte mit differenzierenden Studien weiter verfolgt werden.

Als wichtige genetische Kenngröße gilt die Heterozygotie, d.h. dem Zustand von Genorten, deren Allelpaare auf den homologen Chromosomen nicht identisch sind (HESS, 1982). Im Bereich der Forstgenetik wird ein hohes Maß an Heterozygotie bei Waldbaumarten zumeist als die genetische Ursache für hohe Vitalität und Leistung angesehen. Eine formale statistische Prüfung für die Buchen im Bestand Rambrouch, inwieweit der individuelle Heterozygotiegrad (das ist der für jeden Baum festgestellte Anteil aller heterozygot besetzten Genorte

an allen hier untersuchten 11 Genorten, vgl. Tab. 4) mit einem Wollschildlausbefall in Zusammenhang gebracht werden kann, führte zur Feststellung, dass sich befallene und nicht befallene Bäume hinsichtlich des individuellen Heterozygotiegrads nicht unterscheiden lassen.

Molekulargenetische Untersuchung mit AFLP-Genmarkern

Mit Hilfe der neueren DNA-Fingerprinttechnik AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism) können Sequenzunterschiede in der genomischen DNA auch aus nichtkodierenden Bereichen von Individuen sichtbar gemacht werden [Details zur Methode, an der spezifische, die DNA in Fragmente unterschiedlicher Länge zerteilende Restriktionsenzyme und die Polymerasekettenreaktion (PCR) mit Primern beteiligt sind, siehe bei VOS *et al.*, 1995]. Unter Einsatz von ausgewählten Primern, die u.a. auch schon bei heimischen Baum-

Tab. 4: Beispielhafter Auszug aus dem Datenblatt von Bestand Rambrouch mit einem Teil der mit Buchenwollschildlaus befallenen Bäume (j, Befall; n, ohne Befall; weitere Details im nachfolgenden Text)

Tab. 4: *Exemplary excerpt from the data sheet of the stand Rambrouch including part of those trees in the stand Rambrouch infested by woolly beech scale (j, infestation; n, no infestation; more details are described in the following text)*

Baumnummer	Easting	Northing	Bhd	Soziale Stellung	Buchenwollschildlausbefall	Schleimfluß	Veränderung des Moosbesatzes	Rindenrisse	Rindenablösungen	Pilzkonsolen	Multilocus- Genotyp; 11 Genorte; Baumzahl: 81											Heterozygotiegrad		Genorte homozygot	Genorte heterozygot
											MNR	IDH	LAP	MDA	MDB	MDC	6PG	PGI	PGM	SKD	GOT	%	n		
5	53113,269	100037,006	32	2	j	n	j	n	n	n	33.33.44.22.34.12.22.22.33.33.2	27	8	3											
9	53108,159	100019,332	40	2	j	n	n	j	n	n	33.22.34.22.34.22.22.23.22.33.3	27	8	3											
13	53091,001	100004,199	55	1	j	n	j	j	n	n	33.33.34.22.34.12.22.22.33.33.2	36	7	4											
18	53074,988	99972,504	54	1	j	n	j	j	n	n	33.33.44.22.33.11.22.22.23.33.2	18	9	2											
33	53115,693	99983,861	42	1	j	n	n	j	j	n	33.33.33.22.33.12.22.22.23.33.2	27	8	3											
38	53121,984	100016,177	51	1	j	n	j	j	n	j	33.33.33.22.34.12.22.22.33.33.2	27	8	3											
43	53141,952	100051,590	51	1	j	n	j	j	n	n	33.33.23.22.13.12.22.22.23.33.3	36	7	4											
46	53163,135	100041,518	49	2	j	n	j	j	n	n	33.33.22.22.33.12.22.22.33.33.2	18	9	2											
58	53110,762	99944,557	39	2	j	n	n	j	n	n	33.23.23.22.23.22.22.22.22.33.2	36	7	4											
63	53125,698	99950,294	48	2	j	n	n	n	n	n	33.23.24.22.34.12.22.22.33.33.3	36	7	4											
68	53145,846	99969,041	39	3	j	n	j	n	j	j	33.33.44.22.33.12.22.22.33.33.2	18	9	2											
90	53148,772	99952,308	56	3	j	n	j	n	n	n	33.33.34.22.34.12.22.22.23.33.2	45	6	5											
91	53145,598	99936,146	28	3	j	n	n	n	n	n	33.33.33.22.14.22.22.22.23.33.3	18	9	2											
98	53165,895	99951,882	43	2	j	n	j	n	n	n	33.33.33.22.34.22.22.22.33.33.2	18	9	2											
104	53191,917	99943,466	38	2	j	n	j	j	n	n	33.33.23.22.34.22.22.22.33.33.2	18	9	2											
105	53180,466	99946,824	33	3	j	n	j	j	n	n	33.23.33.22.33.12.22.22.33.33.2	27	8	3											
107	53168,965	99958,518	42	2	j	n	j	j	n	n	33.33.34.22.34.22.22.22.33.33.3	18	9	2											
111	53188,473	99950,436	29	2	j	n	j	j	n	n	33.33.33.22.34.22.22.22.22.33.3	9	10	1											
125	53205,580	99994,131	51	1	j	j	j	j	j	j	33.33.33.22.33.22.22.22.23.33.2	18	9	2											

Tab. 5: Übersicht über die Verteilung der homozygot und heterozygot besetzten Genorte IDH-A und MDH-B bei Buchen im Bestand Rambrouch ohne und mit Wollschildlausbesatz

Tab. 5: *An overview of the proportion of homozygous and heterozygous gene loci IDH-A and MDH-B of the beech trees in stand Rambrouch with and without infestation by woolly beech scale*

Wollschild- lausbesatz	Baumzahl	IDH-A		MDH-B	
		Baumzahl / (%ualer Anteil)		Baumzahl / (%ualer Anteil)	
		Genort homozygot	Genort heterozygot	Genort homozygot	Genort heterozygot
ohne	413	279 / (67,6 %)	134 / (32,4 %)	251 / (60,8 %)	162 / (39,2 %)
mit	81	46 / (56,8 %)	35 / (43,2 %)	49 / (60,5 %)	32 / (39,5 %)

arten wie bei der Stiel- und der Traubeneiche getestet wurden (GERBER et al., zitiert in GILLET, 2000), sollte in der vorliegenden Studie geprüft werden, ob sich diese molekularen Marker gegebenenfalls mit der Buchenkomplexkrankheit in Verbindung bringen lassen.

Mit AFLPs können mit einem verhältnismäßig akzeptablen Aufwand an Zeit und Kosten eine hohe Anzahl genetischer Marker erzeugt werden, die erste Hinweise dafür erbringen können, ob geschädigte und gesunde Buchen an bestimmten Stellen des Genoms – einschließlich der nichtkodierenden Bereiche – Unterschiede aufweisen. Bei positivem Nachweis ist dann aber natürlich weiter zu eruieren, von welcher Art der durch die unterschiedlichen genetischen Strukturen angezeigte Zusammenhang mit dem individuellen Zustand „gesund“ oder „geschädigt“ ist.

Die für die AFLP-Untersuchung ausgewählten Baumpaare sind in Tab. 6 zusammengestellt, ihre jeweilige Standposition innerhalb des Bestands Klink ist der Abb. 1 zu entnehmen.

Die Analyse zur Auftrennung der DNA-Fragmente entsprechend ihrer unterschiedlichen Längen wurde in der vorliegenden Studie mit einem sog. Kapillarsequenzierer durchgeführt.

Um Aufwand und Umfang der analytischen Untersuchung so gering wie möglich zu halten, wurden einleitend jeweils Mischproben aus dem Blattknospen-Untersuchungsmaterial der acht Schadbäume bzw. der acht schadfreien Bäume angefertigt und mit einer Auswahl von Primerkombinationen getestet. Für be-

stimmte Primerkombinationen wurde solchermassen ein positives Signal bei der Mischprobe der geschädigten Bäume registriert, bei der Mischprobe der gesunden Bäume hingegen nicht. In der nachfolgenden Einzelanalyse konnten diese Signale allerdings nicht bei jedem einzelnen der acht Bäume mit Schadsymptomatik vorgefunden werden. Dieser Befund macht deutlich, dass die getesteten Basenpaar-Abschnitte nicht die Eigenschaft einer grundsätzlichen Diskriminierung zwischen Schadbäumen und nicht geschädigten Bäumen besitzt.

Auch wenn die Vorgehensweise bei solchen genetischen Untersuchungen auf den ersten Blick aufwändig erscheint – nur mit Hilfe eines solchen Screenings lässt sich gemäß „trial and error“ die berühmte „Stecknadel im Heu“ finden, d.h. ist es möglich, auch auf der molekulargenetischen Ebene mögliche Korrelationen bei der Buchenkomplexkrankheit aufzufinden.

Fazit und Ausblick

Mittels verschiedener, in Verbindung mit der Buchenkomplexkrankheit erstmals eingesetzter Genmarker wurde eine genetische Studie mit dem Ziel

Tab. 6: Übersicht über die zur genetischen Untersuchung mit AFLP-Genmarkern ausgewählten 8 Baumpaare (gesund/geschädigt) im Bestand Klink

Tab. 6: *An overview of the 8 tree pairs (healthy/damaged) from stand Klink selected for genetic analysis by applying AFLP gene markers*

Baumpaar	Baum-Nr.							
gesund	19	138	154	201	242	36.3	58.3	85.3
geschädigt	18	139	156	198	223	39.3	88.3	87.3

durchgeführt zu prüfen, ob bestimmte genetische Strukturen auf wie auch immer geartete Korrelationen mit der Buchenkomplexkrankheit hinweisen. Mit den üblicherweise für die genetische Charakterisierung von Buchenpopulationen verwendeten Isoenzym-Genmarkern deutet sich ansatzweise nur bei Genort IDH-A ein solcher Zusammenhang an. Bei der Isoenzym-Genmarkergruppe wäre allerdings die Weiterentwicklung von solchen Genmarkern wünschenswert, die ausdrücklich den Sekundärstoffwechsel genetisch charakterisieren, zumal sich in diesem Stoffwechselbereich bei der Wirtsfindung von *Trypodendron domesticum* die wichtige Interaktion zwischen Wirtsbaum und Schädling abspielt (z.B. HOLIGHAUS & SCHÜTZ, 2006). Weitere Möglichkeiten, Hinweise zur möglichen genetischen (Prä-)disposition für die Buchenkomplexkrankheit durch Einblicke in die genetische Strukturierung der Buchen in Schadensbeständen zu erhalten, bieten die sich derzeit immer routinemäßiger und damit weniger aufwändig und kostenintensiv entwickelnden molekulargenetischen Methoden an.

Daneben stellen die beiden Modellbestände Klink und Rambrouch eine hervorragende Plattform für die Zukunft dar, in Verbindung mit anderen Monitorings auch ein genetisches Monitoring durchzuführen, um die Schadensentwicklung auf der genetischen Ebene innerhalb der Bestände mitverfolgen zu können und auch hieraus entsprechende Rückschlüsse abzuleiten (konzeptionelle Grundlagen für das genetische Monitoring sowie erste praktische Anwendungen, vgl. hierzu ANONYMUS, 2004; KÄTZEL et al., 2005 sowie MAURER, 2005b).

Literatur

ANONYMUS (2003): Internet-Projektseite www.interreg-buche.de.

ANONYMUS (2004): Internet-Seite www.genres.de/fgardeu/genetisches-monitoring

BERGMANN, F. (1991): Isozyme gene markers. In: G. MÜLLER-STARCK & M. ZIEHE (eds.): Genetic variation in European populations of forest trees. Sauerländer's Verlag Frankfurt am Main, pp.67-78.

BÜNTGE, A.; LEINEMANN, L.; GAILING, O. & FINKELDEY, R. (2005): Untersuchungen zum genetischen Hintergrund der Buchenkomplexkrankheit mit der AFLP-Fingerprint-

Technik. Interner unveröffentlichter Abschlussbericht des Instituts für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung der Universität Göttingen, 33 Seiten.

- GILLET, E. [ed.] 2000): Which DNA marker for which purpose? Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg, Nr. 138, 164 pages.
- GORA, V.; STARKE, R.; ZIEHE, M.; KÖNIG, J.; MÜLLER-STARCK, G. & LUNDERSTÄDT, J. (1994): Influence of genetic structures and silvicultural treatments in a beech stand (*Fagus sylvatica*) on the population dynamics of beech scale (*Cryptococcus fagisuga*). Forest Genetics 1: 157-164.
- HATTEMER, H.H.; BERGMANN, F. & ZIEHE, M. (1993): Einführung in die Genetik. J.D. Sauerländer's Verlag Frankfurt/M., Kapitel 14 Genetische Variation und Differenzierung, S.260ff.
- HESS, D. (1982): Genetik. 9. Auflage, Herder Verlag Freiburg i. Br., 160 Seiten.
- HOLIGHAUS, G. & SCHÜTZ, S. (2006): Strategie der olfaktorischen Wirtsfindung von *Trypodendron domesticum* L.. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59/06, 119 - 128.
- KÄTZEL, R.; MAURER, W.D.; KONNERT, M. & SCHOLZ, F. (2005): Genetisches Monitoring in Wäldern. Forst und Holz, 60. Jg., Nr.5/2005: 179-183.
- KRABEL, D. & PETERCORD, R. (2000): Genetic diversity and bark physiology of the European beech (*Fagus sylvatica* L.): a coevolutionary relationship between the beech scale (*Cryptococcus fagisuga*). Tree Physiology 20: 485-491.
- MAURER, W.D. (2005a): Konzeption für einleitende genetische Begleituntersuchungen an ausgewählten Schadbständen in Rheinland-Pfalz und Luxemburg mit der Symptomatik der „neuartigen Buchenkomplexkrankheit“. In: ASP TEISENDORF (Hrsg.): Ergebnisse forstgenetischer Feldversuche und Laborstudien und ihre Umsetzung in die Praxis, 300-311.
- MAURER, W.D.(2005b): Genetisches Langzeitmonitoring im Wald unter Berücksichtigung von *in-situ*- und *ex-situ*-Erhaltungsmaßnahmen. In: F. BEGEMANN, S. SCHRÖDER & S. WEIGAND (Hrsg.), ZADI-Schriften zu genetischen Ressourcen, Band 24 „Analyse und Bewertung der genetischen Vielfalt in der Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft zur Ableitung von Entscheidungskriterien für Erhaltungsmaßnahmen“, 82-90.
- MAURER, W.D. & TABEL, U. (2000): Einrichtung und Bewirtschaftung forstlicher Generhaltungsbestände am Beispiel der Buche (*Fagus sylvatica* L.) in Rheinland-Pfalz (Deutschland). Forest, Snow & Landscape Research 75 (1/2): 219-231.
- MOPPER, S.; MITTON, J.B.; WHITHAM, T.G.; COBB, N.S. & CHRISTENSEN, K.M. (1991): Genetic differentiation and heterozygosity in pinyon pine associated with resistance to herbivore and environmental stress. Evolution 45: 989-999.
- MÜLLER-STARCK, G. (1993): Auswirkungen von Umweltbelastungen auf genetische Strukturen von Waldbeständen am Beispiel der Buche (*Fagus sylvatica* L.). Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Band-Nr. 112. J.D. Sauerländer's Verlag Frankfurt am Main, 163 Seiten.

- MÜLLER-STARCK, G. & ZIEHE, M. (1991): Genetic variation in populations of *Fagus sylvatica*, *Quercus robur* L. and *Quercus petraea* LIEBL. in Germany. In: G. MÜLLER-STARCK & M. ZIEHE (eds.): Genetic Variation in European Populations of Forest Trees. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, pp.125-140.
- MÜLLER-STARCK, G. & STARKE, R. (1993): Inheritance of isozymes in European beech (*Fagus sylvatica* L.). Heredity 84: 291-296.
- PARINI, C. & PETERCORD, R. (2006): Der Laubnutzholzborkenkäfer *Trypodendron domesticum* L. als Schädling der Rotbuche. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59/06, 63 - 78.
- PETERCORD, R. (1999): Entwicklung bewirtschafteter Buchen-Edellaubholz-Mischbestände unter dem Einfluss der Buchenwollschildlaus (*Cryptococcus fagisuga* LIND.) unter besonderer Berücksichtigung physiologischer und genetischer Aspekte. Hainholz Verlag Göttingen & Braunschweig, Band Nr. 7, 277 Seiten.
- PETERCORD, R. (2004): Befall des Laubnutzholzborkenkäfers (*Xyloterus domesticus* L.) an stehender Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.). Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft 396: 268-269.
- PETERCORD, R. (2006a): Die Buchenwollschildlaus (*Cryptococcus fagisuga* LIND.) als Auslöser der Buchenrindennekrose. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59/06, 53 - 62.
- STARKE, R.; HATTEMER, H.H.; ZIEHE, M.; VORNAM, B.; TUROK, J.; HERZOG, S.; MAURER, W. & TABEL, U. (1995): Genetische Variation an Enzym-Genloci der Buche. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 166.Jg., 8: 161-167.
- TUROK, J. (1993): Levels of genetic variation in 20 beech (*Fagus sylvatica* L.) populations from western Germany. In: H.-J. MUHS & G. VON WÜHLISCH (eds.): The scientific basis for the evaluation of the genetic resources of beech. Proceedings of an EC Workshop, Ahrensburg, 1.-2. July 1993, pp. 181-196.
- TUROK, J. (1996): Genetische Untersuchungen bei der Buche – genetische Anpassungsprozesse und die Erhaltung von Genressourcen in Buchenwäldern (*Fagus sylvatica* L.). LÖBF-Schriftenreihe, Band 8, 136 Seiten.
- TUROK, J.; STARKE, R.; ZIEHE, M. & HATTEMER, H.H. (1998): Genetische Differenzierung rheinland-pfälzischer Buchenbestände an Enzym-Genloci. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 169.Jg., 6/7: 126-135.
- VOS, P.; HOGERS, R.; BLEEKER, M.; REIJANS, M.; VAN DE LEE, T.; HORNES, M.; FRIJTERS, A.; POT, J.; PELEMAN, J.; KUIPER, M. & ZABEAU, M. (1995): AFLP: a new technique for DNA fingerprinting. Nucleic Acids Research 23: 4407-4414.
- ZIEHE, M.; VORNAM, B.; MÜLLER-STARCK, R.; TUROK, J.; HATTEMER, H.H.; MAURER, W.D. & TABEL, U. (2002): Genetische Strukturen der Buche in Rheinland-Pfalz. Mitteilungen aus der FAWF, Nr. 49/02: 99-118.

Danksagung

Der Autor bedankt sich bei:

- (1) **FD Dr. Joachim Block** (FAWF Trippstadt) für die Aufnahme des vorliegenden genetischen Begleitprojekts in die Gesamtuntersuchung zur neuartigen Buchenkomplexkrankheit;
- (2) **Herrn Jean-Pierre Arend** (Direction des Eaux et Forêts Luxembourg) für dessen Mitwirkung bei der Auswahl eines geeigneten Buchen-Modellbestands in Luxemburg;
- (3) der Fa. ISOGEN Göttingen (**Dr. Bernhard Hosius & Dr. Ludger Leinemann**) für die im Rahmen eines Werkvertrags durchgeführte Probenahme an den beiden Untersuchungsbeständen Rambrouch (Luxemburg) und Klink (Rheinland-Pfalz), für die Durchführung der Laborarbeiten zur isoenzymatischen Untersuchung des umfangreichen Buchenmaterials und ihrer allzeit vorhandenen kollegialen beratenden Tätigkeit bei der soweit erfolgten Evaluierung des Datenmaterials;
- (4) den Herren **FD i.R. Dieter Hosius** (vormals FA Prüm) **und Claude Parini** (Direction des Eaux et Forêts Luxembourg) für deren tatkräftige Mitwirkung bei der Kennzeichnung der Probebäume im Bestand Rambrouch; Herr Parini hat dem Autor zudem das Datenmaterial mit den im Bestand Rambrouch eingemessenen Bäumen sowie deren Befalls-/Gesundheitszustand zur Verfügung gestellt.
- (5) Und last but not least möchte der Autor seinem Kollegen **Dr. Ralf Petercord**, der trotz höchster Belastung mit dem von ihm betreuten Gesamtprojekt jederzeit ein offenes Ohr für fachliche Gespräche hatte, seinen herzlichen Dank und größten Respekt vor seiner Leistung bekunden.

Die am Institut für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung der Georg-August-Universität Göttingen von Frau Anna Büntge et al. durchgeführte molekulargenetische Studie mit AFLP-Genmarkern wurde durch das rheinland-pfälzische Ministerium für Umwelt und Forsten Mainz finanziell gefördert.

Autorenanschriften:

Dr. Werner Maurer
Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz
Schloss
D-67705 Trippstadt
Email: werner.maurer@wald-rlp.de

Die Buchenwollschildlaus (*Cryptococcus fagisuga* LIND.) als Auslöser der Buchenrindennekrose

Petercord, R.

Zusammenfassung

Die Buchenrindennekrose ist eine altbekannte Erkrankung, die für die Rotbuche *Fagus sylvatica* L. bereits vor 130 Jahren von ROBERT HARTIG beschrieben wurde. Eine entsprechende Erkrankung der Amerikanischen Buche *Fagus grandifolia* EHRH. wurde von JOHN EHRLICH 1934 unter der Bezeichnung Beech Bark Disease auf einen Pilzbefall nach vorangegangenen Buchenwollschildlausbefall zurückgeführt. Die Symptome und der Krankheitsverlauf sind bei beiden Baumarten ähnlich und von zahlreichen Autoren ausführlich bearbeitet worden. Trotz der Untersuchungsergebnisse von EHRLICH ist die Krankheitsursache der Buchenrindennekrose in Europa weiterhin umstritten.

Die in Rheinland-Pfalz und Luxemburg im Frühjahr 2001 beobachteten Krankheitssymptome sind charakteristisch für das Endstadium der Erkrankung. Jahrringanalysen geschädigter Buchen und eine Analyse der Witterungsdaten über das Schadgebiet hinaus, machen eine zunächst vermutete Schädigung der Rinde durch ein Frühfrostereignis im November 1998 unwahrscheinlich. Vielmehr wird als Auslöser der Erkrankung ein Buchenwollschildlausbefall angesehen, der vermutlich zu Beginn der 90er Jahre auftrat und in seiner Bedeutung unterschätzt wurde.

Die Saugaktivität der Buchenwollschildlaus führt in der Rinde zu kleinflächigen Nekrosen, die bei Massenbefall von der Buche nicht vollständig ausgeheilt und so zu Eintrittspforten holzzerstörender Pilze werden können. Der Zeitraum zwischen dem Befall durch die Buchenwollschildlaus und dem letztendlichen Absterben des Baumes erstreckt sich über mehrere Jahre und ist abhängig von der individuellen Vitalität, dem Auftreten von Sekundärschädlingen und der Witterung.

Der wirtschaftliche Schaden kann durch frühzeitigen Einschlag erkrankter Bäume vermindert werden, allerdings nicht mehr im Endstadium der Erkrankung. Im Frühstadium kann die Buche die Erkrankung ausheilen, daher sollten Buchen nicht allein aufgrund des Buchenwollschildlausbefalls eingeschlagen werden.

Buchen mit massivem Buchenwollschildlausbefall sollten markiert, in den nachfolgenden Jahren auf Krankheitssymptome (Schleimfluss, Rindenrisse) hin beobachtet werden und gegebenenfalls im Rahmen der regelmäßigen Durchforstungen entnommen werden.

Schlüsselwörter: Buche, *Fagus sylvatica*, *Fagus grandifolia*, *Nectria*, Rindennekrose, Schleimfluss, holzzerstörende Pilze, Interreg III A

The beech scale (*Cryptococcus fagisuga* LIND.) as causing agent of the beech bark disease

Summary

The beech bark disease is a well-known disease of the European beech *Fagus sylvatica* L., which was first described by ROBERT HARTIG 130 years ago. A corresponding disease of the American beech *Fagus grandifolia* EHRH. was put down by JOHN EHRLICH in 1934 to a fungal infestation following an infestation by the beech scale. The symptoms and disease process are similar for both tree species and described in detail by numerous authors. Despite the results of EHRLICH the cause of the beech bark disease is further disputed

in Europe.

The disease symptoms observed in Rhineland-Palatinate and Luxembourg in spring of 2001 are characteristic of the final stage of the disease. Annual ring analyses of diseased beeches and an analysis of the weather conditions for the damaged area make improbable any damage of the bark assumed first by an early frost occasion in November 1998. Rather an infestation of the beech scale is held responsible for the disease, which presumably occurred at the beginning of the 1990's and was underestimated in its effects.

The suction activity of the beech scale leads to small-area necroses in the inner bark. When massive infestation of the beech tree occurs, it cannot heal completely, thus becoming gates for wood-destroying fungi. The period between the infestation by the beech scale and final dying-off of the damaged tree extends over several years and depends on its individual vitality, the occurrence of secondary pests, and the weather conditions.

The economic damage can be decreased by precocious felling of the affected trees, however it is impossible to do this in the final stage of the disease. In the first stage beech can heal up the disease. Therefore beech trees should not be felled because of an infestation by the beech scale. Beech trees with a serious infestation by beech scale should be marked, monitored for symptoms of the disease (slime flux, bark fissures) in the following years and, if necessary, cut down within regular thinning.

Keywords: European beech, *Fagus sylvatica*, *Fagus grandifolia*, *Nectria*, bark necrosis, slime flux, wood-destroying fungi, Interreg III A

Einleitung

Die Buchenrindennekrose in der Literatur

Die Buchenrindennekrose, die durch ein partielles Absterben der Rinde gekennzeichnet ist, gilt als die bedeutendste Krankheitserscheinung der Rotbuche *Fagus sylvatica* L. im nordwestlichen Mitteleuropa (WACHENDORF, 1983). Seit der Erstbeschreibung durch ROBERT HARTIG (1878), unter der Bezeichnung „Buchenbaumlausgallen“, ist die Ursache der Erkrankung Gegenstand der forstentomologischen und -pathologischen Forschung. Hatte HARTIG zunächst die Saugaktivität der Buchenwollschildlaus (*Cryptococcus fagisuga* LIND.) als alleinige Krankheitsursache beschrieben, so weist er 1900 auf eine mögliche Beteiligung von *Nectria ditissima* TUL. & C. TUL. im Krankheitsverlauf hin. Spätere Autoren benennen neben dem Insekt-Pilz-Komplex auch unbekannte Schleimflusserreger, Bakterien, Viren oder in Abkehr von biotischen Schaderregern, Witterungsextreme als Krankheitsursache. Eine Übersicht über die verschiedenen Hypothesen zur Krankheitsursache in den vergangenen 130 Jahren bietet Tabelle 1.

Entsprechend der Vielzahl unterschiedlicher Ursachenhypotesen ging die Krankheit unter den Bezeichnungen „Schleimfluß-Wollaus-Nectria-Krankheit“ (RHUMBLER, 1914), „Schleimflußkrankheit“ (RHUMBLER, 1928), „Buchensterben“ (GERHARD, 1942), „Buchenrindenfäule“ (ZYCHA, 1943), „Rindensterben der Buche“ (ZYCHA, 1951), „Buchenrindennekrose“ (PAUCKE und GROH, 1965) und „Buchen-Komplexkrankheit“ (EISENBARTH, 2001) in die deutschsprachige Literatur ein. Einige dieser Bezeichnungen beziehen sich auf mögliche Krankheitsursachen, andere auf Symptome der Krankheit bei weit vorgeschrittenem Verlauf. Die Bezeichnung „Komplexkrankheit“ setzt die Erkrankung in Beziehung zu den Komplexkrankheiten der Eiche und Tanne, bei denen die Bäume im Zusammenspiel biotischer und /oder abiotischer, prädisponierender Faktoren erkranken. Diese sehr langfristigen Baumkrankheiten werden häufig im Zusammenhang mit einer schleichenden Vitalitätsabnahme der Bäume durch Schadstoffimmissionen gesehen und sind daher eher den neuartigen Waldschäden zuzurechnen. Zwar wirken auch bei der Buchenrindennekrose verschiedene Faktoren auf den

Tab. 1: Hypothesen zur Krankheitsursache der Buchenrindennekrose verschiedener Autoren

Tab. 1: Hypothesises about the causes of the beech bark disease by different authors

Jahr	Autor	Vermutete Krankheitsursache
1878	HARTIG	„Buchenbaumlause“, „Buchenbaumlausegallen“
1900	HARTIG	„Buchenwollause“ (<i>Coccus fagi</i>) + Pilz (<i>Nectria spec.</i>)
1914-1931	RHUMBLER	unbek. Schleimflusserreger (1914 Pilz; 1931 Bakterien) + Wollause + <i>Nectria</i> („Buchenwollause-Erkrankungskette“)
1943	ZYCHA	Viren als Schleimflusserreger
1943	LEIBUNDGUT u FRICK; ZYCHA	Winterkälte
1950/51	SITTIG; PFNORR; ZYCHA	Winterkälte/ Sommertrockenheit
1960	SCHWERDTFEGER	Buchenwollschildeule als auch extreme Witterungsereignisse
1967	DIMITRI	niedrige und hohe Temperaturen (Witterungsextreme)
1967/68	DIMITRI	Biotischer Schaderreger (<i>Nectria coccinea</i>)
1973	BUTIN u. ZYCHA	sehr trockene Sommer oder sehr kaltes Frühjahr
1976/77	BRAUN	Anatomie der Buchenrinde und Buchenwollschildeule

Krankheitsverlauf ein, aber eher im Sinne, des von LIESE (1951) geprägten Begriffs einer Kettenkrankheit. Es gibt also einen auslösenden Faktor im Sinne einer „conditio sine qua non“. Die Bezeichnung „Komplexkrankheit“ ist daher in zweifacher Hinsicht irreführend. Im folgenden wird daher die Bezeichnung „Buchenrindennekrose“ verwendet, da diese auf das erste Merkmal der Erkrankung, das Auftreten nekrotischen Rindenparenchyms, zurückgeht und damit den Krankheitsbeginn treffend benennt.

Eine entsprechende Erkrankung der Amerikanischen Buche *Fagus grandifolia* EHRH., die erst nach der Einschleppung der Buchenwollschildeule nach Nordamerika auftrat, wurde von EHRLICH (1934) auf die Komplexwirkung von Buchenwollschildeule und anschließendem Befall durch *Nectria coccinea* var. *faginata* LOHMAN, WATSON and AYERS zurückgeführt.

Symptome der Erkrankung in Rheinland-Pfalz und Luxemburg im Frühjahr 2001

Im Frühjahr 2001 wurde die Krankheit durch flächig aufreißende und abplatzende Rinde sichtbar. Das Kambium unterhalb der geschädigten Rindenpartien war flächig abgestorben und braun bis schwarzbraun verfärbt, der Holzkörper durch Weißfäule- respektive Braunfäuleerreger weitgehend

zerstört. An einzelnen Stämmen traten, ausschließlich oder auch zusätzlich zu den beschriebenen Symptomen, die Fruchtkörper, der an der Holzzerstörung beteiligten Pilzarten auf. In der Mehrheit handelte es sich bei diesen holzzerstörenden Pilzen um den Zunderschwamm (*Fomes fomentarius* (L.:FR.) FR.) sowie den Rotrandigen Baumschwamm (*Fomitopsis pinicola* (SWARTZ:FR.) P. KARSTEN). In geringerem Umfang traten auch der Brandkrustepilz (*Ustulina deusta* (HOFFM.) PETRAK), der Flache Lackporling (*Ganoderma applanatum* (PERS.) PAT.), der Angebrannte Rauchporling (*Bjerkandera adusta* (WILLD.:FR.) P. KARSTEN), der Striegelige Schichtpilz (*Stereum hirsutum* (WILLD.:FR.) S. F. GRAY) und der Austernseitling (*Pleurotus ostreatus* (JACQ.:FR.) KUMMER) in Erscheinung. An einzelnen Bäumen wurden auch holzbesiedelnde Insekten beobachtet, dabei handelte es sich um den Sägehörnigen Werftkäfer (*Hylecoetus dermestoides* L.) und die Laubnutzholzborkenkäfer (*Trypodendron domesticum* L. und *T. signatum* F.), die im Bereich der Schadstelle Brutsysteme anlegten.

Die Schäden traten mehrheitlich an der nordexponierten Stammseite in einer Stammhöhe von 3 bis 8 m auf. Einzelne Stämme erlitten innerhalb weniger Monate nach dem Erkennen der Erkrankung in der jeweiligen Stammhöhe einen Kronenbruch, der die

bereits weit vorgeschrittene Holzerstörung durch die Pilze verdeutlicht.

Die Symptome der Erkrankung sind typisch für das Endstadium der Buchenrindennekrose, allerdings wurden in den Vorjahren keine Hinweise auf eine mögliche Erkrankung (starker Buchenwollschilddrusenbesatz, Schleimflussflecken, Rindenrisse) beobachtet bzw. konnte sich keiner der örtlich zuständigen Forstbeamten an solche Symptome erinnern. Die Erkrankung trat vielmehr völlig unerwartet auf.

Witterungsereignisse als mögliche Krankheitsursache

Das nahezu zeitgleiche, überregionale Auftreten der Erkrankung in Luxemburg und Rheinland-Pfalz sowie in den angrenzenden Regionen in Belgien, Frankreich und Nordrhein-Westfalen (EISENBARTH et al., 2001) legt die Vermutung nahe, dass ein überregional wirksamer Faktor krankheitsauslösend war. Ein extremes Witterungsereignis könnte ein solcher Faktor sein. HUART (2001) sowie NAGELEISEN und HUART (2005) führen die Erkrankung daher auf ein Frühfrostereignis im Herbst 1998 zurück.

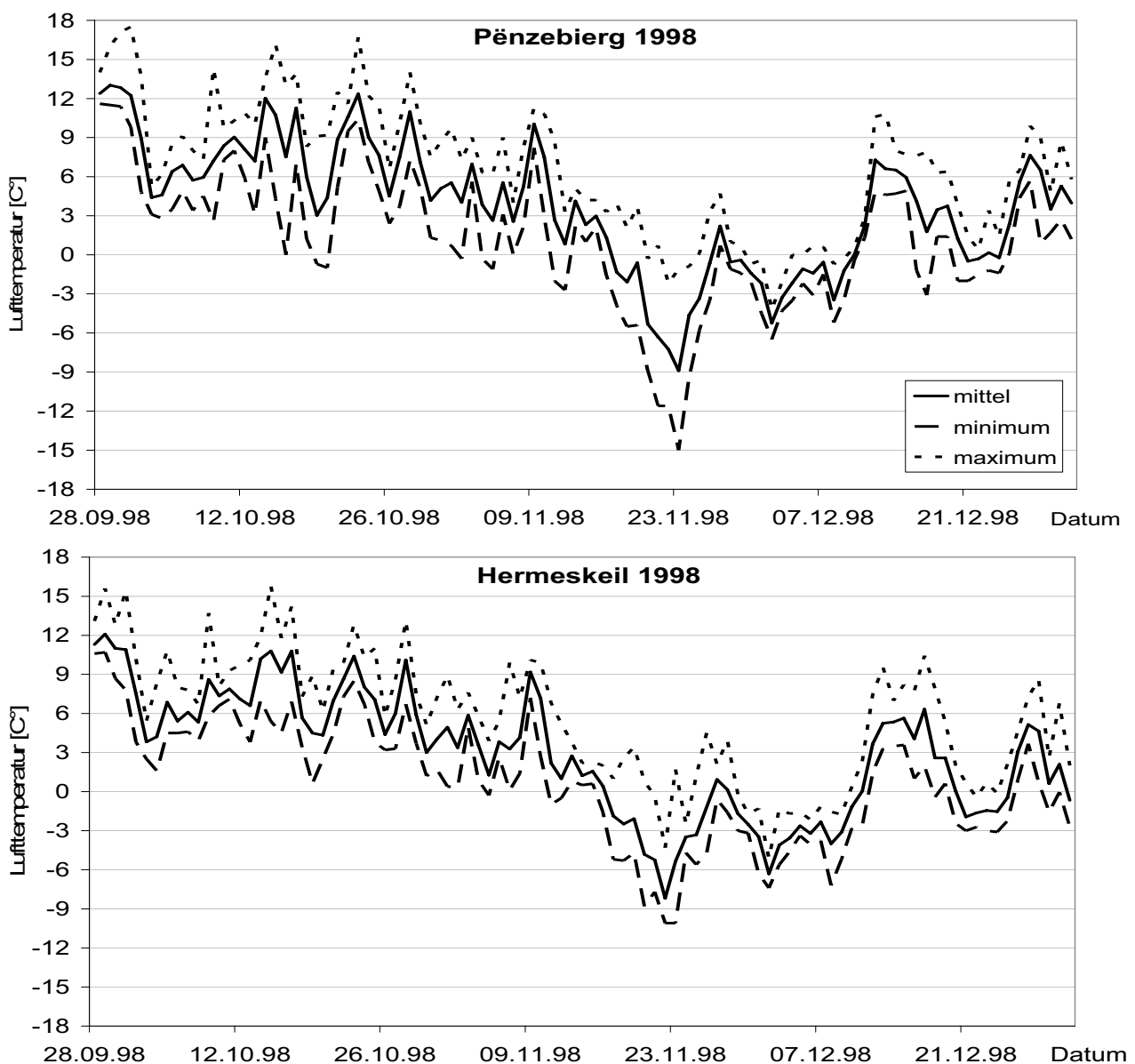


Abb. 1: Temperaturverlauf im Oktober und November 1998 innerhalb des Schadgebiets an den Wald-Klimastationen Pénzebiorg und Hermeskeil
 Fig. 1: Temperature sequence at October and November 1998 inside of the damaged area at the meteorological stations Pénzebiorg and Hermeskeil

Der November 1998 war zunächst vergleichsweise mild bis es im Zeitraum vom 18. - 23. November durch den Zufluss russischer Polarluft zu einem Kaltlufteinbruch kam. Die Temperaturabnahme war so stark, dass am 22. November an einigen Klimastationen innerhalb der späteren Schadregion die bisherigen Temperaturminima für die dritte Novemberdekade unterschritten wurden. HUART schließt aus dem Temperaturverlauf im November 1998 auf eine nicht ausreichende Frosthärte der Buche, die zusätzlich durch die derzeitigen Stickstoffeinträge negativ beeinflusst sein könnte.

Gegen diese Hypothese sprechen allerdings eine Reihe von Argumenten. Die Frosthärte wird photo- und thermoperiodisch gesteuert. Da der Oktober 1998 im langjährigen Mittel unterdurchschnittlich kühl war, muss für den November 1998 von einer jahreszeitgemäßen Frosthärte ausgegangen werden. Eine Verminderung derselben durch eine erhöhte Stickstoffdeposition ist zwar denkbar, allerdings ist die Stickstoff-Gesamtdosition [TD N] im luxemburgisch/rheinland-pfälzischen Schadgebiet mit 19,5 bis 36 kg/ha pro Jahr nicht auffällig erhöht. Regionen mit deutlich höheren Stickstoffeinträgen und ähnlichem Temperaturverlauf wären, sofern es sich um einen Frühfrostscha den gehandelt hätte, deutlich disponierter für ein entsprechendes Schadereignis gewesen. Tatsächlich betraf das Frühfrostergebnis vom November 1998 ein wesentlich größeres Gebiet als das spätere Schadgebiet. Dabei variierten die Minimumtemperaturen großräumig gering (s. Tab. 2). In Rheinland-Pfalz wurde die niedrigste Temperatur außerhalb des Schadgebietes in Pirmasens mit -13,4°C gemessen. Darüber hinaus traten die beschriebenen Schadsymptome nur an der Rotbuche auf, während frostempfindlichere Arten, wie Bergahorn, Eichen, Esskastanien und Robinien, keine Schäden zeigten. Innerhalb des Schadgebietes waren nicht alle Buchenbestände betroffen, ein Zusammenhang zwischen den Standortbedingungen, der Höhenlage oder der Exposition konnte nicht festgestellt werden. Schäden wurden in Buchenbeständen aller Altersklassen, mit Ausnahme der Altersklasse 1 beobachtet. Innerhalb der

betroffenen Bestände waren die Schäden räumlich zufällig einzelstammweise und über die gesamte BHD-Spreite sowie unabhängig von der Sozialen Stellung der betroffenen Bäume verteilt.

Jahrringanalysen an zufällig ausgewählten, erkrankten Stämmen, bei denen der letzte intakte Jahrring den Zeitpunkt der Entstehung der Kambiumnekrose markiert, verdeutlichen, dass die Kambiumnekrosen nicht an allen Bäumen zum selben Zeitpunkt auftraten und an einzelnen Bäumen bereits 1995 Nekrosen entstanden sind.

Die Entstehung entsprechender Schadbilder durch ein Frostereignis konnte in Frostungsversuchen, die vom Forstbotanischen Institut der Universität Göttingen durchgeführt wurden, nicht bestätigt werden (LANGENFELD-HEYSER et al., 2006b).

Dass extreme Witterungsereignisse Einfluss auf die individuelle Vitalität von Bäumen haben können steht sicherlich außer Frage, allerdings können die aktuell beobachteten Krankheitssymptome entsprechend den dargestellten Rahmenbedingungen nicht auf ein singuläres Witterungsereignis zurückgeführt werden. Vielmehr muss von einem oder mehreren biotischen Schadfaktoren als Auslöser ausgegangen werden, der allerdings durch langfristige wie auch extreme abiotische Faktoren (Witterung, Immissionsbelastung) und deren Wirkung auf die Einzelbaumvitalität in seinem Auftreten begünstigt worden sein kann.

Die Buchenwollschildlaus als Krankheitsauslöser

Die Buchenwollschildlaus (*Cryptococcus fagisuga* LIND.) gehört zur Gruppe der Rindenparenchym-sauger und lebt monophag an Buche. Sie ist in Europa endemisch im gesamten Verbreitungsgebiet der Rotbuche. Einzelne Kolonien finden sich ab einer gewissen Rindendicke des Wirtsbaumes als „Eiserner Bestand“ an nahezu jeder Buche. Zur Nahrungsaufnahme sticht sie mit ihrem ca. 2 mm langen Saugrüssel das Rindenparenchym interzellulär an. Im Bereich der Saugrüsselspitze entsteht eine Mikronekrose, die vermutlich durch spezielle Speichelsekrete hervorgerufen wird. Diese werden von der Laus zur Nahrungsaufnahme in das Gewe-

Tab. 2: Minimumtemperaturen innerhalb und außerhalb des Schadgebietes im November 1998

Tab. 2: Minimum temperatures in and outside of the damaged area at November 1998

Minimumtemperaturen im Schadgebiet im November 1998				
Land	Station	Höhe über NN	[°C]	Datum
Luxembourg	Pënzebiërg	450 m	-15,0	23.11
Luxembourg	Findel	376 m	-11,1	23.11.
Rheinland-Pfalz	Hermeskeil	630 m	-10,1	23.11.
Rheinland-Pfalz	Schneifel-Forsthaus	657 m	-10,8	23.11.
Rheinland-Pfalz	Manderscheid	403 m	-11,8	23.11.
Rheinland-Pfalz	Trier-Petrisberg	265 m	-11,0	23.11.
Belgien	Saint Hubert	558 m	-12,1	23.11.
Belgien	Elsenborn	520 m	-15,6	23.11.
Minimumtemperaturen außerhalb des Schadgebietes im November 1998				
Rheinland-Pfalz	Schaidt	131 m	-10,6	23.11.
Rheinland-Pfalz	Kirchheimbolanden	597 m	-9,4	23.11.
Rheinland-Pfalz	Merzalben	550 m	-10,3	23.11.
Rheinland-Pfalz	Pirmasens	280 m	-13,4	23.11.
Nordrhein-Westfalen	Brilon	472 m	-9,6	22.11.
Nordrhein-Westfalen	Kall-Sistig	505 m	-11,0	23.11.
Saarland	Neunkirchen-Wellesweiler	236 m	-13,8	23.11.
Hessen	Schotten	315 m	-11,1	22.11.

be abgegeben, um die Zellen im Bereich der Saugrüsselspitze als Nahrungsquelle zu erschließen (KLOFT, 1960). Die Buche reagiert auf diese Nekrose mit der Ausbildung eines sekundären Innenperiderms und kann auf diese Weise die Schädigung erfolgreich ausheilen. Es entsteht eine pathologische Borkenschuppe, die mit der Zeit über das Dickenwachstum abschilfert (s. Abb. 3). Dieser Ausheilungsprozess funktioniert allerdings nur bis zu einer bestimmten Besatzdichte der Laus. Kommt es zu einer Massenvermehrung der Laus entstehen tieferreichendere Nekrosen, die die Buche aufgrund ihrer besonderen Rindenanatomie nicht vollständig ausheilen kann. Die Bucherinde ist charakterisiert durch vollständig sklerotisierte Phloemstrahlen, die einer Borkenbildung entgegenstehen, weil deren Zellen nicht in teilungsfähiges Phellogen zurückdifferenziert werden können (s. Abb. 2). Innenperiderme, die im Bereich der Phloemstrahlen gebildet werden, enden rings um die Strahlen blind. Es bilden sich Nekrosetrichter, die zum Kambium hin

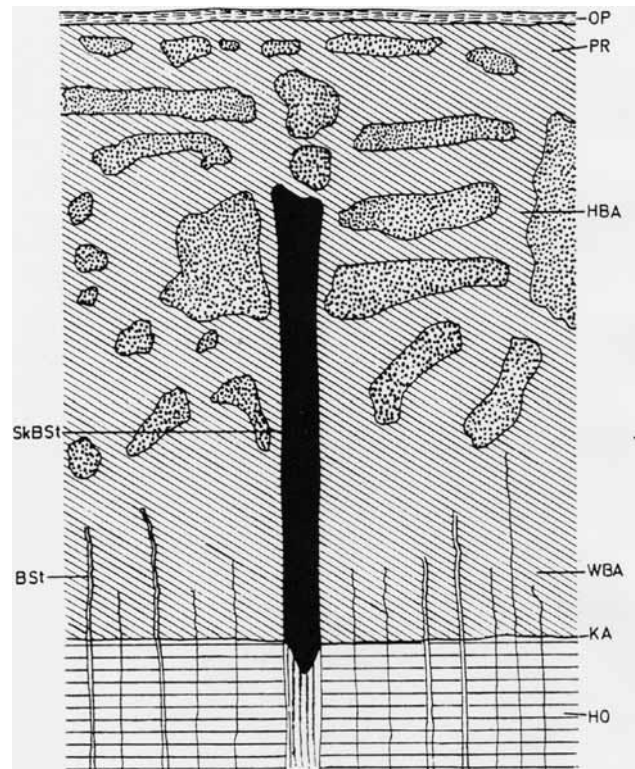


Abb. 2: Schematische Darstellung der Bucherinde (n. BRAUN, 1976/77)

Fig. 2: Schematic representation of beech bark (BRAUN, 1976/77)

offen sind und sich bereits durch das Dickenwachstum radial ausdehnen (BRAUN, 1976/77) (s. Abb. 4). Die Bildung solcher Nekrosetrichter kann als eigentlicher Krankheitsbeginn verstanden werden, da die Krankheit zum Selbstläufer geworden ist und sich die Rindennekrosen im Laufe der Zeit sukzessive zu Kambiumnekrosen entwickeln. Diese Entwicklung kann mehrere Jahre in Anspruch nehmen und erst zu Tage treten, wenn von der auslösenden Massenvermehrung der Buchenwollschilddlaus nichts mehr zu erkennen ist. BRAUN (1976) gibt für diese Entwicklung von der äußerlich nicht erkennbaren Rindennekrose zur Kambiumnekrose einen Zeitraum von 2-4 Jahren an. Die Tiefenverlagerung der Rindennekrose kann durch kurze Spannungsrisse äußerlich erkennbar sein. Schleimflussflecken, die als charakteristisches Symptom der Erkrankung gelten, treten erst bei weit vorgeschrittener Tiefenverlagerung auf. Aus zerstörten Siebröhren dringt Phloemwasser durch Rindensrisse an die Rindenoberfläche, dort dickt es durch die Verdunstung des Wassers ein und wird von Pilzen und Bakterien als Nährsubstrat besiedelt. So entsteht ein schwarzbrauner dickflüssiger Fleck. Schleimflussflecken müssen allerdings nicht bei jeder Kambiumnekrose auftreten und sind auch nicht krankheitsspezifisch, vielmehr handelt es sich um eine Wundreaktion, die nach jeder Kambiumverletzung entstehen kann. Dennoch ist ihr Auftreten ein wichtiges Merkmal zur frühzeitigen Erkennung der Buchenrindennekrose. Sofern keine Hinweise auf anderweitige Ursachen für die Flecken zu erkennen sind, muss von der Erkrankung ausgegangen werden.

Kambiumnekrosen können von der Buche, so wie jede andere Verletzung auch, überwältigt und ausgeheilt werden, allerdings bleiben T-Flecken als Spuren der Überwallung im Holzkörper zurück, die eine technische Entwertung darstellen.

Andererseits stellen Kambiumnekrosen Eintrittspforten für holzerstörende Pilze dar, die im Holzkörper ausgedehnte Weiß- oder Braunfäulen verursachen und letztlich zum Absterben des erkrankten Baumes führen. In diesem Zusammenhang ist *Nectria coccinea* (PERS.) FR., eine saprophytisch an Buchenrinde lebende Art, von besonderer Bedeu-

tung. *Nectria coccinea* gehört zwar nicht zur Gruppe der holzerstörenden Pilze, begünstigt aber deren Besiedlung und beeinflusst damit den Krankheitsverlauf negativ. *Nectria coccinea* kann die Rindennekrosen erfolgreich besiedeln, ausdehnen und ihre Tiefenverlagerung beschleunigen. Die Ausheilung von Rinden- bzw. Kambiumnekrosen wird damit deutlich erschwert und die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Besiedlung durch holzerstörende Arten steigt an. Möglicherweise ist *Nectria coccinea* als sekundär auftretender Folgeschädling damit der entscheidende Faktor im Krankheitsverlauf. Auf diese Interaktion von Buchenwollschilddlaus und *Nectria* sp. im Absterbeprozess der Buchenrinde hat EHRlich bereits

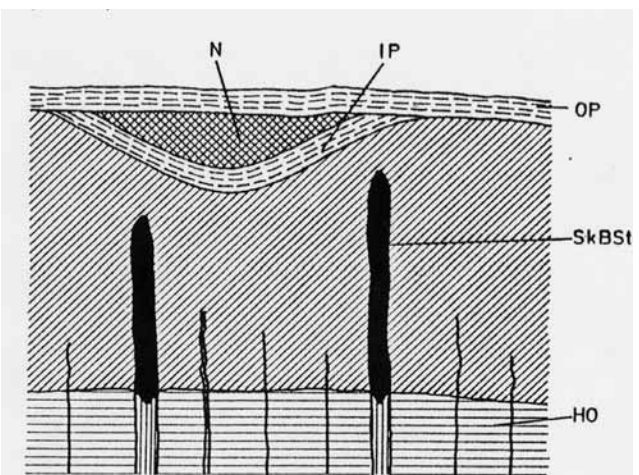


Abb. 3: Schematische Darstellung einer ausgeheilten Rindennekrose (n. BRAUN, 1976/77)

Fig. 3: Schematic representation of an healed up bark necrosis (BRAUN, 1976/77)



Abb. 4: Schematische Darstellung von Necrosetrichtern im Bereich der Sclerose-Phloemstrahlen (n. BRAUN, 1976/77)

Fig. 4: Schematic representation of funneled necrosis at sclerotic phloem rays (BRAUN, 1976/77)

1934 hingewiesen und in der Formel zusammengefasst:

Beech + Beech scale + Nectria sp. = Beech bark disease

Maßnahmen zur Verminderung des Krankheitsrisikos

Buchenwollschildlaus und *Nectria coccinea* sind endemische Organismen der europäischen Buchenwälder, das Risiko des Auftretens der Buchenrindennekrose damit ein systemimmanentes Risiko der Buchenwirtschaft. Auslöser der Erkrankung sind Massenvermehrungen der Buchenwollschildlaus, die stammbürtig am Einzelstamm auftreten können. Die Massenwechselfaktoren der Buchenwollschildlaus sind weitgehend unbekannt, allerdings kann aus dem Auftreten am Einzelstamm eine enge Wirt-Insekt-Beziehung abgeleitet werden. Durch die Immobilität des Insekts (ein aktiver Wirtspflanzenwechsel findet nicht statt) ist diese Beziehung besonders eng und wird vor allem über die Qualität

der Wirtspflanze als Nahrungsquelle bestimmt. Die Wirtspflanze weist aufgrund ihrer anatomischen und physiologischen Rindenbeschaffenheit einen Dispositionsgrad auf, der die Lauspopulation positiv oder negativ beeinflusst.

Massenvermehrungen der Buchenwollschildlaus können auf drei Ebenen beobachtet werden:

1. auf lokal begrenzten Rindengebieten am Einzelbaum,
2. auf Einzelbauebene,
3. auf Bestandesebene.

Hohe Populationsdichten auf begrenzten Rindengebieten (z.B. auf Überwallungsrändern) sind Ausdruck einer lokalen Disposition, die durch günstige (quantitativ und/oder qualitativ) Ernährungsbedingungen gekennzeichnet ist. Sie können Ausgangspunkt einer stammumfassenden Massenvermehrung am Einzelstamm sein. Dies verdeutlicht die unterschiedliche physiologische Eignung der individuellen Bestandesglieder als Nahrungsquelle bzw. die

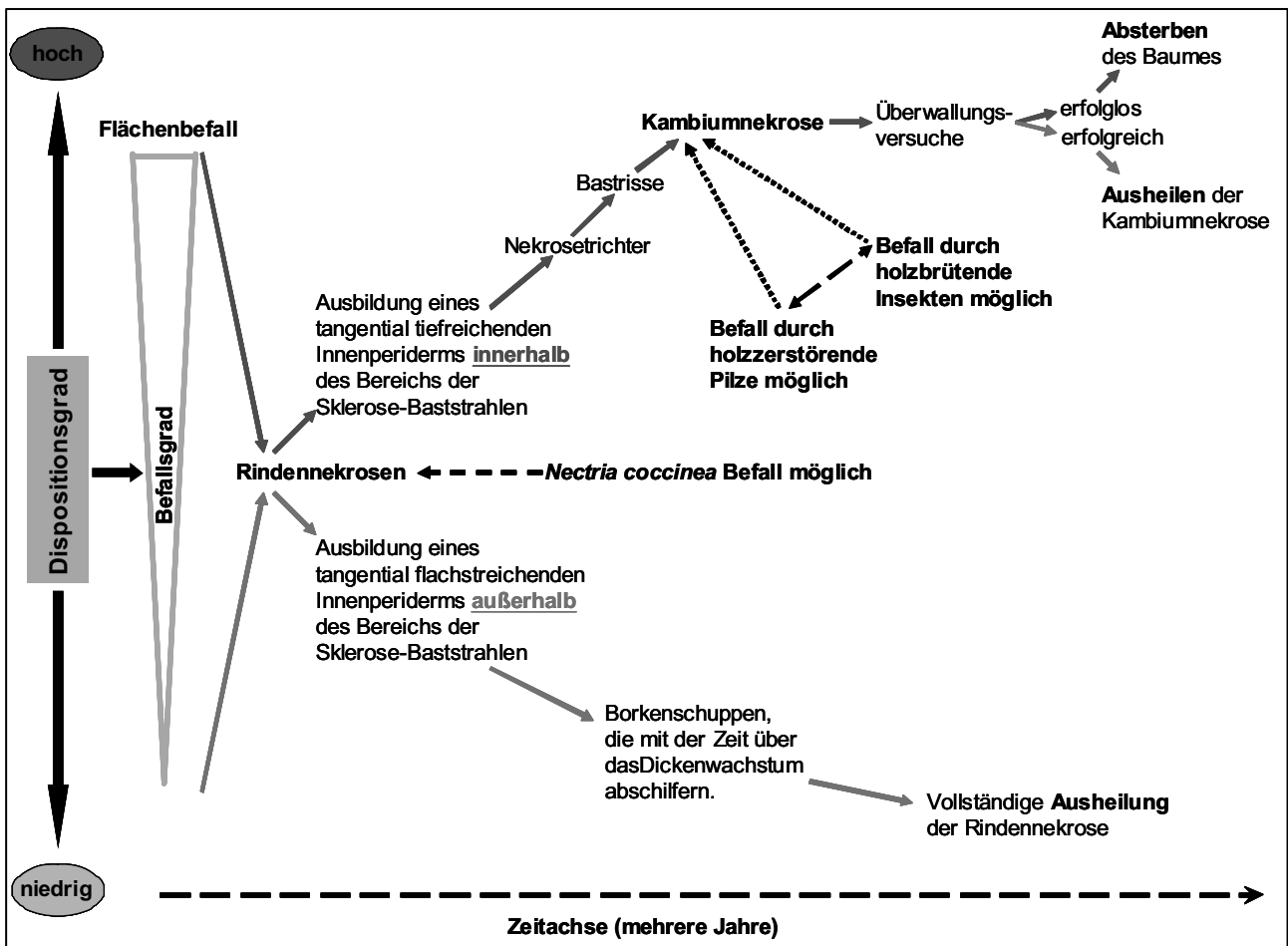


Abb. 5: Schematische Darstellung zum Ablauf der Buchenrindennekrose
 Fig. 5: Schematic representation about the course of beech bark disease

genetische Angepasstheit der Lauspopulation an die Physiologie der individuellen Wirtspflanze. Der Dispositionsgrad ist determiniert über den aktuellen Resistenzstatus, der vom Genotyp der Wirtspflanze, den kleinstandörtlichen Bedingungen und der Konkurrenzsituation (Soziale Stellung) beeinflusst wird. Die zeitgleiche Entstehung stammbürtiger Massenvermehrungen an verschiedenen Stämmen innerhalb eines Bestandes ist daher auf übergeordnete Massenwechselfaktoren (z.B. Witterungsextreme, Schadstoffimmissionen, Durchforstungsrückstände, etc.) zurückzuführen, die den individuellen Dispositionsgrad überlagern und auf Bestandesebene synchronisieren (LUNDERSTÄDT, 1990). Ein homogener Bestandaufbau und gleiches physiologisches Alter begünstigen diese Synchronisationseffekte. Ziel eines präventiven Waldschutzes muss die Vermeidung krankheitsauslösender Massenvermehrungen auf Einzelbaum- und Bestandesebene sein. Auf der Ebene des Einzelbaums kann das Risiko von Massenvermehrungen durch die Vermeidung von Verletzungen im Rahmen einer pfleglichen Waldbewirtschaftung sowie die Förderung der Einzelbaumvitalität durch die Vermeidung negativen Konkurrenzdruckes und die Vermeidung physiologischen Stresses (z.B. plötzliche Freistellung), minimiert werden. Da die Massenvermehrungen der Buchenwollschildlaus einzelstammbürtig sind, geht von Bäumen mit einer aktuellen Massenvermehrung keine Gefahr für benachbarte Bäume aus. Befallene Bäume sollten daher nicht entnommen werden, sondern vielmehr markiert, in den nachfolgenden Jahren auf Krankheitssymptome (Schleimfluss, Rindenrisse) hin beobachtet werden und gegebenenfalls im Rahmen der regelmäßigen Durchforstungen entnommen werden. Die Buche kann Massenvermehrungen der Buchenwollschildlaus durch eine gestaffelte induzierte Resistenzreaktion erfolgreich abwehren (PETERCORD, 1999) und Rindennekrosen ausheilen. Die vorzeitige Entnahme von Bäumen ohne charakteristische Krankheitssymptome, nur aufgrund einer Massenvermehrung der Buchenwollschildlaus, würde auch resistente Buchen treffen und damit die Bestandesstabilität verringern. Maßnahmen auf Bestandesebene müssen gegen

Synchronisationseffekte übergeordneter Massenwechselfaktoren ausgerichtet sein. Die Bestände sollten daher durch die Förderung horizontaler und vertikaler Strukturen hinsichtlich des individuellen physiologischen Alters diversifiziert werden. Eine Homogenisierung der Bestände ist zu vermeiden, femelartige Bearbeitung flächigen Verfahren vorzuziehen. Zusätzlich kann das Bestandesrisiko durch die Förderung von Mischbaumarten reduziert werden.

Literatur

- BRAUN, H.J. (1976): Das Rindensterben der Buche, *Fagus sylvatica* L., verursacht durch die Buchenwollschildlaus *Cryptococcus fagi* BÄR., I. Die Anatomie der Buche als Basis-Ursache. Eur. J. For. Path. 6: 136–146.
- BRAUN, H.J. (1977): Das Rindensterben der Buche, *Fagus sylvatica* L., verursacht durch die Buchenwollschildlaus *Cryptococcus fagi* BÄR., II. Ablauf der Krankheit. Eur. J. For. Path. 7: 76–93.
- BUTIN, H. und ZYCHA, H. (1973): Forstpathologie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart: 177pp.
- DIMITRI, L. (1967): Untersuchungen über die Ätiologie des „Rindensterbens“ der Buche. Forstw. Cbl. 86: 257–275.
- EISENBARTH, E. (2001): Buchen-Komplexkrankheit in Rheinland-Pfalz. AFZ-DerWald 56: 1220–1221.
- EISENBARTH, E.; WILHELM, G. J. und BERENS, A. (2001): Buchen-Komplexkrankheit in der Eifel und den angrenzenden Regionen. AFZ-DerWald 56: 1212–1217.
- EHRlich, J. (1934): The beech bark disease. A necrotic disease of *Fagus* following *Cryptococcus fagi* (BÄR.). Canadian Journal of Research 10: 593–692.
- GERHARD, W. (1942): Das Buchensterben. Dt. Forstbeamten-Ztg. 11: 306–308.
- HARTIG, R. (1878): Die krebsartigen Krankheiten der Rotbuche. Z. Forst- und Jagdwesen 9: 377–383.
- HARTIG, R. (1900): Lehrbuch der Pflanzenkrankheiten. 3. Aufl., Springer-Verlag, Berlin: 324pp.
- HUART, O. (2001): Die Buchenerkrankung in der Region Wallonien. In: EISENBARTH, E.; WILHELM, G. J. und BERENS, A. (2001): Buchen-Komplexkrankheit in der Eifel und den angrenzenden Regionen. AFZ-DerWald 56: 1212–1217.
- KLOFT, W. (1960): Wechselwirkungen zwischen pflanzensaugenden Insekten und den von ihnen besogenen Pflanzengewebe. Z. ang. Ent. 45/46: Teil I: 45:337–3813; Teil II: 46: 42–70.
- LANGENFELD-HEYSER, R.; FIEBELKORN, G.; POLLE, A. (2006b): Können Stichverletzungen oder Frühfrostereignisse bei *Fagus sylvatica* L. Rauborkigkeit und Holzstrahlproliferationen hervorrufen? Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59/06, 95 - 110.
- LEIBUNDGUT, H. und FRICK, L. (1943): Eine Buchenkrankheit im schweizerischen Mittelland. Schweizerische Zeitschrift

- f. Forstwesen 94: 297–306.
- LIESE, J. (1951): Die Rindenfäule der Buche. Der Wald 1: 12–14.
- LUNDERSTÄDT, J. (1990): Untersuchungen zur Abhängigkeit der Buchen-Rindennekrose von der Stärke des Befalls durch *Cryptococcus fagisuga* in Buchen- (*Fagus sylvatica*) Wirtschaftswäldern. Eur. J. For. Path. 20: 65–76.
- LYR, H. (1967): Über die Ursache der Buchenrindennekrose (Beech bark disease). Arch. Forstw. 16: 803–807.
- NAGELEISEN, L.-M. et HUART, O. (2005): Problèmes sanitaires d'actualité en hêtraie: la maladie du Hêtre dans les Ardennes. Revue Forestière française 57 (2): 249 - 253.
- PAUCKE, H. (1968): Frostungen an Buchen zur Induktion von Rindennekrosen. Arch. Forstw. 17: 565–570.
- PAUCKE, H. und GROH, M. (1965): Das Vorkommen der Buchenrindennekrose um Bleicherode und ihre Beziehung zu Stammhöhe, Bestandesalter und Rindendicke. Sozialistische Forstwirtschaft 15: 370–377.
- PETERCORD, R. (1999): Entwicklung bewirtschafteter Buchen-Edellaubholz-Mischbestände unter dem Einfluß der Buchenwollschildlaus (*Cryptococcus fagisuga* LIND.) unter Berücksichtigung physiologischer und genetischer Aspekte. Hainholz Forstwissenschaften Bd. 7, Göttingen, Braunschweig: 277pp.
- PFNORR, W. (1950): Dürreschäden an Buche auf Basalt. Allg. Forstz. 5: 154–155.
- RHUMBLER, L. (1914): Zur Biologie der Buchenrinden-Wollaus (*Cryptococcus fagi*). Deutsche Forst-Ztg. 29: 265–273.
- RHUMBLER, L. (1928): Die sogenannten Wolläuse und ihre Beziehungen zum Eingehen von Bäumen. Silva 16: 269–278.
- RHUMBLER, L. (1931): Über das Schicksal der von der Buchenrindenwollaus (*Cryptococcus fagi* BSP.) befallenen Buchen Zeitschrift f. angewandte Entomologie 18: 590–614.
- SCHWERDTFEGGER, F. (1960): Dürreerscheinungen an der Buche. Der Forst- u. Holzwirt 15: 195–196.
- SITTIG (1950): Dürreschäden der Buche auf Keuper und Muschelkalk. Allg. Forstz. 5: 99–100; 219–220.
- WACHENDORF, R. (1983): Erfahrungen über das Auftreten von Krankheiten und Schaderregern in den Buchenwäldern des nordwestlichen Mitteleuropas und deren Auswirkungen. Der Forst- und Holzwirt 38: 146–149.
- ZYCHA, H. (1943): Die Buchenrindenfäule. Der Deutsche Forstwirt 25: 265–266.
- ZYCHA, H. (1951): Das Rindensterben der Buche. Phytopathologische Zeitschrift 17: 444–461.

Autorenanschriften:

Dr. Ralf Petercord
Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz
Hauptstr. 16, D-67705 Trippstadt (bis Dezember 2005)

Email:
rpetercord@web.de

Der Laubnutzholzborkenkäfer *Trypodendron domesticum* L. als Schädling der Rotbuche

Parini, C. und Petercord, R.

Zusammenfassung

In der deutsch-belgisch-luxemburgischen Grenzregion wurde in den Vegetationsperioden 2001 und 2002 ein massiver Stehendbefall von augenscheinlich „vitalen“ Buchen durch den als sekundären Schädling bekannten Laubnutzholzborkenkäfer *Trypodendron domesticum* L. beobachtet. Zur Abschätzung der Gefährdungssituation wurde die Biologie und Populationsdynamik des Käfers in der Region mittels eines Fallenmonitorings in ausgewählten Beständen und Brutbildanalysen an Einzelstämmen untersucht.

Innerhalb der Bestände sind die befallenen Bäume nicht systematisch verteilt. Am Einzelstamm sind vornehmlich die nordexponierten Stammseiten in einer Höhe zwischen 20 bis 250 cm befallen. Der Befall ist in der Regel auf kleinere Stammbereiche nestartig beschränkt, ohne dass eine Vorschädigung erkennbar wäre. Erst bei vorsichtigem Abschälen der obersten Rindenschichten werden im Weichbast inselartige, hellbraune bis braunschwarze Nekrosen mit einem Durchmesser von bis zu 1 cm sichtbar. Diese Weichbastnekrosen sind in der Regel auf den Bast beschränkt und reichen nicht bis zum Kambium. Sie sind offenbar ursächlich für den Käferbefall.

Brutbildanalysen belegen, dass *Trypodendron domesticum* Buchen mit Weichbastnekrosen erfolgreich besiedeln kann, während in Brutsystemen an weißfaulen Buchen ein geringerer Bruterfolg festzustellen ist.

Die Ergebnisse des Monitorings, das in den Jahren 2002 bis 2005 mit Lockstofffallen durchgeführt wurde, geben Einblick in die Populationsdynamik und den jährlichen Flugverlauf der Art. Die Fangzahlen nahmen von 2002 zu 2003 stark ab, stiegen 2004 stark an und nahmen 2005 erneut stark ab. Der insgesamt abnehmende Trend der Retrogradation wurde durch die offensichtlich günstigen Witterungsbedingungen des Jahres 2003 unterbrochen. Der Flugverlauf war in allen Untersuchungsjahren durch drei Maxima der Schwärmaktivität gekennzeichnet. Das erste Maximum trat Mitte/Ende März auf und kennzeichnet den Flugbeginn. Das zweite, weniger stark ausgeprägte Maximum ergibt sich aus dem Wiedereinsetzen des Fluges nach einer witterungsbedingten Unterbrechung und kann als Flug der Nachzügler verstanden werden. Es trat in den Untersuchungsjahren ab Mitte April bis Anfang Mai auf. Das dritte Maximum war deutlich stärker ausgeprägt als das zweite und wurde regelmäßig Ende Mai/Anfang Juni beobachtet. Dieses dritte Maximum ist mit den bisherigen Vorstellungen zur Biologie von *Trypodendron domesticum* nicht zu erklären und könnte auf eine zweite Generation hinweisen. *Trypodendron domesticum* wäre dann wie in Südosteuropa auch in Mitteleuropa bivoltin.

Schlüsselwörter: Buche, *Fagus sylvatica*, *Trypodendron domesticum*, Ambrosiapilze, holzerstörende Pilze, Borkenkäferbefall, Stehendbefall, Lockstofffallen, Lineatin, Flugzeit

The European hardwood ambrosia beetle *Trypodendron domesticum* L. as an injurious insect of the European beech

Summary

In the border regions of Germany, Belgium and Luxembourg a massive attack of, at first sight, 'vital' standing beeches has been observed during the vegetation periods of 2001 and 2002 due to the European hardwood ambrosia beetle *Trypodendron domesticum* L., known as a secondary invader. In order to estimate the dimension of the thread, the biology and the population dynamics of the beetle have been examined in the region by carrying out a monitoring with the help of traps in selected stands and by analysing breeding behaviour on trunks.

Within the stands, the affected trees are not spread systematically. On the different trunks, the northern-exposed sides, at a height between 20 and 250 cm are mainly affected. The cluster-like infection is usually limited to small areas of the trunk without showing any preliminary signs of damage. It is only by carefully removing of the outer bark, that the roundish, light brown to brownish-black necroses with a diameter of about 1 cm appear in the inner bark. These inner bark necroses are generally limited to the phloem and do not reach up to the cambium. They are the cause for the beetle damage.

Analyses of brood galleries support the idea that *Trypodendron domesticum* can successfully colonize beech trees showing inner bark necroses, whereas a low brood success can be assessed in brooding systems on white-rotten beeches.

The results of the monitoring carried out with the help of attractant traps in the years from 2002 until 2005, gave an insight into the population dynamics and the yearly flight characteristics of the species. The number of beetles caught decreased significantly from 2002 to 2003, increased considerably in 2004 and decreased again in 2005. The overall trend of the retrogradation has been discontinued by the obviously favourable atmospheric condition in the year 2003. Through all the years of research, the flight has been characterized by three maximums of the swarming activity. The first maximum occurred mid/end of March and indicates the beginning of the flight. The second and less developed maximum results out of the reset of the flight after an interception due to unfavourable atmospheric condition and can be understood as the flight of the stragglers. It appeared during the research years from mid of April to beginning of May. The third maximum was stronger developed than the second one and has been observed regularly from end of May to beginning of June. It is impossible to explain this third maximum with the current state of knowledge on the biology of *Trypodendron domesticum*, however it could be an indication for a second generation. In this case, *Trypodendron domesticum* would be in central Europe bivoltine as in South-east Europe.

Keywords: European beech, *Fagus sylvatica*, *Trypodendron domesticum* bark beetle infestation, infestation of living trees, bark beetle trap, lineatin, flight period, ambrosia fungi

Einleitung

Seit April 2001 wird in der deutsch-belgisch-luxemburgischen Grenzregion neben dem erneuten Auftreten der Buchenrindennekrose auch ein massiver Stehendbefall von augenscheinlich „vitalen“ Buchen durch den Laubnutzholzborkenkäfer *Trypodendron domesticum* L. beobachtet (EISENBARTH et al., 2001). Die befallenen Buchen sind normal be-

laubt und weisen keine erkennbaren äußeren Verletzungen auf. Ihr Kambium ist stammumfassend intakt. Innerhalb der Bestände sind die befallenen Bäume einzelbaum- bis gruppenweise verteilt.

Trypodendron domesticum gehört zu den holzbrütenden Borkenkäfern und gilt als Lagerholzschädling, der lagerndes Holz bis hin zu absterbenden Stämme besiedelt. Der Befall „vitaler“ Buchen ist

ein neuartiges, bisher nicht beschriebenes Phänomen, das eine Neubewertung des Gefährdungspotenzials dieser Art bedingt. Entsprechend den bisherigen Kenntnissen zur Brutraumfindung der Art (KERCK, 1971; RAMISCH, 1984) muss allerdings von einer individuellen Disposition der betroffenen Bäume ausgegangen werden. Diese Vermutung wird durch die zufällige Verteilung innerhalb der Bestände und den ausschließlichen Befall der Baumart Buche gestützt.

Biologie von *Trypodendron domesticum*

Die Arten der Gattung *Trypodendron* (syn. *Xyloterus*) sind als Lagerholzschildlinge seit langem bekannt. In Mitteleuropa kommen die Arten *lineatum*, *domesticum* und *signatum* vor. Bei allen dreien handelt es sich um polyphage, monogame Holzbrüter, die sich xylomycetophag ernähren.

Während der gestreifte Nadelnutzholzborkenkäfer *Trypodendron lineatum* ausschließlich Nadelhölzer befallt, sind die anderen beiden Arten auf die Laubbaumarten beschränkt. *Trypodendron domesticum* bevorzugt die Buche, *Trypodendron signatum* die Eiche, allerdings kommen beide Arten auch an Ahorn, Linde, Erle, Hainbuche, Birke und an den Obstbaumarten vor. Als Nahrungsquelle dienen den *Trypodendron*-Arten Ambrosia-Pilze, die sie in ihre charakteristischen Brutsysteme einschleppen und kultivieren (SCHWENKE, 1974).

Alle drei Arten gelten als Sekundärschädlinge, die die Bäume erst nach einer vorangegangenen Schädigung bzw. nur frisch geschlagene und absterbende Stämme befallen (SCHWENKE, 1974). Im Krankheitsverlauf der Buchenrindennekrose spielt *Trypodendron domesticum* neben *Hylecoetus dermestoides* (Bohrkäfer) und *Anisandrus dispar* (Ungleicher Holzbohrer) daher eine wichtige Rolle beim letztendlichen Absterbeprozess der erkrankten Bäume (SCHINDLER, 1960).

Untersuchungen zur Wirtsfindung der *Trypodendron*-Arten wurden von KERCK, (1972b, 1976, 1978), FRANCKE (1973), FRANKE und HEEMANN (1974), KLIMETZEK, VITÉ und KÖNIG (1981), KLIMETZEK (1984) sowie RAMISCH (1984) durchgeführt. Danach muss zwischen einer Primäranlo-

ckung, die vom Baum selbst ausgeht und einer Sekundäranlockung durch Pionierkäfer unterschieden werden. Die Primäranlockung beruht auf flüchtigen Vergärungsprodukten, deren Hauptbestandteil Ethanol ist und deren Entstehung eine Schädigung von parenchymatischen Zellen voraussetzt. Neben dem olfaktorischen Reiz durch Vergärungsprodukte spielt für die Primäranlockung auch der optische Reiz der Stammsilhouette eine Rolle, allerdings ist dieser von deutlich geringerer Bedeutung. Die Sekundäranlockung geht von den sich ansiedelnden Käfern aus. Beide Geschlechter geben nach physischer Belastung (Schwärmflug, Anlage der Brutgänge) das Ketol 3-Hydroxy-3-methylbutan-2-on ab. Dieses Pheromon wirkt als Aggregations-substanz, das der Steuerung des Befalls und damit der Nutzung qualitativ günstigen Brutraums im Sinne der Population dient.

Alle drei *Trypodendron*-Arten gelten als Fröhschwärmer. Die Flugzeit kann bei *Trypodendron domesticum* bereits Ende Februar beginnen und ist stark witterungsabhängig, so dass immer wieder Unterbrechungen auftreten. KLIMETZEK (1984) gibt eine Lufttemperatur von 10° C als Schwellentemperatur des Fluges an.

Nach der Eiablage und während der gesamten Larvalentwicklung pflegen die Elterntiere den für die Ernährung notwendigen Pilzrasen im Brutsystem und stellen damit sicher, dass die Jungtiere nicht von Pilzen überwachsen werden und das Brutsystem ausreichend belüftet ist. Ohne die intensive Brutpflege der Elterntiere ist eine erfolgreiche Entwicklung der Jungtiere nicht möglich.

Die Entwicklungsdauer von der Eiablage bis zum Jungkäfer dauert bei *Trypodendron lineatum* etwa 6 bis 8 Wochen und setzt sich zusammen aus einer 6 – 8-tägigen Eizeit, einer 3 bis 6-wöchigen Larvalentwicklung und einer 8 bis 10-tägigen Verpuppungszeit. Nach weiteren 2 bis 3 Wochen Ernährungsraß im Brutsystem verlassen die *lineatum*-Jungkäfer dann das Brutsystem und suchen ihre Überwinterungsquartiere in der Bodenstreu (selten auch in Rindenritzen) auf. Nach Erreichen der Überwinterungsquartiere setzt eine im Wesentlichen temperaturgesteuerte Imaginaldiapause ein.

Die Imaginaldiapause, die 3 bis 4 Monate andauert, wird erst nach einer längeren Kälteperiode überwunden, deren Länge vermutlich über die Tiefsttemperatur gesteuert wird (KLIMETZEK, 1984). Der Entwicklungsverlauf ist bei *Trypodendron domesticum* vermutlich sehr ähnlich, allerdings gibt es in der Literatur sehr unterschiedliche Angaben zum Überwinterungsort. Während KERCK (1972a), SCHWERDTFEGER (1981), KLIMETZEK (1984) und andere forstliche Autoren die Brutsysteme als Überwinterungsort angeben, nennen KOCH (1979) sowie FLECHTNER, DOROW und KOPELKE (2000) die Bodenstreu als Ort der Überwinterung.

Entsprechend dem skizzierten Generationswechsel gilt *Trypodendron domesticum* in Mitteleuropa als univoltine Art. In Südosteuropa durchläuft die Art dagegen zwei Generationen pro Jahr (CSÓKA and KOVÁCS, 1999).

Zielsetzung

Im Rahmen des Interreg IIIA *DeLux*-Projektes wurden Untersuchungen zur Befallssituation in den betroffenen Beständen, zur Befallsdisposition der Einzelbäume, zum Schadverlauf sowie zur Biologie und Populationsdynamik von *Trypodendron domesticum* durchgeführt. Ziel der Untersuchung war die Abschätzung der Gefährdungssituation für die Buchenwirtschaft durch *Trypodendron domesticum* als potentielltem Primärschädling.

Methoden

Die Untersuchung der Befallssituation setzte bereits im Sommer 2001, im Rahmen einer Voruntersuchung im Forstamt Saarburg (bis 01.01.2004 Saar-Hochwald), mit der Ausweisung von Dauerbeobachtungsflächen in einem 50-jährigen Jungbestand (Abt. 4 Gemeindewald Zerf) und einem 125-jährigen Altbestand (Abt. 147 a¹, Revier Klink) ein. In beiden Beständen wurden auf einer Fläche von 0,25 ha (Abt. 4) bzw. 1,5 ha (Abt. 147 a¹) alle Bäume dauerhaft nummeriert und auf Schadsymptome hin untersucht. 2003 wurden entsprechende Dauerbeobachtungsflächen in den Abt. 130 und 128 des Forstamts Hochwald (bis 01.01.2004 Forstamt Hermeskeil) sowie im Naturwaldreservat

„Kampelstich“ (bis 01.01.2004 Forstamt Osburg) eingerichtet. Innerhalb der Dauerbeobachtungsflächen wurden alle Bäume eingemessen, die Befallsentwicklung und das Auftreten von Folgesymptomen (z.B. Pilzbefall) jährlich bis 2005 bonitiert. Parallel dazu dienten befallene und unbefallene Bäume aus den Dauerbeobachtungsflächen der Abt. 147 a¹ und Abt. 4 als Probematerial für weitere Untersuchungen im Rahmen des Projektes (DITTMAR und ELLING, 2006; FIEBELKORN et al., 2006; GRÜNER und METZLER, 2006; HOLIGHAUS und SCHÜTZ, 2006; LANGENFELD-HEYSEY et al., 2006a; MAURER, 2006; METZLER und HECHT, 2006), so dass das Befallsgeschehen mit verschiedenen wissenschaftlichen Methoden an teilweise identischem Probematerial analysiert werden konnte.

Zur Differentialdiagnostik des Befalls wurden an 20 befallenen und fünf nicht befallenen Buchen Holzfeuchtemessungen durchgeführt. Dazu wurden Holzproben mittels eines Akkubohrers in Brusthöhe von jeder Stammseite, sowie aus Stammbereichen mit Käferbefall und in entsprechender Höhe aus unbefallenen Bereichen gewonnen. Die Holzfeuchte wurde nach 24-stündiger Trocknung bei 105° C aus der Differenz von Frischgewicht zu Trockengewicht als Darrbezugsfeuchte ermittelt. Zur statistischen Auswertung wurde der U-Test von MANN und WHITNEY verwendet.

Der Bruterfolg von *Trypodendron domesticum* in „vitalen“ Buchen wurde im Herbst 2001 durch Brutbildanalysen an sechs unterschiedlich stark befallenen Buchen überprüft. Dazu wurden die befallenen Bäume eingeschlagen und entrindet. Aus dem Bereich des Befallsschwerpunktes wurde jeweils ein 1 m langer Stammabschnitt im Labor aufgetrennt und entlang der einzelnen Brutgänge aufgeschlagen. In den einzelnen Systemen wurden die Zahl der Einischen, der begonnenen Larvengänge und der vollständig ausgebildeten Larvengänge pro cm Muttergang sowie die Zahl der lebenden Jungkäfer ermittelt. Erkennbar parasitierte oder verpilzte Käfer wurden als begonnene Larvengänge gewertet.

Der Flugverlauf und die Populationsdynamik von *Trypodendron domesticum* L. wurde in den Jahren

2002 bis 2005 in Luxemburg und Rheinland-Pfalz in einem grenzüberschreitenden Monitoringsystem in ausgewählten Beständen mittels Lockstofffallen beobachtet. Bei den Lockstofffallen handelte es sich um die von Prof. Dr. Jean-Claude Grégoire von der *Université Libre de Bruxelles* (ULB) entwickelten „Flaschenfallen“. Die Falle besteht im Wesentlichen aus einer transparenten PVC-Platte (25 x 12 cm), die in einem Sammeltrichter mündet. Als Lockstoffe dienten ein Ethanol/Äther-Gemisch sowie das Pheromon Lineatin© (Pherotech). Der gesamte Fangapparat wurde auf Augenhöhe an einem Holzkreuz fixiert. In jedem Bestand wurde eine Aufnahmeeinheit bestehend aus fünf Flaschenfallen installiert. Die Aufstellung der Fallen erfolgte in Form eines an den Haupthimmelsrichtungen orientierten Kreuzes mit einer Kantenlänge von 100 m und einem Mindestabstand von 25 m zum Bestandesrand (s. Abb. 1). Die Fallen an den Schenkelnenden waren jeweils in die entsprechende Himmels-

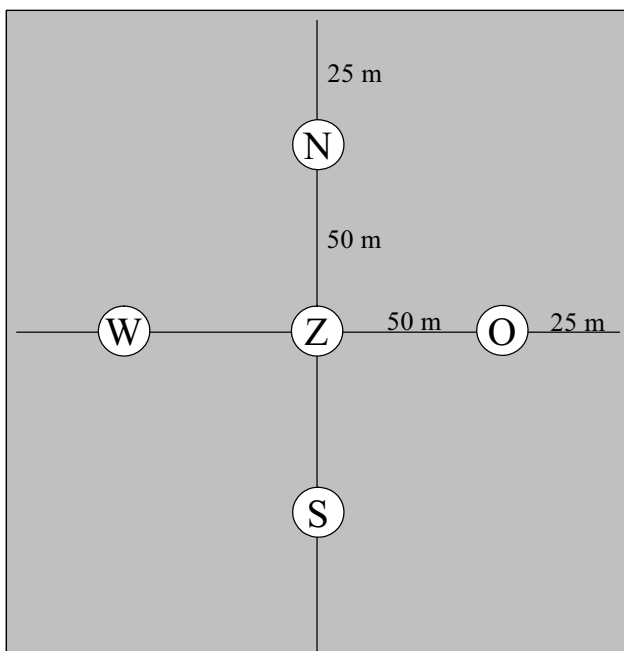


Abb. 1: Schematische Darstellung der Verteilung der fünf Lockstofffallen innerhalb der Untersuchungsflächen in Form eines an den Haupthimmelsrichtungen (N, O, S, W) ausgerichteten Kreuzes mit einer Kantenlänge von 100 m und einer Falle im Zentrum des Kreuzes (Z).

Fig. 1: Schematic representation of the distribution of the five pheromone traps within the investigation areas in form of a cross with an edge length of 100 m aligned at the main directions (N, O, S, W) and with one trap in the center of the cross (Z).

richtung ausgerichtet, die Falle im Zentrum des Kreuzes immer nach Osten.

Im Rahmen einer Voruntersuchung wurden 2002 Aufnahmeeinheiten in 15 luxemburgischen und 12 rheinland-pfälzischen Buchenbeständen eingerichtet. Entsprechend den Projektvorgaben mussten ab 2003 in Rheinland-Pfalz 6 Aufnahmeeinheiten aufgegeben werden. Innerhalb des Projektgebietes wurde die Zahl der Aufnahmeeinheiten ab 2003 in Luxemburg auf 17 und in Rheinland-Pfalz auf 15 erweitert (Abb. 2). Bei den Buchenbeständen handelte es sich um Bestände verschiedener Altersklassen, Mischungsanteilen, Pflegezustand und Schadensituationen.

Die Fangperiode begann jährlich am 15. Februar und endete jeweils am 20. Juni. Die Kontrolle und Leerung der Lockstofffallen erfolgte in Abständen von 14 Tagen.

Darüber hinaus wurden in einzelnen Beständen zusätzlich Stammeklektoren, Bodeneklektoren und



Abb. 2: Geografische Lage der Aufnahmeeinheiten im Projektgebiet. Nördlich bzw. nordwestlich der Linie sowie umkreist sind Regionen mit starkem Auftreten der Buchenrindenrekrose.

Fig. 2: Geographical situation of the investigation areas in the project area. North and/or northwest the line as well as circled are regions with strong occurrence of the beech bark disease.

Fensterfallen aufgestellt, um zusätzliche Informationen zur Biologie von *Trypodendron domesticum* zu erhalten.

Ergebnisse

Innerhalb der Bestände sind die befallenen Bäume einzelstamm- bis paarweise verteilt, eine Regelmäßigkeit ist nicht zu erkennen. Betroffen sind Bäume aller BHD-Stufen und Sozialen Stellungen. In Jungbeständen sind allerdings Bäume mit höheren Durchmessern überproportional häufig befallen.

Am Einzelbaum findet sich der Befall mehrheitlich an den nordexponierten Stammseiten im Bereich des Stammfußes. Auf der Untersuchungsfläche Abt. 147 a¹ war der Käferbefall an über 2/3 der befallenen Buchen auf die Nordost bis Nordwestseite der Bäume beschränkt (s. Abb. 3). Der Käferbefall wurde in Stammhöhen zwischen 20 bis 250 cm mit einem deutlichen Befallsschwerpunkt zwischen 40 und 130 cm beobachtet (s. Abb. 4). Entsprechende Beobachtungen wurden an deutlich niedrigeren Stammzahlen auch auf den übrigen Untersuchungsflächen gemacht.

Häufig war die Rinde im Bereich des Käferbefalls rauh borkig, allerdings fanden sich an befallenen und nicht befallenen Buchen großflächige rauh borkige Rindenpartien ohne Käferbefall, sowie Käferbefall bei glatten Rindenstrukturen (insb. in Jungbeständen).

Im Vergleich der Rindenmerkmale befallener und nicht befallener Buchen fanden sich pathologische Veränderungen in Form kleinflächiger, inselartig verteilter Nekrosen unterschiedlicher Tiefenausdehnung (s. Abb. 5). Diese kreisrunden bis leicht elliptischen, hellbraunen bis tiefschwarzen Nekrosen mit einem Durchmesser von 0,4 bis 1,5 cm reichten teilweise bis in den Leitbast hinein und wurden daher als Weichbastnekrosen bezeichnet. Während an den nicht befallenen Buchen diese Nekrosen nicht oder nur in sehr geringer Stückzahl (< 10 Stück/ m² Rindenoberfläche) auftraten, fanden sie sich an den befallenen Buchen insbesondere im Bereich des Käferbefalls in hoher Stückzahl (> 250 Stück / m² Rindenoberfläche). Teilweise befanden sich direkt im Zentrum solcher Weichbastnekrosen die Einbohrlöcher der Käfer.

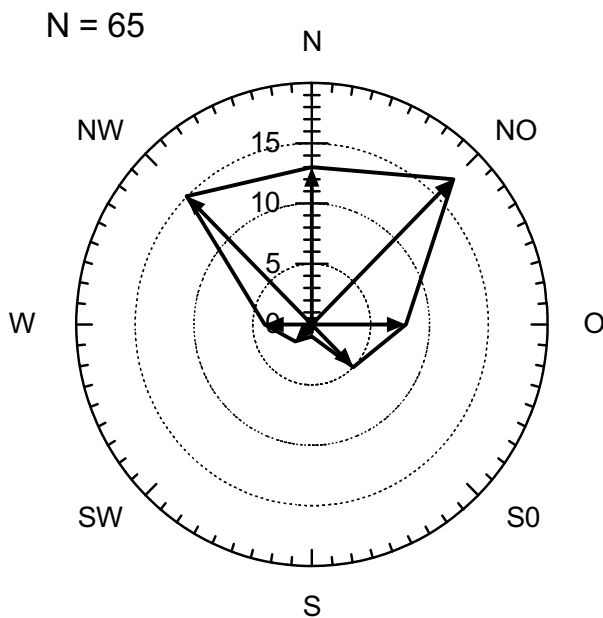


Abb. 3: Exposition des Befalls durch *Trypodendron domesticum* L. an Buchenstämmen, Neubefall (2001-2005) in der Abt. 147a¹; Rev. Klink; FA Saarburg, N = 65.

Fig. 3: Exposition of the infestation by *Trypodendron domesticum* L. at beech trunks, new infestation (2001 - 2005) in the compartment 147a¹; forest district Klink; forestry department Saarburg, N = 65.

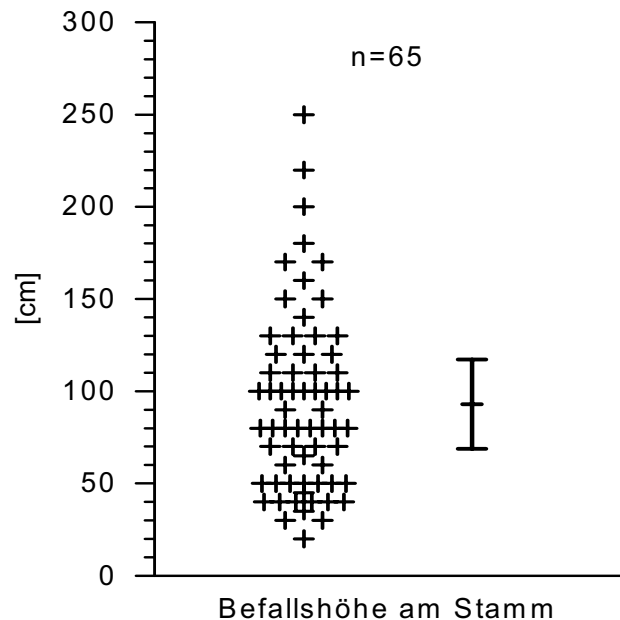


Abb. 4: Höhe des Befalls durch *Trypodendron domesticum* L. an Buchenstämmen, Neubefall (2001-2005) in der Abt. 147a¹; Rev. Klink; FA Saarburg, N = 65.

Fig. 4: Height of the infestation by *Trypodendron domesticum* L. at beech trunks, new infestation (2001 - 2005) in the compartment 147a¹; forest district Klink; forestry department Saarburg, N = 65.

Der Vergleich der Holzfeuchte befallener und nicht befallener Buchen in Brusthöhe (1,30 m) erbrachte keine signifikanten Unterschiede. Allerdings wiesen befallene Stammportien hoch signifikant niedrigere Holzfeuchtwerte auf als befallsfreie Stammportien in selber Stammhöhe an befallenen Stämmen (s. Abb. 6). Im Mittel betrug der Unterschied 10 %.

Brutbildanalysen an 6 befallenen Stämmen und Fänge mit Stammeklektoren, die im Herbst 2001 bzw. im Frühjahr 2002 durchgeführt wurden, belegen, dass *Trypodendron domesticum* erfolgreich in den vitalen Buchen brüten kann. Bei den äußerlich erkennbaren Einbohrlöchern handelt es sich also nicht um Brutversuche, sondern um erfolgreiche Bruten. Der Bruterfolg ist jedoch von Baum zu Baum individuell sehr unterschiedlich, wie die Ergebnisse der Brutbildanalyse verdeutlichen (s. Tab. 1).

Die Natalität, berechnet als Summe der Einischen und Larvengänge je cm Muttergang, schwankt zwischen 1,9 und 5,4. Die Mortalität, definiert als Verhältnis von Natalität zur Anzahl der vollständigen Larvengänge, in denen sich lebende Jungkäfer befanden bzw. deren Ausprägung auf eine erfolgreich abgeschlossene Larvalentwicklung schließen ließ, differiert ebenfalls sehr deutlich und beträgt 38 bis 94,7 %. Innerhalb der Brutsysteme fanden sich auch verlassene, vollständig ausgebildete Larvengänge, die auf ein Migrationsverhalten der Jungkäfer und eine Überwinterung außerhalb der Brutsysteme schließen lassen. An zwei Bäumen war deren Anteil mit 76 bzw. 37 % auffällig hoch, bei den übrigen Buchen betrug ihr Anteil dagegen nur zwischen 0,5 und 10,4 %.

Dass ein Teil der Jungkäfer außerhalb der Brutsysteme überwintert, konnte durch Bodeneklektoren, die im Frühjahr



Abb. 5: Weichbastnekrosen in der Rinde einer durch *Trypodendron domesticum* befallenen Buche.
Fig. 5: Inner bark necroses in the bark of a beech infested by *Trypodendron domesticum*.

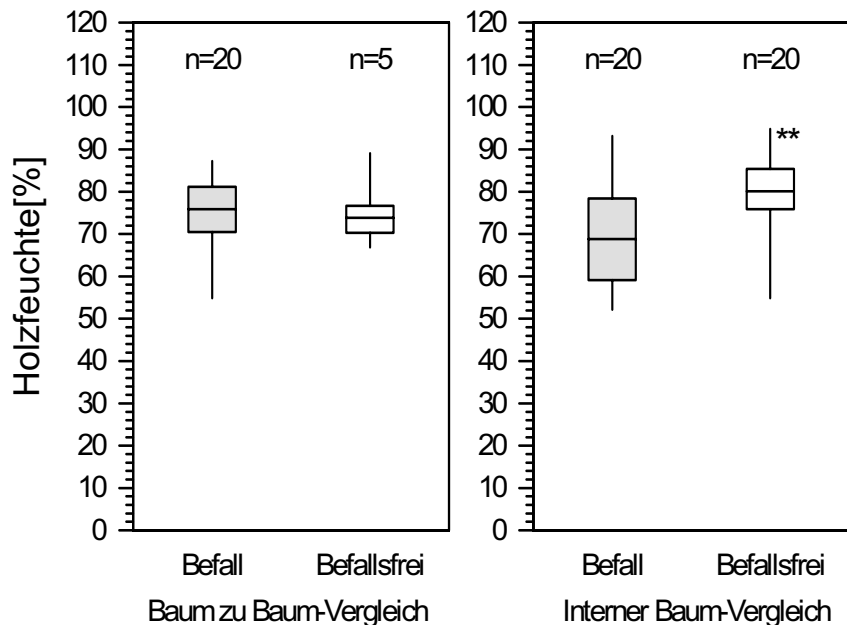


Abb. 6: Holzfeuchte befallener und befallsfreier Bäume in Brusthöhe (1,30 m) sowie befallener und befallsfreier Stammportien befallener Bäume (Statistischer Unterschied mit ** hoch signifikant).

Fig. 6: Wood moisture of trees in breast height (1.30 m) as well as infested and non infested stem portions of infested trees (statistic difference with ** highly significantly).

Tab. 1: Ergebnisse der Brutbildanalysen an befallenen, vital erscheinenden Buchen (2001, N = 6).

Tab. 1: Results of the breeding system analyses at infested, healthy appearing beeches (2001, N = 6).

Baumnummer	1	2	3	4	5	6
Natalität [Anzahl Einischen + Larvengänge/ cm]	4,1	5,4	1,9	4,7	5	3,4
Vollständige Larvengänge [Anzahl / cm]	2,2	1,8	0,1	1	3,1	1,7
Jungkäfer innerhalb der Brutsysteme [%]	63	89,6	24	96,7	99,5	95,6
Mortalität [%]	46,3	66,6	94,7	78,7	38	50

2002 in unmittelbarer Nähe befallener Buchen aufgestellt wurden, belegt werden (Abb. 7).

Die Folgen des Käferbefalls werden am Beispiel der Untersuchungsfläche Abt. 147 a¹ dargestellt (s. Abb. 8), da diese Fläche, neben der in Abt. 4, am längsten beobachtet wurde und den größten Anteil an befallenen Buchen aufwies. Die Entwicklung der befallenen Buchen auf den anderen Untersuchungsflächen verlief analog.

Im Beobachtungszeitraum von 2001 bis 2005 wurde auf der Untersuchungsfläche Abt. 147 a¹ an 65 vital erscheinenden Buchen ein Befall durch *Trypodendron domesticum* beobachtet. An weiteren 8 Bäumen trat ein gleichzeitiger Befall von *Trypodendron domesticum* und holzzerstörenden Pilzen auf, was auf eine Erkrankung der Buchen durch die Buchenrindennekrose hindeutet (s. a. PETERCORD, 2006a).

2001 war der Neubefall durch *Trypodendron domesticum* am höchsten, insgesamt 38 Buchen wiesen einen entsprechenden Befall auf. 2002 wurde an 24 Buchen ein Neubefall (Käfer (neu)) beobachtet, während an 23 Buchen, die bereits 2001 befallen gewesen waren, ein Wiederholungsbefall (Käfer (alt)) festgestellt wurde. An drei weiteren Buchen, aus dem Kollektiv der 2001 befallenen Buchen, zeigten sich 2002 neben einem Wiederholungsbefall auch Fruchtkörper holzzerstörender Pilze (Käfer & Pilze). An den zwei Buchen, die bereits 2001 einen kombinierten Befall von *Trypodendron domesticum* und Pilzen aufgewiesen hatten, trat 2002 kein

Wiederholungsbefall auf und nur die mehrjährigen Pilzfruchtkörper waren erkennbar.

In den Folgejahren setzte sich diese Entwicklung fort. Die Zahl der durch *Trypodendron domesticum* neubefallenen Buchen und die Zahl der Buchen mit Wiederholungsbefall nahm ab, während die Zahl der Buchen mit kombiniertem Käfer- & Pilzbefall sowie ausschließlichem Pilzbefall bis 2004 deutlich anstieg. Ab 2003 wurden weitere holzbesiedelnde Insektenarten (insb. *Hylecoetus dermestoides*) als Sekundärbesiedler an einzelnen Buchen sowie das Absterben von Buchen beobachtet. Die Anteile beider Kollektive stiegen bis 2005 deutlich an.

Von den insgesamt 65 Buchen an denen im Beobachtungszeitraum ein Befall von *Trypodendron domesticum* festgestellt wurde, wiesen 20 zum Ende des Beobachtungszeitraums keine Folgesymptome auf. Häufig waren die Einbohrlöcher vollständig überwallt und der Befall nicht mehr zu erkennen.

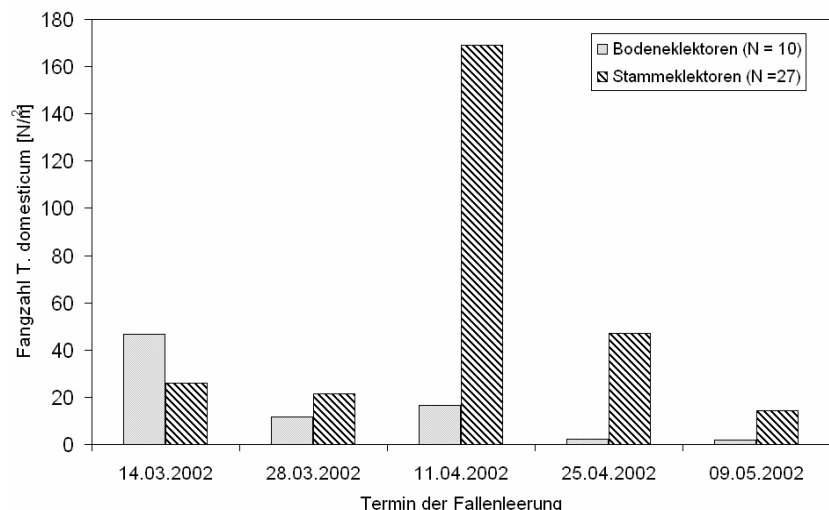


Abb. 7: Durchschnittliche Fangzahl je Falle von *Trypodendron domesticum* L. pro m² Bodenoberfläche (Bodeneklektoren (N=10)) bzw. Rindenoberfläche (Stammeklektoren (N=27)) im Frühjahr 2002.

Fig. 7: Average trapping result for each trap of *Trypodendron domesticum* L. per m² soil surface (soil eklektors (N=10)) and/or bark surface (stem eklektors (N=27)) in the spring of 2002.

Das Monitoring des Käferflugs, das in den Untersuchungsjahren 2002 bis 2005 in 27 (2002) bzw. 32 (2003 bis 2005) Buchenbeständen durchgeführt wurde, lieferte für die drei Regionen des Projektgebietes Luxemburg, Eifel und westlicher Hunsrück, bei deutlich unterschiedlichen Fangzahlen je Region, einen einheitlichen Trend in der Populationsdynamik (s. Abb. 9). Im Vergleich der Untersuchungsjahre ist von 2002 zu 2003 eine deutliche Abnahme und von 2003 zu 2004 wiederum eine sehr deutliche Zunahme der Fangzahlen festzustellen. Von 2004 zu 2005 nahmen die Fangzahlen dann wiederum deutlich ab. 2002 wurden im westlichen Hunsrück und in Luxemburg mit im Durchschnitt 15.503 und 17.780 Käfern je Fallenstandort nahezu identische Fangzahlen erreicht. Dagegen betrug die durchschnittliche Fangzahl in der Eifel nur 2.552 Käfer. 2003 war die Fangzahl in der Eifel wiederum am Geringsten, allerdings wurden auch in Luxemburg und im westlichen Hunsrück deutlich weniger Käfer gefangen. 2004 bestätigte sich dieser abnehmende Trend nicht, vielmehr stiegen die Fangzahlen nach dem Sommer 2003 wieder deutlich an und erreichten im Hunsrück nahezu das Niveau des Jahres 2002 bzw. überstiegen dieses in der Eifel um das Dreifache. In Luxemburg konnte ebenfalls ein Anstieg beobachtet werden, dieser war allerdings weniger stark ausgeprägt als in den beiden anderen Regionen. Im Unterschied zum Fangergebnis 2002 bei dem innerhalb der Regionen sehr unterschiedliche Fangergebnisse je Aufnahmeeinheit erzielt wurden, waren 2004 die Unterschiede zwischen

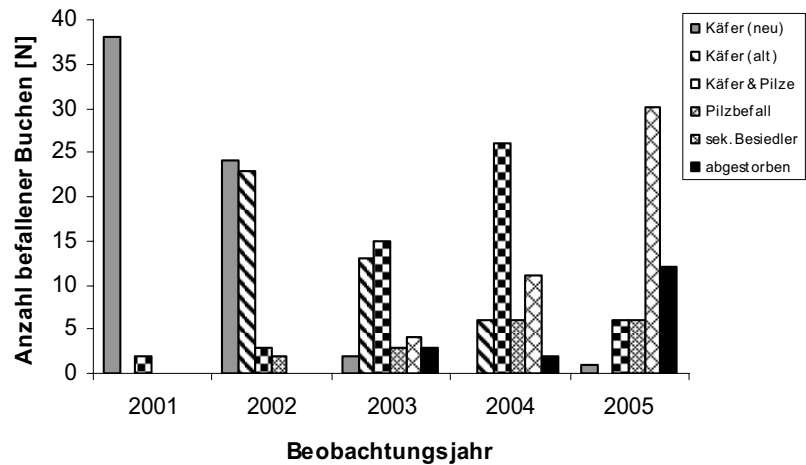


Abb. 8: Schadentwicklung von Käfer- und Pilzbefall an Buchen am Beispiel der Abteilung 147a¹ (Rev. Klink; FA Saarburg), N₍₂₀₀₁₋₂₀₀₅₎ = 73.

Fig. 8: Development of damages by beetle and fungal attack at beeches by the example of the compartment 147a¹ (forest district Klink; forestry department Saarburg), N₍₂₀₀₁₋₂₀₀₅₎=73.

den Aufnahmeeinheiten geringer, das Fangergebnis innerhalb der einzelnen Region also deutlich homogener. 2005 nahmen die Fangzahlen in allen drei Regionen wiederum sehr deutlich ab.

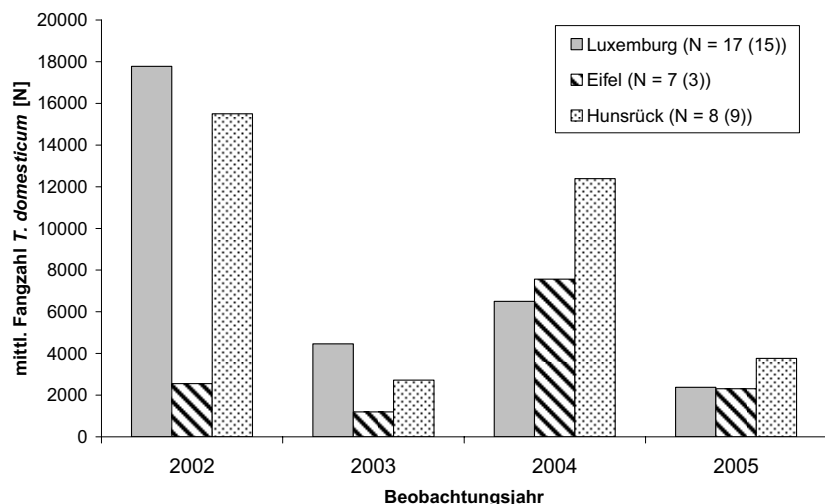


Abb. 9: Durchschnittliche Fangzahl von *Trypodendron domesticum* L. an den Fallenstandorten in Luxemburg, im Hunsrück und in der Eifel in den Beobachtungsjahren 2002 bis 2005. (Die Fangergebnisse 2002 sind nur bedingt vergleichbar, da im Hunsrück und in der Eifel Fallenstandorte aufgegeben bzw. neu eingerichtet wurden. Eingeklammerte Zahlen in der Legende geben die Anzahl der Fallenstandorte 2002 an.)

Fig. 9: Average trapping result of *Trypodendron domesticum* L. at the trap locations in Luxembourg, in the Hunsrück and in the Eifel in the observation years 2002 to 2005. (The trapping results 2002 are only conditionally comparable, since in the Hunsrück and in the Eifel trap locations were given up and/or again arranged. In the legend the parentheses numbers indicate the numbers of trap locations in 2002.)

Der Flug von *Trypodendron domesticum* beginnt bei einer Lufttemperatur von 9,5° C witterungsabhängig im zeitigen Frühjahr und erstreckt sich bis in den Juli hinein (Abb. 10). 2004 wurde bereits in der ersten Februarwoche Käferflug beobachtet, der allerdings durch einen erneuten Wintereinbruch bis Mitte März unterbrochen wurde. In allen Untersuchungsjahren konnte ein dreigipfeli-ger Flugverlauf mit maximalen Fangzahlen Mitte/Ende März, Mitte April/Anfang Mai und Ende Mai/Anfang Juni beobachtet werden. Im Gegensatz zu den ersten beiden Maxima, die den Flugbeginn und die Fortsetzung desselben nach ungünstigen Witterungsbedingungen markieren, kann das dritte Maximum (Frühsommermaximum) nicht mit dem Witterungsverlauf

erklärt werden. Während das erste und das dritte Maximum zeitlich korrelieren, tritt das zweite Maximum unregelmäßig auf bzw. entfiel 2004 und 2005 in Luxemburg ganz. Unabhängig von der Region und dem Untersuchungsjahr beträgt der zeitliche Abstand zwischen dem ersten und dem dritten Maximum ca. 10 Wochen.

Der dreigipfelige Flugverlauf wurde an allen Auf-

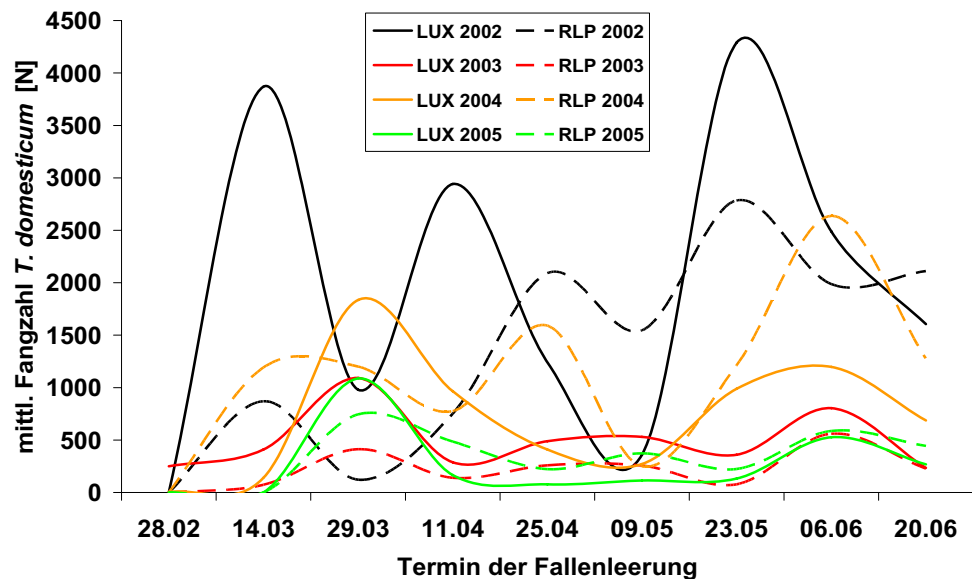


Abb. 10: Verlauf des Käferflugs von *Trypodendron domesticum* L. in Luxemburg und Rheinland-Pfalz (2002-2005).

Fig. 10: Process of the beetle flight of *Trypodendron domesticum* L. in Luxembourg and Rhineland-Palatinate (2002-2005).

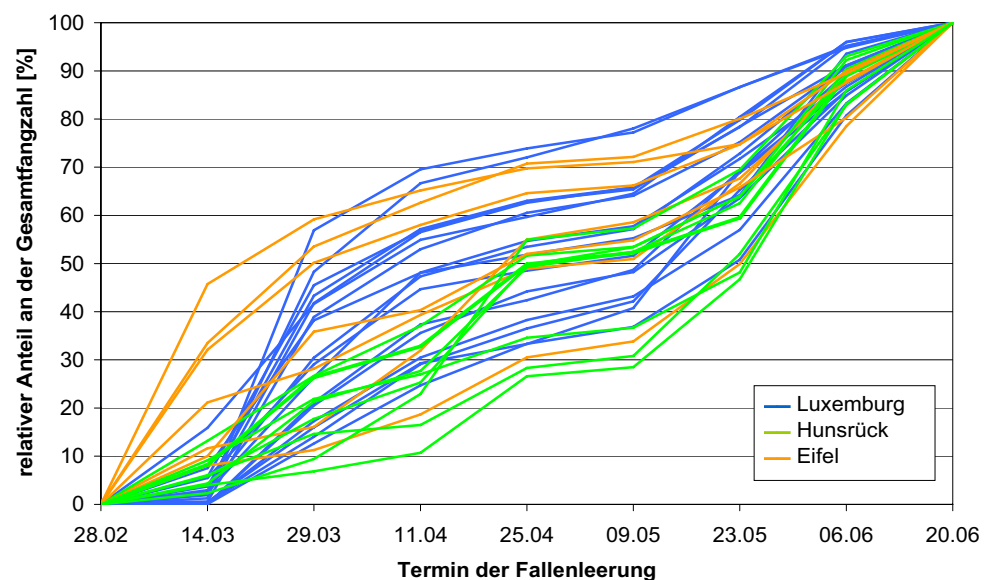


Abb. 11: Flugverlauf (2004) an den Fallenstandorten in Luxemburg und Rheinland-Pfalz, dargestellt als Summenkurven des relativen Anteils an der Gesamtfangzahl je Fallenstandort.

Fig. 11: Process of the beetle flight (2004) at the trap locations in Luxembourg and Rhineland-Palatinate, represented as sum curves of the relative portion of the trapping result for each trap location.

nahmeeinheiten beobachtet, allerdings mit unterschiedlicher Ausprägung der Maxima. Während an einigen Aufnahmeeinheiten der Anteil der Fröhschwärmer (50 % der Käfer sind bis Ende März geflogen) und auf anderen, der Anteil der Spätschwärmer (50 % der Käfer fliegen erst ab Ende Mai) überwiegt, sind in einer dritten Gruppe die Anteile beider Schwärmtypen ähnlich hoch. Abbil-

dung 11 verdeutlicht diesen Zusammenhang anhand der Fangdaten 2004, dargestellt als Summenkurven des relativen Anteils am Gesamtfang je Aufnahmeeinheit. Während in Luxemburg und der Eifel sowohl Aufnahmeeinheiten mit einem hohen, als auch Standorte mit einem niedrigen Frühschwärmeranteil auftraten, überwiegt im Hunsrück der Anteil der Spätschwärmer.

Diskussion

Trypodendron domesticum L. ist in Mitteleuropa als Lagerholzschädling seit langem bekannt und auch der Befall von geschwächtem und absterbenden Bäumen insbesondere im Zusammenhang mit der Buchenrindennekrose wurde häufig beschrieben (SCHINDLER, 1951; SCHWERDTFEGER, 1981). Der Befall scheinbar vitaler Bäume ist dagegen ein neues Phänomen. In jüngerer Zeit wird es aber, insbesondere im Zusammenhang mit der Verschleppung von Arten und in Verbindung mit neuartigen Krankheiten, bei verschiedenen holzbrütenden Borken- (*Scolytidae*) und Kernkäfern (*Platypodidae*) beobachtet (KÜHN-HOLZ et al., 2001; KUBONO und ITO, 2002).

Insbesondere Arten der Gattung *Trypodendron* sind in zunehmender Weise an neuartigem Stehendbefall beteiligt. So wurde neben dem Stehendbefall der Buche durch *Trypodendron domesticum* L. in Europa, auch der Befall von *Betula papyrifera* und *Alnus rubra* durch diese Art in Kanada beobachtet. Darüberhinaus fand sich in Kanada Stehendbefall durch *Trypodendron betulae* SWAINE an *Betula papyrifera* und durch *Trypodendron retusum* LECONTE an *Populus tremuloides* (KÜHNHOLZ et al., 2001).

Die Strategie der Brutraumfindung von *Trypodendron domesticum* setzt eine Vorschädigung und daraus resultierend die Abgabe von Duftstoffen voraus, die der olfaktorischen Wirtsfindung dienen (KERCK, 1971; HOLIGHAUS und SCHÜTZ, 2006). Gleichzeitig muss die Holzfeuchte dem Nährpilz ein optimales Wachstum ermöglichen, um den Bruterfolg des Käfers zu sichern. Beide Voraussetzungen schließen den Befall vitaler Bäume an sich aus.

Im Vergleich befallener und nicht befallener Bäume wurden in der Rinde der befallenen Bäume Weichbastnekrosen in einer größeren Anzahl festgestellt als in nicht befallenen Buchen. Diese Weichbastnekrosen können als mitbefallsauslösende Faktoren gewertet werden und gehen möglicherweise auf Saugschäden durch die Buchenwollschildlaus (*Cryptococcus fagisuga* LIND.) zurück (LANGENFELD-HEYSER et al., 2006). Diese Saugschäden wurden von BRAUN (1976) als Auslöser der Buchenrindennekrose beschrieben. Der beobachtete Käferbefall steht damit im Zusammenhang mit dieser Erkrankung. Allerdings nicht im bereits bekannten Kontext (BRAUN, 1976, 1977), sondern in einem viel früheren Stadium der Erkrankung, in dem ein erfolgreicher Käferbefall an sich nicht möglich sein sollte. Der Befall durch *Trypodendron domesticum* stellt somit möglicherweise eine neue Form der Folgeschädigung nach massivem Buchenwollschildlausbefall dar.

Obwohl zwischen befallenen und nicht befallenen Buchen keine Unterschiede in der Holzfeuchte festgestellt wurden, konnten in befallenen Stammportionen niedrigere Holzfeuchtwerte ermittelt werden als in nicht befallenen Stammteilen derselben Stämme. Inwieweit dieser Effekt ursächlich für den Befall oder sekundär durch die Besiedlung der Käfer entstanden ist, konnte nicht geklärt werden. In jedem Fall konnte *Trypodendron domesticum* L. die Stämme erfolgreich als Brutraum nutzen, wenn auch mit unterschiedlichem Erfolg.

Die Bedeutung des Merkmals Holzfeuchte konnte im Rahmen des Projektes in einem Einschlagsterminversuch an Lagerholz aufgezeigt werden, nur in einem Holzfeuchtebereich von 60 bis 85 % wurden Brutsysteme angelegt (PETERCORD, 2006b). Die Fragestellungen inwieweit *Trypodendron domesticum* bei Massenbefall in der Lage ist die Holzfeuchte zu beeinflussen und damit vitale Bäume als Brutraum für einen Bruterfolg zu konditionieren sowie welche weiteren wirtseigenen Faktoren den Bruterfolg bestimmen, sollte entsprechend ihrer hohen Bedeutung für den Waldschutz im Rahmen eines neuen Projekts untersucht werden.

Die mehrjährige Untersuchung der befallenen Bu-

chen auf den fünf Dauerbeobachtungsflächen zeigt, dass ein Teil der Buchen den Käferbefall ausheilen kann und deckt sich mit den Ergebnissen von METZLER und HECHT (2006) zur Pilzsukzession im Bereich der Bohrgänge. Allerdings gibt es keine zerstörungsfreie Methode zur Beurteilung des Befallsgeschehens bzw. der Befallstiefe und damit kein praxistaugliches Verfahren zur Einschätzung des weiteren Schadverlaufs. Inwieweit der im Nachgang an der Mehrheit der befallenen Buchen beobachtete Pilzbefall durch den Käferbefall begünstigt oder initiiert wurde, ist unbekannt. Diese Frage bedarf einer weitergehenden wissenschaftlichen Bearbeitung.

Die Fangergebnisse des Käfermonitorings belegen, dass *Trypodendron domesticum* L. ebenso wie rindenbrütende Borkenkäfer zu einem ausgeprägten Massenwechsel befähigt ist. In allen drei Regionen des Untersuchungsgebietes ist die Art innerhalb eines Jahres aus der Retrogradation in eine erneute Progradation übergegangen. Die erfolgreiche Besiedlung augenscheinlich vitaler Buchen könnte in Zusammenhang mit einer Massenvermehrung der Art vor 2002 stehen. Diese Vermutung kann allerdings nur bei Fortsetzung des Monitorings zur Populationsdynamik der Art und des Befallsgeschehens über einen mehrjährigen Zeitraum überprüft werden. In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, dass auch die extrem unterschiedlichen Fangergebnisse der Aufnahmeeinheiten innerhalb der Regionen nicht abschließend geklärt werden konnten.

Die einheimischen *Trypodendron*-Arten gelten in Mitteleuropa als univoltin. Diese Einschätzung geht im Wesentlichen auf die Arbeiten von HADORN (1933) und SCHWERDTFEGER (1963) zurück, die zeigten, dass bei *Trypodendron lineatum* eine 2. Generation durch Folgebruten und den verzögerten Flug weniger vitaler Käfer vorgetäuscht sein kann und daher das Auftreten einer 2. Generation ausgeschlossen. Diese Einschätzung wurde auf die beiden anderen Nutzholzborkenkäfer übertragen.

Der 2002 bis 2005 im Projektgebiet beobachtete Flugverlauf von *Trypodendron domesticum* L., der jeweils ein unerwartet hohes Frühsommermaximum

Ende Mai/Anfang Juni aufwies, kann mit dieser vorherrschenden Lehrmeinung nur schwer in Einklang gebracht werden. Der an einzelnen Fallenstandorten beobachtete Anteil von über 50 % Spätschwärmern am Gesamtfang ist mit der Anlage von Folgebruten und/oder dem Schwärmen von Nachzüglern nicht hinreichend zu erklären.

POPO und THALENHORST (1974), die 1968 und 1969 in Südniedersachsen den Flugverlauf von *Trypodendron lineatum* OLIV. über Lockstofffallen überwachten, fanden in beiden Jahren ebenfalls unerwartet hohe Fangzahlen Ende Mai bzw. Mitte Juni. Die Intensität dieser Fänge lag bei ca. 30 % am Gesamtfang und wurde von ihnen als Zuflug ortsfremder Schwärme gedeutet. Auch dieser Erklärungsversuch ist für den beobachteten Flug von *Trypodendron domesticum* L. als unwahrscheinlich abzulehnen, da ein Zuflug dieser Größenordnung eine Populationsgröße voraussetzen würde, die in der Region nicht beobachtet wurde.

Vielmehr kommen für das Frühsommermaximum nur zwei Erklärungsansätze in Betracht: das Auftreten einer zweiten Generation oder das Vorkommen unterschiedlicher Schwärmtypen (Früh- und Spätschwärmer) innerhalb der Population. Dass die Möglichkeit des Auftretens einer zweiten Generation überhaupt besteht, belegen die Untersuchungen von EICHHORN und GRAF (1974), die durch Brutbildanalysen zeigen konnten, dass *Trypodendron domesticum* L. 1968 im Soonwald (Hunsrück) eine zweite Generation begründet hat. Ein entsprechender Nachweis konnte in der vorliegenden Untersuchung aus personellen und finanziellen Gründen nicht erbracht werden. Allerdings spricht der über den Untersuchungszeitraum konstante zeitliche Abstand von ca. 10 Wochen zwischen dem ersten und dem dritten Maximum für diese Hypothese.

Zudem zeigten vereinzelte Gewichtsmessungen, dass es sich bei den spätschwärmenden Individuen nicht um Tiere geringerer Vitalität handelt. Das Gewicht von 1.000 Weibchen aus dieser Flugphase war, in drei Beobachtungsjahren (2003 bis 2005; in 2002 wurde keine Gewichtsbestimmung durchgeführt), jeweils höher als das Gewicht von 1.000 Weibchen aus dem mittleren Flugmaximum (Ende

April/Anfang Mai). Diese Ergebnisse müssen allerdings als Beobachtungen gewertet werden, fehlt ihnen doch der notwendige Stichprobenumfang zur Absicherung.

Erste Versuche das Vorkommen von Früh- und Spätschwärmern innerhalb der Elterngeneration genetisch zu belegen bzw. genetische Unterschiede zwischen Früh- und Spätschwärmern zu finden, die auf eine Zugehörigkeit zu unterschiedlichen Generationen schließen lassen könnten, scheiterten aus methodischen Gründen. Die genetische Untersuchung von *Trypodendron domesticum* zur Klärung der umstrittenen Generationsfrage ist dringend erforderlich und sollte in einem entsprechenden Forschungsprojekt zeitnah bearbeitet werden.

Letztlich könnte der erfolgreiche Stehendbefall ausschließlich auf den Anteil der spätschwärmenden Individuen zurückzuführen sein. Mit voranschreitendem Blattaustrieb nimmt der Wassergehalt in stehenden Buchen zum Sommer hin deutlich ab (BOSSHARD, 1974). Die Spätschwärmer treffen zwar auf die selben vorgeschädigten Bäume wie die Frühschwärmer, können diese aber, im Gegensatz zu diesen, aufgrund des geringen Wassergehaltes Ende Mai erfolgreich besiedeln.

In Südosteuropa gilt *Trypodendron domesticum* als bivoltin (CSÓKA und KOVÁCS, 1999). Bei entsprechenden Klimabedingungen kann die Art also durchaus zwei Generationen pro Jahr durchlaufen. Das Auftreten spätschwärmender Individuen ist unabhängig von der offenen Generationsfrage ein Novum, das mit den veränderten Klimabedingungen im Mitteleuropa, insbesondere mit den verlängerten Vegetationsperioden (MENZEL und FABIAN, 1999) in Zusammenhang stehen könnte. Als Frühschwärmer mit vergleichsweise niedriger Schwellentemperatur könnte *Trypodendron domesticum* den vorzeitigen Frühjahrsbeginn zur Anlage einer 2. Generation nutzen, wobei nur diese zweite Generation die Imaginaldiapause, als Vorbereitung auf die Überwinterung, durchlaufen würde. Falls Früh- und Spätschwärmer zur selben Generation gehören würden und der Unterschied zwischen beiden Typen ausschließlich genetisch bedingt wäre, hätten die Spätschwärmer durch den verzögerten Herbst-

beginn die Möglichkeit ihre Brutentwicklung ebenfalls erfolgreich, bzw. erfolgreicher als in der Vergangenheit abzuschließen. Ihr Anteil in der Population würde sich durch diesen Umstand erhöhen. Die Nachkommen beider Schwärmtypen würden dann eine Imaginaldiapause durchlaufen, die allerdings nicht nur durch die Temperatur sondern auch genetisch gesteuert wäre. Die Frage, ob die Klimaveränderungen, auf die eine oder andere Weise, tatsächlich Einfluss auf die Generationsabfolge bzw. Populationsstruktur von *Trypodendron domesticum* haben und welche Auswirkungen dies auf die Buchenökosysteme haben wird, kann nur durch weitergehende Untersuchungen beantwortet werden.

Zusammenfassend kann der erfolgreiche Befall vitaler Buchen auf mehrere Faktoren zurückgeführt werden. Die Buchen waren für den Befall durch eine Vorschädigung disponiert, *Trypodendron domesticum* trat in der betroffenen Region in hoher Populationsdichte auf und die Holzfeuchte der betroffenen Buchen entsprach im Befallsbereich den für das Wachstum des Nährpilzes benötigten Bedingungen.

Das Auftreten des *Trypodendron*-Befalls nach Vorschädigung durch die Buchenwollschildlaus (*Cryptococcus fagisuga* LIND.) verdeutlicht das Gefährdungspotenzial dieser unscheinbaren, häufig unbeachteten Art für die Buchenwirtschaft und erfordert eine stärkere Berücksichtigung in der zukünftigen Forstschutzkonzeption.

Literatur

- BOSSHARD, H.H. (1974): Holzkunde. Bd. 2: Zur Biologie, Physik und Chemie des Holzes. Birkhäuser Verlag, Basel, Stuttgart: 315 pp.
- BRAUN, H.J. (1976): Das Rindensterben der Buche, *Fagus sylvatica* L., verursacht durch die Buchenwollschildlaus *Cryptococcus fagi* BÄR., I. Die Anatomie der Buche als Basis-Ursache. Eur. J. For. Path. 6: 136 – 146.
- BRAUN, H.J. (1977): Das Rindensterben der Buche, *Fagus sylvatica* L., verursacht durch die Buchenwollschildlaus *Cryptococcus fagi* BÄR., II. Ablauf der Krankheit. Eur. J. For. Path. 7: 76 – 93.
- CSÓKA, GY. and KOVÁCS, T. (1999): Xilofág rovarok – Xylophagous insects. Agroinform Kiadó, Budapest: 189 S.
- DITTMAR, CH. und ELLING, W. (2006): Dendroökologische Untersuchungen von Buchenbeständen in der Programm-Region des Interreg III A-Projektes. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft

- Rheinland-Pfalz, Nr. 59/06, 63 - 78.
- EICHHORN, O. und GRAF, P. (1974): Über einige Nutzholzborkenkäfer und ihre Feinde. Anz. Schädlingskde. Pflanzen-Umweltschutz 47: 129 - 135.
- EISENBARTH, E.; WILHELM, G. J. und BERENS, A. (2001): Buchen-Komplexkrankheit in der Eifel und den angrenzenden Regionen. AFZ-DerWald 56 (23): 1212 - 1217.
- FIEBELKORN, G.; ERNST, D. und POLLE, A. (2006): Untersuchungen von Genexpression und physiologischer Abwehrreaktionen an gesunden und geschädigten Buchen (*Fagus sylvatica* L.). Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59/06, 111 - 118.
- FLECHTNER, G; DOROW, W. H. O. und KOPELKE, J.-P. (2000): Niddahänge östlich Rudingshain Zoologische Untersuchungen 1990 - 1992. Naturwaldreservate in Hessen No 5/2.1 und 5/2.2. Hrsg: Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten - Mitteilungen der Hessischen Landesforstverwaltung, Band 32 und Forschungsinstitut Senckenberg, Wiesbaden: 746 + 550 S.
- FRANCKE, W. (1973): Untersuchungen über Aggregations-substanzen bei *Xyloterus domesticus* L. (Coleoptera: Scolytidae). Z. ang. Ent. 74: 319 - 332.
- FRANKE, W. und HEEMANN, V. (1974): Lockversuche bei *Xyloterus domesticus* L. und *X. lineatus* OLIV. (Coleoptera: Scolytidae) mit 3-Hydroxy-3-methylbutan-2-on. Z. ang. Ent. 75: 67 - 72.
- GRÜNER, J. und METZLER, B. (2006): *Nectria*-Arten an Buchenrinde mit Phloemnekrosen. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz, Nr. 59/06, 129 - 138.
- HADORN, C. (1933): Recherches sur la morphologie, les stades évolutifs et l'hivernage du bostryche liseré (*Xyloterus lineatus* Oliv.). - Beiheft zu den Zeitschriften des Schweizerischen Forstvereins No. 11.
- HOLIGHAUS, G. und SCHÜTZ, ST. (2006): Strategie der olfaktorischen Wirtsfindung von *Trypodendron domesticum* L.. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz, Nr. 59/06, 119 - 128.
- KERCK, K. (1971): Äthylalkohol und Stammkontur als Komponenten der Primäranlockung bei *Xyloterus domesticus* L. (Col.: Scolytidae). Die Naturwissenschaften 59: 423.
- KERCK, K. (1972a): Chemische Läuterung - Buchenstammholzschildlinge (Modelluntersuchungen an *Xyloterus domesticus*). Der Forst- und Holzwirt 27 (3): 59 - 60.
- KERCK, K. (1972b): Äthylalkohol und Stammkontur als Komponenten der Primäranlockung bei *Xyloterus domesticus* L. (Col.: Scolytidae). Naturwissenschaften 59 (9): S. 423.
- KERCK, K. (1976): Zur Bedeutung der primären und sekundären Anlockung von *Xyloterus domesticus* L. (Col., Scolytidae). Z. Ang. Ent. 82: 119 - 123.
- KERCK, K. (1978): Einfluß baum- und käferbürtiger Reize auf das Suchverhalten von *Xyloterus domesticus* L. Naturwissenschaften 65: 542 - 543.
- KLIMETZEK, D. (1984): Grundlagen einer Überwachung und Bekämpfung der Nutzholzborkenkäfer (*Trypodendron* spp.) mit Lock- und Ablenkstoffen. Freiburger Waldschutz-Abhandlungen Band 5; Forstzoologisches Institut der Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg i. Br.: 227 S.
- KLIMETZEK, D; VITÉ, J. P. und KÖNIG, E. (1981): Über das Verhalten mitteleuropäischer *Trypodendron*-Arten gegenüber natürlichen und synthetischen Lockstoffen. Mitt. dtsh. Ges. allg. angew. Ent. 2: 303 - 306.
- KOCH, K. (1979): Die Käfer Mitteleuropas. Ökologie Bd. 3.
- KÜHNHOLZ, S.; BORDEN, J.H. & UZUNOVIC, A. (2001): Secondary ambrosia beetles in apparently healthy trees: Adaptations, potential causes and suggested research. Integrated Pest Management Reviews 6: 209 - 219.
- KUBONO, T. & ITO, S. (2002): *Raffaella quercivora* sp. nov. associated with mass mortality of Japanese oak, and the ambrosia beetle (*Platypus quercivorus*). Mycoscience 43: 255-260.
- LANGENFELD-HEYSE, R.; LANG, CH.; FRITZ, E.; PETERCORD, R. und POLLE, A. (2006a): Stehendbefall von *Fagus sylvatica* L. mit *Trypodendron* - anatomische Untersuchungen. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59/06, 79 - 94.
- MAURER, W. (2006): Genetische Begleituntersuchungen an ausgewählten Buchenbeständen in Luxemburg und Rheinland-Pfalz mit der Symptomatik „Buchenkomplexkrankheit“. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59/06, 41 - 52.
- MENZEL, A. and FABIAN, P. (1999): Growing season extended in Europe. Nature: 397: 659.
- METZLER, B. und HECHT, U. (2006): Pilzsukzession im Bereich von Bohrgängen von *Trypodendron domesticum* an stehenden Buchen. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59/06, 139 - 148.
- PETERCORD, R. (2006a): Die Buchenwollschildlaus (*Cryptococcus fagisuga* LIND.) als Auslöser der Buchenrinde nekrose. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59/06, 53 - 62.
- PETERCORD, R. (2006b): Totholzmanagement in Buchenwäldern. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59/06, 191 - 202.
- POPO, A., und THALENHORST, W. (1974): Untersuchungen über den Anflug und die Brutentwicklung des gestreiften Nutzholzborkenkäfers, *Trypodendron lineatum* (Oliv.) I. Phänologie und Beziehung zum Brutbaum. - Z. ang. Ent. 76: 251-277.
- RAMISCH, H. (1984): Zur Wirtsfindung von *Trypodendron domesticum* und *Trypodendron lineatum* (Coleoptera: Scolytidae). Dissertation, Institut für Standortlehre und Waldhygiene - Abteilung Forstzoologie - der Universität Göttingen: 288 S.
- SCHINDLER, U. (1951): Das Buchensterben. - Forstarchiv 22: 109-119.
- SCHINDLER, U. (1960): Einige Ergebnisse mehrjähriger Beobachtungen über Buchensterben und Buchenwollaus (*Cryptococcus fagi* BÄR.) Der Forst- u. Holzwirt 15: 196 - 198.
- SCHWENKE, W. (1974): Die Forstschädlinge Europas. Bd. 2:

Käfer. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin: 500 S.

SCHWERDTFEGGER, F. (1963): Zur Generationsfrage beim Gestreiften Nutzholzborkenkäfer. Der Forst- u. Holzwirt 18: 449 – 451.

SCHWERDTFEGGER, F. (1981): Die Waldkrankheiten: Ein Lehrbuch der Forstpathologie und des Forstschutzes. 4. Aufl.; Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin: 486 S.

Autorenanschriften:

Claude Parini
Administration des Eaux et Forêts du Grand-Duché de Luxembourg
16, rue Eugène Ruppert, L-2453 Luxembourg
Email:
claude.parini@ef.etat.lu

Dr. Ralf Petercord
Forschungsanstalt für Waldökologie und
Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz (bis Ende 2005)
Hauptstr. 16
67705 Trippstadt
Tel. 05232/3940
Email: rpetercord@web.de

Stehendbefall von *Fagus sylvatica* L. mit *Trypodendron* – anatomische Untersuchungen

Langenfeld-Heysler, R.; Lang, Ch.; Fritz, E.; Petercord, R. und Polle, A.

Zusammenfassung

Zur Klärung der Befallsursache und der genetischen Prädisposition wurde im Paarversuch die Anatomie von Rinde und Holz *Trypodendron* - befallener und unbefallener Stehend-Buchen miteinander verglichen. Als weitere Kontrollen dienten befallsfreie Buchen anderer Standorte, ferner Buchen mit Buchenwollschilddausbefall, Schleimfluss und „Manganflecken“.

Rindennekrosen unterschiedlicher Tiefe, wie sie nach Buchenwollschilddausbefall beschrieben wurden, treten bei *Trypodendron* - befallenen und nicht befallenen Partnern der Stehend - Buchenpaare auf, sind aber bei gesunden Buchen sehr flach und sehr selten. Trotz starker Zerklüftung der Rinde nimmt der Anteil lebender Rinde bei *Trypodendron* – Stehendbefall nicht ab. Der Anteil sklerotischer Zellen an der lebenden Rinde ist bei *Trypodendron* – Stehendbefall geringer. Die Anatomie von leitendem Phloem und jüngstem Holz weist nicht auf eine akute Störung des Kambiums als Voraussetzung für den *Trypodendron* - Stehendbefall hin.

Trypodendron - befallene Stehend - Buchen, aber auch die unbefallenen Partner, zeigen im Holz Strahlproliferationen mit parenchymatischem Zentrum, wie sie nach Buchenwollschilddausbefall beobachtet wurden. In ihrer Peripherie findet man anomale Holzbildung, aber auch verthyllte Gefäße, Gerbstoffeinlagerung und eine erhöhte Zellwand-Einlagerung von Polyphenolen. Die Holzstrahlproliferationen gehen auf eine Störung der Kambiumaktivität zurück. Derartige Holzstrahlproliferationen sind sehr selten bei Kontrollbuchen mit flachen Rindennekrosen, treten aber auch bei akutem Buchenwollschilddausbefall und am Rande vom Schleimfluss auf und sind identisch mit den Manganflecken im Holz. Es gibt keine Anzeichen für genetisch bedingte strukturelle Unterschiede im Holz, die einen *Trypodendron* - Befall begünstigen.

Schlüsselwörter: Buche, *Fagus sylvatica*, *Trypodendron spec.*, Rindennekrose, Holzstrahlproliferation, *Cryptococcus fagisuga*, Schleimfluss, Manganflecken

Infestation of standing *Fagus sylvatica* L. mature trees by *Trypodendron* - anatomical studies

Summary

Anatomical studies on the bark and wood of *Trypodendron* tree pairs of infested and non-infested living beech were carried out to find out reasons for infestation and possible genetically determined structural conditions for infestation. In addition healthy beech trees from other sites and beech trees infested by *Cryptococcus fagisuga* with slime flux or with manganese spots in the wood were investigated.

Bark necroses of different depths, as described after infestation with *Cryptococcus fagisuga*, can be found in *Trypodendron* infested and non-infested living beech pairs. However, they are very flat and occur seldom in healthy control beeches. Despite of deeply fissured bark, the thickness of the living bark is not reduced in *Trypodendron* infested living beeches. The area of sclerotic cells in the living bark is lower in *Trypodendron* infested living beeches. The anatomy of the conducting phloem and the youngest xylem increment do not indicate an acute disturbance of the cambial function as a prerequisite for an infestation of living

beeches with *Trypodendron*.

Trypodendron infested and non-infested living beeches of the pair experiment show wood parenchyma proliferations, as has been reported after infestation with *Cryptococcus fagisuga*. The parenchymatous centre is bordered by anomalous wood, vessels with tyloses, tannins and enhanced concentrations of polyphenols. The wood ray proliferations are caused by disturbance of the cambial activity. Wood ray proliferations are very seldom in healthy control beeches with very flat bark necroses. However, they can be observed in beeches with *Cryptococcus fagisuga* infestation, at the border of slime flux and are identical with manganese spots. There seems to be no genetically determined wood structure favouring infestation with *Trypodendron*.

Keywords: European beech, *Fagus sylvatica*, *Trypodendron spec.*, bark necrosis, wood ray proliferation, *Cryptococcus fagisuga*, slime flux, manganese spots

Einleitung

Beim Stehendbefall von vitalen Buchen (*Fagus sylvatica* L.) mit *Trypodendron* vermutet PETERCORD (2003) aufgrund kleinflächiger Rindennekrosen eine Vorschädigung durch die Buchenwollschildlaus (BWSL) *Cryptococcus fagisuga*, ohne allerdings die für das Buchenrindensterben typische Schädigung des Kambiums durch *Nectria* (BRAUN, 1977) makroskopisch nachweisen zu können.

Anatomische Untersuchungen sollten Hinweise auf eine Vorschädigung der mit *Trypodendron* befallenen Buchen durch *Cryptococcus fagisuga* erbringen. Dies beinhaltet eine genauere Untersuchung der Rindenanatomie, besonders der Rindennekrosen, einem möglichen Bildungsort für volatile Substanzen zur Anlockung von *Trypodendron* (HOLIGHAUS und SCHÜTZ, 2006). Eine eventuelle Schädigung des Kambiums oder eine Kambiumnekrose, wie sie beim Buchenrindensterben auftritt (BRAUN, 1977), sollte strukturell untersucht werden. Die anatomische Untersuchung des Holzes sollte Hinweise auf eine verminderte Wasserversorgung liefern, wie sie für das Gedeihen der mit *Trypodendron* vergesellschafteten *Ambrosia*-Pilze erforderlich ist. Auch histochemisch und fluoreszenzmikroskopisch nachweisbare Änderungen im Phenolgehalt von Holz und Rinde, wie sie von DÜBELER et al. (1997) und PETERCORD (1999) für Rinde im Zusammenhang mit dem Buchenwollschildlausbefall gefunden wurden, sollten untersucht werden. Der Stehendbefall mit *Trypodendron* liegt meist auf der Nordostseite der Buchen; es sollte daher unter-

sucht werden, ob es anatomische Unterschiede zwischen Nord- und Südseite der befallenen Buchen gibt. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Stamm-Proben nicht unmittelbar aus der Zone der *Trypodendron* - Bohrlöcher genommen wurden.

Am Standort des *Trypodendron* - Stehendbefalls gibt es befallene und nicht befallene Buchen. Im Paarversuch sollten Holz und Rinde der Partner-Bäume anatomisch untersucht werden, um Hinweise auf strukturelle Unterschiede zu bekommen, die eventuell auf eine andere genetische Ausstattung hinweisen. Im Vergleich dazu wurden außerdem Buchen von Standorten ohne *Trypodendron* - Stehendbefall derselben Region untersucht.

Die Ergebnisse sollten verglichen werden mit anatomischen Besonderheiten an Bohrkernen von akut mit BWSL befallenen Buchen, Schleimfluss-Buchen und Buchen mit „Manganflecken“ (vgl. KUBINIOK und GERBER, 2006; FRITZ et al., 2006).

Methoden

Stammproben für morphologische und anatomische Untersuchungen wurden von folgenden Buchen entnommen:

- (a) 10 Paare *Trypodendron* befallen/ nicht befallen (Nord- und Südseite getrennt), Saar-Hochwald, Juli 2003;
- (b) nicht von *Trypodendron* befallene Buchen (Liegendversuch) beim Einschlag / Oktober 2002 (Hermeskeil, Saar-Hochwald, Wiltz-Luxemburg);

- (c) Buche mit Schleimfluss (Abt. 2115 Revierförsterei Steinborn/Forstamt Winnefeld/ Solting; Einschlag 4. Okt. 2004, Stamm / untere Krone);
- (d) Buche mit Manganflecken aus Rheinland-Pfalz, Einschlag Februar 2005, Stammfuß und 11 m Höhe;
- (e) akut mit Buchenwollschildlaus befallene jüngere unterständige Buche/Nordseite aus Rheinland-Pfalz, Einschlag August 2003.

Rindenstücke und Bohrkerne (1 cm Durchmesser, 5 cm lang) von *Fagus sylvatica* L. wurden in ca. 1m Höhe entnommen (Schleimflussbuche in unterer Krone; Manganfleckbuche auch in 11 m Höhe) und sofort in FAE (90 ml 70 % Ethanol, 5 ml 37 % Formaldehyd, 5 ml Eisessig) fixiert. Nach mindestens 1 Woche Fixierdauer wurden die Bohrkerne in 70 % Ethanol überführt.

Die Rindenoberfläche (ca. 2 cm x 3 cm Untersuchungsfläche) wurde unter einer Stereolupe (Stemi SV 11, Zeiss., Oberkochen, Germany) fotografiert und die Oberflächenbeschaffenheit (Lenticellen, ja/nein; Risse, ja/nein) analysiert.

Die Gesamtdicke der Rindenstücke wurde mittels einer elektronischen Schieblehre vermessen (Minimal- und Maximalwert). Aus je 3 Werten wurde ein Mittelwert gebildet.

Rinde und Holz bzw. die Bohrkerne (in 70 % Ethanol) wurden mit einem Schlittenmikrotom (Reichert, Wien, Austria) und einem Mikrotommesser mit c-Schliff längs und quer geschnitten, die Bohrkerne als Ganzes. Die Schnitte wurden mit Toluidinblau (0,05 % in 50 mM Phosphatpuffer pH 7,0) 10 Minuten gefärbt (O'BRIEN et al., 1964), in 50 % Glycerin ausgewaschen, mit 50 % Glycerin auf Objektträgern mit einem Deckglas eingedeckelt und im Lichtmikroskop (Axioplan, Zeiss, Oberkochen, Germany) untersucht; ungefärbte Gewebeschnitte wurden im Fluoreszenzmikroskop auf Polyphenole (Filterkombination G 365, FT 395, LP 420; Zeiss, Oberkochen, Germany) analysiert. Mikrophotographien wurden mit einer Digitalkamera (Nikon Coolpix 4500, Nikon, Tokyo, Japan) angefertigt. Die Dicken der einzelnen Rindengewebschichten wurden im Mikroskop mittels eines ge-

eichten Objektmikrometers (1 mm = 100 Teilstriche) vermessen.

Ergebnisse

Rindenoberfläche

Bei den Stehendbefallpaaren (*Trypodendron* befallen und nicht befallen) war die Rindenoberfläche meist zerklüftet; Lenticellen waren selten sichtbar. Die Zerklüftung der Rindenoberfläche war bei den einzelnen Baumpaaren unterschiedlich tief, mit tendenziell geringerem Zerklüftungsgrad beim nicht befallenen Partner als beim befallenen (LANGENFELD-HEYSEYER et al., 2004). Bei den Kontroll-Buchen des Liegendversuchs war die Rinde außen meist glatt und Lenticellen waren meist sichtbar. Die Bohrkerne der BWSL-Buche (jüngerer Baum) zeigten teils eine glatte, teils eine zerklüftete Rindenoberfläche. Am Rande des Schleimflusses (Stamm / untere Krone) war die Rinde auffallend glatt, zeigte jedoch streifenförmige Erhebungen mit Mittelrinne, worin *Trypodendron* - Bohrlöcher bevorzugt zu finden waren. Bei der Manganfleck-Buche (Stammfuß und 11 m Höhe) war die Rindenoberfläche nicht tief zerklüftet.

Rindendicke

Vergleicht man die **Gesamt-Rindendicke** der Nordseiten *Trypodendron* - befallener und nicht befallener Buchen der einzelnen Baumpaare (Abb. 1), so zeigen 30 % der Baumpaare beim befallenen Partner eine dickere Rinde als beim befallsfreien. Dies gilt auch für den Vergleich der Südseiten (LANGENFELD-HEYSEYER et al., 2004). Innerhalb eines Rindenstückes können große Dickenschwankungen auftreten, besonders bei den Nordseiten befallener Buchen. Es gibt eine Tendenz zu leicht dickeren Rinden auf der Nordseite befallener Buchen gegenüber ihrer Südseite (LANGENFELD-HEYSEYER et al., 2004).

Die Gesamtrindendicke (Nordseite) der Buchen mit *Trypodendron* - Stehendbefall beträgt im Mittel 7,9 mm, beim unbefallenen Partner im Mittel 7,2 mm. Die Gesamtrinde der Kontrollbuchen des Liegendversuchs ist viel geringer, sie beträgt im Mittel nur

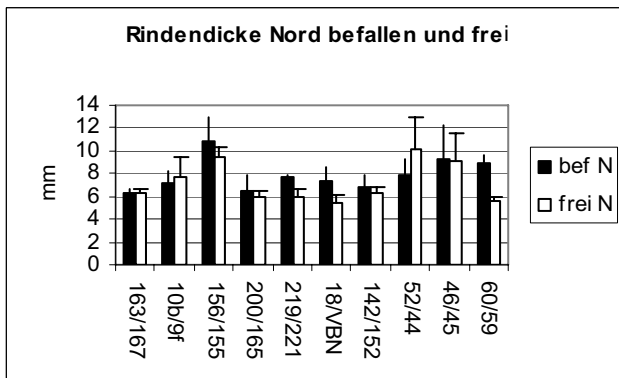


Abb. 1: Gesamtrindendicke der Nordseite von Buchenpaaren des *Trypodendron* - Stehendbefalls; Vergleich befallen und nicht befallen.

Fig. 1: Total bark thickness of the northside of living beech tree pairs; comparison of *Trypodendron* infested and non infested trees.

4,95 mm. Auch die Rinde der Manganfleckbuche ist im Mittel nur 5 mm breit.

Die **Dicke der lebenden Rinde** bleibt beim *Trypodendron* - Stehendbefall annähernd gleich, selbst nach Bildung tieferer Innenperiderme (Abb. 2). Auf der Nordseite des befallenen Partners (auf der Südseite war nur der Baum 200 befallen) beträgt die Breite der lebenden Rinde im Mittel 5,7 mm, die des unbefallenen Partners 5,2 mm; bei den Kontrollbuchen des Liegendversuchs ist die gesamte Rinde nur 5,2 mm dick mit einem Phellem von 1-2 % der Gesamtrindendicke. Dies deutet auf eine sekundäre Verdickung der lebenden Rinde bei *Trypodendron* - Stehendbefall hin. Es gibt Hinweise darauf, dass die Zunahme an lebender Rinde haupt-

sächlich auf eine Verdickung des sekundären Phloems zurückgeht (LANGENFELD-HEYSER et al., 2004).

Rindennekrosen

Trypodendron - befallene Stehend-Buchen zeigen Rindennekrosen auf der Nordseite (Abb. 4, links). Diese entstehen unter Lenticellen, sind unterschiedlich tief, aber reichen nicht hinab bis zum Kambium. Die Rindennekrosen können flach unter den Lenticellen liegen (Abb. 3 (die Abbildungen 3, 5 bis 9 und 12 bis 16 befinden sich auf den Farbbildseiten)), sich bis in die Mitte des Cortex erstrecken, bis zur Grenze Cortex/sekundäres Phloem reichen oder bis in das nicht leitende sekundäre Phloem. Abbildung 5 zeigt eine tief reichende Nekrose in der Rinde einer befallenen Buche entlang eines Sklerosebaststrahles, die bis in das älteste sekundäre Phloem reicht. Nicht nur die Nordseiten befallener Buchen zeigen Rindennekrosen, sondern auch ihre Südseiten (Abb. 4 rechts); sie sind dort manchmal (30 %) von geringerer Tiefe und fehlen zuweilen (20 %) ganz.

Auch nicht befallene Buchenpartner des Paarversuches zeigen häufig Nekrosen in der Rinde (Abb. 4); diese sind jedoch oft flach (Abb. 4 und 6). Zuweilen zeigen nicht befallene Buchen aber auch tiefer reichende ausgeheilte Nekrosen. Nekrosen findet man also in den Rinden befallener und nicht befallener Buchen, wobei Häufigkeit und Nekrosentiefe

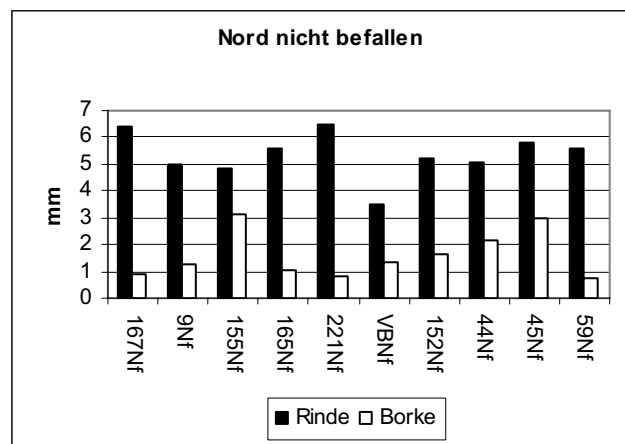
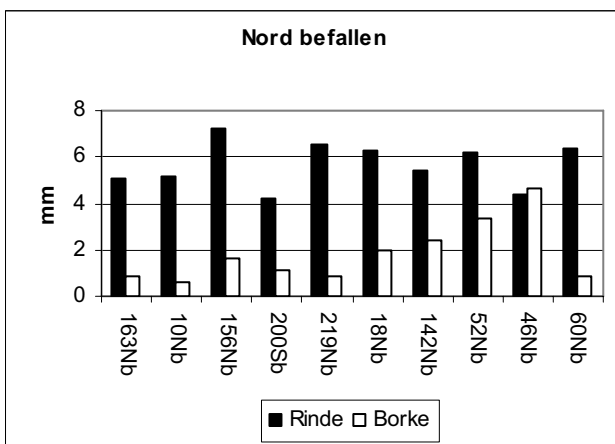


Abb. 2: Vergleich der Dicke (Mittelwerte) von lebender Rinde und Phellem/Borke bei Buchenpaaren des *Trypodendron* - Stehendbefalls; links: befallene Partner (Nordseite, außer 200S); rechts: nicht befallene Partner (Nordseite).

Fig. 2: Pair comparison of the thickness (mean values) of inner living bark and phellem/rhytidome of the northsides of *Trypodendron* infested (left) and non infested (right) beech trees.

bei den befallenen Partnern stärker sind (Abb. 4). Nekrosefreie Rinden findet man ausschließlich auf der Südseite (20 % der befallenen, 50 % der nicht befallenen Partner). Die Kontrollbuchen des Liegendversuchs zeigen nur wenige, sehr oberflächliche, direkt unter den Lenticellen gelegene Rindennekrosen (ähnlich Abb. 3). Die Bohrkerne der akut mit Buchenwollschildlaus befallene Buche zeigen teils ähnliche flache Rindennekrosen (Nekrosentiefenstufe 1 bis 2), teils keine.

Es gibt deutliche Hinweise darauf, dass nicht mit *Trypodendron* befallene lebende Buchen mit flachen Nekrosen durchgängige Sklerenchymbänder im Cortex besitzen und im sekundären Phloem wesentlich mehr Sklerenchym ausbilden als die befallenen Partner (Abb. 6).

Anders als bei *Trypodendron* - Befall am Rande von Schleimfluss (Abb. 20) reichen die Rindennekrosen beim Stehendbefall mit *Trypodendron* nicht bis hinab in die jüngsten Zuwächse an sekundärem Phloem. Die Nekrosen der Schleimflussbuchen können tief im Rindeninneren Areale normal gebildeten Speicherphloems durch Wundperiderm abkapseln.

Ganz andere Nekrosen als die Schleimflussbuchen zeigen die Buchen mit Manganfleck (KUBINIOK

und GERBER, 2006; FRITZ et al., 2006) im Holz. Bei relativ glatter Rindenoberfläche finden sich im sekundären Phloem Innennekrosen, die jedoch auf eine gestörte cambiale Aktivität zurückzuführen sind und nicht sekundär in bereits normal strukturiertem sekundärem Phloem gebildet wurden (Abb. 7).

Sekundäres Phloem

Das sekundäre Phloem der Rinde *Trypodendron*-befallener Stehend-Buchen zeigt bei den meisten untersuchten Bohrkerne auf den ersten Blick keine Schädigung (Abb. 8). Bei genauerer mikroskopischer Analyse zeigen einige befallene Buchen im sekundären Phloem der Nordseite jedoch anatomische Veränderungen (Abb. 9), wie sie ähnlich bei akut mit Buchenwollschildlaus befallenen Rinden (POLLE et al., 2005), aber in noch ausgeprägterer Form am Rand von Schleimfluss auftreten. Dort kann in räumlicher Nähe relativ normal ausgebildetes jüngstes sekundäres Phloem neben anomal gestaltetem mit hohem Anteil radialer Parenchymreihen auftreten. Der Flächenanteil der Siebröhrenquerschnitte ist bei anomal gebildetem leitendem sekundärem Phloem stark verringert.

Eine gewisse Beeinträchtigung des Phloems zeigt

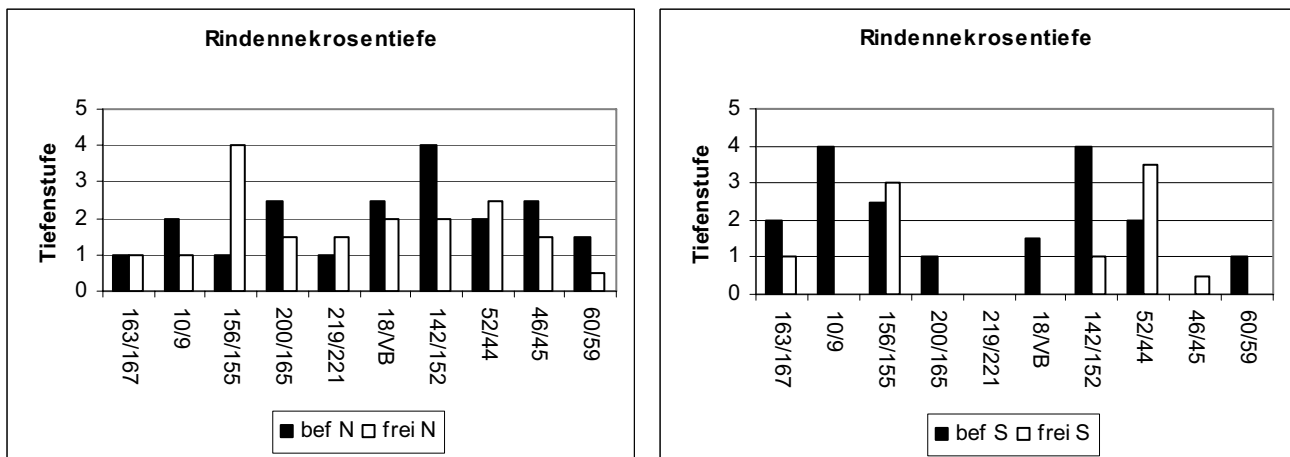


Abb. 4: Nekrosentiefenstufen in der Rinde befallener und nicht befallener Baumpartner beim Buchen - Stehendbefall mit *Trypodendron*; links Nordseite der Stämme, rechts Südseite: (0) keine Nekrose, (1) oberflächlich, nur unter Lenticellen, (2) bis Mitte Cortex, (3) bis Grenze Cortex / sekundäres Phloem, (4) bis ins sekundäre Phloem.

Fig. 4: Depth levels of bark necrosis in *Trypodendron* infested and non infested living beech tree pairs; left north-side of the trunks, right south-side: (0) no necrosis, (1) superficial, only beneath lenticels; (2) reaching till mid cortex; (3) reaching till the border of cortex / secondary phloem; (4) reaching into the secondary phloem.

sich im Paarvergleich befallen/unbefallen bei der Dicke des leitenden sekundären Phloems. Bei 60 % der befallenen Partner ist die Dicke des leitenden Phloems schmäler, bei 20 % genauso breit und bei 20 % breiter als beim nicht befallenen Partner (Abb. 10). Das Speicherphloem ist bei 80 % der befallenen Partner dicker als beim unbefallenen Partner (nicht dargestellt). Rinden befallener Buchen lassen eine Zunahme an Strahlfläche im sekundären Phloem erkennen (LANGENFELD-HEYSER et al., 2004).

Sekundäres Xylem

Beim *Trypodendron* - Stehendbefall zeigten nur zwei der untersuchten 10 Bohrkerne von der Nordseite befallener Buchen (163N und 10N) Schwärzungen im Holz aufgrund von Pilzbefall; d.h. zur Anlockung von *Trypodendron* ist Pilzbefall des Holzes nicht erforderlich (LANGENFELD-HEYSER et al., 2004).

An den Holzquerschnitten der Bohrkerne wurden enge und weite Jahrringe beobachtet. In vorliegender Untersuchung wurden nur die Jahrringbreiten von 2002 betrachtet, und zwar nur in Bohrkernen der Nordseite der Baumpaare. Dies geschah im Hinblick auf eine mögliche akute Schädigung des Kambiums.

Der Vergleich der Jahrringbreiten des Jahres 2002 (Abb. 11) zeigt, dass der Jahreszuwachs 2002 bei den Nordseiten der befallenen Partner in 80 % der Fälle geringer war als bei den Nordseiten der unbefallenen Partner. Die Beeinträchtigung war bei den einzelnen Baumpaaren unterschiedlich stark. Buche 156N mit *Trypodendron* - Stehendbefall zeigt in 2002 und 2003 sogar wieder einen Anstieg der Jahrringbreiten gegenüber den Vorjahren (vgl. auch DITTMAR und ELLING, 2006). Die mit *Trypodendron* befallene Stehend-Buche 163N zeigt hingegen im Holz der Nordseite von 1998 bis 2003 eine stärker werdende Reduktion der Jahrringbreiten (Abb. 12).

Der Jahrring 2002 und 2003 zeigt bei 163N nicht nur eine geringere Breite, sondern auch eindeutige Zeichen für eine gestörte Holzbildung. Dies gilt für

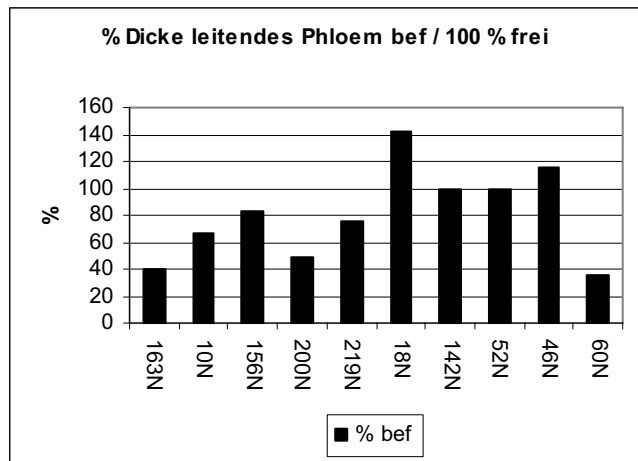


Abb. 10: Dicke des leitenden Phloems des befallenen Partners in Prozent des unbefallenen Partners (100%) beim *Trypodendron* - Stehendbefall; nur Nordseiten der Buchen dargestellt.

Fig. 10: Thickness of the conducting secondary phloem of the *Trypodendron* infested partner in relation to the non infested partner (100%) in the pair experiment with living beech trees; north-sides only.

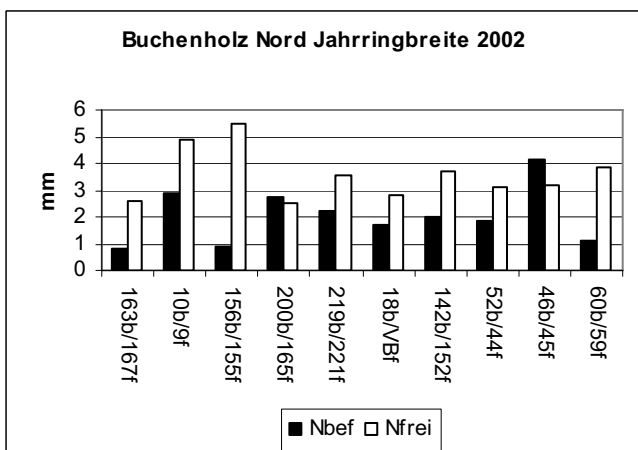


Abb. 11: Breite des Jahrrings 2002 im Holz der Nordseite *Trypodendron* befallener und nicht befallener Stehend-Buchen.

Fig. 11: Thickness of the growth ring 2002 in the wood of the northside of *Trypodendron* infested and not infested living beech trees.

2002 und 2003 auch für die akut mit Buchenwollschildeaus befallene Buche (POLLE et al., 2005) und für das Holz am Rande des Schleimflusses (Abb. 20). Von 10 untersuchten Bohrkernen *Trypodendron* - befallener Stehend-Buchen tritt eine solche anomale Holzbildung nur bei 163N auf. Hier ist die leitende Querschnittsfläche der jüngsten Jahrringe durch anomale Holzbildung vermindert. Erste Messungen mit einem Bildanalyseprogramm (AnalySIS) haben ergeben, dass der Anteil an

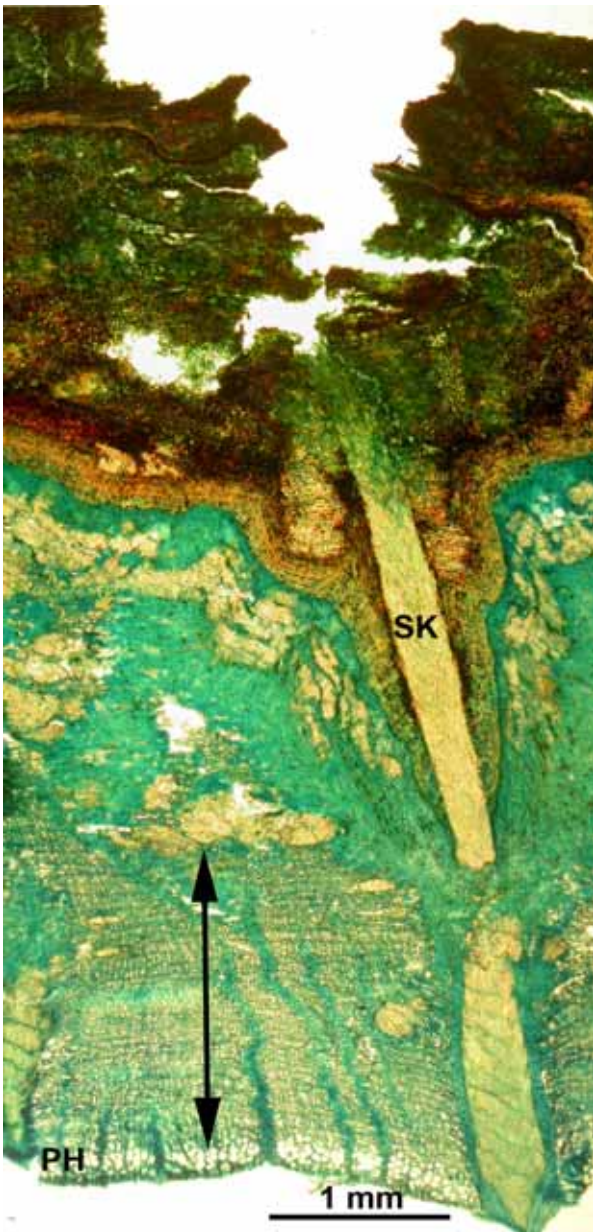


Abb. 5: Bis ins Speicherphloem (Doppelpfeil) reichende, nicht ausgeheilte Rindennekrose (Nekrosentiefenstufe 4) mit gebrochenem Sklerosebaststrahl (SK) bei *Trypodendron* – Stehendbefall (142 N befallen); eine starke Proliferation von Parenchym durch Wundphellogen ist zu sehen. Rindenquerschnitt gefärbt mit Toluidinblau. PH = leitendes Phloem.

Fig. 5: Non healed bark necrosis reaching into the non conducting (double arrow) secondary phloem (necrosis depth level 4) in a *Trypodendron* infested (142 N) living beech tree. The sclerotic phloem ray (SK) is broken and an intense proliferation of parenchyma derived from wound phellogen is visible. Bark cross section; stained with toluidine blue; PH = conducting secondary phloem.

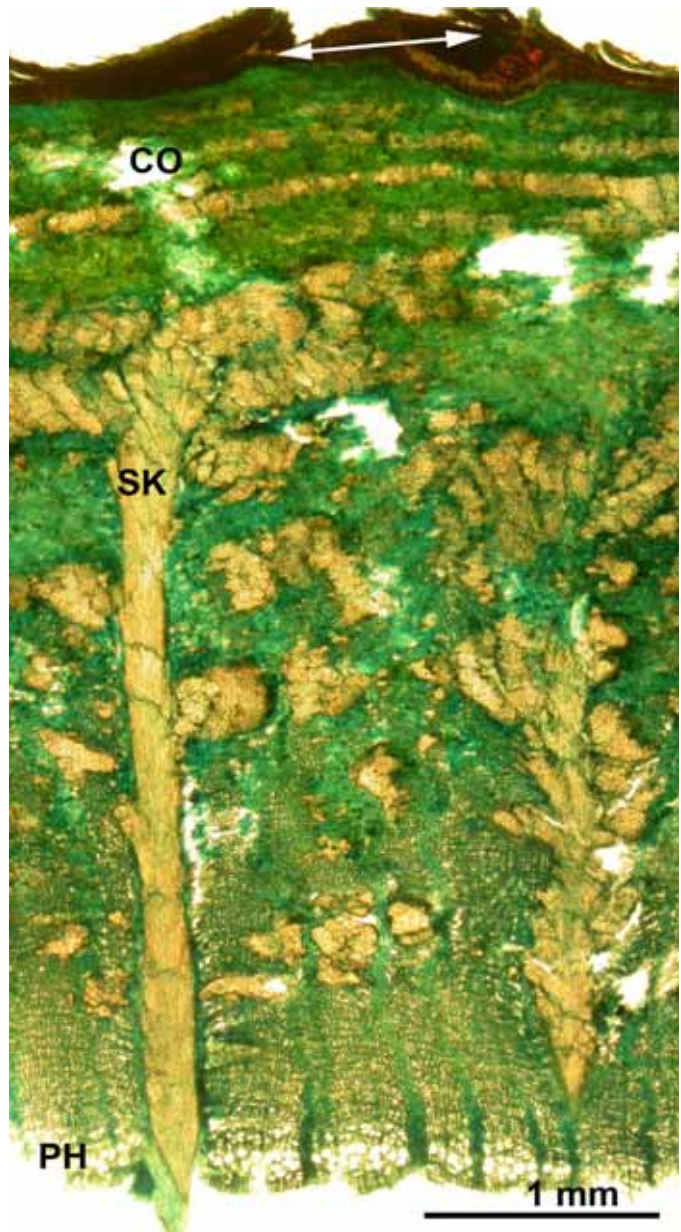


Abb. 6: Flache Rindennekrose (Nekrosentiefenstufe 1 bis 2) einer nicht mit *Trypodendron* befallenen (167S frei) Stehend-Buche aus dem Paarversuch. Der Rindenquerschnitt (gefärbt mit Toluidinblau) zeigt intakte Sklerenchymbänder im Cortex (CO), einen intakten Sklerosebaststrahl (SK) und relativ viel Sklerenchym im Speicherphloem; PH = leitendes sekundäres Phloem; Doppelpfeil = Lenticelle.

Fig. 6: Flat bark necrosis (depth level 1 to 2) of a living beech non infested with *Trypodendron* (167S). The bark cross section, stained with toluidine blue, shows intact bands of sclerenchyma in the cortex (CO), an intact sclerotic phloem ray and a relatively high area percentage of sclerenchyma in the non conducting secondary phloem; PH = conducting secondary phloem.

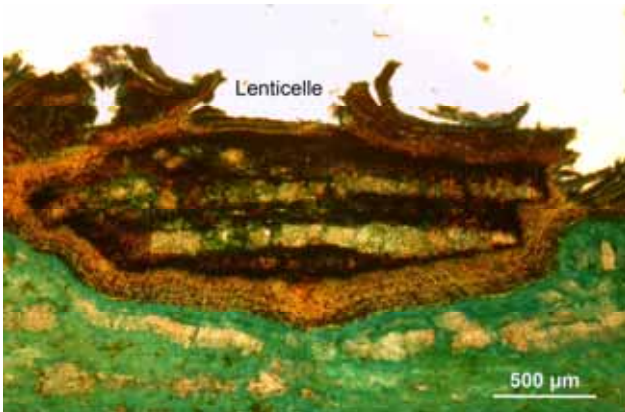


Abb. 3: Rindennekrose unter einer Lenticelle beim *Trypodendron* – Stehendbefall (Buche 219N befallen); Nekrosentiefenstufe 1; Rindenquerschnitt gefärbt mit Toluidinblau.

Fig. 3: Bark necrosis beneath lenticel of *Trypodendron* infested living beech tree (219N); necrosis depth level 1; bark cross section stained with toluidine blue.

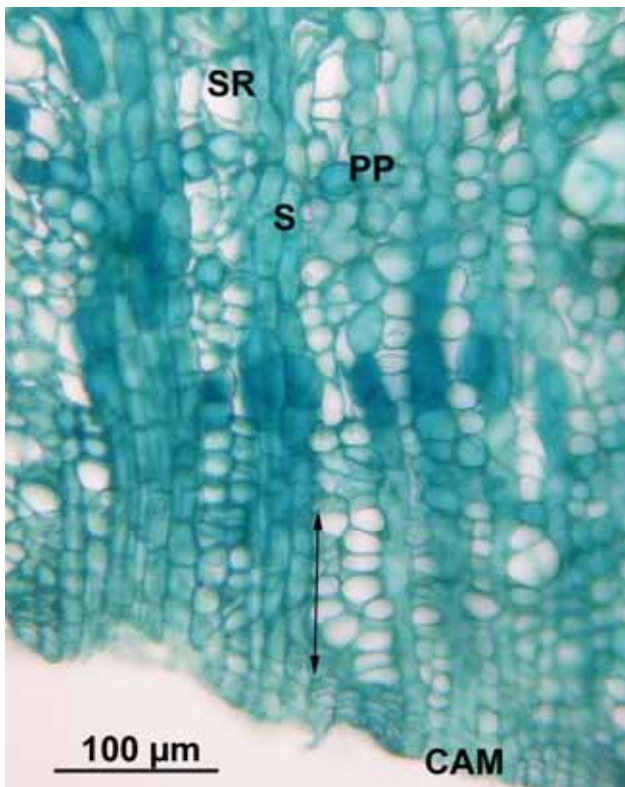


Abb. 9: Anomal gebautes leitendes sekundäres Phloem (Doppelpfeil) und jüngstes nicht leitendes Phloem einer mit *Trypodendron* befallenen Stehend - Buche (200S, befallen); (Rindenquerschnitt angefärbt mit Toluidinblau); SR = Siebröhre, PP = Phloemparenchym, S = Phloemstrahl, CAM = Kambium.

Fig. 9: Anomalous conducting secondary phloem (double arrow) and youngest non conducting secondary phloem of a living beech infested with *Trypodendron* (200S); cross section of the bark stained with toluidine blue; SR = sieve tube, PP = phloem parenchyma, S = phloem ray, CAM = cambium.

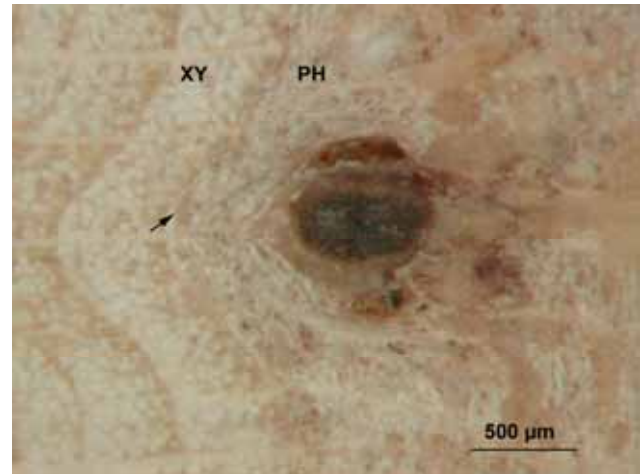


Abb. 7: Dunkle Innennekrose unweit des Kambiums (Pfeil) in der Rinde der Manganfleckbuche; Lupenphoto einer polierten Holzscheibe. PH = sekundäres Phloem, XY = sekundäres Xylem.

Fig. 7: Dark stained necrosis next to the cambium (arrow) in the inner bark of a beech with manganese flecks in the wood. Polished stem cross surface, viewed with a stereomicroscope. PH = secondary phloem, XY = secondary xylem.

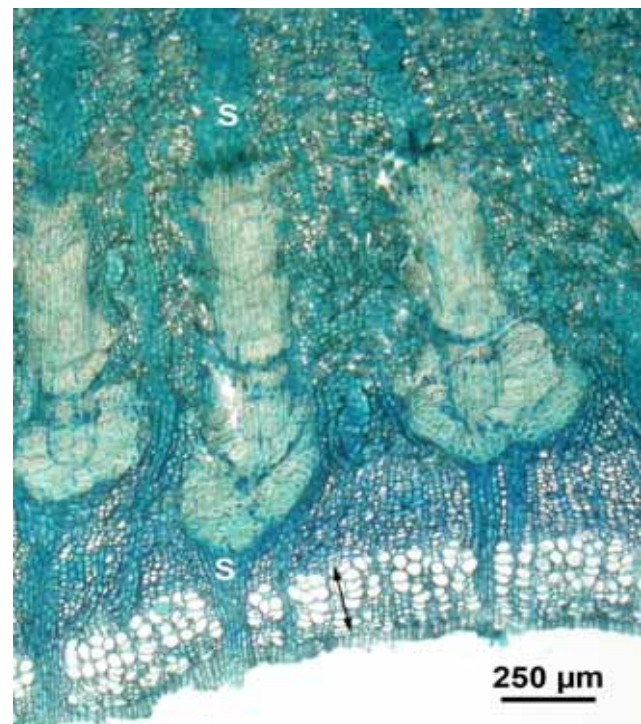


Abb. 8: Normal gebautes leitendes sekundäres Phloem (Doppelpfeil) und Speicherphloem mit Baststrahlen (S) einer mit *Trypodendron* befallenen Stehend-Buche (46N befallen); (Rindenquerschnitt angefärbt mit Toluidinblau).

Fig. 8: Conducting secondary phloem (double arrow) with normal structure and non conducting secondary phloem with phloem rays (S) of a living beech infested with *Trypodendron* (46N); cross section of the bark stained with toluidine blue.

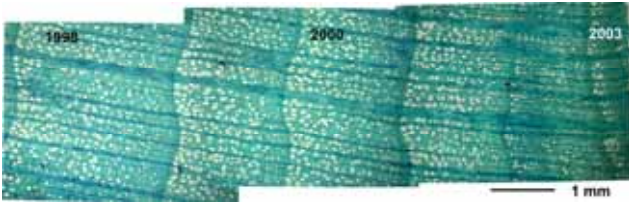


Abb. 12: Holzquerschnitt (Jahring 1998– 2003) des Bohrkerns 163N, von einer *Trypodendron* befallenen Stehend-Buche (gefärbt mit Toluidinblau). Die Holzstruktur in 2003 und 2002 ist anomal.

Fig. 12: Wood cross section (growth ring 1998 – 2003) (stained with toluidine blue) of the bore core 163N of a *Trypodendron* infested living beech. The wood structure in 2003 and 2002 is anomalous.

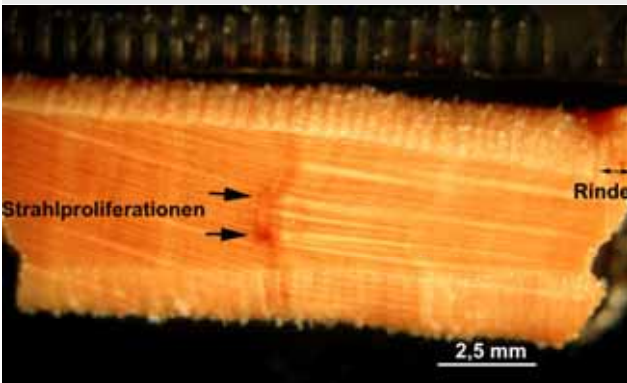


Abb. 13: Querschnitts-Lupenansicht von Bohrkern 9N einer mit *Trypodendron* befallenen Stehend-Buche; zwei Holzstrahlproliferationen sind als hellbraune Flecken (Pfeile) zu erkennen.

Fig. 13: Cross section of bore core 9N of a *Trypodendron* infested living beech; with the stereo microscope wood ray proliferations can be distinguished as light brown flecks (arrows).

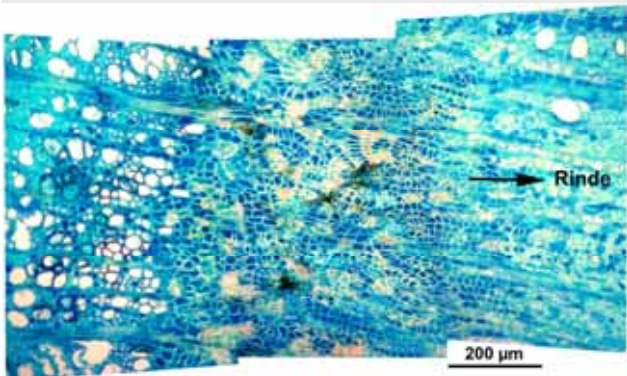


Abb. 15: Holzstrahlproliferation (Jahring 1998) in Bohrkern BWSL 3 einer akut mit Buchenwollschilddaus befallenen Buche, mittig quer geschnitten, mit Toluidinblau angefärbt; der Pfeil zeigt in Richtung Rinde.

Fig. 15: Cross section (stained with toluidine blue) through the centre of a wood ray proliferation (growth ring 1998) in bore core BWSL 3 from a beech acutely infested with *Cryptococcus fagisuga*; the arrow points in direction to the bark.

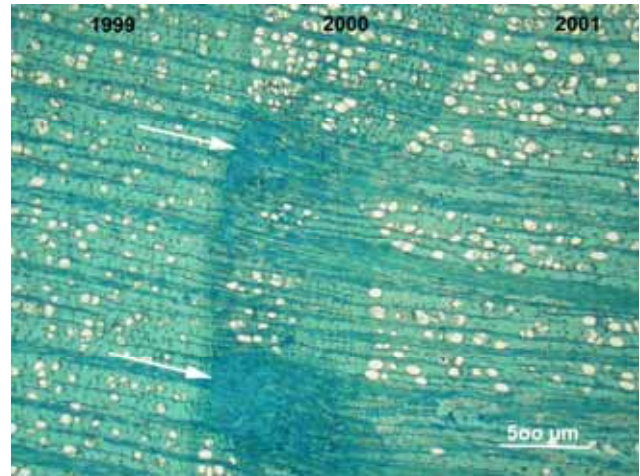


Abb. 14: Holzstrahlproliferationen (Pfeile) im Bohrkern der *Trypodendron* befallenen Stehend-Buche 9N aus Abb. 13; Querschnitt angefärbt mit Toluidinblau. Die Holzstrahlproliferationen beginnen im Jahring 2000 und sind auch im Jahring 2001 noch als stark verbreiterte Strahlen und zentripetale Einbuchtung der Jahringgrenze erkennbar.

Fig. 14: Wood ray proliferation (arrows) in bore core 9N (see fig. 13) of a *Trypodendron* infested living beech; cross section stained with toluidine blue. The wood ray proliferations start in growth ring 2000 and are still to be seen in growth ring 2001 as widened rays and centripetally indented growth ring border .

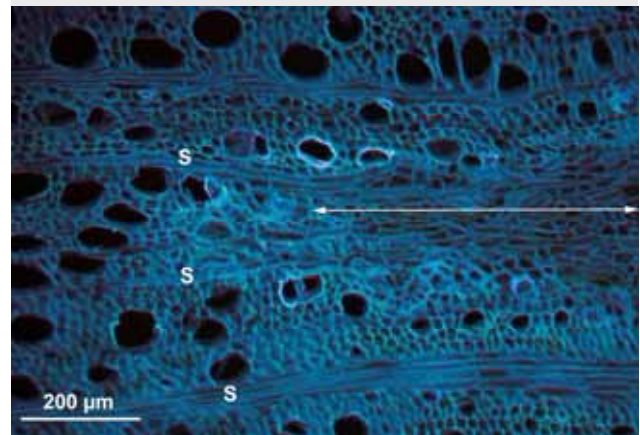


Abb. 16: Zentripetaler Rand einer kleinen Holzstrahlproliferation (Doppelpfeil), axial weiter vom Zentrum der Holzanomalie entfernt; die angrenzenden Gefäße zeigen eine verstärkte Einlagerung von Polyphenolen in die Zellwände. UV Fluoreszenz eines Querschnittes von Bohrkern 163 S, einer mit *Trypodendron* befallenen Stehend-Buche; S = Strahl.

Fig. 16: Centripetal periphery of a small wood ray proliferation (double arrow), axially in some distance from the proliferation centre. The vessels bordering the wood ray proliferation show a higher concentration of polyphenols in the cell walls. UV fluorescence of a cross section of bore core 163S, from a living *Trypodendron* infested beech; S = ray.

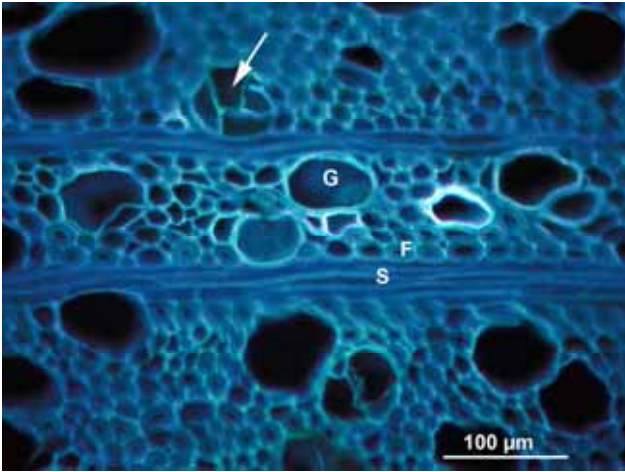


Abb. 17: Axiale Peripherie einer Holzstrahlproliferation mit Verthyllung (Pfeil) der Gefäße und verstärktem Einbau von Polyphenolen in die Zellwände; UV Fluoreszenz eines Querschnittes von Bohrkern 163 S, einer mit *Trypodendron* befallenen Stehend-Buche; S = Strahl, G = Gefäß, F = Fasern.

Fig. 17: Axial periphery of a wood ray proliferation with tyloses (arrow) in adjacent vessels and enhanced concentration of polyphenols in cell walls. UV fluorescence of a cross section of bore core 163S, from a living *Trypodendron* infested beech; S = ray, G = vessel, F = fibres.

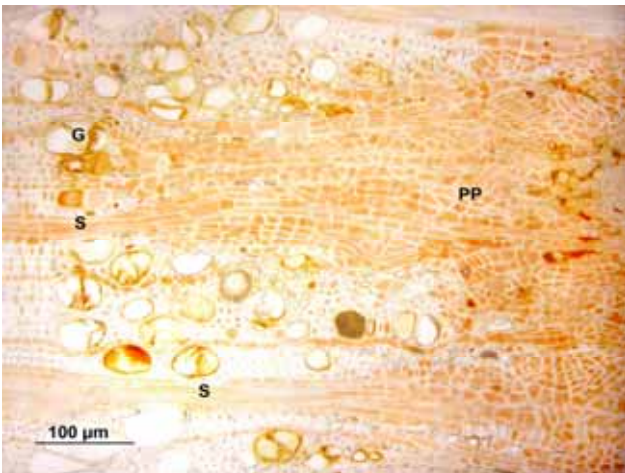


Abb. 18: Zentripetaler Rand einer mittig quer geschnittenen Holzstrahlproliferation (ungefärbt) aus Bohrkern 60N, von einer mit *Trypodendron* befallenen Stehend-Buche. Im proliferierten Parenchym (PP) und in den Thyllen der angrenzenden Gefäße sind braunschwarze Gerbstoffeinlagerungen zu erkennen; S = Strahl, G = Gefäß.

Fig. 18: Cross section (not stained) through the centre of a wood ray proliferation from bore core 60N, from a living *Trypodendron* infested beech; the centripetal border is shown. The proliferated parenchyma (PP) and the tyloses of the adjacent vessels show black brown stained tannins; S = ray, G = vessel.



Abb. 19: Holzstrahlproliferation im Bohrkern 60N (Querschnitt mit Toluidinblau angefärbt) einer mit *Trypodendron* befallenen Stehend-Buche. Die Holzstrahlproliferation beginnt in 1999, erstreckt sich über mehrere Jahrringe und führt zur zentripetalen Einbuchtung des nachfolgend gebildeten Holzes über mehrere Jahrringe hinweg.

Fig. 19: Wood ray proliferation in cross section (stained with toluidine blue) of bore core 60N, from a *Trypodendron* infested living beech. The wood ray proliferation starts in 1999, extends over several growth rings and causes indented growth ring borders in later formed wood.

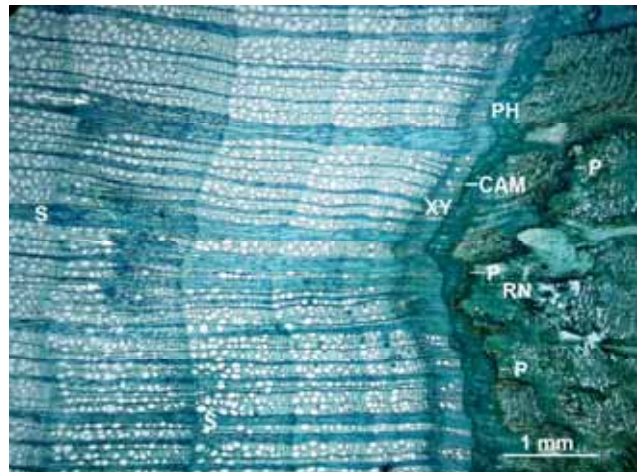


Abb. 20: Querschnitt (gefärbt mit Toluidinblau) eines Bohrkerns aus der Randregion des Schleimflusses. Die Rinde zeigt eine durch Wundperiderm (P) abgeschottete Innennekrose (RN); die Aktivität des Kambiums (CAM) ist gestört, ersichtlich an der anomalen Struktur des jüngsten Phloems (PH) und Xylems (XY). Die Holzstrahlproliferationen (Pfeile) erstrecken sich bis zum Kambium; S = Strahl.

Fig. 20: Cross section (stained with toluidine blue) of a bore core from the periphery of slime flux. The bark shows an inner necrosis (RN), bordered by a suberized wound periderm (P). The activity of the cambium (CAM) is disturbed, visible through the anomalous structure of the youngest phloem (PH) and xylem (XY). The wood ray proliferations (arrows) extend to the cambium; S = ray.

Parenchym im Holz im Vergleich zu einer Kontrollbuche stark angestiegen ist (von 10 auf 30 %) und die leitende Fläche der Gefäße stark abgenommen hat (von 22 auf 7 %) (BECKER, 2005).

Holzanomalien und Strahlproliferationen:

Struktur

Im Holz der mit *Trypodendron* befallenen Stehend-Buchen treten Holzanomalien und Strahlproliferationen auf. Diese sind in quer angeschnittenen Bohrkernen bereits mit dem bloßen Auge oder der Lupe als bräunliche Flecken zu erkennen (Abb. 13). Die mikroskopische Aufnahme von Holzquerschnitten lässt Regionen starker Parenchymproliferation und anomaler Holzbildung erkennen (Abb. 14). Ähnlich strukturierte Holzstrahlproliferationen treten auch bei der akut mit BWSL befallenen Buche (Abb. 15) und bei den Manganfleckbuchen (POLLE et al., 2005; FRITZ et al., 2006) auf. In Abb. 15 ist links der zentripetale Start der Holzstrahlproliferation zu erkennen, mit verthyllten, gruppierten kleinlumigen Gefäßen und Feldern kleiner dünnwandiger Zellen, vermutlich axiales Parenchym. Zwischen die proliferierten Strahlzellen sind kleine gerbstoffhaltige nekrotische Zentren eingestreut. Zentrifugal, in Richtung Rinde, läuft die Holzstrahlproliferation in verbreiterte, aber wieder voneinander zu unterscheidende Holzstrahlen aus. Ein suberinisiertes Wundperiderm an der Grenze zum proliferierten Parenchym, wie es bei den Holzstrahlproliferationen der Manganfleckbuchen (POLLE et al., 2005) vorkommt und auch bei der akut mit Buchenwollschilddlaus befallenen Buche auftritt (POLLE et al., 2005), konnte bei den Holzstrahlproliferationen der Stehendbefall-Buchen in schwacher Ausprägung bislang nur einmal entdeckt werden.

Die Holzstrahlproliferationen zeigen am zentripetalen Rande eine starke Einlagerung von Polyphenolen in die Zellwände, im gesamten Randbereich sind die Gefäße verthyllt (Abb. 16). Dies gilt auch für die tangential und axiale Peripherie (Abb. 17). Gerbstoffe sind in den Gefäßthyllen am Rande der Holzstrahlproliferation, aber auch im proliferierten Strahlgewebe selbst zu finden (Abb. 18).

In Querschnitten kann man entweder die mittig geschnittene Holzstrahlproliferation (Abb. 14, 15, 18,) erkennen, oder weiter axial gelegene Bereiche. In der axialen Peripherie ist die Holzstrahlproliferation nur als ein Feld verthyllter Gefäße mit starker Polyphenoleinlagerung zu erkennen (Abb. 17) oder als mehr oder weniger kleines Areal proliferierten Strahlgewebes (Abb. 16) bzw. weitlumiger Holz-zellen; diese werden in Folge zusammen mit den typisch strukturierten Holzstrahlproliferationen als Holzanomalien zusammengefasst.

Die Holzstrahlproliferationen können sich über mehrere Jahrringe erstrecken (Abb. 19) und zu einer zentripetalen Einbuchtung des nachfolgend gebildeten Holzes über mehrere Jahrringe hinweg führen (Abb. 14 und 19). Einige der untersuchten Holzstrahlproliferationen erstrecken sich sogar bis hin zum Kambium. Dies lässt eine Entstehung der Holzstrahlproliferationen durch eine Störung der cambialen Aktivität vermuten. Derartige, bis ans Kambium reichende Holzstrahlproliferationen wurden auch im Holz am Rande des Schleimflusses gefunden (Abb. 20) und treten auch bei den sog. Manganfleckbuchen auf (POLLE et al., 2005; FRITZ et al., 2006). Während eine Holzstrahlproliferation meist nicht breiter als 1 mm in tangentialer Richtung ist, kann sie in Längsausdehnung bis über 1,5 cm Länge erreichen.

Holzanomalien und Strahlproliferationen: Vorkommen

Das Vorkommen und die Zahl der Holzanomalien pro Jahrring wurden in den einzelnen Bohrkernen des *Trypodendron* - Stehendbefall - Paarversuches bestimmt; die Holzstrahlproliferationen sind darüber hinaus auch gesondert gezählt worden. Da die Bohrkerne eine unterschiedliche Anzahl von Jahrringen aufwiesen, wurde für jeden Jahrring die Anzahl der Holzanomalien bzw. Strahlproliferationen durch die Anzahl der Bohrkerne geteilt. So ergab sich eine Häufigkeitsverteilung der Anomalien bzw. Strahlproliferationen in den einzelnen Jahrringen.

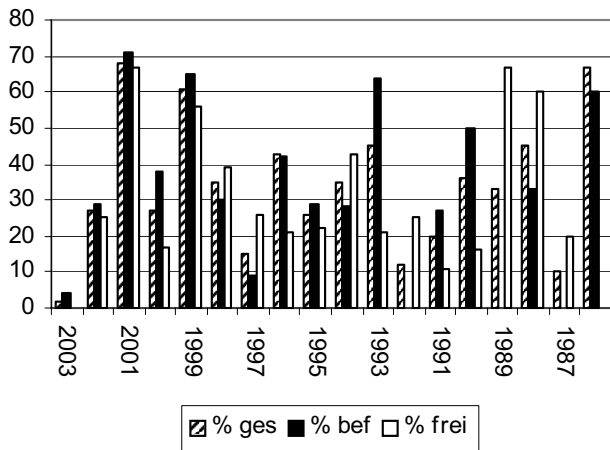


Abb. 21: Prozentsatz der Holzanomalien für jeden Jahrring (1986 – 2003) über alle Bohrkerne des Paarversuchs „Buchen-Stehendbefall mit *Trypodendron*“ ermittelt, ferner getrennt nach befallen (Nord plus Süd) und nicht befallen (Nord plus Süd).

Fig. 21: Percentage of wood anomalies for each growth ring (1986 – 2003) over all bore cores of the pair experiment (infested / non infested) “Living *Trypodendron* infested beeches”; the results were further taken separately for bore cores of infested (north and south) and non infested (north and south) beech trees.

Die Gesamtzahl der Holzanomalien im Jahrring hat über alle Bohrkerne berechnet (N und S, befallen und frei) Maxima im Jahre 2001, 1999 und 1993 (Abb. 21). Eindeutige Unterschiede zwischen den als befallen und als nicht befallen eingestuft Buchen gibt es nicht, auch nicht zwischen den Nord- und Südseiten der Buchenpaare (POLLE et al., 2005).

Abb. 22 zeigt, wie die Häufigkeitsverteilung der Strahlproliferationen im Holz der einzelnen Jahrringe ist. Insgesamt ist der Prozentsatz der Bohrkerne mit Strahlproliferationen für die einzelnen Jahrringe wesentlich geringer als die Anzahl der Holzanomalien. Es gibt sogar Jahre, in denen keine Strahlproliferationen auftreten (1992-1990; 1984). Die Gesamtzahl der Strahlproliferationen im Jahrring hat über alle Bohrkerne berechnet Maxima im Jahre 2001, 2000, 1994, 1988 und 1985. Eindeutige Unterschiede zwischen den als befallen und als nicht befallen eingestuft Buchen gibt es also auch in Bezug auf die Holzstrahlproliferationen nicht (POLLE et al., 2005). Ein stärkeres Vorkommen von Holzstrahlproliferationen auf der Nordseite befall-

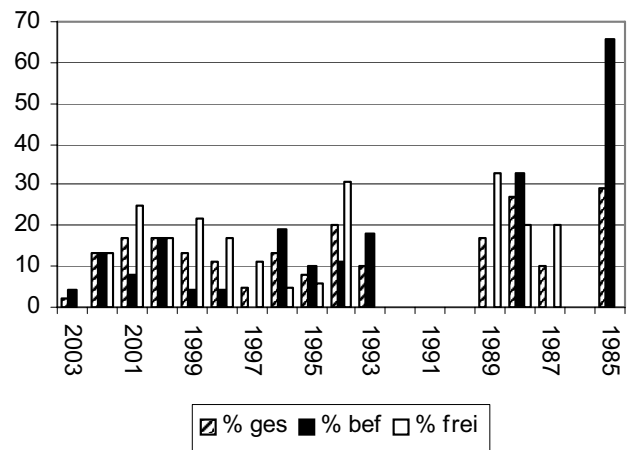


Abb. 22: Prozentsatz der Strahlproliferationen für jeden Jahrring (1985 – 2003) über alle Bohrkerne des Paarversuchs „Buchen-Stehendbefall mit *Trypodendron*“ ermittelt, ferner getrennt nach befallen (Nord plus Süd) und nicht befallen (Nord plus Süd).

Fig. 22: Percentage of wood ray proliferations for each growth ring (1985 – 2003) over all bore cores of the pair experiment (infested / non infested) “Living *Trypodendron* infested beeches”; the results were further taken separately for bore cores of infested (north and south) and non infested (north and south) beech trees.

ner Buchen war nicht zu beobachten (POLLE et al., 2005).

Als Kontrolle zum *Trypodendron* - Stehendbefall – Paarversuch wurde das Vorkommen von Holzanomalien in Bohrkerne *Trypodendron* - freier Buchen aus Hermeskeil (HK), Saar-Hochwald (SH) und Luxemburg (L) (Liegendversuch; Einschlag Oktober 2002) untersucht.

Es wurde eine Graphik erstellt (Abb. 23), aus der hervorgeht, in welchem Jahr die meisten der 26 Bohrkerne (von 9 Buchen) eine Holzanomalie zeigen: Bei diesem Verfahren ist jedoch unberücksichtigt geblieben, dass einzelne Bohrkerne mehr als eine Anomalie pro Jahr aufwiesen, andere hingegen keine.

Abb. 23 lässt erkennen, dass es bei den zum Einschlagtermin *Trypodendron* - freien Buchen des Liegendversuchs viele Jahre ohne Holzanomalien gibt, dass ferner der Prozentsatz der Bohrkerne mit Anomalie stets unter 15 % bleibt, damit also wesentlich geringer ist als beim Paarversuch des *Trypodendron* - Buchen-Stehendbefalls. Besonders hervorzuheben ist, dass nur eine Strahlproliferation bei den 26 untersuchten Bohrkerne (von 9 Bu-

chen) zu finden war. Spitzenwerte an Holzanomalien finden sich in den Jahren 2001, 1999 und 1994. Die Buchen aus Luxemburg zeigten auch im Jahre 2004 noch keinen Liegend-Befall mit *Trypodendron*.

Diskussion

Die Buchen-Rinde der Nordseite (ca. 1 m Stammhöhe) ist bei *Trypodendron* - Stehendbefall stark verdickt und stark zerklüftet im Vergleich zu normalen Buchen ohne *Trypodendron* - Befall; jedoch weisen auch die nicht befallenen Südseiten und die nicht befallenen Partner (Nord- und Südseite) im Paarversuch ähnlich verdickte Rinden auf. Solche verdickten Rinden befallener Buchen zeigen eine nahezu gleich dicke lebende Rinde wie nicht befallene Buchen, trotz unterschiedlich tief reichender Innenperiderme. Durch wiederholte Bildung von Rindennekrosen, die ihren Anfang unter Lenticellen nehmen, entsteht eine borkenartige Außenrinde. *Trypodendron* - befallene Buchen zeigen Rindennekrosen unterschiedlicher Tiefe, die strukturelle Ähnlichkeit mit den durch BWSL - Befall hervorgerufenen Rindennekrosen aufweisen (BRAUN, 1976, 1977). GRÜNER und METZLER (2006) führen diese Grobborkigkeit auf *Nectria* zurück, besonders auf das Vorkommen von *Nectria ditissima*. Durch Buchenwollschildlaus hervorgerufene Rindennekrosen können durch *Nectria* an der Ausheilung gehindert werden (Petercord, 2006). Solche Rindennekrosen kommen aber nicht nur auf der *Trypodendron* - befallenen Nordseite, sondern auch auf der Südseite und beim nicht befallenen Partner des Stehendbefalls vor. Nicht mit *Trypodendron* befallene Stehend - Buchen zeigen vermehrt entweder vollständig ausgeheilte tiefere Rindennekrosen oder flachere Rindennekrosen und darüber hinaus intakte Sklerenchymbänder im Cortex, vermutlich auch mehr Sklerenchym in der restlichen lebenden Rinde (OBERBECK, 2006). Hier könnten zum einen geringere Befallsstärke aber auch die genetische Disposition zur Abwehr eine Rolle für Befall oder Nichtbefall mit *Trypodendron* spielen. Das Vorkommen der Rindennekrosen ist notwendig für den Stehendbefall mit *Trypodendron* (vgl. auch GRÜNER und

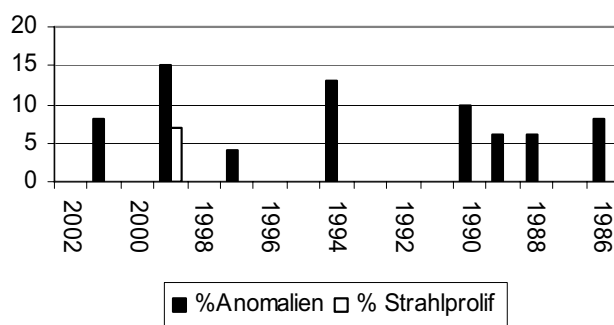


Abb. 23: Prozentsatz der Holzanomalien (und Holzstrahlproliferationen), für jeden Jahrring (1986 – 2002) über 26 untersuchte Bohrkern von 9 *Trypodendron* freien Buchen des Liegendversuches (Einschlag Oktober 2002) ermittelt.

Fig. 23: Percentage of wood anomalies (and wood ray proliferations), for each growth ring (1986 – 2002) over 26 investigated bore cores from 9 *Trypodendron* non infested beeches of “lying beech experiment”(trees felled in october 2002).

METZLER, 2006), aber nicht alle Buchen mit solchen Nekrosen zeigen einen Befall. Es gibt deutliche Hinweise darauf, dass die nicht mit *Trypodendron* befallenen Partner des Stehend-Paarversuches keine echten Kontrollen zu den mit *Trypodendron* befallenen Buchen darstellen.

Diese von außen nach innen tiefer werdenden, aber nicht die inneren Schichten des sekundären Phloems erreichenden Rindennekrosen zeigen einen anderen Bau als die tief im Inneren der Rinde gelegenen Nekrosen am Rande von Schleimfluss oder bei den Manganfleckbuchen. BRAUN (1976, 1977) beschreibt beim Buchenrindensterben *Trypodendron*-Befall erst nach Erreichen der letzten Befallsstufe, die mit *Nectria*-Befall und Schleimfluss einhergeht. Beim Stehendbefall mit *Trypodendron* wird diese letzte Stufe nicht erreicht.

Anders als am Rande des Schleimflusses zeigen 90 % aller untersuchten Buchen des Stehendbefalls nur eine schwache Beeinträchtigung der Struktur und Breite des leitenden sekundären Phloems, aber auch des jüngsten sekundären Xylems. Dies deutet auf eine nur schwache akute Beeinträchtigung der Kambiumaktivität hin; eine klare Unterscheidung zwischen den *Trypodendron* - befallenen und nicht befallenen Stehend - Buchen des Paarversuches ist hier nicht zu treffen. Auch die in der Innenrinde

gelegenen Nekrosen der Manganfleckbuchen gehen auf eine heftige, jedoch nur zeitlich begrenzte kambiale Störung zurück. Akut mit Buchenwollschildlaus befallene Rinden zeigen hingegen eine deutliche (POLLE et al., 2005), Schleimflussbuchen hingegen sogar eine starke akute Beeinträchtigung der Kambiumaktivität bis hin zur Kambiumnekrose. Auch die von GRÜNER und METZLER (2006) untersuchten Bohrkerne mit *Trypodendron* - Bohrlöchern zeigten in der Mehrzahl solche Kambiumnekrosen. Die Autoren nehmen an, dass pilzlich bedingte Kambiumnekrosen den Stehendbefall durch *Trypodendron* begünstigen. Die von uns untersuchten Bohrkerne stammen vom Rande des *Trypodendron*-Befalls. Sie zeigen zwar Grobborkigkeit, aber keine Kambiumnekrosen. Nach HOLIGHAUS und SCHÜTZ (2006) kann allein die Bildung von Weichbastnekrosen durch absterbendes Zellmaterial *Trypodendron* geeignetes Brutmaterial suggerieren. Weder die Breite der letzten Jahrringe (vgl. DITTMAR und ELLING, 2006) noch eine Reduktion der leitenden Gefäßfläche des Xylems (LANGENFELD-HEYSE, unveröffentlicht) sind eng mit *Trypodendron*-Befall verbunden; eine dadurch bedingte geringere Wasserverfügbarkeit wäre für die Biologie des mit *Trypodendron* vergesellschafteten Ambrosiapilzes vorteilhaft. Eine genetisch bedingte Änderung der leitenden Fläche des Xylems als Ursache für *Trypodendron* - Stehendbefall scheint nicht vorzuliegen.

Beim *Trypodendron* - Stehendbefall sind an das Vorkommen von Rindennekrosen stets auch Holz-anomalien gekoppelt, die allerdings auch bei der nicht befallenen Südseite und an Nord- und Südseite der nicht befallenen Partner der Buchenpaare auftreten. Einen eindeutigen Zusammenhang zwischen der Rindennekrosentiefe und der Anzahl der Jahrringe mit Holz-anomalien beim Stehendbefall-Paarversuch gibt es nicht (KURTH, 2006).

Derartige Holzstrahlproliferationen wurden bereits von JAQUIOT (1961) beschrieben und von THOMSEN et al. (1949) und FINK (1986) auf einen Befall mit *Cryptococcus fagisuga* zurückgeführt; sie sind damit ein weiteres Zeichen dafür, dass dem Befall mit *Trypodendron* ein Befall mit Buchenwollschild-

laus vorausgegangen sein kann. Buchen mit keinen oder nur schwachen Rindennekrosen (Liegendversuch) zeigen wesentlich weniger und schwächere Holz-anomalien (nur eine echte Holzstrahlproliferation) und auch kein Stehendbefall mit *Trypodendron*. Auch GRÜNER und METZLER (2006) fanden bei Rinden ohne Nekrosen keinen *Trypodendron*-Befall.

Die Holzstrahlproliferationen sind aus einer Störung der kambialen Aktivität hervorgegangen, die sich über mehrere Jahrringe erstrecken kann, sichtbar an der zentripetalen Einbuchtung der Jahrringe. Die Holzstrahlproliferationen zeigen eine anomale Holz-bildung, vor allem eine Vermehrung des Parenchyms, eine Verringerung der Gefäßanzahl und eine Verringerung der Gefäßdurchmesser; außerdem eine Verthyllung der Gefäße im Randbereich, eine verstärkte Einlagerung von Polyphenolen und eine Gerbstoffeinlagerung. Gegen das normal gebildete Holz wird die Holzstrahlproliferation tangential, zentripetal und axial abgeschottet (POLLE et al., 2005). Da die anomale Holz-bildung wieder in eine normale übergeht, wird von einer nur vorübergehenden Störung des Kambiums, vermutlich durch Buchenwollschildlausbefall, ausgegangen. Es gibt bestimmte Jahre mit vermehrtem Auftreten von Holzstrahlproliferationen, aber nur das Maximum von 1993 fällt mit vorwiegend geringerem Holz-Radialzuwachs in 1992 bei *Trypodendron* befallenen Stehend-Buchen des FA Saar-Hochwald zusammen (vgl. DITTMAR und ELLING, 2006). Auch im Holz der mit Buchenwollschildlaus befallenen Buche sind solche Holzstrahlproliferationen und eine akute Beeinträchtigung des Kambiums zu finden. Am Rande des Schleimflusses sind vergleichbare Holzstrahlproliferationen zu finden, die sich bis zum Kambium erstrecken.

Obwohl die Rinde der Manganfleckbuchen vergleichsweise dünn und wenig gefurcht ist und nur wenige flache Nekrosen der Außenrinde aufweist, finden sich auch hier Holzstrahlproliferationen von ähnlicher Struktur wie beim Stehendbefall mit *Trypodendron*. Auch diese Holzstrahlproliferationen gehen auf eine kambiale Störung zurück. Sie stehen in direkter Verbindung mit Nekrosen in der Innen-

rinde mit anomalem Bau des sekundären Phloems (POLLE et al., 2005). Die Holzstrahlproliferationen der Manganfleckbuchen zeigen eine sehr intensive Einlagerung phenolischer Substanzen auch im zentripetal angrenzenden normal gebauten Holz und das proliferierte Strahlparenchym ist zentripetal gegen eine dunkle Zone aufgelöster Zellen durch ein Wunderperiderm abgeschottet (POLLE et al., 2005). Anders als bei den Holzstrahlproliferationen des *Trypodendron*-Stehendbefalls finden wir hier also eine für Verletzungen (abiotisch oder biotisch) typische Barrierezone und Reaktionszone (TORELLI et al., 1994). Bei den Manganfleckbuchen ist außerdem in die Holzstrahlproliferationen Mangan eingelagert worden (FRITZ et al., 2006). Da die Holzstrahlproliferationen der Manganfleckbuchen ähnlich gebaut sind wie beim Stehendbefall, wo eine Schwärzung durch Mangan nicht vorkommt, ist Mangan als Entstehungsursache für die Holzstrahlproliferationen unwahrscheinlich. Nach KUBINIOK und GERBER (2006) ist Mangan ursächlich für die braun-schwarzen Flecken im Buchenholz.

Literatur

- BECKER, L. (2005): Untersuchungen von Holzanomalien der Buche (*Fagus sylvatica* L.) bei Stehendbefall mittels Bildanalyse. Bachelorarbeit, Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie, Universität Göttingen.
- BRAUN, H.J. (1976): Das Rindensterben der Buche, *Fagus sylvatica* L., verursacht durch die Buchenwollschildlaus *Cryptococcus fagi* Bär. I. Die Anatomie der Buchenrinde als Basis Ursache. Eur J For Path 6: 136-146.
- BRAUN, H.J. (1977): Das Rindensterben der Buche, *Fagus sylvatica* L., verursacht durch die Buchenwollschildlaus *Cryptococcus fagi* Bär. II. Ablauf der Krankheit. Eur J For Path 7: 76-93.
- DITTMAR, CH. und ELLING, W. (2006): Dendroökologische Untersuchungen von Buchenbeständen in der Programm-Region des INTERREG III A-Projektes. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59/06, S. 31 - 40.
- DÜBELER, A.; VOLTMER, G.; GORA, V.; LUNDERSTÄDT, J. and ZEECK, A. (1997): Phenols from *Fagus sylvatica* and their role in defence against *Cryptococcus fagisuga*. Phytochemistry 45, 51-57.
- FINK, S. (1986): Pathologische und regenerative Anatomie der Holzpflanzen. Habilitationsschrift Forstwissenschaftliche Fakultät. Universität Freiburg.
- FRITZ, E.; LANGENFELD-HEYSER, R.; PETERCORD, R. und POLLE, A. (2006): Mangan im braunfleckigen Holz der Buche (*Fagus sylvatica* L.); Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59/06, S. 167 - 180.
- GRÜNER, J.; METZLER, B. (2006): Nectria-Arten an Buchenrinde mit Phloemnekrosen. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59/06, S. 129 - 138.
- HOLIGHAUS, G.; SCHÜTZ, S. (2006): Strategie der Olfaktorischen Wirtsfindung von *Trypodendron domesticum* L. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59/06, S. 119 - 128.
- JACQUIOT, C. (1961) : Note preliminaire sur une maladie du bois de hetre dans l'est de la france. Revue Forestiere Francaise 13 : 167-170.
- KUBINIOK, J. und GERBER, C. (2006): Untersuchungen zu Ursachen der Fleckenbildung in Buchenhölzern an rheinland-pfälzischen und saarländischen Standorten. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59/06, S. 157 - 166.
- KURTH, C. (2006): Strukturelle Parameter von Holz und Rinde in Korrelation zum Trypodendron-Befall stehender Rotbuchen (*Fagus sylvatica* L.). Bachelorarbeit, Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie, Universität Göttingen.
- LANGENFELD-HEYSER, R.; LANG, A.; FIEBELKORN, G. und POLLE, A. (2004): Untersuchungen zum Stehendbefall scheinbar vitaler Buchen durch Holzbrüter. Projektförderung Rheinland-Pfalz, 2003.
- OBERBECK, E. (2006): Untersuchungen zur Rindenanatomie vitaler Buchen (*Fagus sylvatica* L.) mit Holzbrüter-Stehendbefall. Bachelorarbeit, Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie, Universität Göttingen.
- O'BRIEN, T.P.; FEDER, N.; and MC CULLY, M.E. (1964): Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue. Protoplasma 59: 367-373.
- PETERCORD, R. (1999): Entwicklung bewirtschafteter Buchen-Edellaubholz-Mischbestände unter dem Einfluß der Buchenwollschildlaus (*Cryptococcus fagisuga* LIND.) unter besonderer Berücksichtigung physiologischer und genetischer Aspekte. Dissertation, Hainholz Verlag, Göttingen und Braunschweig.
- PETERCORD, R. (2003): Schadtypenbeschreibung zur Buchenerkrankung in Rheinland-Pfalz und Luxemburg. <http://www.uni-kl-de/FVA/interreg/berichte.html>
- PETERCORD, R. (2006a): Die Buchenwollschildlaus als Auslöser der Buchenrindennekrose. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59/06, S. 53 - 62.
- PETERCORD, R. (2006b): Totholzmanagement in Buchenwäldern. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59/06, 191 - 202.
- POLLE, A.; LANGENFELD-HEYSER, R.; LANG, C. und OLBRICH, A. (2005): Anatomische Untersuchungen zur Entstehung von Weichbastnekrosen, Holzstrahlproliferationen und Manganflecken in geschädigtem Buchenholz. Bericht Delux Antrag C2/04.

THOMSEN, M.; BUCHWALD, N.F. und HAUBERG, P.A. (1949):
Angreb af *Cryptococcus fagi*, *Nectria galligena* og andre
parasiter paa bog Kandrup og Wunsch's bogtrykheri
Kobenhavn, 1939-43. (zitiert in Jacquot, 1961).

TORELLI, N.; KRIZAJ, B. and OVEN, P. (1994): Barrier zone
(Codit) and wound-associated wood in beech (*Fagus syl-*
vatica L). *Holzforschung und Holzverwertung*, 46: 49-51.

Danksagung

Für die Bereitstellung des Untersuchungsmaterials danken wir den Mitarbeitern der FAWF Rheinland-pfalz / Trippstadt und Dr. Gerhard Elsner, FVA Niedersachsen / Göttingen. Die Untersuchungen wurden unterstützt durch das Interreg III A DeLux – Projekt : C2/04 und 01/C/2003.

Autorenanschriften:

Dr. Rosemarie Langenfeld-Heyser, Christa Lang, Dr. Eberhard Fritz, Prof. Dr. Andrea Polle
Institut für Forstbotanik, Georg-August Universität Göttingen
Büsgenweg 2, D-37077 Göttingen
Email: rheyser@gwdg.de
clang3@gwdg.de
efritz@gwdg.de
apolle@uni-goettingen.de

Dr. Ralf Petercord
Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz
Hauptstr. 16, D-67705 Trippstadt (bis Dezember 2005)
Email: rpetercord@web.de

Können Stichverletzungen oder Frühfrostereignisse bei *Fagus sylvatica* L. Rauborkigkeit und Holzstrahlproliferationen hervorrufen?

Langenfeld-Heysler, R.; Fiebelkorn, G. und Polle, A.

Zusammenfassung

In der Rinde und im Holz von Buchen mit *Trypodendron*-Stehendbefall wurden Nekrosen bzw. anatomische Veränderungen gefunden (LANGENFELD-HEYSER et al., 2006), die auf eine Vorschädigung schließen lassen. Als mögliche Ursachen dieser Vorschädigung wurden ein Frühfrostereignis (HUART et RONDEUX, 2003) bzw. der Befall durch die Buchenwollschildlaus (PETERCORD, 2006a) angeführt.

Frostbehandlung der Rinde im November (Frühfrost) führt zu weiträumigen Reaktionen in Rinde und Kambium mit deutlichen strukturellen Veränderungen in Rinde und Holz. Besonders auffällig sind Verbräunungen in Rinde und Kambium, ein anomales Sklerenchymband an der Grenze zwischen leitendem und nicht leitendem Phloem und ein weiträumig fast rein parenchymatisches jüngstes Phloem; dies alles tritt bei Buchen mit *Trypodendron*-Stehendbefall nicht auf. Holzstrahlproliferationen bei Buchen mit *Trypodendron*-Stehendbefall sind zudem räumlich eng begrenzte Strukturen. Rauborkigkeit tritt nicht auf. Frühfrost als Ursache des *Trypodendron* - Stehendbefalls scheidet somit aus.

Tiefe Einstiche, die das Kambium verletzen, führen zu Überwallungen. Das Kambium wölbt sich zentrifugal nach außen. Es sind T-förmige Verbräunungen im jüngsten Holz zu sehen. Verletzen die Einstiche das Kambium nicht, so wölbt es sich nicht zentrifugal nach außen und T-förmige Verbräunungen treten nicht auf. Bei Buchen mit *Trypodendron*-Stehendbefall springen Kambium und Jahrringgrenzen im Bereich der Holzstrahl-Proliferationen zentripetal zurück. T-förmige Verbräunungen wurden nicht gefunden. Das Kambium deutlich verletzende Einstiche oder Risse scheidet somit als Ursache für diese Holzstrahl-Proliferationen aus.

Bereits ein Ankratzen der Rindenoberfläche (FINK, 1986) führt zu Rindennekrosen und damit zu Rauborkigkeit. Es hat ferner Auswirkungen auf die Aktivität des Kambiums (z.B. wird weiträumig vor allem parenchymatisches neues Xylem gebildet) und bewirkt Parenchymproliferationen in der Rinde. Es wird angenommen, dass auch die flachen Stiche der Buchenwollschildlaus (*Cryptococcus fagisuga*) allein infolge der Verletzung der Rinde strukturelle Veränderungen in Rinde und Holz hervorrufen können.

Der Bildung der Holzstrahlproliferationen bei Buchen mit *Trypodendron*-Stehendbefall muss eine sehr kleinräumige Beeinträchtigung des Kambiums vorausgegangen sein, allerdings ohne Verletzung. Eine Beeinträchtigung durch Substanzen, welche die Buchenwollschildlaus ausscheidet und die über die Strahlen zum Kambium transportiert werden, ist zu vermuten.

Schlüsselwörter: *Fagus sylvatica* L., *Trypodendron*, Stehendbefall, Frühfrost, Stichverletzung, Anatomie von Rinde und Holz

Do early frost events or bark stitch damage result in rough bark symptoms and wood ray proliferations in *Fagus sylvatica* L. ?

Summary

Beeches infested with *Trypodendron* show necroses and/or anatomical changes in the bark and wood (LANGENFELD HEYSER et al., 2006a), which suggest a predisposition for the infestation by the beetle. An

early frost event (HUART et RONDEUX, 2003) and/or the infestation by the beech scale (PETERCORD, 2006a) were stated as possible causes of this predisposition.

Frost treatment in november (early frost) results in broad reactions of bark and cambium, with conspicuous structural changes in bark and wood. Most conspicuous are the brown colourations in bark and cambium, an anomalous sclerenchyma ring between conducting and non conducting secondary phloem and a broad region of mainly parenchymatic youngest phloem; all these structural changes cannot be seen in living beeches infested with *Trypodendron*. Further, wood-ray-proliferations visible in *Trypodendron* infested living beeches are small, locally restricted structures. A rough bark surface can not be observed. Thus early frost can not be the reason for the infestation of living beeches with *Trypodendron*.

Deep needle stitches , which hurt the cambium, result in formation of a callus from the non hurt cambial zone around the outer periphery of wound. The cambium is centrifugally bulged outwards. The youngest wood shows brown T-like structures. If the needle stitches do not reach the cambium it is not bulged outwards. Brown T-like structures are then not observed. In living beeches infested with *Trypodendron* cambium and growth ring borders are bulged towards the stem center in the region of wood ray proliferations. Brown T-like structures are not visible. Thus, stitches or cracks noticeably hurting the cambium can not be the reason for these woodray-proliferations.

Scratching the bark surface (FINK, 1986) results in formation of bark necrosis and thus a rough stem surface. It further results in changes in cambial activity (e.g. the production of a wide area of mainly parenchymatous new xylem) and results in proliferation of bark parenchyma. It is assumed that even the flat stitches of *Cryptococcus fagisuga* by hurting the bark can already cause structural changes in bark and wood.

The formation of woodray-proliferations in living beeches infested with *Trypodendron* must be the result of a small locally restricted disturbance of the cambium, however, without cambium injury. An interference of cambial activity with substances secreted by *Cryptococcus* and transported via rays to the cambium can assumed.

Keywords: *Fagus sylvatica* L., *Trypodendron* , infestation of living trees, early frost, stitch damage, anatomy of bark and wood

Einleitung

Buchen mit *Trypodendron*-Stehendbefall zeigen eine dicke, zerklüftete Rinde mit Rindennekrosen unterschiedlicher Tiefenstufen (GRÜNER und METZLER, 2006; LANGENFELD-HEYSEY et al., 2006a). Außerdem treten in diesen Buchen Anomalien und Strahlproliferationen im Holz auf (LANGENFELD-HEYSEY et al., 2006). Ähnlich gestaltete Holzstrahlproliferationen findet man auch bei den sogenannten Manganfleckbuchen (FRITZ et al., 2006), jedoch zeigen die Manganfleckbuchen keine auffällig verdickte, raue Borke (POLLE et al., 2005). Als primäre Ursache für die Grobborkigkeit der Buchen mit *Trypodendron* - Stehendbefall wird ein

Buchenwollschildlaus (BWSL-)befall angenommen (PETERCORD, 2006a; LANGENFELD-HEYSEY et al., 2006a), aber auch ein Befall mit *Nectria*, besonders *Nectria ditissima* (GRÜNER und METZLER, 2006) oder die Beteiligung von *Nectria* nach BWSL-Befall (PETERCORD, 2006a). Es stellt sich nun die Frage, ob Stichverletzungen alleine ausreichen, derartige Nekrosen in der Rinde und Strahlproliferationen im Holz zu erzeugen, oder ob außerdem Sekrete der Buchenwollschildlaus dafür erforderlich sind oder auch ein Befall mit *Nectria*. Die Laus gibt bekannterweise Speichelsekrete ab, die zu Mikronekrosen führen (PETERCORD, 2006a) und es ist

bekannt, dass *Nectria* die Ausheilung von Rindennekrosen verhindert (GRÜNER und METZLER, 2006). Rindeneinstiche, die bis ins bereits differenzierte Laubholz reichen, zeigen im nächsten Jahr Kallus im Holzstrahl und die Lage des Kambiums zur Zeit des Einstichs ist leicht zu erkennen (FINK, 1986, in ESCHRICH 1995, S. 293). Der Saugrüssel der BWSL ist allerdings nur 2 mm lang (PETERCORD, 2006a) und würde das Kambium nicht erreichen. Allerdings ist ein solcher Stich des BWSL-Rüssels eine Rindenverletzung. Es ist bekannt, dass Verletzungen der Rinde den Phytohormonspiegel verändern. Durch Behandlung mit Ethrel, das durch Freisetzung von Ethylen einen basipetalen Transport von Auxin verhindert, kam es bei Pappel zu Parenchymproliferation in Holz und Rinde (JUNGHANS et al., 2004; JUNGHANS, 2005).

In der vorliegenden Untersuchung sollten die Reaktionen von Rinde und Holz auf unterschiedlich tiefe Einstiche mit einer Insektennadel untersucht werden, stellvertretend für den Stich des BWSL-Rüssels. Durch solche winzigen Einstiche kann man außerdem kleinste, bis ins Kambium reichende Rindenrisse simulieren.

In der Diskussion um die mögliche Schadursache von *Trypodendron*-Stehendbefall werden auch abiotische Faktoren, insbesondere extreme Frühfrostereignisse aufgeführt (HUART und RONDEUX, 2003; NAGELEISEN und HUART, 2005; PETERCORD, 2006a), Vor dem ersten Auftreten von *Trypodendron*-Stehendbefall der Buchen im Raum Rheinland-Pfalz – Luxemburg im Jahre 2000 war es zu extrem starken Frösten Mitte November 1998 gekommen (PETERCORD, 2006a). Zur Überprüfung dieser Hypothese wurde ein Frühfrostereignis an Buchen experimentell herbeigeführt; dessen Auswirkungen wurden anatomisch analysiert und mit den beobachteten anatomischen Merkmalen der *Trypodendron*-befallenen Stehend-Buchen verglichen.

Material und Methoden

Stichverletzung

Um einen lokalen Massenbefall mit Buchenwollschildlaus (BWSL) zu simulieren, wurden unter

Berücksichtigung des jahreszeitlichen Befallszeitraumes und der Befallsfläche und -intensität gesunde Buchen (ca. 30jährig, im Laubmischbestand, Hanglage, Forstbotanischer Garten, Göttingen) mit Insektennadeln behandelt.

Mitte Mai 2005 wurden je drei Äste von drei Buchen mit glatter Rindenoberfläche auf einer ca. 3 x 2 cm großen Rindenfläche mit Insektennadeln verletzt. Die Nadel wurde eingestochen, bis sie auf Widerstand stieß. Dabei kann es sich um primäre Phloemfaserbündel aber auch um die Kambiumregion oder auch das neu gebildete Holz gehandelt haben. Mitte Mai hat laut Untersuchungen von ESCHRICH (1995; S. 274) die Frühholzbildung der Buche begonnen. Die Einstiche waren unregelmäßig auf der Fläche verteilt, im Abstand von 2mm bis 8 mm maximal.

Nach der Vegetationsphase (Anfang Oktober 2005) wurden die behandelten Buchenaststücke herausgesägt und in FAE-Lösung (70 % Ethanol: 37 % Formaldehyd: Eisessig / 90: 5: 5) fixiert.

Nach Überführung der Proben in Ethanol wurden 20 – 30 µm dicke Querschnitte mit einem Schlittenmikrotom (Reichert, Wien, Austria) angefertigt. Die Querschnitte wurden mit Toluidinblau (0,05 % in 50 mM Phosphatpuffer, pH 7.0) (O'BRIEN et al., 1964) bzw. Phloroglucin/HCl 5 Minuten gefärbt und in 50 % Glycerin auf Objektträgern mit einem Deckglas eingedeckelt. Ferner wurden ungefärbte Mikrotomschnitte direkt in 50 % Glycerin eingeschlossen. Die Schnitte wurden mikroskopisch analysiert und fotografiert (Nikon Coolpix 4.500, Tokyo, Japan).

Im Lichtmikroskop (Axioplan, Zeiss, Oberkochen, Deutschland) wurde die Rinde auf Nekrosen und das Holz auf induzierte Strahlproliferationen untersucht; außerdem wurde das Augenmerk auf Gerbstoffeinlagerungen gerichtet. Ein verstärktes Auftreten von Polyphenolen (Lignin, Suberin) wurde im Fluoreszenzmikroskop (Zeiss Filterkombination G 365, FT 395, LP 420) untersucht.

Froststress-Versuch

Um anatomische Veränderungen durch Frühfrost an Buche festzustellen, wurde Anfang November 2004

eine halbstämmige Frostbehandlung an Buchenstämmen in einem Laubmischbestand (Forstbotanischer Garten, Göttingen) durchgeführt. Die Frostbehandlung erfolgte mit Plastiktüten, die mit klein gehacktem Trockeneis (-78,8°C) gefüllt eine durchschnittliche Temperatur von ~ -35°C an der Stammoberfläche erzielten. Der Froststress-Bereich wurde mittels Goldfolie nochmals isoliert, um die Temperatur möglichst lange konstant zu halten. Der Froststress erfolgte über ca. 6 Stunden.

Die Behandlungsstellen wurden mit Filzschreiber markiert. Nach der Vegetationsphase im November 2005 wurden die dem Froststress ausgesetzten Aststücke herausgesägt und in FAE-Lösung (70 % Ethanol: 37 % Formaldehyd: Eisessig / 90: 5: 5) fixiert. Außerdem wurden die gegenüberliegenden Asthälften als Kontrollen fixiert. Nach Überführung der Aststücke in Ethanol wurden sie wie unter Methode „Stichverletzung“ beschrieben weiterbehandelt.

Ergebnisse - Stichverletzung

Anatomie der Rinde

Obgleich sehr dünn hat die Insektennadel im Periderm deutliche Löcher hinterlassen (Abb. 1 – 3; alle Abbildungen befinden sich auf den Farbbildseiten). Die Stiche erreichten unterschiedliche Tiefen. In jedem Falle wurde ein Wundperiderm mit seitlichem Kontakt zum Oberflächenperiderm eingezo-gen, um das Rindeninnere gegen die Außenluft abzuschotten (Abb. 1). Dadurch wird besonders im Bereich des Einstichs primäre Rinde, aber je nach Einstichtiefe auch sekundäres nicht leitendes Phloem nach außen abgespalten. Dieses Wundperiderm (Abb. 2) zeigt Polyphenole in den Zellwänden (Abb. 3).

Vom Wundperiderm nach innen gelegen befindet sich proliferiertes parenchymatisches Gewebe (Abb. 2), das vom Wundphellogen nach innen, wahrscheinlich aber auch vom Kambium nach außen (phloemseits) abgegeben wurde; es können auch proliferierte Parenchymzellen des nicht leitenden sekundären Phloems daran beteiligt sein. Eine solche Proliferation der Rindenzellen findet sich bei tiefen Einstichen, aber auch bei Einstichen, die ge-

rade eben den Phloemfaserring durchstoßen haben. Die Zellwände dieses proliferierten Parenchyms enthalten keine Polyphenole (Abb. 3). Im Zentrum des Einstichs (Abb. 1) ist die Parenchymproliferation dicker als an seinem Rand.

Das V - förmig nach außen gerichtete Kambium (Abb. 2) ist als breiteres beigefarbenes Band englumiger Zellen zu erkennen. In der Nähe des Einstichzentrums wird xylemseits vom Kambium Parenchym gebildet (siehe grüne Anfärbung des Zellinhaltes in Abb. 2), dessen Zellwände anders als beim phloemseits gelegenen proliferierten Parenchym Polyphenole aufweisen (Abb. 3).

Das leitende Phloem besteht im Zentrum des Einstichs hauptsächlich aus Parenchym mit wenigen kleinlumigen Siebröhren (Abb. 4). Weiter von der Einstichstelle entfernt ist das leitende Phloem schon wieder ähnlich gebaut wie normales leitendes Phloem (Abb.14). Zahl und Durchmesser der Siebröhren steigen, der Flächenanteil des Parenchyms nimmt ab.

Der tiefe Einstichkanal

Der in Abb. 5 gezeigte tiefe Stichkanal reichte bis in das im Mai 2005 bereits angelegte jüngste Xylem. In diesem Bereich füllte sich der Stichkanal mit relativ großen Parenchymzellen. Im reifen Holz wird der Stichkanal durch proliferierenden Kallus aus Holzstrahlen angefüllt (FINK, 1986, Abb. 151); im unreifen Holz schließt sich der Stichkanal und ringsherum wird Kallusgewebe gebildet. Dort wo der Stichkanal im Holz nicht mehr zu sehen ist, liegen die neuen nach der Stichverletzung gebildeten Holzelemente, hier befand sich das Kambium bei Stichverletzung (FINK, 1986). In Abb. 5 und Abb. 6 ist allerdings zu sehen, dass der tiefe Insektennadelstich auch noch längere Zeit als Kanal in dem nach Einstich gebildeten proliferierten Xylem sichtbar bleibt. Es dauert einige Zeit, bis das durch den tiefen Stich verletzte Kambium repariert ist. Es entsteht eine T-förmige Verbräunung. Der horizontale Balken liegt dort, wo sich das Kambium zum Zeitpunkt des Einstichs befand.

Das verletzte Kambium bildet proliferiertes Parenchym rings um den Einstich; er wird überwältigt. Im



Abb. 1: Rinde und Holz eines Buchenastes mit unterschiedlich tiefen Stichverletzungen der Rinde. Eine T-förmige braune Zone (Pfeil) ist im jüngsten Holz im Zentrum des rechten tiefen Einstichs zu sehen. Querschnitt, ungefärbt. OP = Oberflächenperiderm, WP = Wundperiderm, Pfeilspitzen = Kambium.

Fig. 1: Bark and wood of a beech stem with the bark hurt by needle stitches of different depth. A T – shaped brown structure (arrow) is visible in the youngest wood in the center of the deepest stitch at the right side. Cross-section, unstained. OP = normal periderm, WP = wound periderm, arrow heads = cambium.

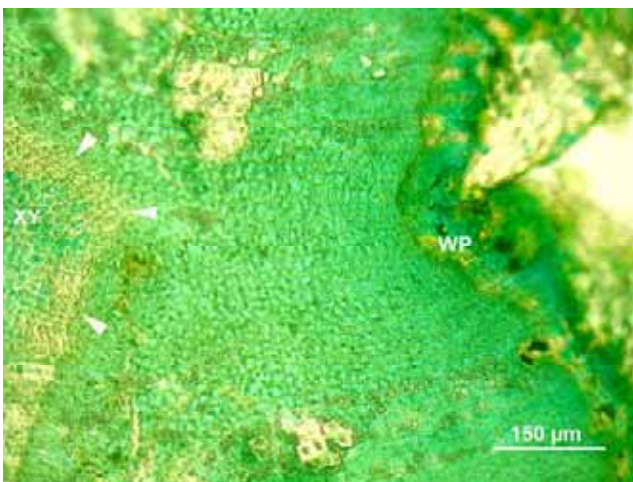


Abb. 2: Nadeleinstich mittlerer Tiefe, Zentrum. Auf ein V-förmig nach innen springendes Wundperiderm (WP) folgt eine breite Zone proliferierten Parenchyms, an die sich das Kambium (Pfeilspitzen) und proliferiertes Xylem (XY) anschließen. Querschnitt, Toluidinblau.

Fig. 2: Needlestitch of medium deepness, stitch center. The centripetally directed V – shaped woundperiderm (WP) is followed by a wide zone of proliferated parenchyma, then followed by the cambium (arrow heads) and proliferated xylem (XY). Cross section, toluidine blue stained.

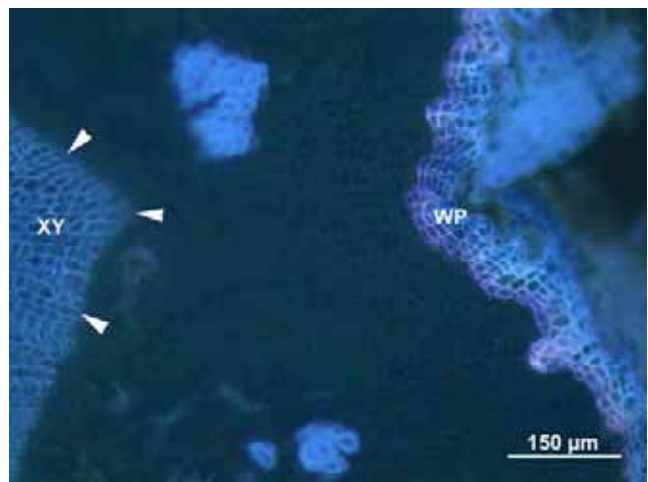


Abb. 3: Autofluoreszenz der Polyphenole zu Abb. 2. Polyphenole zeigen das Wundperiderm (WP), die Sklerenchymnester der proliferierten Rinde und das proliferierte Xylem (XY).

Fig. 3: Autofluorescence of polyphenols to fig.2. Polyphenolic substances are visible in woundperiderm (WP), groups of sclerenchyma in the proliferated bark and in the cell walls of the proliferated xylem (XY).

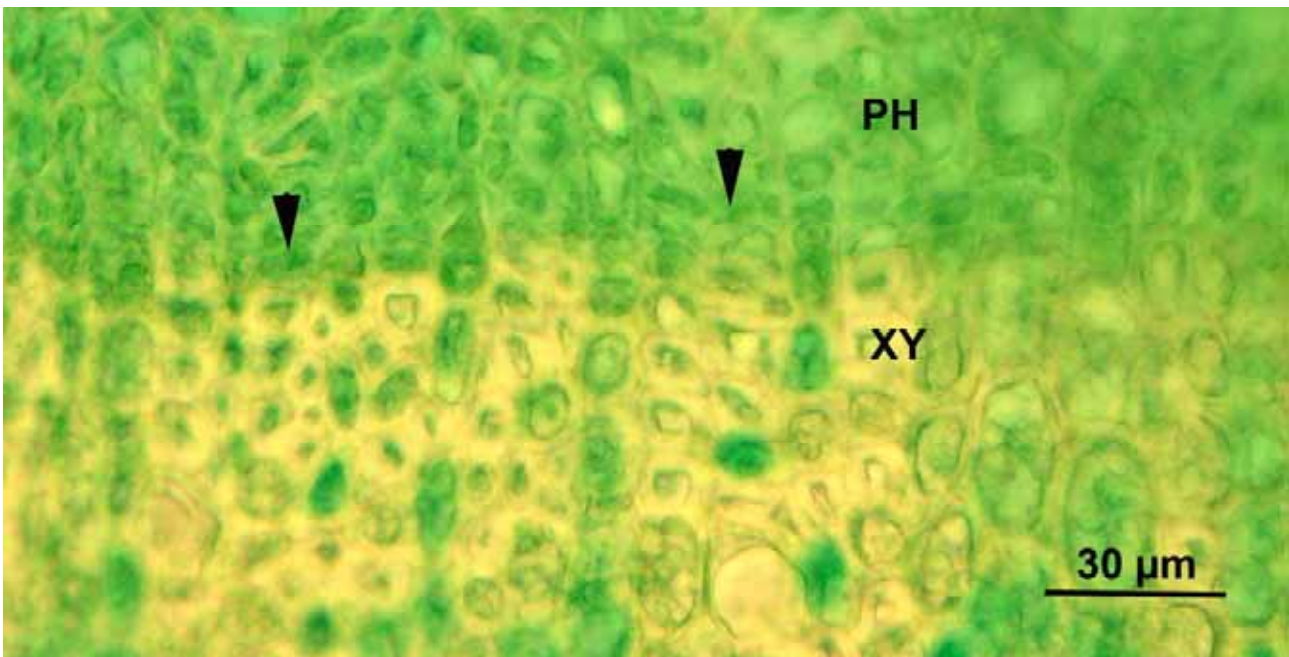


Abb. 4: Grenze Xylem (XY) zum jüngsten Phloem (PH), im Zentrum des Einstichs. Querschnitt, Toluidinblau. Pfeilspitzen = Kambium.

Fig. 4: Border of xylem (XY) and youngest phloem (PH), in the center of the needle stitch. Cross section, toluidine blue stained; arrowheads = cambium.

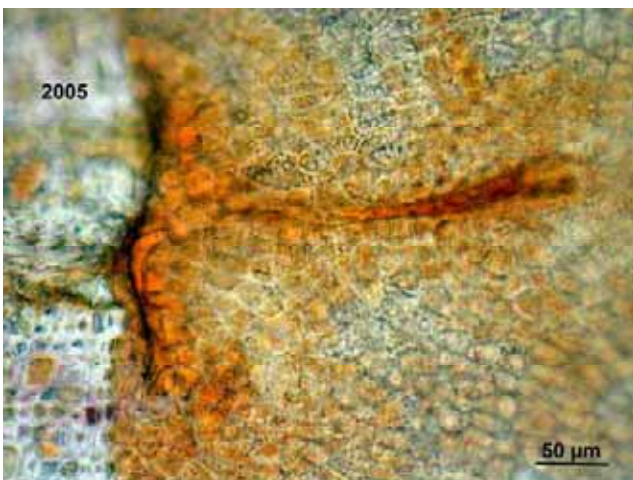


Abb. 5: T-förmige braune Struktur im Zentrum der Stichverletzung, an der Grenze zum diesjährigen (2005), vor Einstich gebildeten Holz. Das jüngste, nach Einstich gebildete Xylem besteht hier ausschließlich aus isodiametrischen Zellen. In Verlängerung der Einstichsachse bleibt ein Kanal längere Zeit sichtbar. Querschnitt gefärbt mit Phloroglucin HCl auf Lignin.

Fig. 5: T-shaped brown scar in the stitch center, at the border of this year wood (2005), formed before the stitch event. The youngest wood, buildt after the stitch event, here is only formed by isodiametric cells. In prolongation of the stitch axis a chanel remains visible for a longer time. Cross section stained with phloroglucinol-HCl for lignin.

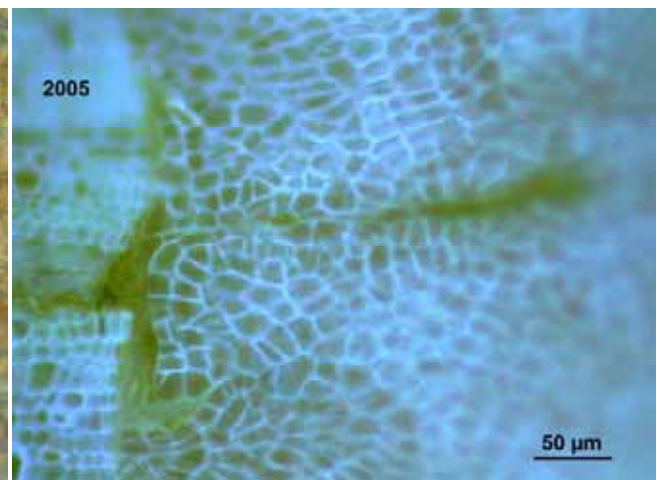


Abb. 6: Autofluoreszenz der Polyphenole zu Abb. 5.
Fig. 6: Autofluorescence of polyphenolic substances in fig. 5.

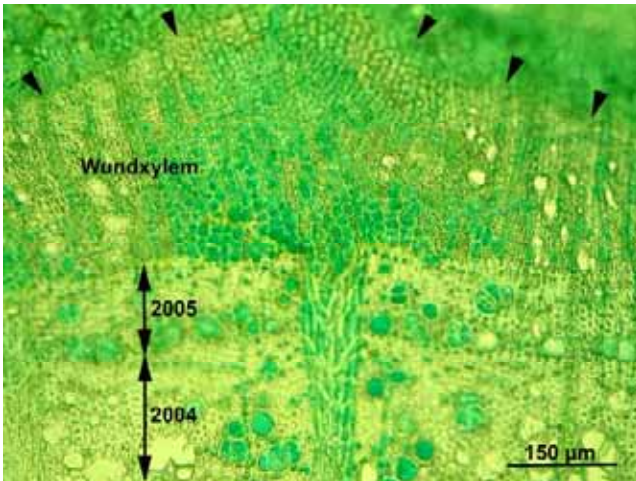


Abb. 7: Wundreaktion im Xylem; diesjähriges (2005, vor Einstich) und letztjähriges (2004) Xylem nahe dem Zentrum einer tieferen Stichverletzung. Querschnitt, Toluidinblau.

Fig. 7: Woundreaction in xylem; this year (2005, before stitch event) and previous year (2004) xylem next to the center of a deeper stitch. Cross section, toluidine blue stained.

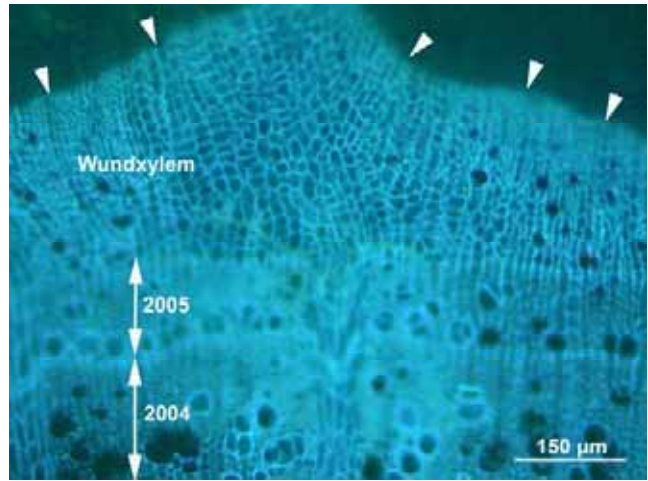


Abb. 8: Autofluoreszenz der Polyphenole zu Abb. 7. Fig. 8: Autofluorescence of polyphenolic substances in fig. 7.



Abb. 9: Übersicht über verdickte Rinde und jüngstes Holz eines Buchenastes nach Frostbehandlung, mit Verbräunung des Kambiums (Pfeilspitzen), der Strahlen und des äußeren Cortex, anomalem Sklerenchymring (SK2) am Rande des leitenden Phloems und verdicktem primärem Phloemfaserring (SK1). Querschnitt; Toluidinblau.

Fig. 9: Overview of the thickened bark and the youngest wood of a beech stem after frost treatment, showing brown colouration in cambium (arrowheads), rays and outer cortex, further an anomalous sclerenchyma ring (SK2) at the edge of the conducting phloem and a thickened primary phloem fiber ring (SK1). Cross section, stained with toluidine blue.

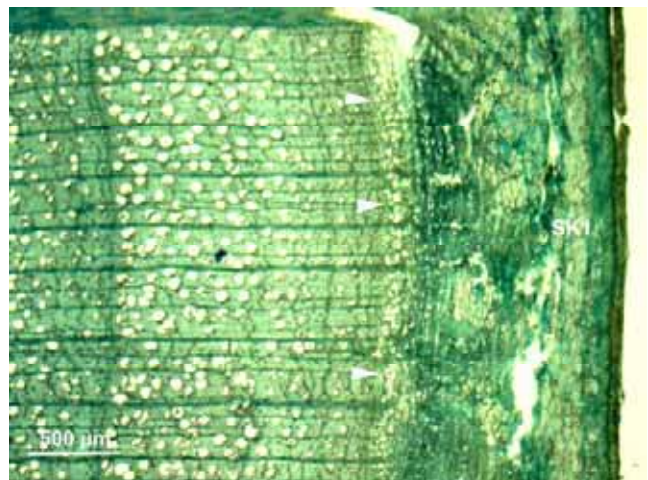


Abb. 10: Übersicht über Rinde und Holz eines nicht gestressten Buchenastes (Kontrolle zu Abb. 9). mit deutlichem Band großlumiger Siebröhren in Kambiumnähe (Pfeilspitzen). Querschnitt; Toluidinblau.

Fig. 10: Overview of bark and wood of a non stressed beech stem (control to fig. 9), with a conspicuous band of sieve tubes of wide diameter next to the cambium (arrowheads). Cross section, stained with toluidine blue.

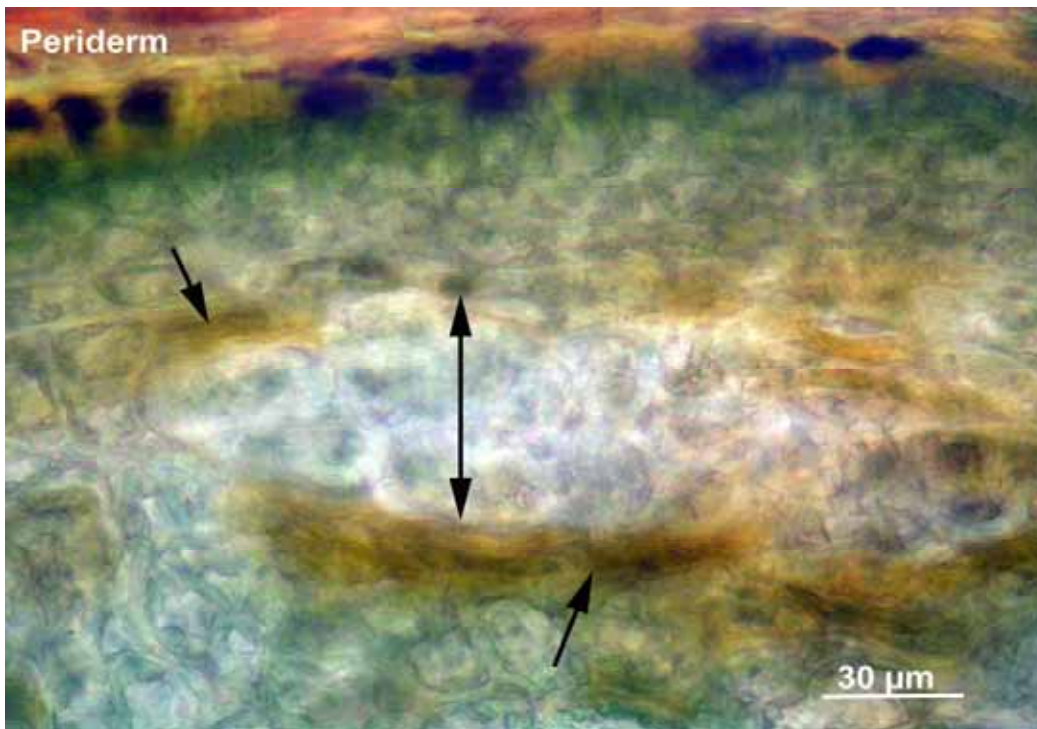


Abb. 11: Ausschnitt aus der primären Rinde eines Buchenastes nach Frostbehandlung mit Ketten verbräunter Zellen (Pfeil) und anomalen Gruppen dickwandiger Zellen (Doppelpfeil). Querschnitt, Toluidinblau.

Fig. 11: Detail of the cortex of a beech stem after frost treatment; chains of brown coloured cells (arrow) and anomalous groups of thickened cells (double arrow) can be seen. Cross section, toluidine blue stained.



Abb. 12: Buchenast nach Frostbehandlung; Querschnitt; Detail leitendes und nicht leitendes sekundäres Phloem; Autofluoreszenz der Polyphenole. Neben dem neu entstandenen anomalen Sklerenchymband (SK2) mit starker Polyphenolautofluoreszenz zeigt das nicht leitende sekundäre Phloem außerhalb der Strahlen verdickte Zellwände mit erhöhtem Polyphenolgehalt (Pfeil).

Fig. 12: Beech stem after frost treatment; cross section; detail of conducting and non conducting secondary phloem; autofluorescence of polyphenolic substances. Beside the newly formed anomalous sclerenchyma ring (SK2) with intense autofluorescence of polyphenolic substances the non conducting secondary phloem except of the rays shows thickened cell walls with enhanced concentration of polyphenolic substances (arrow).

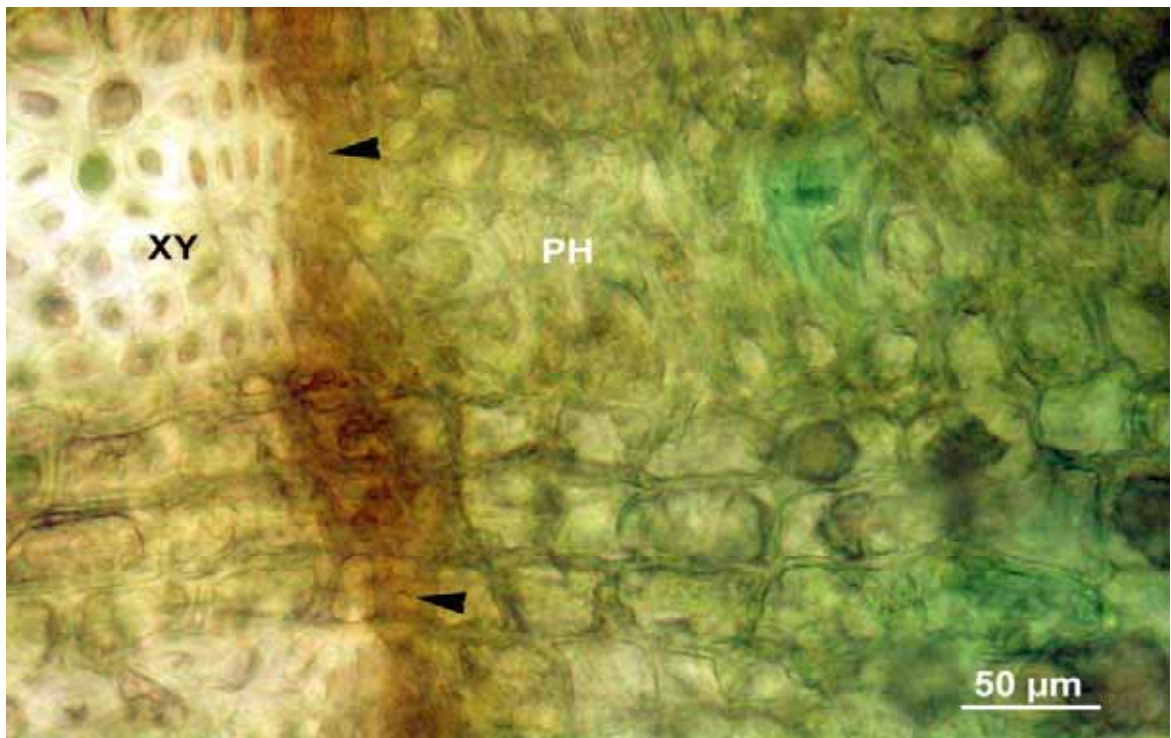


Abb. 13: Buchenast nach Frostbehandlung. Ausschnitt aus jüngstem sekundären Phloem (PH), Kambium (Pfeilspitze) und jüngstem sekundären Xylem (XY) im Zentrum der Frostbehandlung. Querschnitt; Toluidinblau.

Fig. 13: Beech stem after frost treatment. Detail of youngest secondary phloem (PH), cambium (arrow head) and youngest secondary xylem (XY) in the center of the frost treatment. Cross section, stained with toluidine blue.

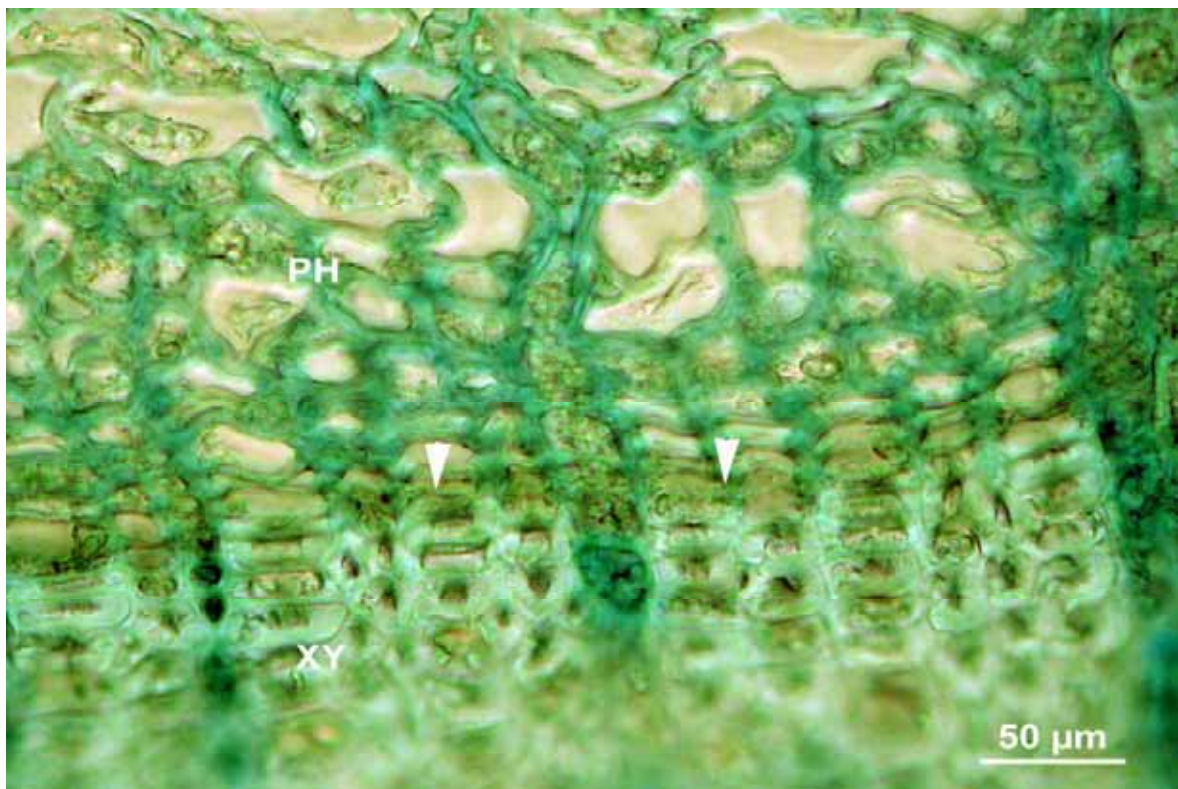


Abb. 14: Buchenkontrollast. Ausschnitt aus jüngstem sekundären Phloem (PH), Kambium (Pfeilspitze) und jüngstem sekundären Xylem (XY). Querschnitt; Toluidinblau.

Fig. 14: Beech stem, control. Detail of youngest secondary phloem (PH), cambium (arrow head) and youngest secondary xylem (XY). Cross section, stained with toluidine blue.

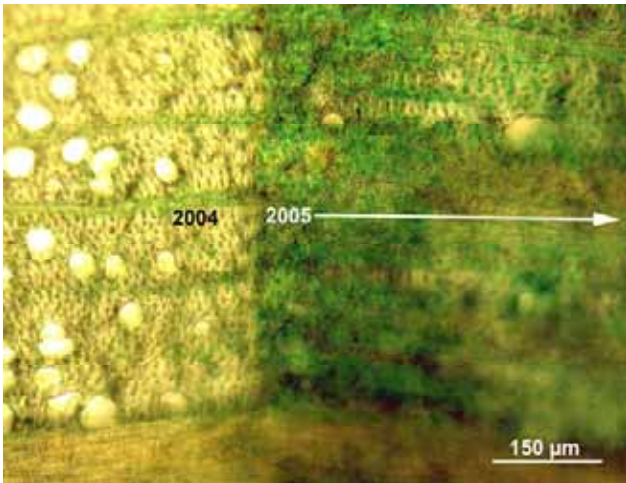


Abb. 15: Buchenast nach Frostbehandlung. Ausschnitt aus dem Beginn des jüngsten sekundären Xylems (2005) mit Übergang zum Spätholz des Vorjahres (2004). Querschnitt; Toluidinblau.

Fig. 15: Beech stem after frost treatment. Detail of the beginning of the youngest secondary xylem (2005) at the border of the previous year (2004) late wood. Cross section, stained with toluidine blue.

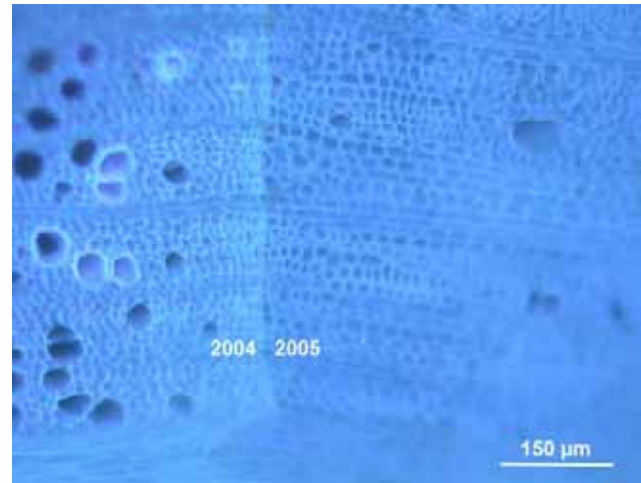


Abb. 16: Autofluoreszenz der Polyphenole in Abb. 15.

Fig. 16: Autofluorescence of polyphenolic substances in fig. 15.

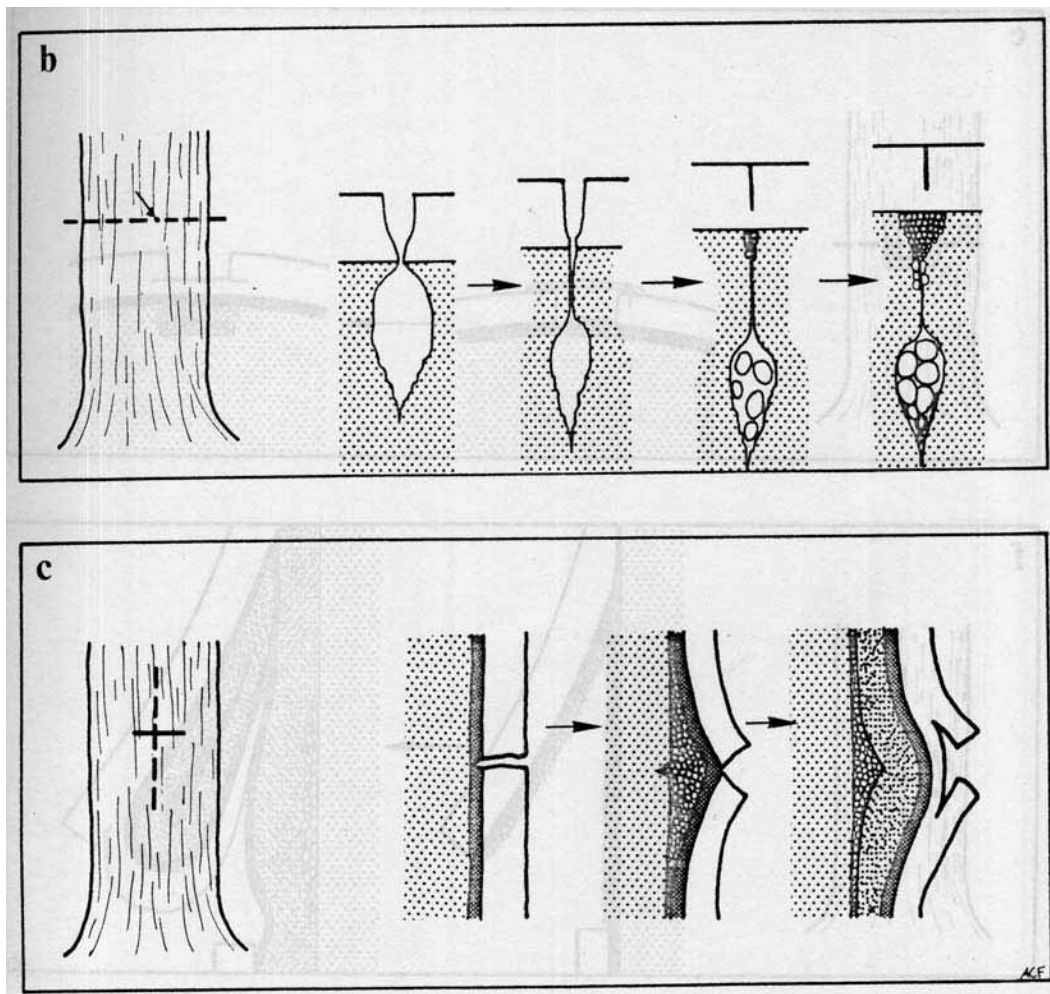


Abb. 17: (eingescannt Abb. 149b,c aus FINK 1986). Wundheilung bei Einstich (b) und bei Einschnitt (c).

Fig. 17: (scanned; fig. 149 b,c in FINK, 1986). Wound healing after stitch (b) and incision (c).

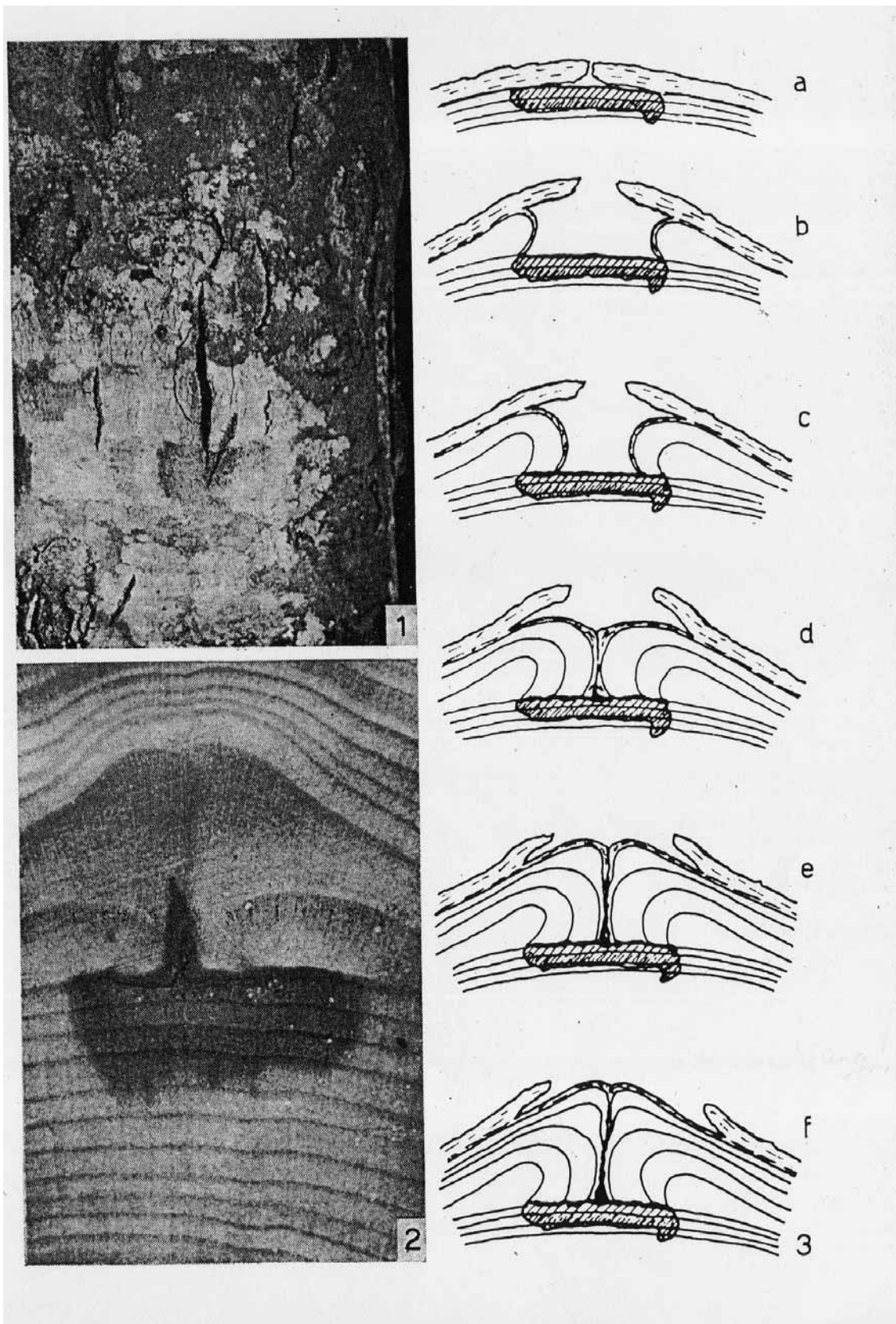


Abb. 18: (aus BOSSHARD, 1965, Abb. 1-3 eingescannt). Buchenrinde mit Haarriss und Überwallung des Haarrisses. (1) Rindenriss, (2) Mosaikfarbkern im Buchenholz mit T-Balken; (3) Entstehung der Rindennarben und der T-förmigen Farbkernzone; (3a) Haarriss mit verbräuntem Kambium; tangentialer T-Balken; (3b bis f):Stufen der Wundüberwallung; radialer T-Balken.

Fig. 18: (see BOSSHARD, 1965, fig. 1 – 3; scanned). Beech bark with hairline crack and its healing by formation of wound callus. (1) bark crack; (2) Beech wood with brown coloured T- shaped scar (3) Development of the bark scars and the brown coloured T – shaped scars. (3a) hairline crack with brown coloured cambium, tangential bar of the T-shaped scar. (3b to 3f) stages of wound healing, radial bar of the T-shaped scar.

Zentrum des Einstichs entsteht so eine nach außen vorgewölbte Parenchymmasse; hierdurch wölbt sich das Kambium zentrifugal nach außen (Abb. 7). Das vom Kambium nach innen abgegebene Parenchym zeigt Polyphenole in den Zellwänden (Abb. 8), anders als das zwischen Kambium und Wundperiderm gelegene proliferierte Parenchym (Abb. 3).

Anatomie des jüngsten und des letzjährigen Holzes

Wie bereits erwähnt, bildet das verletzte Kambium im unmittelbaren Einstichbereich xylemseits nur proliferiertes Parenchym. Hieran sind nicht nur die Strahlzellen sondern alle Zellen des Kambiums beteiligt. Wie alle xylemseits gebildeten Zellen enthalten auch die Zellwände des proliferierten Wund-Xylemparenchyms Polyphenole (Abb. 8).

Mit zunehmender Entfernung vom Einstichzentrum wird eine weniger dicke Schicht proliferierten Parenchyms gebildet (Abb. 7) und allmählich treten auch kleinelumige Gefäße auf, die mit wachsendem Abstand vom Einstichzentrum großlumiger und zahlreicher pro Flächeneinheit werden (Abb. 7 und 8). In Abb. 1 ist eine T-förmige braune Zone im jüngsten Holz im Zentrum des Einstichs der Insektennadel zu sehen. Rechts davon sieht man eine Zone im jüngsten Holz, in der die Wundwirkung des Nadelstiches mit zunehmender Entfernung von der Einstichstelle geringer wird.

Im Xylem des Jahres 2004 und im bis Mai 2005 gebildeten neuen Xylem findet man im Einstichbereich Verthyllungen (Abb. 7), Gerbstoffeinlagerungen (Abb. 1) und auch eine verstärkte Einlagerung von Polyphenolen in den Zellwänden, besonders der Gefäße (Abb. 8). Außerdem finden sich Polyphenole in den Lumina der Fasern (Abb. 8).

Einstiche, die nur bis ins äußere nicht leitende sekundäre Phloem gehen, zeigen keine T-förmigen Verbräunungen im Xylem, wohl aber anomales Xylem mit hohem Parenchymanteil (Abb. 1). Da die Proliferation hier nicht so stark ist, wölbt sich das Kambium hier nur wenig nach aussen. Auch ist das Ausmaß der Verthyllung und Gerbstoffanreicherung im Holz des Vorjahres hier geringer (Abb. 1).

Ergebnisse - Froststress

Anatomie der Rinde

Nach einer kurzfristigen (6h) Frostbehandlung bei -35°C , Anfang November 2004 an glattrindigen Ästen ca. 30 Jahre alter Buchen eines Kalkstandortes (Wäldchen, Forstbotanischer Garten) konnten Rindenrisse auch 1 Jahr später nicht festgestellt werden, auch keine Rindennekrosen (vergleiche Abb. 9 Froststress und Abb. 10 Kontrolle). Die Rinde des frostgestressten Astes ist dicker als die der Kontrolle. Sie zeigt eine starke Parenchymproliferation in Cortex und nicht leitendem sekundären Phloem.

Die primäre Rinde des frostgestressten Astes zeigt abweichend von der Kontrolle (Abb. 10) direkt unter dem Periderm ein breites Band verbräunter Zellen (Abb. 9 und 11) und außerdem parallel zur Rindenoberfläche verlaufende Ketten verbräunter, gerbstoffhaltiger Zellen (Abb. 9 und 11). Im Cortex sind ferner Gruppen von Zellen mit verdickten Zellwänden entstanden (Abb. 11), die zudem eine deutliche Anreicherung von Polyphenolen in den Zellwänden zeigen. An der Grenze vom Cortex zum nicht leitenden sekundären Phloem befindet sich ein stark verbreitertes Band primärer Phloemfasern (Abb. 9).

Das nicht leitende sekundäre Phloem der frostgestressten Rinde zeigt eine Verbreiterung (vgl. Abb. 9 Frost und Abb. 10 Kontrolle). Es lässt außerhalb der Strahlen verdickte Zellwände mit Polyphenol-Einlagerung erkennen (Abb. 12). An der inneren Grenze des nicht leitenden sekundären Phloems ist unter Froststress ein anomales Band von Sklerenchymzellen (SK2) (Abb. 12) mit deutlichem Polyphenolgehalt in den Zellwänden entstanden.

Anders als bei der Kontrolle (Abb. 14) zeigen Kambium und Strahlen frostgestresster Buchenäste Verbräunung (Abb. 9 und 13). Nach Frosteinwirkung gibt das Kambium nach außen weitgehend parenchymatische Zellen ab (Abb. 13), die im älteren Teil sogar schwache Konzentrationen von Polyphenolen in den Zellwänden zeigen. Der Vergleich der Querschnitte einer frostbehandelten Rinde (Abb. 9) und einer Kontrolle (Abb. 10) lässt bereits bei kleiner Vergrößerung bei der Frostrinde das weitgehen-

de Fehlen von leitenden Siebröhren erkennen. Abb. 13 zeigt dies noch deutlicher.

Am Rande des Frostes zeigt das leitende Phloem bereits wieder einen ähnlichen Bau wie die Kontrolle (Abb. 14), mit weitleumigen Siebröhren und geringem Parenchymanteil, ohne die Polyphenole, die im Zentrum des Frostereignisses zu sehen waren. Die Strahlen zeigen nur noch leichte Verbräunungen.

Anatomie des jüngsten und des letztjährigen Holzes

Der nach Einwirkung des Froststresses im Folgejahr gebildete Jahrring (Abb. 9) ist nicht schmaler als bei der Kontrolle (Abb. 10).

Nach Froststress kann das zuletzt gebildete Xylem Abweichungen vom senkrechten Verlauf der Fasern und Gefäße aufweisen (Abb. 9). Die Anzahl der Gefäße pro Flächeneinheit ist gering und sie haben nur einen kleinen Durchmesser (Abb. 15 und 16). Zu Anfang des Jahres 2005, nach Frostbehandlung im Spätherbst 2004, wurde weiträumig xylemseits vom Kambium zunächst vor allem Parenchym gebildet (Abb. 15) mit wenigen, sehr kleinlumigen Gefäßen. In diesem Bereich ist der Polyphenolgehalt der Zellwände geringer als im später gebildeten sekundären Xylem (Abb. 16). Im Laufe der Vegetationsperiode normalisiert sich der Aufbau des jüngsten Xylems; es endet mit weitgehend normal gebautem Spätholz. Das Holz des Vorjahres zeigt bei herbstlichem Froststress eine sehr starke Einlagerung von Polyphenolen in die Zellwände, besonders die der Gefäße (Abb. 16). Auch wurden Thyllen in diesen Gefäßen beobachtet (Abb. 15). Weit ins ältere Holz hinein zeigen die Strahlen Verbräunungen durch Gerbstoffe (Abb. 15).

Diskussion

Buchen mit *Trypodendron* – Stehendbefall zeigen eine raue Rindenoberfläche und Rindennekrosen, die auch bis in den Weichbast reichen können. Da Vorschädigung durch Frühfrostereignisse den Stehendbefall mit *Trypodendron* begünstigen soll (HUART und RONDEUX, 2003; NAGELEISEN und HUART, 2005), wurden strukturelle Veränderungen

an Buchenästen nach experimentell herbeigeführtem Frostereignis untersucht. Die Behandlung der halben Astseite für 6h mit Temperaturen von $-35,5^{\circ}\text{C}$ führte nicht zu Frostrissen und auch nicht zu Rindennekrosen, wohl aber zu Verbräunungen des Cambiums und zu weiträumigen und nicht fleckenartig begrenzten andersartigen strukturellen Reaktionen der Rinde. Es sind dies Verbräunungen von Parenchymzellketten in der primären Rinde und die Bildung neuer kleinerer sklerenchymatischer Inseln, ein verbreitertes Band primärer Phloemfasern, eine Zunahme von Parenchym in primärer und sekundärer Rinde, eine schwache Einlagerung von Polyphenolen in Zellwände des nicht leitenden sekundären Phloems, ein anomales Sklerenchymband an der inneren Grenze des nicht leitenden sekundären Phloems, ein leitendes Phloem mit hohem Parenchymanteil und nur wenigen kleinlumigen Siebröhren. Diese Rinde ist strukturell verschieden von Buchen-Rinden des *Trypodendron* Stehendbefalls. Die Veränderungen der Rinde nach Froststress sind nicht nur die Antwort des auch nach einem Jahr noch beeinträchtigten Kambiums, sondern aller lebenden Zellen der Rinde. Verbräunungen des Cambiums und von Zellen der primären Rinde wurden von uns bislang nur bei Froststress, nicht aber bei Buchen mit *Trypodendron*- Stehendbefall beobachtet. Auch die Bildung eines anomalen sklerenchymatischen Bandes an der inneren Grenze des nicht leitenden sekundären Phloems wurde bislang nur bei Froststress beobachtet; dieses Sklerenchym dürfte dem Schutz des Kambiums dienen. Dieses Sklerenchymband zeigt aber auch, dass Sklerenchym unter Stress entstehen kann. Eine Vermehrung des Parenchyms der sekundären Rinde wurde auch bei *Trypodendron*- Stehendbefall beobachtet. Eine solche Parenchymproliferation in der Rinde könnte auf Hormonverschiebungen unter Froststress zurückzuführen sein. Derartige Parenchymproliferationen wurden von JUNGHANS et al (2004; siehe auch JUNGHANS, 2005) an Pappelrinden durch Ethrel-Behandlung hervorgerufen. Ethrel ist in der Lage, Ethylen freizusetzen, ein gasförmiges Pflanzenhormon, das bei Differenzierungsvorgängen und Alterungsprozessen gebildet wird und

außerdem den basalen Auxintransport im Stamm hemmt und damit eine lokale Erhöhung der Auxinkonzentration im Kambium hervorruft (JUNGHANS, 2005).

Ein stark verändertes leitendes Phloem mit hohem Anteil an Parenchym und nur wenigen englumigen Siebröhren wurde von uns bislang nur bei Buchen mit Schleimflusskrankheit beobachtet; hier zeigte das Kambium wie nach Frosteinwirkung auch Verbräunungen. Der Bau des leitenden Phloems von Buchen mit *Trypodendron*-Stehendbefall wich nicht wesentlich von dem der Kontrollbuchen ab.

Auch im Holz ist die Reaktion auf Froststress nicht fleckförmig (Holzstrahlproliferationen), wie bei Buchen mit *Trypodendron*-Stehendbefall, sondern weiträumiger. Im Zentrum des Froststresses bildet das Kambium zunächst weiträumig über alle Initia- len viele parenchymatische Zellen xylemseits, mit nur wenigen, kleinlumigen Gefäßen. Allmählich geht der Jahrring dann zu normaler Holzbildung über.

Ein zentripetales Zurückbleiben der Jahrringgrenze, wie bei den Holzstrahlproliferationen des *Trypodendron*-Stehendbefalls beobachtet, ist nicht zu erkennen. Ähnlich wie bei Buchen mit *Trypodendron*-Stehendbefall kommt es im Holz des Vorjahres zu Verthyllungen und stärkeren Einlagerungen von Polyphenolen in die Zellwände, besonders der Gefäße.

Die anatomischen Besonderheiten von Buchen mit *Trypodendron* - Stehendbefall zeigen zwar einige Übereinstimmungen mit anatomischen Veränderungen nach Frühfrost - Stress, es gibt jedoch deutliche Anzeichen dafür, dass hier keine flächigen (z. B. Rindenfrost) sondern eher punktuelle Stressereignisse stattgefunden haben.

Um Stichverletzungen (z.B. durch Buchenwollschildlaus) und Haarrisse (z.B. durch Frost oder Trockenheit) zu simulieren, wurden im Mai 2004 mit dünnen Insektennadeln die Buchenrinde verletzt. Die Einstiche reichten bis zu den primären Phloemfasern, unterschiedlich weit ins leitende sekundäre Phloem, aber auch bis ins Kambium oder jüngste Holz. Buchen mit Stichverletzungen in der

Rinde zeigen unterschiedlich tief ins sekundäre Phloem reichende Wundperiderme, wie auch bei Buchen mit *Trypodendron*-Stehendbefall zu sehen. Im Bereich der Einstiche ist die Rindenoberfläche rau. Wie die Buchen mit *Trypodendron*-Stehendbefall zeigen die Buchen mit Rindeneinstichen Parenchymproliferationen in der Rinde. Die weiteren Reaktionen in Rinde und Holz hängen von der Einstichtiefe ab, besonders davon, ob das Kambium verletzt wurde oder nicht. Während bei den Buchen mit *Trypodendron*-Stehendbefall das leitende Phloem nur sehr wenig anatomisch verändert ist, zeigt sich im Zentrum eines tieferen Einstiches ein weitgehend parenchymatisches leitendes Phloem mit nur wenigen englumigen Siebröhren. Die Wunde im durch tiefen Einstich verletzten Kambium wird durch Überwallung verschlossen; das Kambium wölbt sich nach außen. Bei den Buchen mit *Trypodendron*-Stehendbefall springt das Kambium – und damit auch die Jahrringgrenzen – im Bereich von Holzstrahlproliferationen zentripetal zurück, auch noch Jahre nach Bildung der Holzstrahlproliferation. Hingegen wölbt sich das Kambium und das nach tieferem Rindeneinstich gebildete fast rein parenchymatische Xylem im Zentrum des Einstiches zentrifugal nach außen (vgl. aber Abb. 17/ FINK 1986, Abb. 149b). Hier ist das jüngste Xylem rein parenchymatisch, wie beim Rindeneinschnitt (Abb. 17 aus FINK 1986; Abb. 149c).

Rings um den Einstichkanal treten mit zunehmender Entfernung im Parenchym des neu gebildeten Xylems mehr und mehr Gefäße mit größer werdendem Lumen und auch Fasern auf. Die tangentialen Randbereiche gleichen damit im jüngsten Holz den tangentialen Bereichen von Holzstrahlproliferationen. Auch Verthyllungen und eine verstärkte Einlagerung von Polyphenolen im zentripetal gelegenen älteren Holz treten hier auf.

Beim tieferen Einstich wurde das Kambium verletzt, was zur Überwallung der Einstichstelle führte. Eine T-förmige braune Struktur im jüngsten Xylem ist zu sehen, wie sie von ZYCHA (1960, 1961) und BOSSHARD (1965) als Folge von Rindenhaarrissen beschrieben wurde (Abb. 18), und die auch beim Verheilen von Frostrissen zu finden ist (KUBLER,

1983). Bei weniger tiefen Einstichen wölbt sich das Kambium nicht nach außen, erfährt aber auch keine zentripetale Einbuchtung.

Es wird vermutet, dass zur Bildung von Holzstrahlproliferationen eine eng begrenzte Störung des Kambiums, aber keine Kambiumverletzung vergleichbar mit einem Riss oder dem Einstich einer Insektennadel vorausgegangen ist. Da die Buchenwollschildlaus mit ihrem Rüssel nicht bis zum Kambium vordringen kann, findet man infolge keine Überwallungen von Verletzungsstellen (wie in Abb. 18 gezeigt). Wohl aber kann durch den BWSL-Stich Sauerstoff bis zum Kambium und Holz vordringen und durch Verletzung Ethylen gebildet werden, infolgedessen es in Rinde und jüngstem Xylem zu Parenchymproliferationen kommt (vgl. JUNGHANS et al., 2004; JUNGHANS, 2005). Nach SHIGO und DUDZIK (1985) reagiert das Kambium auch, wenn es nicht direkt infiziert oder verletzt wurde. Auch im äußeren Rindenbereich ist es durch die Nadel - Einstiche zu Parenchymproliferationen allein aufgrund der Verletzung gekommen, wie auch für Buche von FINK (1986; Abb. 150) für ein Ankratzen der Rindenoberfläche beschrieben. FINK beschreibt ein Aufreißen der äußeren Rinde, die Bildung eines Innenperiderms und die weiträumige Induktion dunkleren parenchymreicherer Holzes. Dies stimmt mit der Beobachtung überein, dass jedwede Verletzung zur Auxinausschüttung führt. Außerdem findet FINK (1986) nach oberflächlichem Rindenkratzen eine Verthyllung der Gefäße im älteren (dies- und letztjährigen) Holz. Auch der Einstich des Buchenwollschildlaus-Rüssels ist als Verletzung anzusehen.

Es wird angenommen, dass im Einstichbereich von der Buchenwollschildlaus abgegebene Substanzen für die Parenchymproliferation der Rinde, die Verthyllung reifer Gefäße und die Proliferation von Holzstrahlparenchym nicht unbedingt erforderlich sind. Eine Reaktion des Kambiums könnte unter Fernwirkung des durch Verletzung veränderten Hormonspiegels entstehen. Ein direkter Einfluss von Substanzen, welche die Buchenwollschildlaus in die Rinde abgibt, auf das Kambium ist jedoch nicht ausgeschlossen.

Literatur

- BOSSHARD, H. H. (1965): Mosaikfarbkernholz in *Fagus sylvatica* L. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 116: 1-11.
- BRAUN, H. J. (1977): Das Rindensterben der Buche, *Fagus sylvatica* L., verursacht durch die Buchenwollschildlaus *Cryptococcus fagi* Bär. II. Ablauf der Krankheit. Eur. J. For. Path. 7: 76-93.
- BRAUN, H. J. (1976): Das Rindensterben der Buche, *Fagus sylvatica* L., verursacht durch die Buchenwollschildlaus *Cryptococcus fagi* Bär. I. Die Anatomie der Buchenrinde als Basis Ursache. Eur. J. For. Path. 6: 136-146.
- ESCHRICH, W. (1995): Funktionelle Pflanzenanatomie. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York.
- FINK, S (1986): Pathologische und regenerative Anatomie der Holzpflanzen. Habilitationsschrift Forstwissenschaftliche Fakultät. Universität Freiburg.
- FRITZ, E.; LANGENFELD-HEYSER, R.; POLLE, A UND PETERCORD, R. (2006): Mangan im braunfleckigen Holz der Buche (*Fagus sylvatica* L.). Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59/06, S. 167 - 180.
- GRÜNER, J. und METZLER, B (2006): Nectria-Arten an Buchenrinde mit Phloemnekrosen. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59/06, S. 129 - 138.
- HUART, O., RONDEUX, J. (2003) : Le point sur la maladie du hêtre en wallonie. Forêt Wallone 64: 3-16
- JAQUIOT, C. (1961) : Note preliminaire sur une maladie du bois de hetre dans l'est de la france. Revue Forestiere Francaise 13:167-170.
- JUNGHANS, U. (2005) Anatomische und molekularbiologische Untersuchungen zur Auxinphysiologie in der Graupappel (*Populus x canescens* [AIT] SM) und *Arabidopsis thaliana* (L.). Dissertation, Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie, Universität Göttingen; Cuvillier Verlag Göttingen.
- JUNGHANS, U., LANGENFELD-HEYSER, R., POLLE, A., TEICHMANN, T. (2004): Effect of auxin transport inhibitors and ethylene on the wood anatomy of poplar. Plant. Biol. 6: 22-29.
- KUBLER, H. (1983) Mechanism of frost crack formation in trees – a review and synthesis. Forest Sci. 29: 559-568.
- LANGENFELD-HEYSER, R., FIEBELKORN, G., LANG, Ch., POLLE, A. (2004): Bericht über das Projekt Interreg III *Delux* – 2003 bis Mai 2004. „Neuartiger Stehendbefall der Buche. – Anatomische und physiologische Reaktionen in Holz und Rinde“. Institut für Forstbotanik; Georg August Universität Göttingen.
- LANGENFELD-HEYSER, R.; LANG, CH.; FRITZ, E.; PETERCORD, R.; POLLE A. (2006a) Stehendbefall von *Fagus sylvatica* L. mit *Trypodendron* - anatomische Untersuchungen. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59/06, S. 79 - 94.
- NAGELEISEN, L.-M. et HUART, O. (2005): Problèmes sanitaires d'actualité en hêtre: la maladie du Hêtre dans les Ardennes. Revue Forestière française 57 (2): 249 - 253.
- O'BRIEN T.P., FEDER, N., MC CULLY, M.E. (1964): Polychro-

matic staining of plant cell walls by toluidine blue. *Protoplasma* 59: 367-373.

PETERCORD, R. (1999): Entwicklung bewirtschafteter Buchen-Edellaubholz-Mischbestände unter dem Einfluss der Buchenwollschildlaus (*Cryptococcus fagisuga* Lind.) unter besonderer Berücksichtigung physiologischer und genetischer Aspekte. Dissertation, Hainholz Verlag, Göttingen und Braunschweig.

PETERCORD, R. (2003): Schadtypenbeschreibung zur Buchenerkrankung in Rheinland-Pfalz und Luxemburg. <http://www.uni-kl.de/FVA/interreg/berichte.html>

PETERCORD, R. (2006a): Die Buchenwollschildlaus als Auslöser der Buchenrindennekrose. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59/06, S. 53 - 62.

POLLE, A., LANGENFELD-HEYSEYER, R., LANG, C., OLBRICH, A. (2005): Anatomische Untersuchungen zur Entstehung von Weichbastnekrosen, Holzstrahlproliferationen und Mangflecken in geschädigtem Buchenholz. Bericht DeLux Antrag 2004/2005, Forstliche Forschung C2/04 im Rahmen des Interreg IIIa-Projekts „Entwicklung von Strategien zur Sicherung von Buchenwäldern in der Programmregion deLux“.

SHIGO, A. L., DUDZIK, K. R. (1985): Response of uninjured Kambium to xylem injury. *Wood Sci. Technol.* 19: 195-200.

ZYCHA, H. (1960): Die kranken Buchen - Ursachen und Folgerungen. *Holz-Zentralblatt* 86, Nr 146: 2061 - 2063.

ZYCHSA, H. (1961): Nochmals: Das Holz der kranken Buchen. *Holz-Zentralblatt* 87, Nr. 3: 21 - 22.

Danksagung

Das Projekt wurde gefördert durch Gelder des Ministeriums für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz (GÖ 14/05). Wir danken Dr. Joachim Block und Dr. Ralf Petercord, FAWF Trippstadt, für wertvolle Diskussionen.

Autorenanschriften:

Dr. Rosemarie Langenfeld-Heyser, Gerlind Fiebelkorn, Prof. Dr. Andrea Polle
Institut für Forstbotanik, Georg-August Universität Göttingen
Büsgenweg 2, D-37077 Göttingen
Email: rheyser@gwdg.de
gfiebell@gwdg.de
apolle@uni-goettingen.de

Untersuchungen von Genexpression und physiologischen Abwehrreaktionen an gesunden und geschädigten Buchen (*Fagus sylvatica* L.)

Fiebelkorn, G., Ernst, D. und Polle, A.

Zusammenfassung

Die Bildung und Zusammensetzung phenolischer Inhaltsstoffe und Veränderungen in der Genexpression sind Indikatoren für das Abwehrverhalten der Buche gegenüber Pathogenen und biotischem Stress.

Expressionsstudien auf Transkriptebene zeigten in untersuchten Rindenproben von geschädigten Buchen eine Heraufregulierung des pflanzlichen Stressgens *PR1*, wie auch des *ACS2* Gens, das für die Ethylenbildung verantwortlich ist. Enzyme des Shikimatweges wiesen keine deutlichen Veränderungen des Transkriptlevels auf.

HPLC-Analysen der phenolischen Inhaltsstoffe in Buchenrinde zeigten keine quantitativen, aber qualitative Veränderungen im Muster einzelner Phenolsäuren. So konnte eine Akkumulation von Catechin in geschädigten Buchen gegenüber den Kontrollen beobachtet werden.

Insgesamt reagierten die Buchen individuell sehr unterschiedlich. Dies hing vermutlich von der jeweiligen Fitness ab .

Schlüsselwörter: Buche, *Fagus sylvatica*, Genexpression, phenolische Inhaltsstoffe, Sekundärstoffwechsel, Pathogenabwehr

Analyses of gene expression and physiological defence reactions of healthy and damaged beech (*Fagus sylvatica* L.) trees

Summary

The production and composition of phenolic compounds in beech bark and differences in gene expression have been used as indicator for the defence reaction of beech to pathogens and biotic stress.

Expression analyses at the transcript level showed an up-regulation of the *PR1* gene as well as of the *ACS2* gene, which is responsible for the production of ethylene. Enzymes of the shikimate pathway showed no significant differences in gene expression.

Analyses of phenolic compounds in bark using HPLC showed no differences in their total content but in the composition of individual phenolic metabolites such as an accumulation of catechine in affected trees.

Altogether, individual beech showed quite variable responses, probably depending on their individual fitness.

Keywords: European beech, *Fagus sylvatica*, gene expression, phenolic compounds, secondary metabolism, pathogen infestation

Einleitung

Die Buche gehört seit vielen Jahrhunderten aufgrund ihrer guten Anpassungsfähigkeit an das kühlfeuchte Klima und ihrer hohen Konkurrenzkraft zu einer der potentiell dominierenden Baumarten Mitteleuropas (ROLOFF, 1996). Sie reagiert sensibel auf die Belastung durch biotische und abiotische Umwelteinflüsse (ROLOFF, 1996).

Unter natürlichen Bedingungen kann die Buche von den meisten potentiellen Pathogenen nicht befallen werden, da der Baum von Natur aus resistent ist und ein Krankheitsausbruch die Ausnahme darstellt (ELSTNER et al., 1996). Diese Resistenz ist genetisch determiniert und beruht darauf, dass das Pathogen die Buche aufgrund struktureller Eigenschaften nicht als potentiellen Wirt erkennt oder dass die Buche durch präformierte bzw. aktive Abwehrmechanismen, die durch unspezifische Erkennung induziert werden, keine Infektion zulässt (HEITEFUSS, 1997).

Einzelne Pathogene sind in der Lage die natürlichen Barrieren zu durchbrechen. Die Antwort des Baumes ist die Aktivierung komplexer Resistenzmechanismen. Zum einen reagiert die Buche sehr schnell, indem sie spezielle Signalmoleküle aussendet (PETTERS, 2001), die das Pathogen oder die Eintrittsstelle in der Zellwand erkennen. Zur Abwehr werden phenolische Verbindungen sowohl in der Zellwand als auch in der Vakuole eingelagert.

Phenolische Inhaltsstoffe gehören zu den wichtigsten Stoffgruppen, die an der biochemischen Abwehr von Pathogenen beteiligt sind (ISAAC, 1992) und stellen somit ein Maß für das Abwehrverhalten des Baumes dar. Pflanzenphenole besitzen eine gemeinsame Grundstruktur: ein aromatischer Ring mit Hydroxylgruppen oder abgeleiteten Derivaten (HARBORNE, 1980), die meist in Verbindung mit Zuckern, Säuren oder als Oligo- und Polymere vorliegen (FRIEND, 1985).

Zu den wichtigsten Vertretern der Catechine oder den monomeren Flavan-3-olen gehören das Diastereomerenpaar (+)-Catechin und (-)-Epicatechin sowie (+)Gallocatechin und (-)-Epigallocatechin. Sie kommen entweder in freier Form, an Gallussäure gebunden sowie als Glykoside vor. Die Synthese

der Anthocyane, der Flavan-3-ole und der Proanthocyanidine ist bisher im Detail noch nicht geklärt (FORKMANN, 1993). Nach Erkenntnissen von XIE et al. (2003) wird das Epicatechin durch das Enzym Anthocyanidinreduktase gebildet. Catechine besitzen eine astringierende Eigenschaft und besitzen eine hohe Affinität zur Komplexbildung von Proteinen (HAGERMANN & BUTLER, 1981). Dies stellt eine wichtige Funktion zum Schutz gegen eindringende Mikroorganismen dar. Des Weiteren postulieren MORNAU und TREUTTER (2003), dass oligomere Flavanole die Fähigkeit besitzen, Enzyme zu inhibieren (GOLDSTEIN & SWAIN, 1965) und eine Veränderung von pilzlichen Enzymen hervorzurufen (SALUNKHE et al., 1990).

Eine weitere Abwehrreaktion stellt die Veränderung in der Genaktivität dar, dabei werden z.B. sog. PR-Gene (**pathogenesis related genes**) induziert, die PR-Proteine synthetisieren. PR-Proteine werden erst unter Stresseinwirkung im Baum akkumuliert und hemmen u.a. Pilzwachstum. Des Weiteren werden Veränderungen des Stoffwechselweges des Shikimatwegs beobachtet (MARTIN, 2005). Der Shikimatweg ist ein in Pflanzen und Mikroorganismen vorkommender Biosyntheseweg für aromatische Verbindungen und stellt ein Bindeglied zwischen Primär- und Sekundärstoffwechsel dar. Die Regulierung der Genexpression dieses Synthesewe-

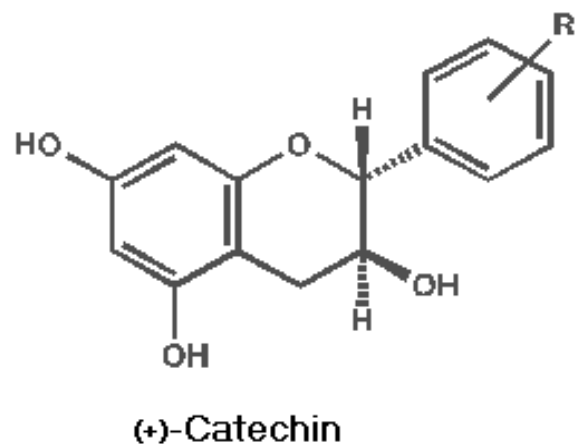


Abb. 1: Chemische Struktur des Catechins.
Fig. 1: Chemical structure of catechine.

ges sagt, wie auch die Bildung von phenolischen Substanzen, etwas über das Abwehrverhalten der Buche gegenüber Pathogenen und biotischem Stress aus.

Um Einblicke in das individuelle Abwehrverhalten gegenüber Umweltfaktoren und Pathogeninfektion zu erhalten, wurden Buchen mit unterschiedlichen Schadsymptomen untersucht. Dabei sollten durch Bestimmung von Transkriptmengen mögliche Veränderungen im Shikimatweg erfasst werden. Phenolische Inhaltsstoffe wurden in der Buchenrinde mittels HPLC-Analytik näher untersucht. Zielsetzung dieser Analysen war es, über die Ermittlung der löslichen phenolischen Verbindungen einen detaillierten Einblick in die Verteilung der einzelnen Phenolsäuren in der Buchenrinde zu erlangen. Die befallenen Proben wurden mit Probenmaterial gesunder Buchen verglichen und Unterschiede der phenolischen Zusammensetzung aufgezeigt und weiter diskutiert, um die Rolle des Sekundärmetabolismus für das Pathogenabwehrverhalten der Buche besser zu verstehen.

Methoden

In einem Paarversuch wurden *Trypodendron*-befallene und unbefallene Buchen Mitte Juli 2003 in Rheinland-Pfalz, Forstamt Saarburg (Abt. 147a, Revier Kling) für die Untersuchungen beprobt. Dazu wurde Rindenmaterial eines geschädigten Baumes entnommen und sofort auf Eis gelagert. In unmittelbarer Nachbarschaft wurde ein gesund erscheinender Baum als dazugehörige Kontrolle beprobt. Nach der Probennahme wurde das Material auf Trockeneis gelagert, nach Göttingen transportiert und unmittelbar bei -80°C eingefroren. Die Weiterbehandlung erfolgte unter flüssiger Stickstoffkühlung. Dazu wurde das Rindenmaterial zu einem feinen Pulver gemahlen.

Für Expressionsstudien auf Transkriptebene wurde mit extrahierter RNA aus Buchenrinde gearbeitet. Die Isolierung von Gesamt-RNA erfolgte nach einem modifizierten Protokoll von CHANG et al. (1993). Die Quantifizierung und Beurteilung der Reinheit der präparierten RNA erfolgte durch photometrische Messung. Weiter wurde die Qualität

der extrahierten RNA durch Darstellung in einem Agarosegel überprüft. Nach Synthese der cDNA konnte diese als Ausgangsprodukt in der real-time-PCR verwendet werden. Neun Transkripte wurden über real-time-PCR erfasst: *PRI* (Pathogenesis Related) – Gen (pflanzliches Stressgen), *DAHPS* (3-Deoxy-D-arabino-heptulosonat-7-phosphat-Synthase), *DQS* (Dehydroquinat-Synthase), *DQD* (Dehydroquinat-Dehydratase), *SK* (Shikimatkinase), *EPSPS* (5-Enolpyruvyl-shikimat-3-phosphat Synthase), *CS* (Chorismatsynthase), *CM* (Chorismatmutase) und *ACS2* (1-Aminocyclopropan-1-carboxylsäure Synthase). Die real-time-PCR-Analysen wurden mit dem Perkin Elmer TaqMan 7700 der Fa. AppliedBiosystems durchgeführt. Als Fluorophor kam SYBR-Green (Fa. ABgene, Epsom, UK) zum Einsatz. Alle real-time-Untersuchungen wurden in 96-well Platten in je 25 μl Volumen durchgeführt, wobei 12,5 μl auf SYBR Green Mix, je 0,5 μl auf die Primer, 10,5 μl auf nukleasefreies Wasser und 1 μl auf die cDNA entfielen (nach ABgene Absolute SYBR Green Rox Mixes-Handbook, Epsom, UK).

Das Programm für die real-time-PCR war wie folgt:

Stage I:	Initiierung	2 min bei 50°C
Stage II:	Aktivierung der TaqPolymerase	15 min bei 95°C
Stage III:	Denaturierung	15 sec bei 95°C
	Annealing/Polymerisation	1 min bei 60°C
	(Stage III 40 Zyklen)	

Zur Verwendung der Proben in die HPLC-Analytik wurden die gefrorenen Rindenstücke unter Kühlung mit flüssigem Stickstoff zu einem feinen Pulver gemahlen und je 200 mg zur Methanolextraktion eingesetzt. Dazu wurden die Proben mit 5 ml 50 % aq Methanol 1 h bei 40°C im Ultraschallwasserbad inkubiert, anschließend 10 min (4.500 rpm, 4°C) zentrifugiert und erneut mit 2 ml 50 % aq Methanol für 10 min bei RT im Dunkeln extrahiert. Die Extrakte wurden vereinigt, filtriert (Fa. Schleicher & Schuell, Durchmesser 55 mm) und direkt für die HPLC-Analytik eingesetzt.

Zur Bestimmung der löslichen Phenolgehalte in Buchenrinde wurde ein Hochleistungsflüssig-

keitschromatograph, bestehend aus einem binären Pumpensystem, automatischem Probengeber, heizbarem Säulenraum, Dioden-Array-Detektor (DAD) und einem Auswertesystem (Gold Nouveau Chromatography Data System, Version 1.7) eingesetzt. Die Auftrennung der Sekundärmetabolite erfolgte über eine "reversed phase" 18-Säule (5 µm, 250 x 4,6 mm, Ultrasphere, Beckmann, München).

Die aufgearbeiteten Proben wurden in HPLC-Gefäße pipettiert. 20 µl der Probe wurden auf die Säule injiziert und mit einer Flussrate von 1 ml/min mittels Zweischrittgradienten eluiert (nach SCHÜTZENDÜBEL, 2000):

Laufmittelgradient:

Laufzeit (min): Laufmittel B (in %): Gradientenprofil:

Laufzeit (min)	Laufmittel B (in %)	Gradientenprofil
0 – 1	10	isokratisch
1,0 – 46,0	10 → 60	linear
46,0 – 56,0	60 → 100	linear
56,0 – 59,0	100 → 10	linear
59,0 – 60,0	10	isokratisch

Die eingesetzten Laufmittel (A: H₂O mit 1,5 %iger Phosphorsäure, pH 2,5 und B: H₂O/Methanol/Acetonitril (1:1:1), pH 2,5) wurden zuvor filtriert

(Fa. Sartorius, Durchmesser 0,45 µm) und 30 min im Ultraschallbad (Fa. Bandelin, Sonorex Super RK) entgast.

Die Detektion erfolgte bei 280 nm. Es wurden folgende Substanzen als Standards verwendet: 4-Hydroxybenzoesäure, Ferulasäure, Zimtsäure, Chlorogensäure, Catechin, ρ-Cumarsäure und 3,4-Dihydroxybenzoesäure, von denen je 4 Referenz-Stammlösungen mit Konzentrationen von 0,01 mM, 0,05 mM, 0,08 mM und 0,1 mM eingesetzt wurden. Die Identifizierung der Einzelstoffe erfolgte durch den Vergleich der Retentionszeiten der zu analysierenden Substanzen in der Probe mit denjenigen der Referenzsubstanzen. Die quantitative Bestimmung erfolgte nach der Methode des externen Standards durch Integration der Peakflächen. Von jeder Probe wurden drei Messwiederholungen durchgeführt, wobei jeweils ein Durchgang mit internem Standardgemisch aller zu analysierenden Substanzen durchgeführt wurde.

Die Datenbe- und -verarbeitung erfolgte in dem Programm Excel. Zur weiteren Auswertung der Ergebnisse wurde mit den Mittelwerten gearbeitet. Zur Quantifizierung wurden anhand der Refe-

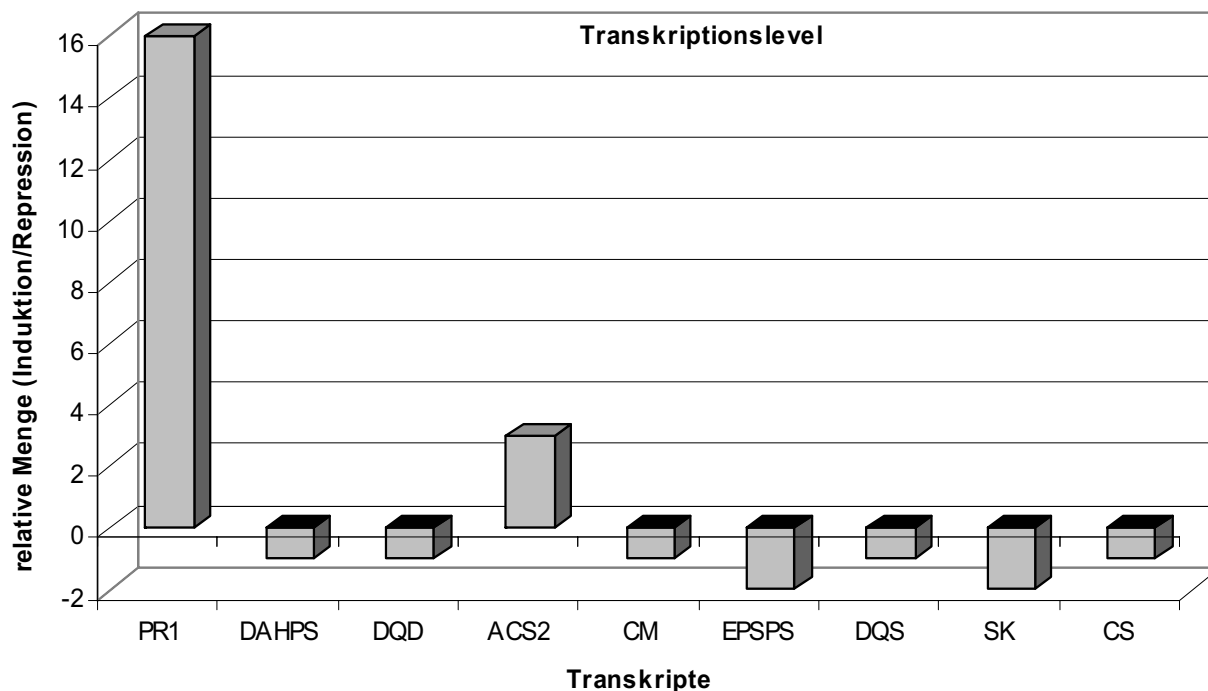


Abb. 2: Veränderung der über real-time-PCR erfassten Transkriptmengen in Rindenproben aus geschädigten Bäumen gegenüber denen aus gesunden Bäumen von *Fagus sylvatica*.

Fig. 2: Changes in transcript levels in bark of injured compared with healthy beech trees (*Fagus sylvatica* L.).

renzchromatogramme einfache lineare Regressionsgleichungen berechnet.

Ergebnisse

Die real-time-PCR-Untersuchungen zeigten, dass das Transkript *PRI*, ein Marker für die Aktivierung der Pathogenabwehr, in Proben der geschädigten Bäume gegenüber gesunden Bäumen 16fach hochreguliert war (Abb. 2). In denselben Proben wurde eine dreifache Hochregulierung des *ACS2* Transkripts beobachtet (Abb. 2). Die übrigen sechs untersuchten Gene des Shikimatstoffwechselweges wiesen keine signifikante Veränderung auf.

Um die phenolischen Inhaltsstoffe in Rindenproben zu quantifizieren, wurden die Absorptionsspektren der HPLC-Analysen ausgewertet. Abbildung 3 zeigt ein Spektrum der löslichen Phenole in der Rinde einer geschädigten Buche im Vergleich zu Referenzproben. 1= 3,4-Dihydroxybenzoesäure, 2= Catechin, 3= Chlorogensäure, 4= Cumarsäure, 5= Ferulasäure, 6= Zimtsäure

In den Buchenproben konnten fünf Peaks des Chromatogramms aufgrund der Übereinstimmung mit Referenzverbindungen identifiziert werden. Die phenolischen Hauptkomponenten in den untersuchten Rindenproben waren Catechin, Chlorogensäure und Cumarsäure (Tab. 1). Vereinzelt konnte auch

Ferulasäure (Tab. 1) und bei einer Kontrolle auch 3,4-Dihydroxybenzoesäure (nicht dargestellt) nachgewiesen werden. Zimtsäure und 4-Hydroxybenzoesäure wurden nicht gefunden. Aufgrund der starken Variabilität wurden weder für einzelne Komponenten noch für die Gesamtheit aller Peaks signifikante Unterschiede zwischen den geschädigten und gesunden Bäumen nachgewiesen. Wurde jedoch das Baumpaar 46/45, das auch für den scheinbar gesunden Baum sehr hohe Catechinwerte aufwies, aus der Analyse ausgeschlossen, zeigte Catechin mit $p = 0,0014$ signifikant erhöhte Spiegel in kranken gegenüber gesunden Bäumen.

Diskussion

Die real-time-PCR-Untersuchungen zeigten, dass der Marker für die Aktivierung der Pathogenabwehr, das *PRI* Transkript, 16fach hochreguliert wurde. Dies ist ein deutlicher Hinweis auf eine hohe Abwehrreaktion der Buche auf Insekten und Pilze. Ebenfalls wurde eine dreifache Hochregulierung der *ACS2* mRNA beobachtet. Dieses Gen spielt eine entscheidende Rolle bei der Synthese von Ethylen. Ethylen, ein Phytohormon, ist der zentrale Regulator von Zelltodprogrammen in Pflanzen, scheint bei Bäumen aber auch eine wachstumsstimulierende Wirkung zu haben (JUNGHANS et al., 2004). Schließlich führen sehr viele biotische und abiotische Stressfaktoren zur Ethylenbildung, wobei die physiologische Wirkung von Stressethylen

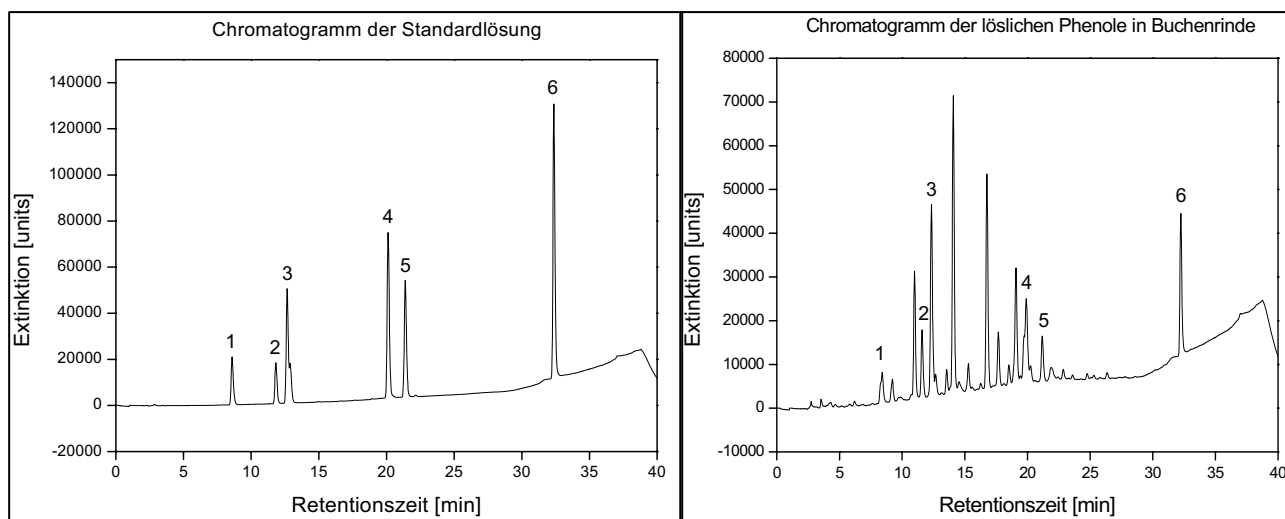


Abb. 3: HPLC-Profil der phenolischen Inhaltsstoffe einer Referenzmischung und eines Extraktes, der aus der Rinde geschädigter Buchen gewonnen wurde.

Fig. 3: HPLC profile of phenolic compounds of a reference sample and of a bark extract of injured beech trees.

Tab. 1: Vergleich der normalisierten Peakflächen von phenolischen Inhaltsstoffen aus Rindenextrakten. B = befallen; F = frei von Krankheitssymptomen. Zusammengehörende Baumpaare stehen jeweils untereinander (z.B. 163/167; 10/9; etc.).

Tab. 1: Comparison of normalised peak areas of phenolic compounds in bark extracts. B = injured beech trees, F = healthy beech trees. Numbers 163/167; 10/9; etc. refer to trees growing next to each other.

Probenname	Peak (Flächeneinheiten *1000/g)				
	Catechin	Cumarsäure	Ferulasäure	Chlorogensäure	Gesamtpeakfläche
163B	8.54	1.12	0.00	7.09	84.95
167F	3.57	0.68	0.00	7.24	36.88
10B	10.22	1.14	0.57	6.02	48.91
9F	1.42	0.00	0.00	2.09	22.83
156B	8.22	0.62	0.00	5.02	50.06
155F	7.22	0.50	0.00	5.31	39.00
200B	5.68	0.76	0.85	5.84	50.58
165F	5.77	0.74	0.71	7.11	47.92
219B	7.79	0.72	0.56	7.38	56.29
221F	4.16	0.94	0.63	7.98	45.22
18B	6.49	0.67	1.31	5.13	50.66
VB F	7.72	1.37	0.00	3.98	39.99
52B	4.99	2.76	0.00	3.46	35.62
44F	3.77	3.48	0.00	3.34	36.03
46B #	4.84 #	2.04	0.66	2.14	28.12
45F #	7.80 #	1.71	0.00	3.35	46.58
60B	6.95	3.59	0.00	2.32	34.42
59F	7.54	4.70	0.62	7.01	36.18
MW +/- SD (B)	7.08+/-1.79	1.49+/-1.07	0.44+/-0.47	4.93+/-1.92	48.85+/-16.50
MW +/- SD (F)	5.44+/-2.31	1.57+/-1.54	0.22+/-0.33	5.27+/-2.15	38.96+/-7.58
P (probability)	0.001	0.295	0.134	0.345	0.151

B - geschädigte Proben
F - Kontrollen (nicht geschädigt)
- Analyse ohne 46B/45F

sehr unterschiedlich sein kann. Ethylen kann in einigen Fällen die Krankheitssymptome verstärken, in anderen abschwächen oder ohne Wirkung bleiben (BLEECKER & KENDE, 2000).

Die übrigen sechs untersuchten Gene wiesen eine schwache Herunterregulierung auf. Diese meist regulatorischen Gene führen zur Bildung von aromatischen Aminosäuren. Diese Aminosäuren nutzen die Pflanzen nicht nur für Proteinbildung, sondern auch als Vorläufer für eine große Anzahl von Sekundärmetaboliten, die wiederum eine Barrierefunktion gegen Pathogene darstellen. Bislang ist über den zeitlichen Verlauf der Abwehr bei der Buche wenig bekannt. Es ist möglich, dass Gene des Shikimatweges nur transient hochreguliert werden,

solange bis genügend Abwehrmetabolite gebildet sind und anschließend wieder auf ihr Basislevel zurückgehen. Eine andere Möglichkeit ist, dass die Neusynthese von diesen Stoffen bei der Buche keine oder nur eine untergeordnete Rolle spielt.

Um dieser Frage nachzugehen, wurden auch die Konzentrationen von Sekundärmetaboliten gemessen. Vergleicht man die Ergebnisse der HPLC Untersuchungen der befallenen Proben mit den Kontrollen (Tab. 1), kann festgestellt werden, dass die befallenen Bäume höhere Werte an Catechin aufweisen als die Kontrollen. Die Ferulasäurewerte lagen bei den befallenen Proben ebenfalls leicht höher als die Kontrollproben. Nicht so die Werte der Chlorogensäure und Cumarsäure, für die ein

höherer Anteil in den Kontrollen zu beobachten war (Tab. 1).

Werden alle Flächeneinheiten aller Peaks phenolischer Inhaltsstoffe der befallenen Proben mit denen der dazugehörigen Kontrollen verglichen, wird nur ein Trend in Richtung erhöhter Phenolgehalte in kranken Bäumen festgestellt. Demnach würde sich nicht der Gesamtphenolgehalt in der Pflanze ändern, sondern das individuelle Konzentrationsspektrum der einzelnen gebildeten Phenole als Reaktion auf Stresseinwirkung.

Die Untersuchungen ergaben, dass sich keine allgemeinen Aussagen bezüglich Veränderungen der phenolischer Inhaltsstoffe aufstellen lassen. Jedes Baumpaar verhielt sich unterschiedlich. Das unterstreicht die Beobachtung, dass die Buche sich individuell unterschiedlich auf Stresseinwirkung verhält. Jeder Pflanze steht ein unterschiedliches Maß an Ressourcen und Energie zur Verfügung, die in Wachstum und in die Pathogenabwehr investiert werden können. Es ist auch nicht auszuschließen, dass auch die scheinbar gesunden Buchen den Befall erfolgreich abgewehrt haben und daher eventuell noch erhöhte Konzentrationen von phenolischen Verbindungen enthalten, wie sich dies für Baumpaar 46/45 abzeichnet. Anatomische Untersuchungen stützen diese Vermutung (s. LANGENFELD-HEYSER et al., 2006a).

Es konnte eine signifikante Akkumulation an Catechin in den befallenen Proben gegenüber den Kontrollen festgestellt werden. Auch WEISS et al. (1997) beobachtete eine Erhöhung von (+)-Catechin- und (-)-Epicatechingehalten in Geweben mykorrhizierter Lärchen, die frei von Pilzhyphen waren, was zur Behauptung führte, dass die Akkumulation der Sekundärmetabolite das Pilzwachstum kontrolliert. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Catechinsynthese eine konstitutive Abwehrreaktion bei der Buche darstellt und so einen Schutz gegen Sekundärinfektion wie Pilzwachstum bietet (LAPLAZE et al., 1999).

Literatur

- BLEECKER, A.B. und KENDE, H. (2000): Ethylene: a gaseous signal molecule in plants. *Annu. Rev. Cell Dev. Biol.* 16: 1-18.
- CHANG, S.; PURYEAR, J. und CAIRNEY, J. (1993): A simple and efficient method for isolating RNA from pine trees. *Plant Mol. Biol. Rep.* 11: 113-116.
- ELSTNER, E.F.; OBWALD, W. und SCHNEIDER, I. (1996): *Phytopathologie: Allgemeine und Biochemische Grundlagen*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- FORKMANN, G. (1993): Genetics of flavonoids. In: Harborne J.B. (Hrsg.) *The Flavonoids: Advances in Research Since 1986*, Chapman and Hall, London, 537-564.
- FRIEND, J. (1985): Phenolic substances in plant disease. In: Van Sumere C.F. und Lea P.J. (Hrsg.) *Annu. Proc. Phytochem. Soc. Europe (Vol. 25)*, Calderon Press, Oxford, 367-393.
- GOLDSTEIN, J.L. und SWAIN, T. (1965): The inhibition of enzymes by tannins. *Phytochemistry* 4: 185 - 192.
- HAGERMANN, A.E. und BUTLER, L.G. (1981): The specificity of proanthocyanidin-protein interactions. *Journal of Biological Chemistry* 259 (9): 4494 - 4497.
- HARBORNE, J.B. (1980): Plant Phenolics. In: Bell E.A. und Charlwood B.V. (Hrsg.) *Secondary Plant Products (Vol. 8)*, Springer Verlag, Berlin, 329-402.
- HEITEFUSS, R. (1997): General principles of host-parasite interactions. In: Hartleb H., Heitefuss R., Hoppe H.-H. (Hrsg.) *resistance of crop plants against fungi*. Gustav Fischer Verlag, Jena, Stuttgart, Lübeck, Ulm, 19-32.
- ISAAC, S. (1992): *Fungal-Plant Interactions*. Chapman & Hall, London.
- JUNGHANS, U.; LANGENFELD-HEYSER, R.; POLLE, A. und TEICHMANN, T. (2004): Effect of Auxin Transport Inhibitors and Ethylene on the Wood Anatomy of Poplar. *Plant Biology* 6: 22-29.
- LANGENFELD-HEYSER, R.; LANG, C.; FRITZ, E.; PETERCORD, R. und POLLE, A. (2006a): Stehenbefall von *Fagus sylvatica* L. mit *Trypodendron* – anatomische Untersuchungen. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz, Nr. 59/06, S. 79 - 94
- LAPLAZE, L.; GHERBI, H.; FRUTZ, T.; PAWLOWSKI, K.; FRANCHE, C.; MACHEIX, J.-J.; AUGUY, F.; BOGUSZ, D. und DUHOUX, E. (1999): Flavan-Containing Cells Delimit *Frankia*-Infected Compartments in *Casuarina glauca* Nodules. *Plant Physiology* 121: 113 -122.
- MARTIN, S. (2005): Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen dem Kohlenstoffhaushalt und der Induktion von DAHP Synthesen in *Arabidopsis thaliana* und *Nicotiana tabacum*. Diplomarbeit, Jülich. In: www.fz-juelich.de.
- MORNAU, M. und TREUTTER, D. (2003): Veränderte Wundreaktion in der Apfelfrucht durch *Phytophthora*-Exsudate. *Gesunde Pflanzen* 55 (4): 98 -104.
- PETTERS J. (2001): Isolierung und Charakterisierung pathogen- und Stressinduzierter Gene von Kartoffel *Solanum tuberosum* L.. Dissertation, Halle (Saale).
- ROLOFF, A. (1996): Die Buche und ihre Gefährdung durch anthropogene Umwelteinflüsse. In: Abs C. (Hrsg.) *Stiftung*

Wald in Not (Band 8) Buchenwälder – Ihr Schutz und ihre Nutzung, Bonn, 31 – 43.

SALUNKHE, D.K.; CHAVAN, J.K. und KADAM, S.S. (1990): Dietary tannins: consequences and remedies. CRC Press Inc. Boca Raton, Florida, 131.

SCHÜTZENDÜBEL, A. (2000): Physiologische Reaktionen auf Cd²⁺ Stress in nicht mykorrhizierten und mykorrhizierten Wurzeln von Kiefern (*Pinus sylvestris* L.), sowie den mykorrhizabildenden Basidiomyceten *Paxillus involutus* und *Suillus bovinus*. Cuvillier Verlag, Göttingen.

WEISS, M.; MIKOLAJEWSKI, S.; PEIPP, H.; SCHMITT, U.; SCHMIDT, J.; WRAY, V. und STRACK, D. (1997): Tissue-specific and development-dependent accumulation of phenylpropanoids in larch mycorrhizas. *Plant Physiology* 114: 15 -27.

XIE, D.-Y.; SHARMA, S.B.; PAIVA, N.L.; FERREIRA, D. und DIXON, R.A. (2003): Role of anthocyanidin reductase, encoded by BANYLUS in plant flavonoid biosynthesis. *Science* 299: 396 - 399.

Danksagung

Wir danken Dr. Ralf Petercord für die hervorragende Zusammenarbeit, Gunter Betz für die Überlassung der Primer für die real-time-PCR-Untersuchungen und Evi Bieber für die freundliche Hilfe bei den Expressionsstudien.

Die Untersuchungen wurden unterstützt durch das Interreg III A DeLux – Projekt des Landes Rheinland-Pfalz und Luxemburg.

Autorenanschriften:

Gerlind Fiebelkorn, Prof. Dr. Andrea Polle
Institut für Forstbotanik der Georg-August Universität
Büsgenweg 2, D-37077 Göttingen
Email: gfiebel1@gwdg.de
apolle@uni-goettingen.de

Dr. Dieter Ernst
Institut für Biochemische Pflanzenpathologie
GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit
Ingolstädter Landstrasse 1, D-85764 Neuherberg
Email:
ernst@gsf.de

Strategie der olfaktorischen Wirtsfindung von *Trypodendron domesticum* L.

Holighaus, G. und Schütz, S.

Zusammenfassung

Beginnend im Jahr 2000 konnte die in diesem Band ausführlich beschriebene, neuartige Variante der Buchenkomplexkrankheit in Beständen der Rotbuche (*Fagus sylvatica*) in Mittelgebirgsregionen beobachtet werden. Gesunde, hiebsreife Buchen wurden von dem bis dahin als klassisches Totholzinsekt zu bezeichnenden Buchennutzholzborkenkäfer (*Trypodendron domesticum*, L. syn. *Xyloterus domesticus*, Coleoptera, Scolytidae) befallen und starben vielfach ab. Oft konnten keinerlei Vorschädigungen beobachtet werden. Neben dem Interesse an dieser Art als Lagerholzschädling, gab dies Anlass zu einer chemoökologischen Studie des Wirtswahlverhaltens, das bereits bestehende Untersuchungen (BYERS, 1992; KERCK 1976; KLIMETZEK, 1984) mit den aktuellen Ereignissen verknüpft. Die Duftbouquets verschiedener Holzalterungsstadien unterschiedlicher Attraktivität an gefällten Buchen wurden chemisch analysiert und charakterisiert. Gleichzeitig wurde ihre Wahrnehmbarkeit durch die Insektenantenne untersucht. Mit einem gekoppelten gaschromatographischen und elektroantennographischen Aufbau (GC-MS/EAD) fanden sich Hinweise auf 12 elektrophysiologisch aktive Substanzen, von denen 9 identifiziert werden konnten. Die identifizierten Duftstoffe sind verzweigte Alkohole, Aldehyde und Phenole. In chemometrischen Analysen zur Buchenkomplexkrankheit in einem Paarvergleich an stehenden, befallenen und unbefallenen Bäumen fand sich nur eine der Substanzen (Nonanal) wieder. Die Ähnlichkeiten und Unterschiede im Duftmuster stehender sowie gefällter Buchen und sich daraus ergebende Ableitungen für das Wirtswahlverhalten werden diskutiert und mit den weiteren Untersuchungen z.B. zur Rindenmorphologie in Beziehung gesetzt.

Schlüsselwörter: Buche, *Fagus sylvatica*, Primärattraktion, Sekundärschädlinge, *Xyloterus domesticus*, *Trypodendron domesticum*, Buchenrindennekrose Buchenkomplexkrankheit, Ambrosiakäfer, xylomycetophag, Lineatin, Ethanol, GC-EAD, Volatile, Totholz, Holzerfall

Strategy of olfactoric host finding of the xylomycetophagous beetle *Trypodendron domesticum* L.

Summary

New symptoms of the “European beech bark disease” (EBBD) were observed in the beginning of 2000. In addition to known symptoms, beech trees of a healthy outward appearance in all regions affected were surprisingly infested by wood-breeding beetles, which started in spring of 2001. To understand mechanisms of this disease, a chemo-ecological study was carried out by comparing the new phenomenon with the classical situation, where these beetles infest felled trees after the expiration of a term. A number of investigations (BYERS, 1992; KERCK 1976; KLIMETZEK, 1984) suggests that the mechanisms of host-selection consist in the chemosensory differentiation of states of wood decay. The presence at the “border” between living and dying tree make *Trypodendron domesticum* an interesting research object on xylobiont insects and physiological dying and decaying processes in trees. The perceivability of volatile compounds by *Trypodendron domesticum* was researched in a gaschromatographic and electrophysiological approach. GC/MS-EAD analysis pointed out 12 compounds with electrophysiological activity on the insect’s antenna. These include branched alcohols, aldehydes and phenolics. Chemometric analysis of the EBBD in a pairwise sam-

pling of living infested and healthy beech trees only one compound (Nonanal) was traced back. Differences and similarities in the scent pattern of standing and felled beech trees and the resulting modes of the selection of hosts are discussed. They are related to further studies e.g. on bark morphology.

Keywords: European beech, *Fagus sylvatica*, Primary attraction, secondary bark beetle, *Xyloterus domesticus*, *Trypodendron domesticum*, European beech bark disease, ambrosia beetle, wood decay, deadwood, xylomycetophagous, ethanol, lineatin, GC-EAD, volatiles

Einleitung

Neben rindenbrütenden Borkenkäfern, die vor allem lebende, in der Regel geschwächte Bäume als Brutraum nutzen (z.B. *Ips typographus*) und daher oftmals Primärschädlinge genannt werden, sind z.B. an der Buche eine Reihe von typischen so genannten Sekundärschädlingen zu finden. Neben *Trypodendron domesticum* sind dies u.a. *Anisandrus dispar* und *Hylecoetus dermestoides*. Ihre forstwirtschaftliche Bedeutung liegt deshalb weitgehend in ihrem Auftreten als Lagerholzschädlinge. In der Regel kann ihnen jedoch mit einer rechtzeitigen Holzabfuhr vor der Flugzeit im Februar / März begegnet werden. Wenn auch der Umgang mit dem Auftreten dieser Sekundärschädlinge klar erscheint, können zwingende forstbetriebliche Rahmenbedingungen zu Holzertragsverlusten führen. Wissenschaftliche Untersuchungen der Vergangenheit beschäftigten sich deshalb mit den Mechanismen der Primäranlockung, also der Bedeutung von chemischen Lock- und Ablenkstoffen der sekundären Holzschädlinge und deren intraspezifischen Aggregationsmechanismen (FRANKE, 1973; KERCK, 1978; KLIMETZEK, 1984; RAMISCH, 1984). Aufgrund der schlechten Nahrungsqualität des Holzkörpers im Vergleich zu nährstoffreichem Phloem sind diese Arten sehr häufig mit einer Reihe von Pilzarten assoziiert, die im Gegensatz zu den meisten Insekten über Enzyme wie Cellulasen verfügen, die Nährstoffe aufschließen können, die den Käfern ansonsten unzugänglich blieben. Die auftretenden Assoziationen reichen auch bei *T. domesticum* von gelegentlichem bis obligatorischem Auftreten der Pilzarten bis hin zur Symbiose. Der mit *T. domesticum* auftretende Symbiosepilz wird aktiv über Mycetangien verschleppt. Weitere Arten, die gelegentlich in den Bohrgängen gefunden werden, sind *Graphium spec.*, *Ophiostoma spec.* und *Cera-*

tocystis spec. Ebenso können ubiquitäre Arten (z.B. *Fomes fomentarius*) die Bohrgänge als Eintrittspforte nutzen, wie es typischerweise im Endstadium der Buchenkomplexkrankheit zu beobachten ist. Während die Pilzarten und deren Auftreten in der Vergangenheit weitreichend untersucht wurden (ZIMMERMANN, 1973), ist deren Einfluss auf den Chemismus der Buche weitgehend unbekannt. Ebenso ist die Wirkung pilzbürtiger Duftstoffe nicht untersucht. Neben der chemoökologischen Betrachtung des klassischen Befalls ist jedoch der neuartige Befall, der ohne die klassischen Symptome einhergeht, von besonderem Interesse. Insbesondere gilt die Aufmerksamkeit der vorliegenden Untersuchung daher Duftstoffen im Sinne von semiochemischen Botenstoffen, die nicht primär einer Aggregation dienen. Wenngleich auch hier neben dem bekannten käferbürtigen Aggregationspheromon „Lineatin“ weitere Stoffe denkbar sind, die aus der Reaktion der Buche auf Käferbefall entstehen (induziert) oder deren Ursprung bei den eingeschleppten Pilzarten zu suchen ist. Die Untersuchung der Primärattraktion, die bislang auf die Erkenntnis der Lockwirkung von Ethanol reduziert war, gilt den chemischen Stoffen, die die „Pionierindividuen“ anlocken, noch bevor diese mit der Produktion des Aggregationspheromons ihre massenhafte „Wirkung“ entfalten.

Zur Untersuchung des neuartigen Stehendbefalls wurde ein Paarversuch durchgeführt, in dem vom Käfer befallene und unbefallene Bäume, beide ohne äußerliche Symptome einer Prädisposition, miteinander verglichen wurden. Gleichzeitig wurden die Bäume vom Institut für Forstbotanik (LANGENFELDT-HEYSER et al., 2006a) auf rindenanatomische Anomalien und gelöste phenolische Inhaltsstoffe (FIEBELKORN et al., 2006) untersucht. Für die Betrachtung der Semiochemikalien, die un-

ter klassischen Bedingungen während der Holzlagerung durch Holzalterungsprozesse entstehen, wurden im Rahmen eines Einschlagsterminversuchs lagerungsbedingte Veränderungen von Buchenstämmen analysiert. Die Untersuchungen des Instituts für Forstzoologie und Waldschutz fokussierten auf die spurenanalytische-chemoökologische Analyse der verschiedenen Befallssituationen von *T. domesticum*. Wesentlich war die Feststellung des Status quo und der Veränderungen des Duftstoffspektrums der Buche als Grundlage für das Verständnis für eine verstärkte Disposition des Befalls mit Lagerholzschädlingen auch unter neuartigen Veränderungen und Symptomatik.

Methoden

Duftstoffgemische, die Insekten zur Orientierung nutzen, wurden mit Hilfe von Adsorptionsfallen gesammelt und analysiert. Mit einem Gaschromatographen (GC) wurden die komplexen Stoffgemische in ihre Einzelkomponenten aufgetrennt. Zur Bestimmung kam ein gekoppeltes Massenspektrometer (MS) zum Einsatz. Der Vergleich der gemessenen Zerfallsspektren wurde mit der NIST Datenbank (National Institute for Standards & Technologies, 2003) zur Identifizierung der Substanzen durchgeführt. Die zusätzlich eingesetzte Elektroantennographie (EAG/EAD) ist eine Methode zur Messung olfaktorischer Reaktionen eines Insektes durch die Ableitung elektrischer Signale an seinen Antennen, an denen die wichtigsten Rezeptoren zur Geruchswahrnehmung zu finden sind (MOECK, 1968). Rezeptorpotenzialänderungen werden als EAG-Signal aufgezeichnet und sind als Antwort einer Insektenantenne auf einen Duftpuls zu verstehen. Die verwendete parallele Detektion durch ein gekoppeltes GC/MS-EAD System (WEISSBECKER, HOLIGHAUS & SCHÜTZ, 2004) ermöglichte einerseits die quantitative Erfassung und Identifizierung sämtlicher flüchtiger, von Bäumen, Holz- und Rindenproben emittierter, organischer Verbindungen, andererseits die Zuordnung der Antennenreaktion zu bestimmten Substanzen und damit die Wahrnehmbarkeit durch *T. domesticum*.

Unbefallene und befallene Buchen wurden paarwei-

se auf den Stehendbefallsflächen (Abt. 147a, RFÖ Klink, FA „Saar-Hochwald“) ausgewählt. Im Jahr 2003 wurden befallene und unbefallene Bäume, sowie weitere unbefallene Kontrollbäume im Jahr 2004 mit Hilfe eigens dafür konstruierter Stammabsaugkammern (Ø 40-60cm) beprobt (Abb. 1a). Diese ermöglicht die Analyse der unter realen Bedingungen vom Stamm einer stehenden Buche abgebenen flüchtigen Substanzen und ist verletzungsfrei. Proben eines Einschlagsterminversuchs (PETERCORD, 2006b) auf der gleichen Fläche, in dem Buchenstämmen in monatlichem Zeitabstand (07.10.2002 bis 10.03.2003) gefällt wurden, wurden mit dem gleichen Verfahren beprobt. Vergleichende Rindenproben älteren Lagerholzes, das starken Befall aufwies, ermöglichten eine räumlich höher aufgelöste Differenzierung der Buchenduftstoffe. Dafür wurden kleinräumige Holz- und Rindenproben (1-10cm³) unter Laborbedingungen analysiert (Abb. 1b).

Ergebnisse

Die Analytik der verschiedenen Befallsstadien und Situationen zeigte eine außergewöhnlich große Variabilität und Dynamik in der Abgabe organischer Verbindungen. Während der Holzalterung vom stehenden Baum bis zu 2-3 Jahre lagernden Buchenstämmen ließen sich mehr als 140 verschiedene flüchtige chemische Verbindungen nachweisen. Die



Abb. 1: 1a) Stammabsaugkammer (Ø 60cm) an einer Buche montiert. 1b) Rinden- und Holzprobennahme im Labor (headspace sampling).

Fig. 1: 1a) Trunk sampling jacket (Ø 60cm) attached to a beech tree. 1b) Volatile sampling of bark- and woodchips under lab conditions (headspace sampling).

Analyse der lebenden Bäume, wie sie im Falle des Stehendbefalls untersucht wurden, zeigte ein deutlich unterschiedliches Spektrum an Stoffen, wie es an liegendem Totholz festgestellt wurde. Stoffwechselprozesse, die sich von denen toter (gefällter) Bäume unterscheiden, jahreszeitliche, ggf. räumlich geographische Unterschiede oder saprophytische Organismen auf der Rindenoberfläche können mögliche Erklärungen hierfür liefern. Um die Vielzahl an Substanzen zu reduzieren, wurde eine Auswahl der von *T. domesticum* wahrnehmbaren Stoffe mit Hilfe der GC/MS-EAD Analytik vorgenommen. Dazu wurden Rinden- und Holzproben an Stämmen, die erstmalig frischen Befall mit *T. domesticum* aufwiesen, mit denjenigen des Einschlagsversuchs verglichen. Es zeigt sich, dass die chronologische Alterung nicht mit einer einheitlichen physiologischen Alterung eines Stammes synchronisiert ist. Es gibt sowohl individuelle Unterschiede, als auch kleinräumige Unterschiede innerhalb eines Baumes, was auf unterschiedliche Zellreaktionen schließen lässt (Abb. 2).

Die Heterogenität der physiologischen Alterung lässt sich sowohl rindenmorphologisch (vgl. PETERCORD, 2006) als auch anhand der chemischen Analysen erkennen. So finden sich zwei Jahre nach Fällung an einem Buchenstamm Rindenpartien, deren Duftstoffemissionen von denen frisch gefällter Bäume kaum zu unterscheiden sind (Abb. 3a). Gleichzeitig können andere Partien bereits von Pilzen besiedelt sein, oder gar die Rinde sich schon vollständig gelöst haben (Abb. 3d). Diese chemische Heterogenität lässt sich auch für diejenigen Stadien feststellen, in denen *T. domesticum* die Holzpartien bevorzugt befällt (Abb. 3b&c). Mit zunehmender

physiologischer Zellalterung steigt die Gesamtabgaberate der Stoffe deutlich an, beginnend mit einer Erhöhung der Aldehyd-Emissionsraten (Hexanal, Nonanal, Decanal). Neben Terpenen und Alkoholen werden Phenole, wie 2-methoxy-Phenol, 4-methoxy-Phenol und 1,2-dimethoxy-Benzen, während der für *T. domesticum* attraktivsten Stadien emittiert. Sie verschwinden rasch und Alkohole werden von längerkettig verzweigten Alkoholen abgelöst. Mit dem Eindringen von Pilzen lassen sich bis zu 30 Sesquiterpene zusätzlich feststellen. Nach dem vollständigen Abbau lebender Holz- und Rindenzellen und abnehmender Holzfeuchte bleiben nur diese zurück.

GC/MS-EAD:

Die Ableitungen der Antennen von *T. domesticum* zeigten eine Reihe von reproduzierbaren EAD-Signalen. Zwölf Substanzen lösten eine Antennenreaktion bei verschiedenen Individuen aus. Neun von diesen Substanzen werden ebenso von *Hylecoetus dermestoides*, L. (Coleoptera: *Lymexylidae*) wahrgenommen, der als syntope, xylomycetophage Art Buchenstämmen häufig gemeinschaftlich mit *T. domesticum* besiedelt. Einen beispielhaften GC/MS-EAD Messlauf einer Rindenprobe (entspricht der Probe in Abb. 3b) zeigt Abbildung 4 für jeweils *T. domesticum* und *H. dermestoides*. Bemerkenswert sind neben vielen Gemeinsamkeiten die Unterschiede in der Sensitivität für einzelne Komponenten (z.B. Nonanal & 1,2-dimethoxy-Benzen).

Die Auflistung aller für *T. domesticum* ermittelten Antennensignale und die Zuordnung zu den korrespondierenden chemischen Substanzen mit deren Kenndaten zeigt Tabelle 1. Die Strukturformeln,

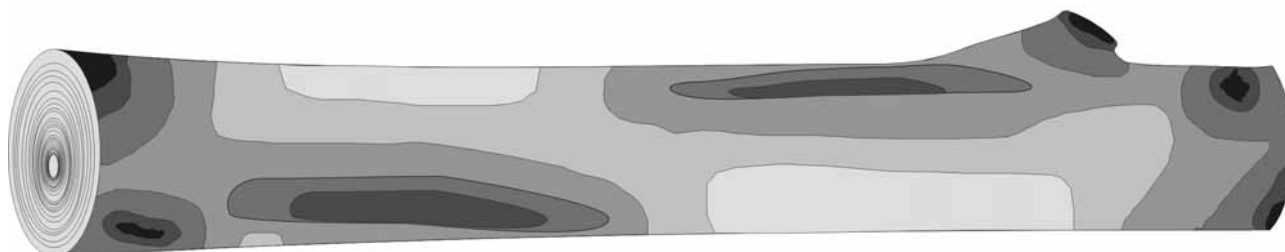


Abb. 2: Modellierter räumliche Verteilung der physiologischen Zersetzungsstadien an einem Buchenstamm, wie sie bisweilen nur nach Ablösen der Rinde sichtbar wird (von grau nach schwarz: frisch bis stark zersetzt).

Fig. 2: Modelled spatial distribution of physiological decay states on a beech trunk, as seen after excoriation of bark (from grey to black: fresh to seriously decayed).

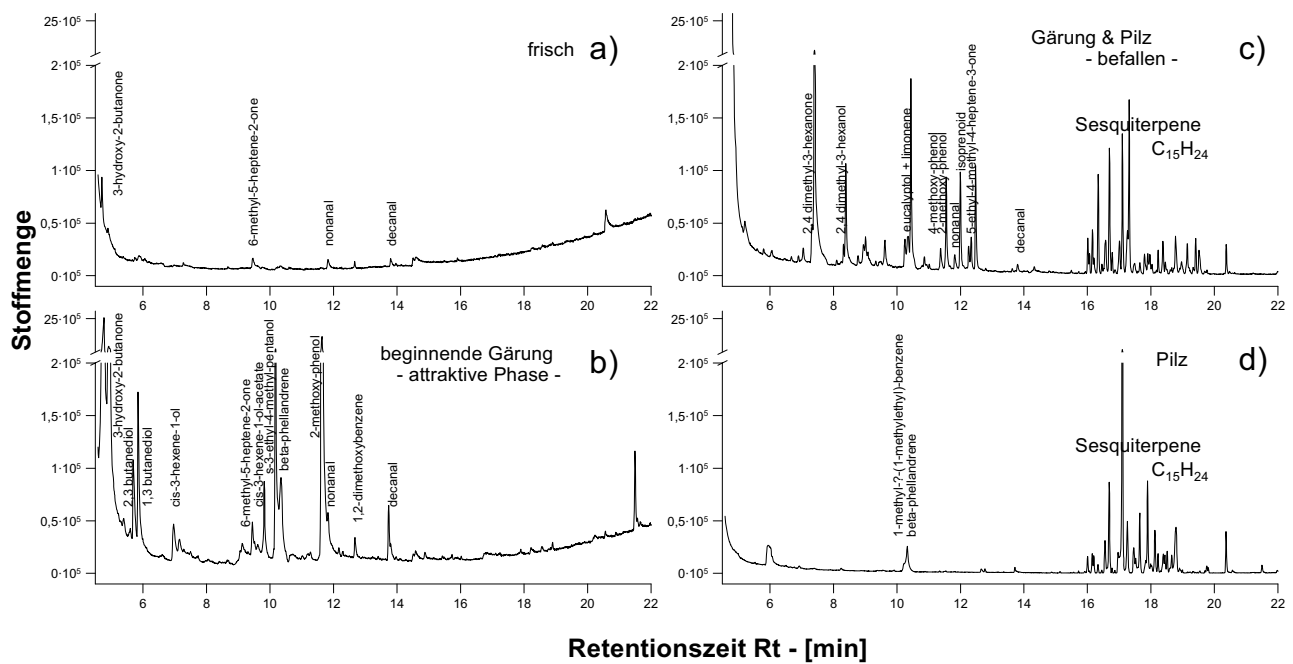


Abb. 3: Totalionenchromatogramme vier verschiedener Zersetzungsstadien. Sukzessive von frischer Rinde bis starker Zersetzung mit Pilzbefall (a - d). Attraktive Stadien für *Trypodendron domesticum* sind b) und c). Rinde mit Charakteristik a) noch nicht, d) nicht mehr befallsgeeignet.

Fig. 3: Totalionchromatogram of four different decay states. Successive from fresh bark to strongly decayed bark including fungal infestation (a - d). Attractive states for *Trypodendron domesticum* are b) and c). Bark of type a) not yet, d) no longer suitable for breeding.

der von *T. domesticum* wahrnehmbaren Stoffe, die identifiziert werden konnten zeigt Abbildung 5.

Nach Eingrenzung der für *T. domesticum* in Frage kommenden Semiochemikalien interessiert deren Auftreten und Abgaberraten während der unterschiedlichen Befallssituationen. Während der Holzalterung zeigt sich ein zeitlicher Verlauf wie in Abbildung 6 dargestellt. Hier sind die in Abb. 3b&c bereits dargestellten Stadien, die die höchste Attraktivität auf *T. domesticum* ausüben, weiter differenziert und anhand einzelner exemplarischer Messungen, die den Holzzersetzungsstadien in chronologischer Reihe folgen, quantifiziert.

Diese kleinräumigen Stadien lassen sich als chronologisch-physiologischer Gesamtverlauf verstehen, sie sind jedoch gleichzeitig an alternden Baumstämmen von vielzähligen Initiationspunkten ausgehend (häufig an Verletzungen, Astansätze o.ä. beginnend) graduell abgestuft zu finden (Abb. 2 & Abb. 6). Anhand der Abgaberraten und der Sensitivität der Insektenantenne lassen sich erste Rückschlüsse auf die Bedeutung der Stoffe als Semiochemikalien ziehen. Für eine Anlockung über große Entfernung kommen vor allem Stoffe mit hohen

Abgaberraten in Frage, die zusätzlich mit besonders hoher Sensitivität von *T. domesticum* wahrgenommen werden. Die aus den Elektroantennogrammen nur grob abzuleitende Sensitivität ist in Tabelle 1 mit Markierungen (*) dargestellt. Die Ermittlung von Dosis-Antwort-Kurven mit Reinsubstanzen zur besseren Einschätzung dieser Daten für eine weitergehende Beurteilung wäre wünschenswert. Vor allem treten bei der Betrachtung des Verhältnisses von Abgaberrate zur Signalstärke 1,2-dimethoxybenzen und Nonanal hervor, die *T. domesticum* mit besonders hoher Empfindlichkeit wahrnehmen kann. Zwei weitere Stoffe mit starken Signalen sind bislang nicht identifiziert (siehe Abb. 4, Stoffnr. 4 & 5). Die Sensitivität sagt etwas über die potentielle Reichweite einer Infochemikalie aus und damit deren Eignung als Lockstoff, jedoch bedarf es von Seiten des Käfers zusätzlich einer eingehenden Prüfung des Brutmaterials aus nächster Nähe. Hier können auch Stoffe mit geringen Abgaberraten oder schlechter Wahrnehmbarkeit eine existenzielle Bedeutung im Wirtswahlverhalten besitzen. Aus diesem Grund ist eine vorsichtige Interpretation geboten, angepasste Verhaltensversuche zu konkreten Verhaltensschritten sind unabdingbar. Eine Aus-

Tab. 1: Identifizierte Volatile in Buchen- und Buchenrindenproben (*Fagus sylvatica*), die eine Antennenaktivität von *Trypodendron domesticum* im Elektroantennogramm auslösen. Mit einem * versehene Stoffe wurden als Reinsubstanz mittels EAD überprüft.

Tab. 1: Identified volatiles in beech- and beechbark samples (*Fagus sylvatica*), eliciting antennal activity of *Trypodendron domesticum* in electroantennograms. Compounds highlighted with a * were tested as pure compounds in an EAG experiment.

Stoffnummer	R _t	Substanz	EAD	Formel	Molekülmasse	CAS-Nr.	FALLENTTEST
1	1,730	Methanol*	*	CH ₄ O	32	67-56-1	nein
2		unbekannt	ja	-	-	-	-
4		Ethanol ?*	***	C ₂ H ₆ O	46	64-17-5	ja
5		unbekannt	ja	-	-	-	-
6	4,749	3-Methyl-1-Butanol*	*	C ₅ H ₁₂ O	88	123-51-3	ja
7	4,804	2-Methyl-1-Butanol*	**	C ₅ H ₁₂ O	88	137-32-6	ja
9	6,842	(cis)-3-Hexene-1-ol*	*	C ₆ H ₁₂ O	100	544-12-7	ja
10	9,400	6-methyl-5-Hepten-2-on?	*	C ₈ H ₁₄ O	126	110-93-0	nein
12a	11,575	2-Methoxy-Phenol*	*	C ₇ H ₈ O ₂	124	90-05-1	ja
12b	11,806	Nonanal*	***	C ₉ H ₁₈ O	142	124-19-6	ja
13	12,664	1,2-Dimethoxy-Benzen*	***	C ₈ H ₁₀ O ₂	138	91-16-7	nein
15	13,802	Decanal*	*	C ₁₀ H ₂₀ O	156	112-31-2	ja

Anzahl der Sternchen in Spalte EAD (*, **, ***) zeigt die Sensitivität der Antenne (Signalstärke relativ zur Stoffmenge)

wahl an Stoffen, die die verschiedenen Zersetzungsstadien charakterisieren, wurde in einem Fallenversuch getestet. Darunter waren die Aldehyde Hexanal, Nonanal und Decanal; die Phenole 2-methoxy-Phenol und 4-methoxy-Phenol; die Alkohole 3-methyl-1-Butanol, 2-methyl-1-Butanol; 1,3-Butandiol, 2,3-Butandiol; als typischen Grünblattduft 3-Hexen-1-ol; als pilzspezifische Komponenten 3-Octen-1-ol und 3-Octanon sowie die Terpene Eucalyptol und Limonen. Acht dieser Substanzen wurden mit elektroantennographischen Methoden als von *T. domesticum* wahrnehmbar erkannt. Die Stoffe wurden entsprechend der analysierten Abgabern von Rindenproben in Lösungsmittel Ethanol in einem randomisierten Blockdesign in 6 verschiedenen Stoffmixturen (1-6) gegenüber einer Kontrolle (K) mit reinem Ethanol mit je 5 Wiederholungen in Kreuz-Fensterfallen ausgebracht. Es wurden insgesamt nur sehr geringe Fangzahlen erreicht (Abb. 7). Die konkurrierende starke Lockwirkung des Aggregationspheromons ausgehend von natürlichem, besiedeltem Brutmaterial in der näheren und weiteren Umgebung ist sehr wahrscheinlich und versuchstechnisch nicht zu vermeiden. Dennoch zeigten sich leicht erhöhte Fangzahlen für die

Fallenvariante mit verstärkten Abgabern für Aldehyde, ebenso wie für die Phenolvariante. Deren Hauptkomponenten sind Hexanal, Nonanal und Decanal sowie 2-methoxy-Phenol und 4-methoxy-Phenol.

Die Duftstoffanalysen des Stehendbefalls aus dem Jahr 2003 zeigten, wie bereits erwähnt, ein zu den Rindenproben deutlich verschiedenes Spektrum. Nonanal wurde als einzige der ermittelten wahrnehmbaren Substanzen auch im Stehendbefall gefunden, jedoch zeigte sich kein Unterschied zwischen befallenen und unbefallenen Bäumen. Die Abgaberrate von Nonanal aus Bäumen des Einschlagsversuchs war jedoch signifikant erhöht. Aufgrund der Homogenität der Proben wurden im Folgejahr 2004 erneut Kontrollmessungen an unbefallenen Buchen durchgeführt, da erneuter Stehendbefall nicht mehr beobachtet wurde. Die Messungen beider Jahre sind in einer Hauptkomponentenanalyse in Abbildung 8 dargestellt. Eingang in die Analyse fanden pro Datenpunkt die identifizierten Stoffe ($n_{\text{ges}}=140$) und deren Abundanzen.

Deutlich zeigt sich die große Ähnlichkeit der Paarvergleichsproben 2003. Die Duftmuster befallener

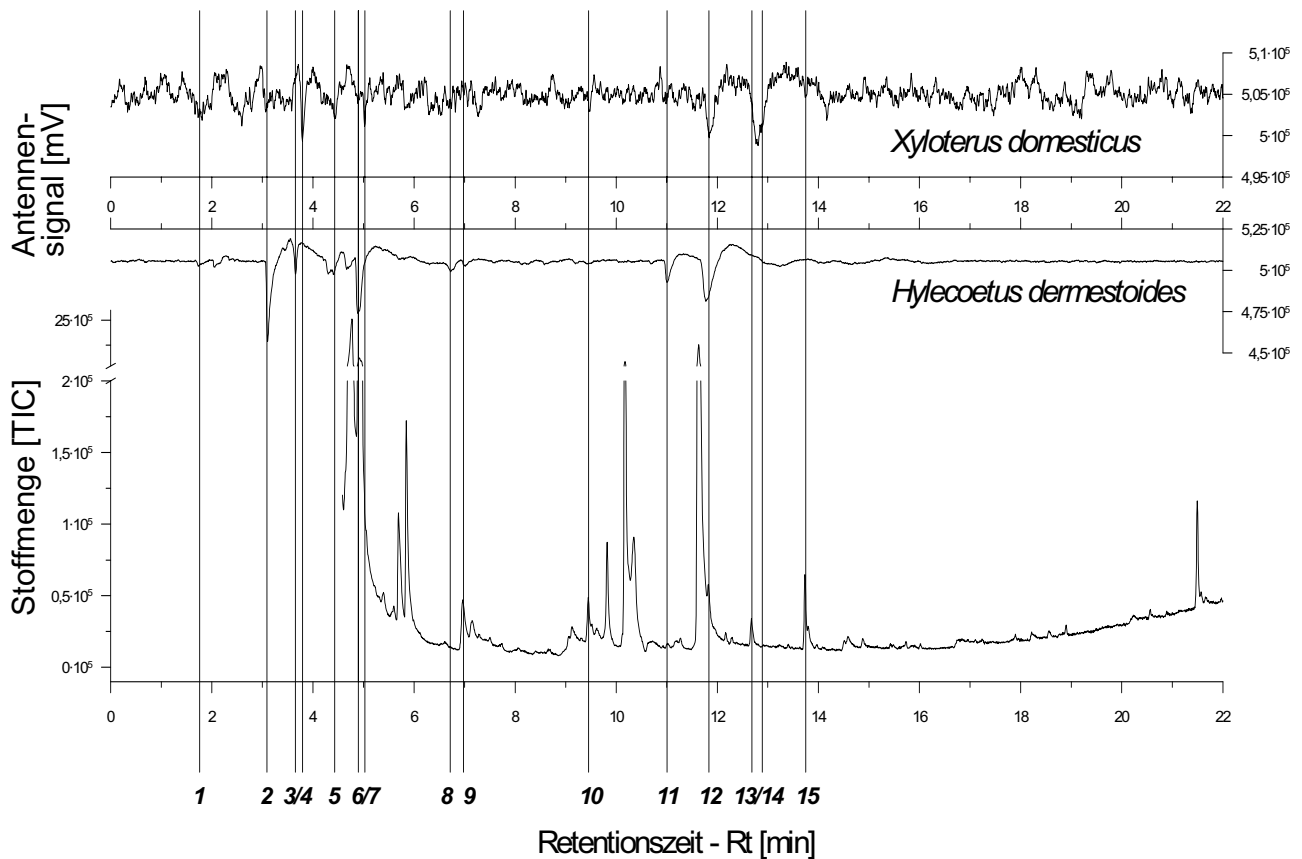


Abb. 4: Volatile Inhaltsstoffe einer Rindenprobe (Buche, nach 1 Jahr waldlagernd, frischer Befall durch *T. domesticum*), die als stark attraktiv eingestuft wurde. – GC/MS-EAD Analytik: Gaschromatogramm (unten) zeigt die Einzelsubstanzen als Peaks. Elektroantennogramme von *Hylecoetus dermestoides* und *Trypodendron domesticum*-♀♀ (oben) zeigen die korrespondierende Antennenreaktion auf die jeweiligen Stoffe.

Identifikation der Substanzpeaks: 1: Lösungsmittel (Methanol & CH_2Cl_2) – 2-5, 8,11,14: nicht identifiziert – 6: 3-methyl-1-Butanol – 7: 2-methyl-1-Butanol – 9: cis-3-Hexene-1-ol – 10: 6 methyl-5-Heptene-2-on – 12: 2-methoxy-Phenol + Nonanal – 13: 1,2-dimethoxy-Benzen – 15: Decanal.

Fig. 4: Volatile compounds of a bark sample (beech, after one year storing, freshly infested with *T. domesticum*) classified as “attractive”. – GC/MS-EAD analysis: Gaschromatogram (bottom) shows single compounds as peaks. Electroantennograms of *Hylecoetus dermestoides* and *Trypodendron domesticum*-♀♀ (top) show corresponding antennal response to the particular compounds.

Identification of compound-peaks: 1: solvent (methanol & CH_2Cl_2) – 2-5, 8,11,14: not identified – 6: 3-methyl-1-butanol – 7: 2-methyl-1-butanol – 9: cis-3-hexene-1-ol – 10: 6 methyl-5-heptene-2-one – 12: 2-methoxy-phenol + nonanal – 13: 1,2-dimethoxy-benzene – 15: decanal.

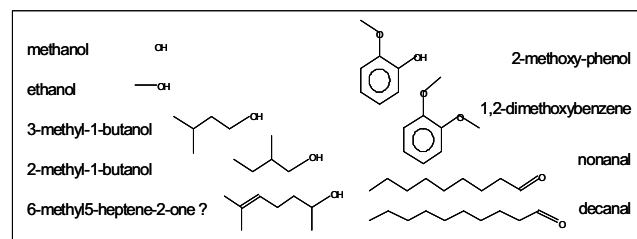


Abb. 5: Von *T. domesticum* wahrgenommene Stoffe, ermittelt aus GC/MS-EAD Experimenten. Ethanol, 2-methoxy-Phenol, Nonanal und 4-methoxy-Phenol wurden zusätzlich als Reinsubstanz getestet: Alle Komponenten werden sehr sensitiv wahrgenommen und bis zu einer Konzentration von 0.1 ppb in Luft detektiert.

Fig. 5: Von *T. domesticum* wahrgenommene Stoffe, ermittelt aus GC/MS-EAD Experimenten. Ethanol, 2-methoxy-Phenol, Nonanal und 4-methoxy-Phenol wurden zusätzlich als Reinsubstanz getestet: Alle Komponenten werden sehr sensitiv wahrgenommen und bis zu einer Konzentration von 0.1 ppb in Luft detektiert.

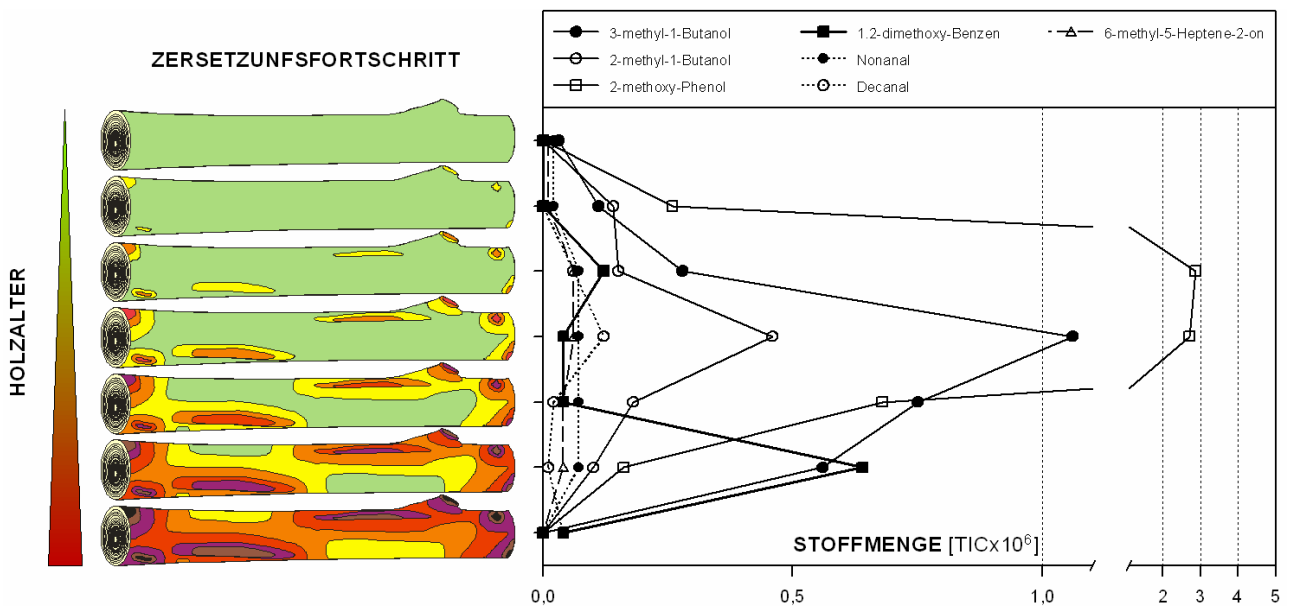


Abb. 6: Morphologisches Erscheinungsbild der Zersetzungsstadien mit zunehmendem Holzalter und deren entsprechende Emissionsraten der von *T. domesticum* wahrgenommenen Substanzen. Maximaler Käferbefall in den Stadien 3 bis 6.

Fig. 6: Outward appearance of decay states with incremental aging and corresponding emission rates of compounds perceived by *T. domesticum*. Maximum infestation during states 3 to 6.

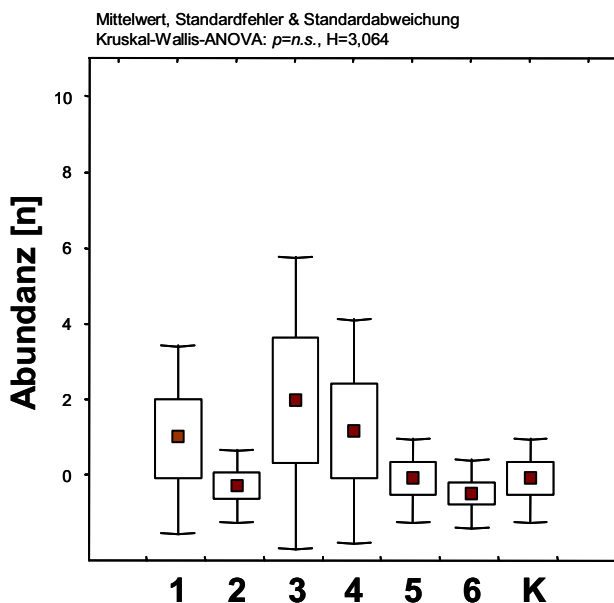


Abb. 7: Mittlere Fangzahlen der verschiedenen Stoffgemische. Dominierende Komponenten der Lockstoffformulierungen für Fallenvariante 1-6: 1: „Grünblatt-Duftstoffe“ – 2: C4/C5-Alkohole – 3: Aldehyde – 4: Phenole – 5: Pilz (C8) – 6: Terpene – K: „Kontrolle“= Ethanol.

Fig. 7: Means of individuals of *T. domesticum* caught with different mixtures of pure compounds in different release rates. Main components of attractant-formulation in traps 1-6: 1: „green leaf volatiles (GLV's)“ – 2: C4/C5-alcohols – 3: aliphatic aldehydes – 4: phenols – 5: „fungus“ (C8) – 6: terpenes – K: „control“= ethanol.

und unbefallener Proben differieren nicht und entstammen der gleichen Grundgesamtheit. Deutlich hiervon getrennt sind jedoch die unbefallenen Kontrollbäume aus dem Jahr 2004.

Diskussion

Die olfaktorische Wirtsfindung von *Trypodendron domesticum* zeigt sich als sehr komplex. Der Käfer ist in der Lage sich in einer zeitlich und räumlich dynamischen „Duftlandschaft“ zu orientieren und unterschiedliche Brutssubstrate unter scheinbar gänzlich verschiedenen Situationen nutzen zu können. Wenngleich er an das optimale Wachstum seines Symbionten gebunden ist, was mit Bedingungen zur Holzfeuchte, Pilzkonkurrenz und Pflanzenabwehr im Holzsubstrat und abiotischen Faktoren verknüpft ist, werden diese Faktoren in eine chemische „Sprache“ transferiert. Klar wurde in der Untersuchung, dass die Schlüsselsubstanzen dieser Kommunikation eine eigenständige Dynamik besitzen, wenngleich einige durch chemische Stoffwechsel- oder Abbauprozesse der Stammkompartimente oder auch Pilze miteinander synchronisiert oder gar voneinander abhängig sind. Die Beurteilung eines geeigneten Brutssubstrates liegt in der Kombination verschiedener Komponenten. Die optimale Kombination mag einer Normalverteilung

entsprechen, in der einige Komponenten immer attraktiv wirken, andere nur bisweilen oder in Kombination mit weiteren. So müssen nicht zwangsläufig für einen Stehendbefall an einem lebenden Baum exakt die gleichen Stoffe befallsauslösend sein, die für den Lagerholzbefall gelten. Eine hohe Schnittmenge der Stoffe ist jedoch sehr wahrscheinlich. Das Duftstoffspektrum gefällter Bäume und Totholz diversifiziert sich mit zunehmender Zersetzung regelrecht. Stressfaktoren, wie sie im Falle des Stehendbefalls vorangegangen sein müssen, können z.B. Weichbastnekrosen verursachen (vgl. LANGENFELD-HEYSEY et al., 2006a; PARINI und PETERCORD, 2006), die durch absterbendes Zellmaterial *T. domesticum* geeignetes Brutmaterial suggerieren, das anaeroben Zersetzungsmechanismen im Totholz nicht nur ähnelt, sondern gleich ist. Ist die Abwehrkraft des Baumes ebenso geschwächt, können diese Besiedlungsversuche zum Erfolg führen und in Folge einer gestarteten Kettenreaktion das Absterben des Baumes verursachen. Auslöser ist im Wesentlichen nicht der Käfer, sondern auf großräumige Gebiete wirkende abiotische oder biotische Stressfaktoren oder eine Kombination beider. Diese im Interreg-Projekt wiederholt aufgeworfene Hypothese liefert auch eine Erklärungsmöglichkeit der beobachteten homogenen Duftstoffchemie des Stehendbefalls. Den charakteristischen Lockstoffen, die dort aus verschiedenen denkbaren Gründen nicht gefunden wurden, wirkten möglicherweise Zellheilungsprozesse der betroffenen Bäume zeitig entgegen. Was beobachtet wurde, war die nachschwingende Reaktion aller Bäume des betroffenen Gebiets. Die deutlich veränderten Duftmuster im Folgejahr 2004 wären demnach Zeichen eines Regenerationsprozesses. Die Erkenntnisse aus der vorliegenden Untersuchung zeigen einen deutliches „Mehr“ an semiochemischen Stoffen, als es mit Ethanol bislang bekannt war. Die Verursacher der festgestellten Botenstoffe sind noch nicht geklärt, es ergeben sich jedoch deutliche Hinweise. Grünblattduftstoffe wie cis-3-Hexen-1-ol dienen der Abgrenzung des Brutmaterials zu gesundem und frischem Holzmaterial. Octenol und andere Pilzmarker kennzeichnen das andere

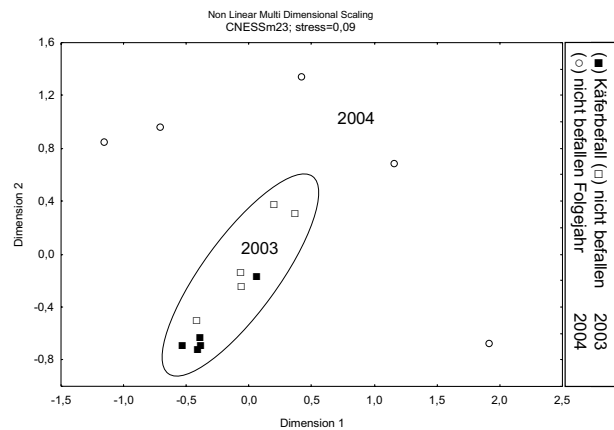


Abb. 8: Nicht lineare multidimensionale Skalierung von je 5 ausgewählten Duftstoffspektren: Duftstoffmuster der Bäume (Stammabsaugungen) des neuartigen Stehendbefalls, befallen (■), nicht befallen (□), Kontrollbäume (nicht befallen) im Folgejahr (○).

Fig. 8: Non linear multidimensional scaling of 5 selected odourspectra per group: Volatile pattern of beech trees (obtained with sampling jackets) of novel infestation of living trees. Infested (■), non infested (□), control (non infested) in the following year (○).

Ende, verbrauchtes und von Pilzen fortgeschritten besiedeltes Material. Neben Ethanol dienen eine Reihe weiterer verzweigter kurzkettiger Alkohole der Orientierung zu geeignetem Brutmaterial. Phenole können die Abwehrkraft des Baumes signalisieren, aber auch von mikrobiellen Organismen produziert werden. Die Bedeutung für *T. domesticum* ist unklar, dient ihm aber möglicherweise zur Fokussierung auf ein bestimmtes Zersetzungsstadium. Aldehyde zeigten sich in der Untersuchung als generelle Alterungsmarker, die quantitativ mit Zellsterben in Verbindung zu stehen scheinen. Sie würden demnach als generelle Holzalterungsmarker dienen, ggf. unabhängig von Gärungsprozessen und Mikroorganismen. Weiterführende differenzierende Verhaltenstests zu den ermittelten potentiellen Lock- und Ablenkstoffen, u.a. des 1,2-dimethoxy-Benzens erscheinen vielversprechend. Die Evolution hat *Trypodendron domesticum* als Lagerholz-/Totholzinsekt mit sehr empfindlichen und spezifischen Fähigkeiten „ausgestattet“, geschwächte Buchen zu erkennen und als Lebens- und Brutraum zu nutzen. Die hier vorgestellten Ergebnisse erweitern die bestehenden Kenntnisse über dessen Wirtsfindung und weisen zielgerichtet auf

Substanzen und chemische Prozesse hin, die eine unmittelbare funktionelle Reaktion auf die Ursachen der Erkrankung sind. Damit ist ein wichtiger Hinweis gefunden, der deren Erkennung ermöglichen kann.

Ergebnisse dieser Arbeit wurden unter dem folgenden Titel publiziert:

HOLIGHAUS, G.; SCHÜTZ, S. (2006): Odours of wood decay as semiochemicals for *Xyloterus domesticus* L. (Col., Scolytidae). In: Mitteilungen der deutschen Gesellschaft für allgemeine und angewandte Entomologie, Band 15 [2005] S. 161-165

Literatur

BYERS, JA. (1992): Attraction of bark beetles, *Tomicus piniperda*, *Hylurgops palliatus*, *T. domesticum* and other insects to alcohols and monoterpenes. - J. Chem. Ecol. 18 (12): 2385-2402

FIEBELKORN, G.; ERNST, D. UND POLLE, A. (2006): Untersuchungen von Genexpression und physiologischen Abwehrreaktionen an gesunden und geschädigten Buchen (*Fagus sylvatica* L.). Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59/06, 111 - 118

FRANKE, W. (1973): Untersuchungen über Aggregations-substanzen bei *Xyloterus domesticus*, L. (Col.: Scolytidae) Z. ang. Ent. 74: S. 319-332

KERCK, K. (1976): Zur Bedeutung der primären und sekundären Anlockung von *Xyloterus domesticus* L. (Col., Scolytidae). - Z. ang. Ent. 82: 119-123

KERCK, K. (1978): Einfluss baum- und käferbürtiger Reize auf das Suchverhalten von *Xyloterus domesticus*, L. - Naturwissenschaften 65: S. 542-543

KLIMETZEK, D. (1984): Grundlagen einer Überwachung und Bekämpfung der Nutzholzborkenkäfer (*Trypodendron spp.*) mit Lock- und Ablenkstoffen. - Freiburger Waldschutz-Abhandlungen, Hrsg. Forstzool. Inst. Alb. Ludw. Univ., Freiburg i. Br., Bnd. 5: 227 S.

KLIMETZEK, D.; KOHLER, J.; VITE J.P. und KOHNLE, U. (1986): Dosage response to ethanol mediates host selection by 'secondary' bark beetles. Naturwissenschaften 73: 5, S. 270-272

LANGENFELD-HEYSE, R.; LANG, CH., FRITZ, E.; PETERCORD, A.; POLLE, A. (2006a): Stehendbefall von *Fagus sylvatica* L. mit *Trypodendron* - anatomische Untersuchungen. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz, Nr. 59/06, S. 79 - 94

MOECK, H. A. (1968): Electron microscopic studies of antennal sensilla in the ambrosia beetle *Trypodendron lineatum* (OLIVIER) (Scolytidae). Canadian Journal of Zoology, 46: 521-570

PARINI, C. und PETERCORD, R. (2006): Der Laubnutzholzborkenkäfer *Trypodendron domesticum* L. als Schädling der Rotbuche. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59/06, S. 63 - 78

PETERCORD, R. (2006b): Totholzmanagement in Buchenwäldern. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59/06, S. 191 - 202

RAMISCH, H. (1984): Zur Wirtsfindung von *T. domesticum* und *Trypodendron lineatum* (Col.: Scolytidae) Dissertation Universität Göttingen: 288 S.

SCHROEDER, L.M. & LINDELÖW, A. (1988): Attraction of scolytids and associated beetles by different absolute amounts and proportions of α -Pinene and Ethanol. J. of Chem. Ecol. (15): S. 807-817

SCHÜTZ, S.; WEISSBECKER, B.; APEL, K.-H. und WENK, M. (2004): Duftstoffsignale als Marker für die Befallsdisposition von Kiefern durch den Blauen Kiefernprachtkäfer *Phae-nops cyanea* F. (Col., Buprestidae). - Mitt. dtsh. Ges. allg. angew. Ent. 14: 301-306

WEISSBECKER, B.; HOLIGHAUS, G. und SCHÜTZ, S. (2004): Gas chromatography with mass spectrometric and electroantennographic detection: analysis of wood odorants by direct coupling of insect olfaction and mass spectrometry. - J. Chromatography A 1056: 209-216

ZIMMERMANN, G. (1973): Vergleichende ökologisch-physiologische Untersuchungen an Ambrosiapilzen, assoziierten Bläuepilzen und Luftbläuepilzen. Diss. Univ. Göttingen

Danksagung

Die Untersuchungen wurden unterstützt durch das Interreg III A DeLux Projekt und das Land Rheinland-Pfalz. Wertvolle Hilfe leisteten Dr. Ralf Petercord (Trippstadt) und Mitarbeiter bei der Probennahme, Stefan Dötterl (Bayreuth) mit CNESS und Björn Weis (Göttingen) bei der Datenaufbereitung.

Autorenanschriften:

Gerrit Holighaus und Prof. Dr. Stefan Schütz
Georg-August-Universität Göttingen
Institut für Forstzoologie und Waldschutz
Büsgenweg 3, D-37077 Göttingen
Tel. 0551-393610 und 0551-393601

Email: gholigh@gwdg.de
stefan.schuetz@forst.uni-goettingen.de

***Nectria*-Arten an Buchenrinde mit Phloemnekrosen**

Grüner, J. und Metzler, B.

Zusammenfassung

Im Zusammenhang mit der Buchenkomplexkrankheit werden neben den „klassischen“ streifenförmigen Rindennekrosen (mit *Nectria coccinea*) seit einigen Jahren kleinflächige Phloem-(= Weichbast-)nekrosen und teilweise eine ungewöhnliche Grobborkigkeit beobachtet. Die Ätiologie ist insofern von Bedeutung, als diese Phloemnekrosen möglicherweise prädisponierend für „primären“ Käferbefall an stehenden Buchen wirken.

Von insgesamt fast 2.000 Einzelproben wurden 1.602 Pilzmycelien aus 47 Taxa isoliert. Am häufigsten waren davon *N. coccinea* und *N. ditissima*, welche mit einer Frequenz von 13,8 % bzw. 10,0 % der Einzelproben vorkamen. Die Analyse der Pilzpopulationen ergab, dass *N. coccinea*, Erreger des Buchenrindensterbens, sowie *N. ditissima*, Erreger von Buchenkrebs, mit deutlich höherer Frequenz in den grobborkigen Bereichen vorhanden waren. Dies legt eine Rolle dieser Pilze bei der Entstehung der Grobborkigkeit nahe. Hinweise auf einen Befall durch *Phytophthora*-Arten wurden nicht gefunden.

39 der 142 gewonnenen Proben (Rindenschwarten) wiesen Bohrlöcher von holzbrütenden Borkenkäfern auf, fast ausschließlich durch *Trypodendron domesticum*. Die Grobborkigkeit geht mit einem häufigeren Befall mit *N. ditissima* einher. Es wurde auch ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Vorkommen von Bohrlöchern dieses Käfers und dem Befall durch *N. ditissima*, nicht jedoch mit *N. coccinea* festgestellt. Je häufiger Kambiumnekrosen an den untersuchten Rindenschwarten vorhanden waren, desto grobborkiger war die Rinde. Je grobborkiger die Rinde war, desto häufiger waren Bohrlöcher und Brutsysteme von *T. domesticum* an den untersuchten Proben vorhanden. Es ist anzunehmen, dass pilzlich bedingte Kambiumnekrosen den Stehendbefall durch *T. domesticum* begünstigen.

Schlüsselwörter: **Buche, *Fagus sylvatica*, *Nectria ditissima*, *Nectria coccinea*, Buchenrinde, *Trypodendron domesticum*, Pilze, Kambiumnekrosen, Buchenrindennekrose, *Phytophthora***

***Nectria* species associated with rough bark in beech (*Fagus sylvatica* L.)**

Summary

Cambial necroses caused by fungi and rough bark might be a predisposing factor for a “primary” infestation by *Trypodendron domesticum* in living beech stems. Therefore, nearly 2.000 bark samples with different stages of roughness were taken from beech trees. 1.602 fungal isolates out of 47 taxa were obtained from these samples. Most frequent isolates were *Nectria* spp. The main species were *N. coccinea* and *N. ditissima*, occurring with frequencies of 13,8 % resp. 10,0 % in the samples. *Nectria* spp. are present in a higher frequency in the necrotic, rougher parts of bark slabs as compared to healthy, smooth bark samples. Increasing numbers of bark necroses, which developed into cambial necroses, were found on bark samples with advanced roughness of bark. This suggests an important involvement of *Nectria* spp. in the origin of the rough bark of beech. Statistical tests showed a strong correlation for *N. ditissima* and a low correlation for *N. coccinea* with the roughness beech bark. A high density of boreholes from *T. domesticum* on rougher bark could be observed. There was no evidence for an infestation by *Phytophthora* spp. in the bark samples.

Keywords: European beech, *Fagus sylvatica*, *Nectria ditissima*, *N. coccinea*, beech bark, *Trypodendron domesticum*, fungi, cambium necroses, beech bark disease, *Phytophthora*

Einleitung

Vorstudien von METZLER (2002) und PETERCORD (2003) ergaben Hinweise, dass Phloemnekrosen und verstärkte Verborckung der Buchenrinde, sowie der damit verbundene Befall mit *Nectria spp.* den Stehendbefall durch *Trypodendron domesticum* begünstigen könnte. Diese vorläufigen Befunde sollten durch zusätzliches Datenmaterial erhärtet werden. Das Phänomen der ungewöhnlich schrundigen Grobborkigkeit bei Buche ist in der Literatur kaum beschrieben. Lokal in den Karpaten auftretende Grobborkigkeit der Rinde von Buchen, sind von NECESANÝ (1969) in anderem Zusammenhang erwähnt worden, ohne jedoch auf Ursachen einzugehen.

Es stellt sich somit die Frage, wie diese Phloemnekrosen entstehen. Wenn man Kenntnis hat, welche Pilze mit diesen assoziiert sind, ließe sich ableiten, ob sie als Vorstufen der „klassischen“ Buchenrindennekrose oder als eigenes Phänomen zu betrachten sind. Die Ätiologie ist insofern auch von Bedeutung, als diese Phloemnekrosen möglicherweise prädisponierend für „primären“ Käferbefall an stehenden Buchen wirken.

Oomyceten, insbesondere Arten der Gattung *Phytophthora* werden in jüngster Zeit für umfangreiche Schäden an Buchen verantwortlich gemacht (JUNG, 2004). Daher wurde an Erdproben und an Rindenschnitten der Probestämme ein spezielles Screening durchgeführt.

Material und Methoden

Die Untersuchungen konzentrierten sich auf fünf Bestände in Rheinland-Pfalz: Drei Bestände (Gemeindewald Brandscheid a³ und a⁶, sowie Gemeindewald Rommersheim) liegen im Forstbezirk Prüm (Eifel). Die anderen beiden Bestände Gemeindewald Klink (Abt. 147 a¹) und Gemeindewald Zerf (Abt. 4) gehören zum Forstbezirk Saarburg (Hunsrück).

Aus diesen Beständen waren sowohl die Symptome der Grobborkigkeit als auch der Stehendbefall

durch *T. domesticum* bekannt. Der Bestand Rommersheim weist basenreiche Bodenverhältnisse auf und unterscheidet sich somit gegenüber den anderen bodensauren Beständen. Dies ist insbesondere im Hinblick auf die vorgesehenen Untersuchungen auf *Phytophthora*-Arten von Bedeutung. In diesem Bestand war kein Befall durch den Buchennutzholzborkenkäfer festgestellt worden.

Insgesamt wurden 20 Rotbuchen (*Fagus sylvatica* L.) unterschiedlichen Alters sowie aus verschiedenen sozialen Klassen gefällt, so dass aus verschiedenen Baumhöhen mit der Motorsäge Rindenproben in Form von ca. 20 x 30 cm großen Schwarten entnommen werden konnten. Dies geschah zu drei verschiedenen Jahreszeiten (Winter, Frühjahr und Spätsommer) zwischen Dezember 2003 und September 2004. Die Schwarten wurden unmittelbar nach der Entnahme einzeln in Plastiktüten verpackt und zur FVA in Freiburg transportiert. Dort wurden sie bis zur Entnahme der Teilproben für die *Phytophthora*-Untersuchung wenige Tage bei +6°C im Kühlraum gelagert. Bis zur Isolierung der sonstigen Pilze wurden sie für meist mehrere Wochen bei ca. –8°C eingefroren. Dieses Verfahren schadet den Echten Pilzen nicht (METZLER et al., 1993).

Die Schwarten wurden zunächst mit einer Bandsäge quer zur Faserrichtung aufgesägt. Nach der Entnahme der Teilproben für die Pilzanalysen wurden Fotos von Querschnitten jeder Schwarte zur Dokumentation von Kambiumnekrosen angefertigt (Abb.1). In Tab. 1 sind die 142 Rindenschwarten aufgelistet mit den jeweiligen Daten bezüglich der Borkigkeit der Schwarten (Abb. 2), ihrer Exposition, ihrer Entnahmehöhe am Stamm und dem Vorhandensein von Bohrlöchern von *T. domesticum*.

Pilzanalysen

Im Labor wurde der äußerste Bereich der Rinde mittels eines mit Alkohol abgeflammteten Stechbeitels abgetragen. Vom Rand dieser nun sichtbaren kleinflächigen Nekrosen wurden unter sterilem

Tab. 1: Liste der entnommenen Rindenschwarten (RS)

Tab. 1: List of sampled bark slabs (RS)

Probenahme 11.12.2003						Probenahme 20.04.2004						Probenahme 09.09.2004					
RS	Borke	HR	Höhe	KN	Käfer	RS	Borke	HR	Höhe	KN	Käfer	RS	Borke	HR	Höhe	KN	Käfer
1	0	N	9		-	46	3	S	0,5		-	95	3	N	1		-
2	0	O	9		-	47	3	N	0,5		+	96	3	S	1		-
3	1	S	9		-	48	2	S	4,6	+	-	97	3	N	5,5	+	-
4	0	W	9		-	49	1	S	11		-	98	2	S	5,5		-
5	3	N	1,6	+	+	50	1	N	11		-	99	1	N	13	+	+
6	3	N	1,2	+	+	51	0	N	4,6		-	100	1	S	13		+
7	2	O	1,2		-	52	2	S	0,7		-	101	3	N	1	+	+
8	1	S	1,2		+	53	3	N	0,7		-	102	3	S	1	+	-
9	3	W	1,2	+	+	54	0	S	10		-	103	3	N	7	+	-
10	1	N	11,5		-	55	0	N	10		-	104	2	S	7		-
11	1	O	11,5		-	56	0	S	5		-	105	1	N	13		-
12	1	S	11,5		-	57	0	N	5		-	106	1	S	13		-
13	1	W	11,5		-	58	0	N	13		-	107	1	N	0,8	+	-
14	2	N	7		-	59	2	N	1,2		-	108	2	S	0,8		-
15	2	O	7		+	60	1	S	1,2		-	109	1	N	4		-
16	1	S	7		-	61	1	N	3,5		-	110	1	S	4		-
17	1	W	7		-	62	1	S	3,5		-	111	1	N	5,5		-
18	3	N	1,2		-	63	0	N	5		-	112	1	S	5,5		-
19	3	O	1,2		-	64	0	S	5		-	113	2	N	0,8		+
20	1	S	1,2		-	65	2	N	0,2	+	-	114	2	S	0,8		-
21	2	W	1,2		-	66	0	S	0,2	+	-	115	2	N	3,5		+
22	1	N	4,5		-	67	1	N	2	+	+	116	1	S	3,5		-
23	2	O	4,5		-	68	2	S	2	+	-	117	1	N	6,5	+	+
24	2	S	4,5		-	69	1	N	8,5		-	118	1	S	6,5	+	+
25	1	W	4,5		-	70	1	S	8,5		-	119	2	N	0,8		-
26	2	N	1,8		+	71	3	N	1	+	+	120	2	S	0,8		-
27	2	O	1,8	+	+	72	3	S	1		+	121	1	N	6,5		-
28	2	S	1,8	+	-	73	3	N	8	+	+	122	1	S	6,5		-
29	2	W	1,8		+	74	3	S	8		-	123	0	N	15		-
30	2	N	0,8	+	+	75	1	N	14		-	124	0	S	15		-
31	2	O	0,8	+	+	76	1	S	14		-	125	3	N	1	+	-
32	3	S	0,8	+	+	77	3	N	0,6		-	126	3	S	1		-
33	2	W	0,8	+	+	78	3	S	0,6		-	127	2	N	7		-
34	0	N	4		-	79	1	O	10	+	+	128	2	S	7		-
35	0	O	4		-	80	1	N	13	+	+	129	2	N	12,5	+	-
36	0	S	4		-	81	0	S	13		-	130	2	S	12,5	+	-
37	0	W	4		-	82	1	O	2	+	+	131	1	N	1		-
38	1	N	2,5		-	83	1	N	9,5	+	+	132	2	S	1		-
39	1	O	2,5		-	84	1	S	9,5	+	+	133	2	N	4		-
40	1	S	2,5		-	85	1	N	1,5	+	-	134	1	S	4		-
41	1	W	2,5		-	86	0	S	1,5		-	135	1	N	7		-
42	2	N	1,2		+	87	1	O	2,5	+	+	136	2	S	7		-
43	2	O	1,2		-	88	1	W	2,5	+	+	137	1	N	1		-
44	2	S	1,2	+	+	89	3	N	0,5		-	138	2	S	1	+	-
45	2	W	1,2	+	+	90	3	S	0,5	+	+	139	1	N	4		-
						91	2	N	4		+	140	1	S	4		-
RS = Rindenschwarte						92	2	S	4	+	+	141	0	N	7		-
HR = Exposition						93	2	N	7,5		+	142	1	S	7		-
KN = Kambiumnekrose						94	3	S	7,5	+	+						



Abb. 1: Rindenschwarte mit Kambiumnekrose (KN) und Rindennekrose (RN)

Fig. 1: Bark slab with bark necroses (RN) and cambial necroses (KN)

Luftstrom 10 (erste Probenahme) bzw. 5 (weitere Probenahmen) Rondellen mit einem stets erneut abgeflammten Korkbohrer der Stärke 4 mm ausgestanzt. Diese wurden in tangentialer Ebene halbiert, so dass je eine Rondelle der Innen- und der Außenrinde gewonnen wurde. Diese wurden paarweise in Petrischalen mit SNA-Nähragar (NIRENBERG, 1981; METZLER et al., 1993) ausgelegt und für eine Woche bei Raumtemperatur, in der zweiten Woche bei 19°C zur Anregung der Konidienbildung unter UVA-Licht inkubiert.

Anschließend erfolgte möglichst zeitnah die lichtmikroskopische Auswertung der angewachsenen Pilzmycelien. Auch Bakterien, Nematoden und ggf. Myxomycetes wurden als solche bonitiert. Von potentiell pathogenen Pilzen insbesondere aus der Gattung *Nectria* und deren Formgattungen *Fusarium* und *Cylindrocarpon* wurden Stammkulturen zur dauerhaften Aufbewahrung hinterlegt.

Screening auf Oomyceten

Bei den Probenahmen 2 und 3 wurde pro Baum von vier Einschlägen etwa 1 m vom jeweiligen Stammfuß entfernt und aus bis 20 cm Bodentiefe ca. 1 kg Erde entnommen und in einer Tüte gemischt. Zur weiteren Beschreibung der Standortverhältnisse wurde jeweils der pH-Wert (in H₂O und in 1m KCl), gemessen. Je 200 g einer Erdprobe wurden in Plastikschalen (14x10 cm) gefüllt und mit 500 ml destilliertem Wasser befüllt. Anschließend wurden frische, wenige Tage alte Eichenblätter als Köder für die Zoosporen auf die Wasseroberfläche gelegt. Die Inkubationszeit betrug maximal 4 Tage

bei Raumtemperatur. Analog wurde mit abgesägten Stücken von jeder Rindenschwarte (ca. 14x4 cm) verfahren. Die nekrotischen Bereiche an den Eichenblättern wurden ggf. ausgeschnitten und auf Selektivagar (JUNG et al., 1996) aufgebracht. Nach 1 bis 2 Tagen sollte eine Trennung von schnell wachsenden *Pythium*-Arten und langsamer wachsenden *Phytophthora*-Arten erfolgen.

Ergebnisse

Borkigkeit der Rindenschwarten

Tab. 1 gibt einen Überblick über die Menge an Rindenschwarten, die ausgewertet wurden. Die meisten Rindenschwarten entsprachen mit einem Gesamtanteil von 38,0 % dem Typ der Borkigkeitsstufe 1, gefolgt von Stufe 2 mit einem Anteil von 28,9 %. Stufe 0 und Stufe 3 sind weniger häufig vertreten.

Bei den ersten Probenahmen zeigte es sich, dass die Verteilung der Borkigkeitsstufe in der Stammhöhe einem Muster folgt. Stufe 3 war fast ausschließlich am Stammfuß zu finden. Bis in 2 – 3 m Stammhöhe war auch Stufe 2 anzutreffen. Die Exposition nach Himmelsrichtung zeigte nur einen kleineren Einfluss.

An 41 Rindenschwarten (29 %) konnte festgestellt werden, dass nicht nur Weichbastnekrosen, sondern auch bereits Kambiumnekrosen entstanden sind. Mit zunehmender Verborkung der Rinde steigt der Anteil an Schwarten mit Kambiumnekrosen. Die Auswertung der aufgesägten Rindenschwarten ergab, dass die Hälfte der Schwarten mit der Borkigkeitsstufe 3 Kambiumnekrosen hatte, bei Stufe 0 waren es lediglich 5 %.

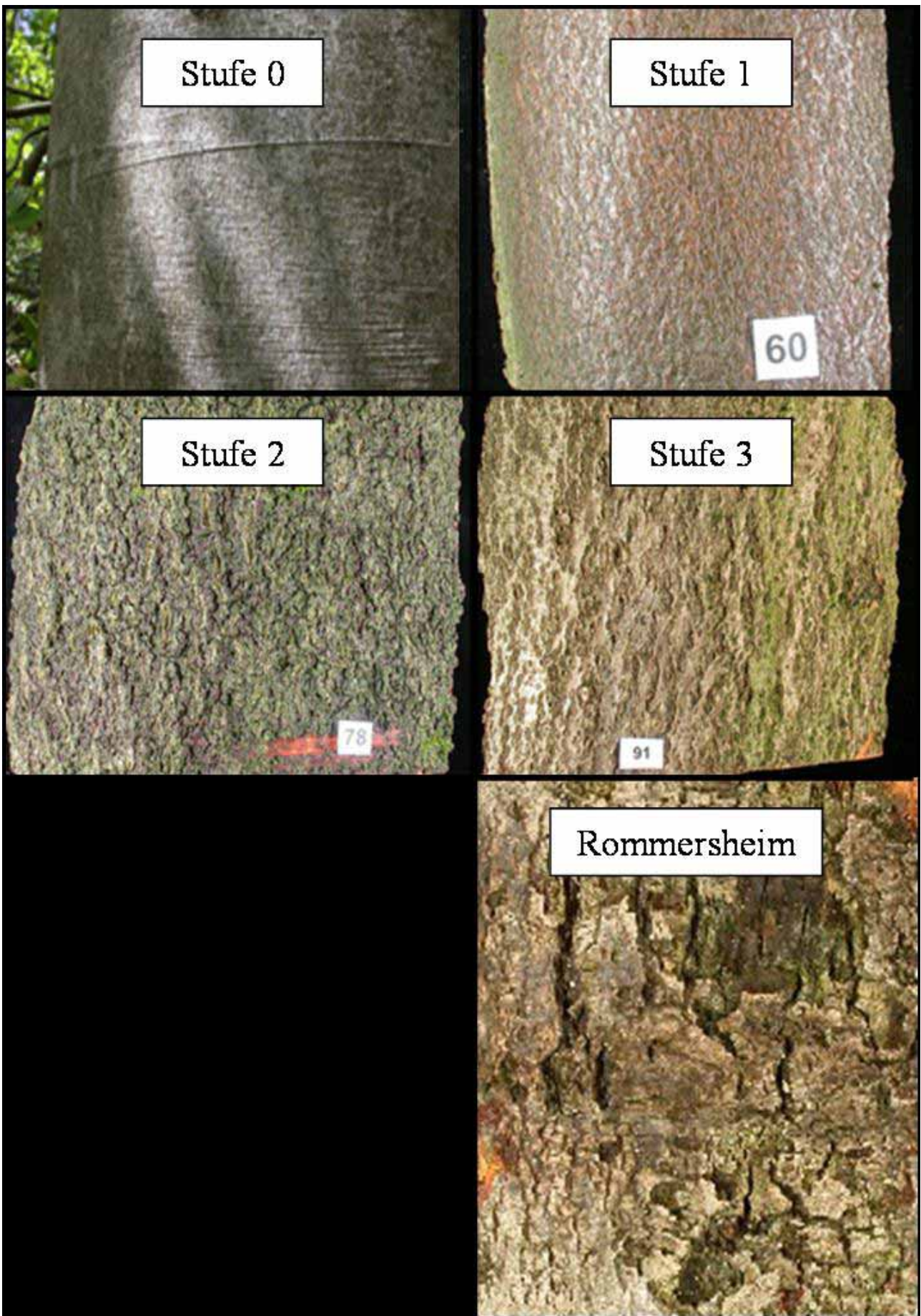


Abb. 2: Typische Beispiele für die vorgenommene Abstufung der Borkigkeit
Fig. 2: Typical stages of the roughness of the bark surface

Die verborkten Rindenpartien vieler Bäume erschienen im Bestand Rommersheim eher pustelig-blasig (vgl. Abb. 2) als schrundig grobborkig. Sie unterschieden sich damit oft deutlich von dem Bild in den Beständen Klink und Brandscheid.

Zusammensetzung der Pilzpopulationen

Insgesamt wurden 1963 Rondellen ausgewertet (Abb. 3). Die Belegung mit Organismen schwankte pro Rondelle zwischen 0 bis maximal 6. Die Proben aus der Innenrinde waren zu 51 % steril, die der Außenrinde nur zu 8 %. Insgesamt konnten 47 pilzliche Taxa unterschieden werden. Die häufigste Pilzart ist *N. coccinea* mit einem Anteil von 13,8 % an der Gesamtauswertung, gefolgt von *N. ditissima* mit einem Anteil von 10,0 %. Wesentliche jahreszeitlich bedingte Schwankungen in der Isolierungsrate der einzelnen Pilzarten wurden nicht festgestellt.

Pilzanalysen in Abhängigkeit von der Borkigkeit

Gruppirt man die Ergebnisse nach dem Zustand der Rindenschwarten, so zeigen sich die verschieden Optima der einzelnen Gruppen (Abb. 4, 5). Die Arten der Formklasse der Hyphomycetes haben ihr Optimum an Rindenschwarten der Stufe 3. Insgesamt liegt das Optimum für *N. ditissima* bei Rindenschwarten der Stufe 2. Bei *N. coccinea* ist das Optimum für Stufe 1 zu verzeichnen. Von Schwarten der Stufe 0 konnte *N. ditissima* nie isoliert werden. Das Auftreten von *Nectria*-Arten ist weit weniger in Abhängigkeit von der Höhe oder der Exposition am Stamm zu suchen, sondern es zeichnet sich ein Zusammenhang mit der Borkigkeit der Rinde ab. Das Maximum für *N. coccinea* liegt bei Stufe 1 bzw. bei Stufe 2 für *N. ditissima*. Mit zunehmender Borkigkeit nimmt auch in der Innenrinde die Zahl der sterilen, d.h. gesunden Proben ab. Auch an

Gesamtauswertung der Befunde an allen Rondellen (n=1963) in %

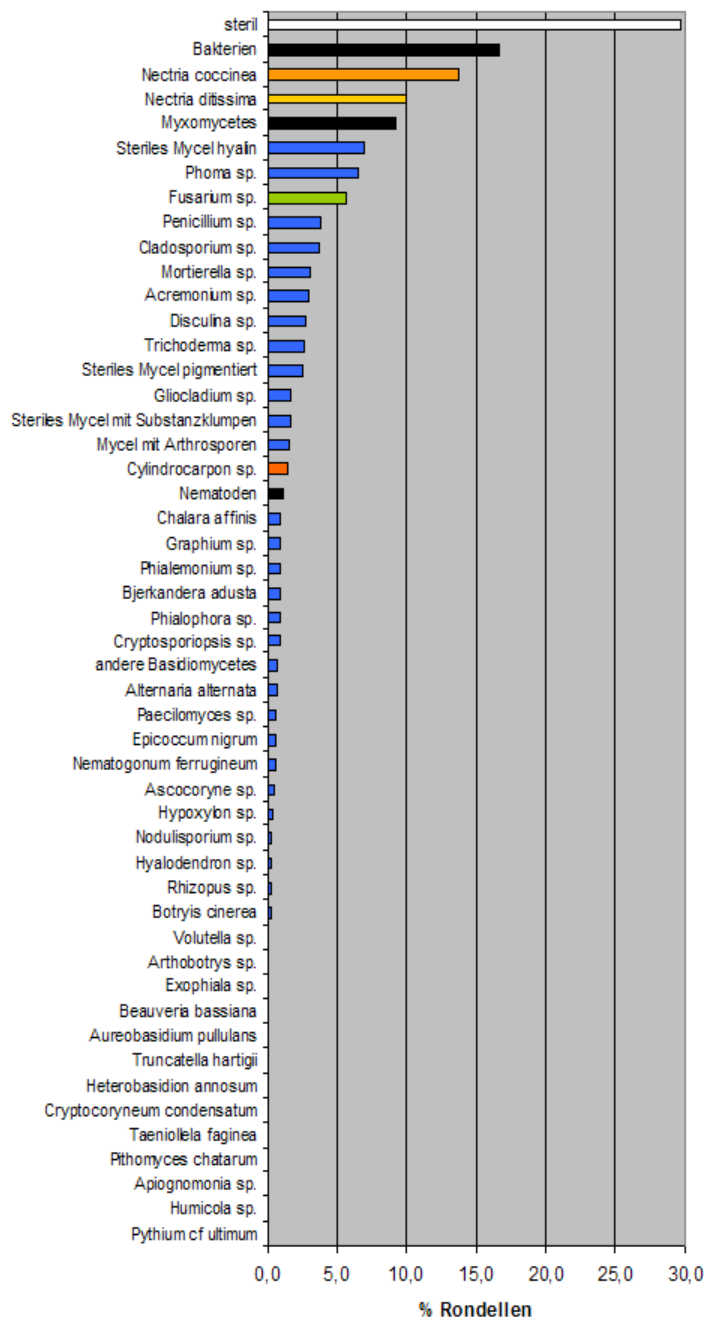


Abb. 3: Gesamtauswertung der Pilzbesiedelung an den Rindenrondellen (n = 1963)

Fig. 3: Bulk results of fungal colonization of samples (n = 1963)

den Rondellen der Innenrinde konnten beide oben genannte *Nectria*-Arten gefunden werden.

Für die statistischen Auswertungen wurde der Anteil an *N. coccinea* und *N. ditissima* an Rindenrondellen aus verschiedenen Borkigkeitsstufen untersucht. Mit „SPSS für windows“ wurde eine ANOVA-Varianzanalyse ($p < 0,05$) durchgeführt. Der Post-Hoc-Test (Tukey-HSD) zeigt für *N. coccinea*

einen signifikanten Unterschied zwischen den Borkigkeitsstufen 0 und 1. Bei *N. ditissima* besteht ein signifikanter Unterschied sowohl zwischen Stufe 0 als auch zwischen Stufe 2 gegenüber allen anderen Stufen.

Pilzanalysen an Rindenschwarten mit Käferbefall

An 39 Rindenschwarten (27 %) ist der Befall durch *T. domesticum* dokumentiert. In diesem Kollektiv liegt das Optimum für *N. coccinea* ebenfalls an Stufe 1 und für *N. ditissima* an Stufe 2. An den Rindenschwarten mit der Stufe 0 war kein Befall durch *T. domesticum* feststellbar (Abb. 6).

Der Anteil an Rindenschwarten mit *T. domesticum*, die auch einen Befall durch *Nectria*-Arten aufwiesen, liegt bei 87 %. 100 % der Schwarten mit Rauigkeitsstufe 2 waren mit mindestens einer *Nectria*-Art besetzt, und zwar schwerpunktmäßig mit *N. ditissima* (Abb. 7).

Bei der statistischen Auswertung mit dem Chi-Quadrat-Test zeigte sich, dass für das Vorkommen von *N. ditissima* und einem Käferbefall an Rindenschwarten ein signifikanter Zusammenhang besteht. Zwischen dem Befall der Schwarten durch *T. domesticum* und *N. coccinea* konnte kein signifikanter Zusammenhang festgestellt werden.

Für den Käferbefall selbst, zeigt eine ANOVA-Varianzanalyse ($p < 0,05$) einen signifikanten Un-

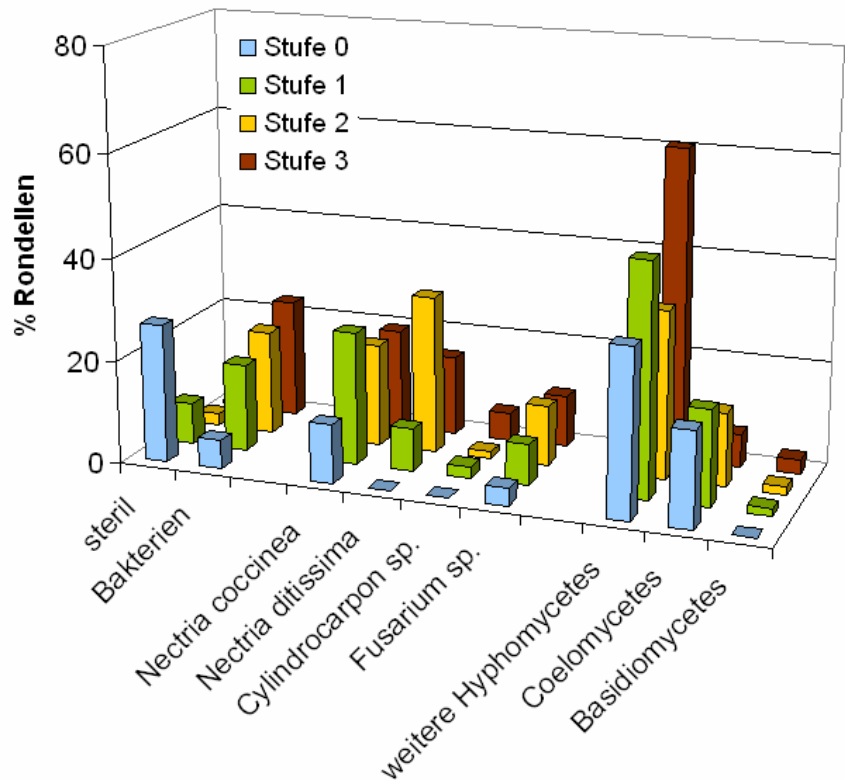


Abb. 4: Befunde an Rondellen der Außenrinde nach Stufung der Borkigkeit

Fig. 4: Fungal results on external bark discs dependant to stage roughness of bark

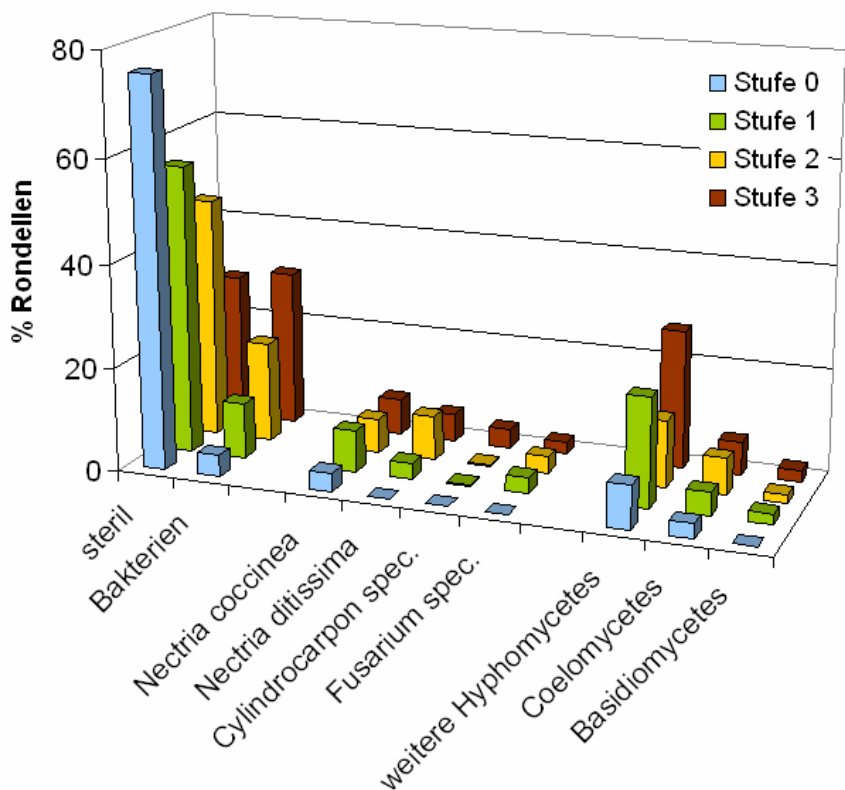


Abb. 5: Befunde an Rondellen der Innenrinde nach Stufung der Borkigkeit

Fig. 5: Fungal results on internal bark discs dependant to stage of roughness of bark

terschied zwischen Borkigkeitsstufe 0 gegenüber 2 und 3.

Vergleich der Standorte

Der Bestand „Klink“ als ältester Bestand weist eine relative Gleichverteilung von *N. coccinea* auf, *N. ditissima* kommt nur an Stufe 1 und 3 vor, mit geringerem Anteil insgesamt. Im jüngsten Bestand der Untersuchungen, „Zerf“, fiel ein Großteil der Auswertungen auf *N. ditissima* mit einem Schwerpunkt in Stufe 2. Der Anteil von *N. coccinea* ist höher als bei Klink. Im ältesten untersuchten Bestand Brandscheid I liegt der Schwerpunkt von *N. coccinea*-

Isolaten. Anders im jüngeren Bestand Brandscheid II, in dem der Großteil der Rindenschwarten der Stufe 1 *Nectria*-Isolate zum Ergebnis hat. Bei Bestand Rommersheim konnten keine Isolate von *N. ditissima* festgestellt werden.

Isolate aus Screening auf Oomyceten

In zwei Fällen konnte von Rindenproben von Baum 7 (Schwarte 61 und 62) Mycel eines Oomyceten isoliert werden. Es handelte sich hierbei um eine Art der Gattung *Pythium*. Auch bei den Erdproben wurde zweimal eine *Pythium*-Art isoliert (Bäume Nr. 9 und 10). Ferner wurde von Erdproben der Bäume 5 und 8 der Oomycet *Achyla cf. colorata* isoliert. Alle übrigen Mycelien, die im Laufe des Baitings nachgewiesen wurden, waren keine Oomyceten.

Als wichtigstes Ergebnis des Screenings kann festgehalten werden, dass aus keiner Probe eine *Phytophthora*-Art isoliert werden konnte.

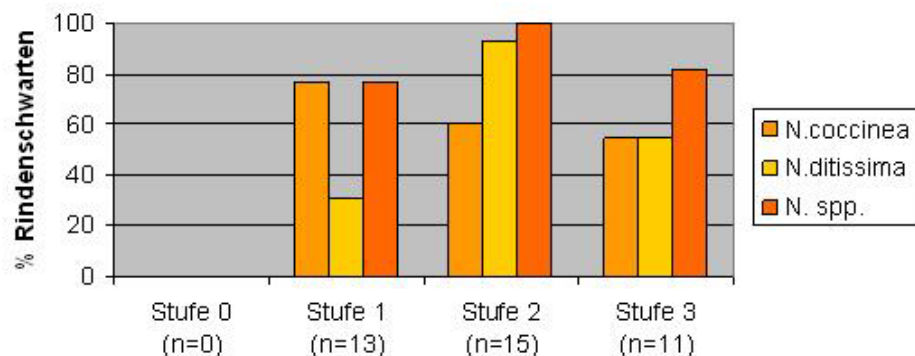


Abb. 6: Häufigkeiten der *Nectria*-Arten an Schwarten mit Käferbefall
Fig. 6: Frequency of *Nectria* spp. on bark slabs with bark beetle infestation

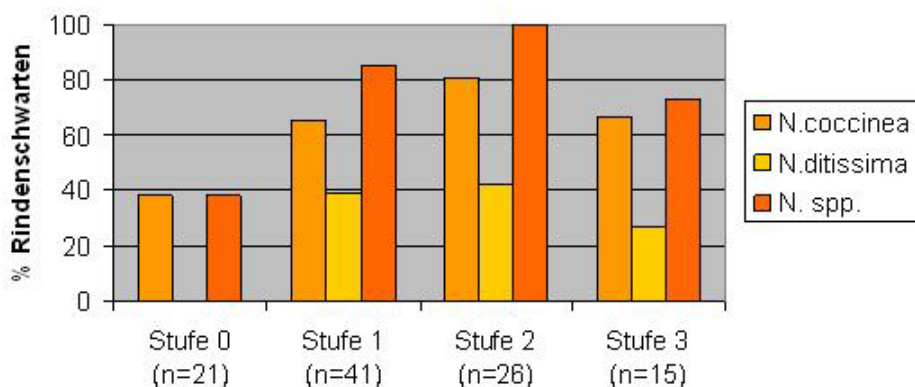


Abb. 7: Häufigkeiten der *Nectria*-Arten an Schwarten ohne Käferbefall
Fig. 7: Frequency of *Nectria* spp. on bark slabs with bark beetle infestation

Diskussion

Borkigkeit der Buchenrinde

Bei der Typisierung der Borkigkeit nach Stufen betritt unsere Untersuchung Neuland. Hinweise zur Borkigkeit von Buchenrinde gibt es in der Literatur fast ausschließlich im Zusammenhang mit einem starken Befall durch die Buchenwollschildlaus (*Cryptococcus fagisuga*), sowie in der unkommentierten Abbildung von NECESANY (1969). Eine auffällige Häufung von Wollausbefall war jedoch aus den untersuchten Beständen nicht bekannt. Somit ist unklar, ob ein derartiger Befall ursprüngliche Voraussetzung für die vorgefundene Rindenstruktur und somit für eine Prädisposition für den Käferbefall anzusehen ist.

Der besondere Typ der Verborkung auf dem Standort Rommersheim könnte mit den dort besonders häufig vorkommenden Fusarien und dem Fehlen von *N. ditissima* zu tun haben.

Die Häufigkeit von *N. coccinea* im Bestand Brandscheid I liegt vermutlich daran, dass hier das Bild des „klassischen“ Rindensterbens vorherrschte.

Nectria-Arten im Zusammenhang mit der Borkigkeit

N. coccinea und *N. ditissima*, bekannte Erreger der streifenförmigen Rindennekrose bzw. von Buchenkrebs sind die häufigsten Arten der von den Weichbastnekrosen isolierten Pilzarten. Dies überrascht insofern als deren typische Symptome nur an einzelnen Bäumen zu erkennen waren und die beobachtete Borkigkeit nicht als bekanntes Symptom für eine der beiden Pilzarten gilt. Insofern sollten die isolierten *Nectria*-Stämme dringend auf ihre genetische Einheitlichkeit mit „klassischen“ Stämmen untersucht werden. Dies gilt auch für die *Cylindrocarpon*-Isolate, die bisher keiner der beiden genannten *Nectria*-Arten zugeordnet werden konnten.

Infektionsvoraussetzungen für *N. coccinea* sind entweder vorausgegangener Wollschilddlausbefall (BRAUN, 1977) oder Wasserstress (LYR, 1967). Es ist anzunehmen, dass die *Nectria*-Arten, insbesondere *N. coccinea*, aufgrund eines primären Schadens Fuß fassen können. Infektionswege für *N. ditissima* werden in METZLER und VON ERFFA (2000) aufgelistet. Neben mechanischen Verletzungen kommen nach PERRIN (1981) auch Bodenfaktoren in Frage, sowie die lange Überschildung mit bereits erkrankten Buchen, was ggf. einen hohen Infektionsdruck verursacht (METZLER et al., 2002).

Es ist zu diesem Zeitpunkt nicht möglich *Nectria* spp. als Ursache für die Weichbastnekrosen allein verantwortlich zu nennen. Die Regelmäßigkeit, mit der jedoch die beiden *Nectria*-Arten dominieren, lässt Rückschlüsse auf eine gewichtige Beteiligung der *Nectria*-Arten am Gesamtgeschehen zu.

Borkigkeit und Kambiumnekrosen als Voraussetzung für Käferbefall

27 % der untersuchten Schwarten wiesen Einbohrungen von Käfern auf. Der Käferbefall ist vermehrt auf grobborkigere Schwarten (niemals in Stufe 0) und damit vorwiegend auf die Stammhöhe 1 bis 2 m beschränkt. Es gibt einen linearen Zusammenhang zwischen dem Grad der Borkigkeit und der Häufigkeit von Kambiumnekrosen. Es zeigte

sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Vorkommen von *N. ditissima* auf den Rindenschwarten und dem Käferbefall. Die Schwarten mit Käferbefall sind zu 87 % mit einer oder beiden *Nectria*-Arten besetzt. Dies kann als Hinweis darauf verstanden werden, dass *T. domesticum* Buchen, die solchermaßen besiedelte Rindenpartien aufzuweisen haben, als bruttauglich auszuwählt. Somit ist anzunehmen, dass pilzlich bedingte Kambiumnekrosen, insbesondere durch *N. ditissima*, den Stehendbefall durch *T. domesticum* begünstigen. Diese Sicht wird unterstützt durch die Beobachtung am Standort Rommersheim, wo sowohl *N. ditissima* als auch Käferbefall vollständig fehlen.

Funktionen weiterer Pilze in der Buchenrinde

Neben den beiden *Nectria*-Arten sind unter den isolierten Pflanzen noch *Cylindrocarpon*- und *Fusarium*-Arten potentiell in der Lage Rindennekrosen hervorzurufen. Alle anderen Arten werden als Sekundärbesiedler der Nekrosen angesehen. Die größte Vielfaltigkeit an pilzlichen Organismen enthielten Rindenschwarten mit der Borkigkeitsstufe 3, wo die Frequenz der *Nectria*-Arten zurück geht. Ökologisch bemerkenswert sind hier die relativ häufigen *Trichoderma*-Isolate, die sonst häufig aus morschem Holz zu isolieren sind, wo sie sich von den Primärbesiedlern ernähren. Dies trifft auch für die gefundenen *Gliocladium*-Isolate zu. *Nematogonium ferrugineum* gilt als spezifischer Hyperparasit auf *Nectria*-Fruchtkörpern.

Die 31 Isolate von Basidiomyceten, an erster Stelle *Bjerkandera adusta* sind als Holzzerstörer bekannt. Sie waren schwerpunktmäßig an Proben zu finden, deren Holzkörper bereits Spuren von Fäulnis aufwies. Das bedeutet, dass diese Pilze die Rinde überwiegend von innen besiedelt haben.

Bei den nicht ganz seltenen unbestimmbaren Mycelien wird angenommen, dass es sich überwiegend um Kommensalen handelt, die mit der Entstehung der Rindennekrosen in keinem direkten Zusammenhang stehen. Jedenfalls kann man aufgrund der Art der Septierung der Hyphen und wegen des Fehlens der Konidienbildung mit hinreichender Sicherheit ausschließen, dass es sich um *Nectria*-Arten, Basi-

diomyceten oder *Phytophthora*-Arten handelt.

Untersuchungen auf Oomyceten

Da keine *Phytophthora*-Arten weder aus den Rindenrindellen noch während des für Oomyceten optimierten Köderverfahrens isoliert werden konnten, scheiden sie hier als mögliche Verursacher von Rindennekrosen aus. Ohnehin unterscheidet sich das Schadbild der Borkigkeit und die sehr kleinen Nekrosen an den hier beprobten Rotbuchen von den eher großflächigen Nekrosen mit Schleimfluss, wie sie im Zusammenhang mit *Phytophthora*-Infektionen beschrieben werden (HARTMANN und BLANK, 1998; JUNG, 2004).

Literatur

- BRAUN, H.J. (1977): Das Rindensterben der Buche, *Fagus sylvatica* L., verursacht durch die Buchenwollschildlaus *Cryptococcus fagi* BÄR., II. Ablauf der Krankheit. Eur. J. For. Path. 7: 76 – 93.
- FINK, S. und BRAUN, H.J. (1980): Die Bedeutung anatomischer Veränderungen bei der Buchenrindennekrose. Ann. Sci. Forest. 37: 333 – 343.
- HARTMANN, G. und BLANK, R. (1998): Buchensterben auf zeitweise nassen Standorten unter Beteiligung von *Phytophthora*-Wurzelfäule. Forst und Holz 53: 187-193.
- JUNG, T. (2004): *Phytophthora* schädigt Buchenbestände in ganz Bayern; LWF aktuell (43): 36-38.
- JUNG, T.; BLASCHKE, H. und NEUMANN, P. (1996): Isolation, identification and pathogenicity of *Phytophthora* species from declining oak stands; Eur J Forest Path 26: 253-272.
- LYR, H. (1967): Über die Ursache der Buchenrindennekrose (Beech bark disease). Archiv für Forstwesen 16:803-807.
- METZLER, B. Interner Bericht an die FAWF vom 7.2.2002.
- METZLER, B. und VON ERFFA, R. (2000): Zur Verbreitung von Buchenkrebs in Naturverjüngungen in Baden-Württemberg - Einfluß von Übershirmung und Standortfaktoren. Forstwiss Cbl. 119: 297-309.
- METZLER, B.; GROß, M. und MAHLER, G. (1993): Pilzentwicklung in Fichtenholz unter Schutzgasatmosphäre. Eur. J. Forest Pathol. 23: 281-289.
- METZLER, B.; MEIERJOHANN, E.; KUBLIN E. und VON WÜHLISCH, G. (2002): Spatial dispersal of *Nectria* canker of beech in an international provenance trial. Forest Pathology 32: 137-144.
- NECESANY, V. (1969): Forstliche Aspekte bei der Entstehung des Falschkerns der Rotbuche. Holzzentralblatt, Stuttgart 37: 563-564.
- PERRIN, R. (1981): De quoi souffre l'écorce du hêtre?. Schweiz. Z. Forstwesen 132: 1-16.
- PETERCORD, R. (2003): Schadtypenbeschreibung zur Buchenerkrankung in Rheinland Pfalz und Luxemburg, Interner Bericht

Autorenanschriften:

Jörg Grüner
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Professur für Forstbotanik
Bertholdstr. 17, 79085 Freiburg
Tel. 0761-203-3659
Email: joerg.gruener@fobot.uni-freiburg.de

Dr. Berthold Metzler
Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg
Abt. Waldschutz
Wonnhaldestr. 4, D-79100 Freiburg i. Brsg.
Tel. 0761-4018-162
Email: berthold.metzler@forst.bwl.de

Pilzsukzession im Bereich von Bohrgängen von *Trypodendron domesticum* an stehenden Buchen

Metzler, B. und Hecht, U.

Zusammenfassung

Es war Ziel der Untersuchung, die pilzliche Besiedelung der Bohrgänge des Laubnutzholzborkenkäfers *Trypodendron domesticum* in stehenden Buchen zu verfolgen. Neben frischen und abgeschlossenen Brutsystemen galt das Interesse insbesondere den vorzeitig abgebrochenen Brutversuchen. Daraus sollten Informationen zur zeitlichen Entwicklung der Holzqualität in den betroffenen Bäumen gewonnen werden.

Insgesamt wurden 26 Bohrgänge von *T. domesticum* von 11 stehenden und 2 liegenden Buchen aus Rheinland-Pfalz untersucht. Einbohrungen durch *T. domesticum* an stehenden vitalen Bäumen ohne Kambiumnekrosen können von den Bäumen nachhaltig gesund überwältigt werden. Nicht selten sind hier die Bohrgänge nur sehr kurz und das umgebende Holz ist nicht oder nur im Millimeterbereich verfärbt. Offensichtlich ist der Saftdruck mancher Bäume immer noch groß genug, um die Käfer bald wieder zum Verlassen der Bohrgänge zu zwingen. Vorzeitig verlassene Bohrgänge bleiben mikrobiologisch fast steril. Keime von *Phialophora fastigiata* bleiben auf die Bohrgänge beschränkt und verbreiten sich nicht im benachbarten Holz, vermutlich wegen der Sauerstoffarmut im saftführenden Holz. Damit bleibt das Holz frei von pilzlichen Beschädigungen.

Bei den Pilzen, die von den Käfern systematisch oder zufällig eingeschleppt werden, handelt es sich neben Ambrosiapilzen vor allem um *Ph. fastigiata*, einen Bläuepilz von geringer Virulenz. Es gibt keine Hinweise, dass Holzzerstörer durch die Käfer eingeschleppt werden. Vielmehr erscheinen diese erst nach Abschluss der Brut, oder sie dringen über unabhängig davon entstandene Rindennekrosen in das Holz ein. Nach erfolgreicher Brut ist innerhalb einer Vegetationsperiode eine weitgehende Entwertung des Holzes durch oxidativen Einlauf und holzzerstörende Pilze zu erwarten.

Schlüsselwörter: Buche, *Fagus sylvatica*, *Trypodendron domesticum*, Ambrosiapilze, holzzerstörende Pilze, Kompartimentierung

Fungal succession in boreholes of *Trypodendron domesticum* in standing beech trees

Summary

This study focussed on fresh and disused boreholes and breeding galleries as well as on prematurely abandoned boreholes of *Trypodendron domesticum* in standing European beech trees (*Fagus sylvatica*). The research was done in order to elucidate temporal changes of wood quality. A total of 26 boreholes or breeding galleries in 11 standing and in two cut trees from Rhineland-Palatinate were investigated.

Boreholes of *T. domesticum* penetrating bark without preformed cambium necroses can be healed sustainably. Some of these boreholes are very short, and the adjacent wood tissue is discoloured only within a few centimetres. Evidently the sap pressure of such trees is sufficient to force the boring beetles out of their boreholes. Such prematurely abandoned boreholes remain nearly sterile. Colony forming units of *Phialophora fastigiata* are limited to the borehole itself but do not invade the neighbouring tissue. This is probably due to the anoxic conditions in the fresh, i.e. water-filled wood. Thus the wood is void of fungal damage under these conditions.

Fungi being imported by the *T. domesticum* are ambrosia fungi as well as *Ph. fastigiata*, the latter being a blue-stain fungus of minor importance. There is no evidence that *T. domesticum* is responsible for the import of wood decaying fungi and classical ophiostomoid blue-stain fungi. In fact these appear only after the breeding process in the following year. Alternatively, they may gain entrance independently from boreholes through large bark necroses. After successful breeding, extensive depreciation of timber by oxidative discolouration and blue stain and by wood decaying fungi can be expected within a single vegetation period.

Keywords: European beech, *Fagus sylvatica*, *Trypodendron domesticum*, ambrosia fungi, wood decaying fungi, compartmentalization

Einleitung

Dieses Projekt knüpft an die mykologischen Untersuchungen zu Phloemnekrosen der Buche an (GRÜNER und METZLER, 2006), in deren Zusammenhang Stehendbefall durch *Trypodendron domesticum* (Laubnutzholzborkenkäfer) beobachtet wurde (SCHRÖTER 2001; PETERCORD, 2003; PARINI und PETERCORD, 2006). Die Untersuchung von GRÜNER und METZLER (2006) zeigt, dass Einbohrungen vor allem dort festzustellen sind, wo Phloemnekrosen infolge von *Nectria*-Infektionen vorhanden sind.

Mit der Untersuchung der Sukzession der Pilzbesiedelung und Holzveränderungen im Bereich von unterschiedlich alten und in vorzeitig verlassenen Bohrgängen soll die Kenntnis über den zeitlichen Verlauf der Gefährdung und der Holzwertung verbessert werden.

Material und Methoden

Von den bei -8°C eingefrorenen Proben aus dem Projekt „Rindennekrosen“ (GRÜNER und METZLER, 2006, Tab. 1a) wurden insgesamt 16 Stammholzproben mit Bohrgängen von *T. domesticum* von unterschiedlichen Probeflächen und Probenahmeterminen untersucht. In der zweiten Phase der Untersuchung wurden frisch im Frühjahr 2005 genommene Holzproben auf frisch angelegte Brutkammern und vorzeitig verlassene Bohr-

gängen untersucht (Tab. 1b). Zur mykologischen und histologischen Untersuchung wurde pro Holzprobe („Schwarte“) jeweils ein Bohrgang (in 2 Fällen 2 Bohrgänge) ausgewählt. Die Proben 206 – 209 nehmen eine Sonderstellung ein, da die entsprechenden Bäume bereits 16 Monate vorher eingeschlagen worden waren. Obwohl an stehenden Bäumen stammend waren die Schwarten 201, sowie 83 und 84 in einem vergleichbaren Zustand, da hier die Einbohrungen im Bereich von großflächigen Kambiumnekrosen angetroffen wurden; letztlich war hier ebenfalls Totholz besiedelt worden.

Zur Isolierung und Bestimmung der Pilze im Bereich der Bohrgangsysteme wurde jeweils die zu untersuchende Schwarte ca. 1 cm vom Kambium entfernt im Splintholz tangential gespalten. Unter sterilen Bedingungen wurde mit einem Korkbohrer je eine Rondelle direkt am Bohrgang (B) entnommen und jeweils eine Probe ca. 1 cm in waagrecht

Tab. 1a: Herkunft der untersuchten Rindenschwarten nach GRÜNER und METZLER (2006)

Tab. 1a: Origin of examined slabs from standing beech (from GRÜNER and METZLER 2006)

Datum Probenahme	Ort/Forstamt	Probebaum-Nr.	untersuchte Rindenschwarten
11.12.2003	Klink/FA Saarburg	1	5, 9
	Zerf/FA Saarburg	3	26, 30, 31, 33
20.04.2004	Klink/FA Saarburg	5	47
		9	71, 73
	Brandscheid I/FA Prüm	11	83, 84
09.09.2004	Brandscheid I/FA Prüm	12	92
		14	101
		16	113, 115, 117

(W) sowie senkrechter (S) Richtung vom Bohrgang entfernt. Wenn es möglich war, erfolgte entsprechend eine zweite Probenahme ca. 3 cm tiefer im Verlauf des Bohrgangs (BII). Die aufgespaltenen Bohrgänge wurden nach Probennahme fotografisch dokumentiert (Abb. 1).

Die Probenrondellen wurden auf SNA-Nähragar ausgelegt und nach 2 Wochen auf Pilzwachstum untersucht (METZLER, 1997). Für die lichtmikroskopischen Untersuchungen wurden von jedem Bohrgang Quer- oder Längsschnitte nach der Methode VON PECHMANN (1972) verwendet. Die Eingänge der Bohrlöcher wurden auf das Vorkommen von Überwallungsstrukturen untersucht und ggf. wurde anhand der Jahrringe der Zeitpunkt der Einbohrung datiert.

Ergebnisse

Da die Holzproben mit den Bohrgängen von *T. domesticum* zu verschiedenen Jahreszeiten entnommen worden waren, konnten unterschiedliche Entwicklungsstadien untersucht werden. Sie sind im Folgenden in entsprechenden Kapiteln zusammengefasst.

Bezüglich des Stehendbefalls ist festzuhalten, dass Einbohrungen in den Jahren 2004 und 2005 nur dort festgestellt wurden, wo die Rinde bereits seit längerer Zeit abgestorben war. Atypischer Stehendbefall, d.h. Einbohrungen an überwiegend vitaler Rinde, konnte nur in den Jahren 2001 – 2003 gefunden werden.

Insgesamt wurden 26 Bohrgänge aus 24 Schwarten untersucht. 76 Proben wurden daraus mikrobiologisch auf Pilzbefall untersucht. Von den 26 Proben direkt aus dem Bohrgang („B“) wurden 34 Pilzisolat aus 12 Arten isoliert. Drei Proben (11,5 %) aus

Tab. 1b: Herkunft der frischen Schwarten 200-209 (Probenahme Dr. Petercord)

Tab. 1b: Origin of fresh slabs (No. 200-209, sampling Dr. Petercord)

Probenahme	Ort	Baum Nr.	Schwarten-Nr.	Borkigkeitsstufe	Entnahmehöhe [m] am Stamm
9.5.2005	Klink/FA	40	200	2	1,5
			201	1	5,0
	Saarburg	163	202	0	9,0
			203	2	1,5
			204	3	1,7
17.5.2005 Einschlag: Winter 2004	Klink/FA	1	206	1	6,5
			207	1	5,0
	Saarburg	2	208	1	13,0
			209	1	13,0

diesem Bereich erwiesen sich als steril. In Faserichtung 1 cm entfernt davon („S“) enthielten die 25 Proben 23 Pilzisolat aus 15 Arten. 8 Proben enthielten zusätzlich Bakterien. 10 Proben aus diesem Bereich (40 %) waren vollständig steril. Die 25 Proben 1 cm quer zur Faserrichtung neben einem Bohrgang („W“) enthielten 9 Pilzisolat aus 6 Arten. 16 erwiesen sich als steril (64 %). Diese Ergebnisse sind tabellarisch in Tab. 2 aufgeführt. Insgesamt wurden aus diesem speziellen Habitat über 20 verschiedene Pilzarten registriert.

Vorzeitig verlassene Bohrgänge

9 der untersuchten 26 Bohrgänge waren bereits vor dem Anlegen von Brutsystemen von den Käfern wieder verlassen worden. Es gibt Einbohrungen, die schon, nachdem sie etwa 1-2 cm tief ins Splintholz eingebohrt waren, wieder verlassen wurden. Diese Einbohrungen sind mit ein bis zwei Jahrringen sekundären Dickenwachstums vollständig überwallt (Schwarten 101, 71a; Abb. 2, 3). In axialer Richtung ist das Splintholz um diese Bohrgänge herum spindelförmig hellbraun verfärbt. Im Zuge des Lufteinbruchs durch die Einbohrung kam es zur Oxidation phenolischer Verbindungen in den Zellen und die damit einhergehende Verthyllung der Gefäße. In den meisten Fällen umfasst die Ausdehnung der hellbraunen Spindel nur 0.5 x 2-3 cm um den Bohrungsquerschnitt (Abb. 1). Das Holz im Be-

reich dieser Einbohrungen ist noch ohne pilzlich bedingte Veränderungen. In Einzelfällen sind diese sehr kurzen Bohrgänge ganz ohne Verfärbung.

Die längeren (ca. 2 – 7 cm tiefen) vorzeitig verlassenen Einbohrungen zeigen eine größere braune Verfärbung (Einlauf), die aber tangential ebenfalls auf den Bereich des Bohrgangs begrenzt ist. Die Innenwände des Bohrgangs sind schwarz verfärbt. Die axiale Ausdehnung des Einlaufs kann zwischen 5 und 15 cm betragen (Abb. 5). Die untersuchten Bohrgänge waren von mehreren Jahrringen vollständig überwältigt (Abb. 3, 4).

Sechs dieser 9 vorzeitig verlassenen Bohrgänge enthielten Keime von *Phialophora fastigiata*, zwei enthielten *Acremonium curvulum*. In Faserrichtung

1 cm entfernt von diesen Bohrgängen waren 7 von 9 Proben steril, zwei enthielten *Ph. fastigiata*. Alle 9 W-Proben (1 cm quer zur Faserrichtung vom Bohrgang entfernt) waren vollkommen steril. Relativ weit entwickelt war der Bohrgang in Schwarte 26, bei dem schon der Versuch Brutkammern anzulegen gemacht worden war. Der Eingang war jedoch auch hier vollständig überwältigt, und es konnte nur *Ph. fastigiata* aus dem Bohrgang selbst isoliert werden. Querschnitte durch den Bohrgang zeigen intaktes Holz, keine zersetzten Zellwände (Abb. 5). In keinem Fall von vorzeitig verlassenen und überwältigten Einbohrungen wurden holzersetzen Pilze gefunden. Es waren auch keine aggressiven Bläuepilze (wie *Ophiostoma spp.*) vertreten.

Tab. 2: Absolute Häufigkeit der Pilzisolates aus dem Bereich von Bohrgängen bzw. Brutsystemen von *Trypodendron domesticum* in Buchenholz

Tab. 2: Abundance of fungal isolates from bore holes resp. breeding galleries of *Trypodendron domesticum*

Probenort	Stehendbefall Bohrgang vorzeitig abgebrochen			Stehendbefall Frisch eingebohrt noch ohne Brut			Liegendes Holz, frische Brut			Stehendbefall Käfer überwintert oder ausgeflogen			Summe			Gesamtsumme
	B	S	W	B	S	W	B	S	W	B	S	W	B	S	W	
Anzahl der Proben	14	13	13	4	4	4	10	10	10	12	11	11	40	38	38	116
davon steril	5	12	13	2	3	2	1	2	4	2	3	7	10	20	26	56
Potentielle Holzzerstörer																
<i>Bjerkandera adusta</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1
<i>cf. Sporotrichum sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1	0	5	1	0	5
nn. Basidiomycet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	2
Summe Holzzerstörer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	3	1	5	3	1	8
Bläuepilze																
<i>Ophiostoma sp.</i>	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	3
<i>Ophiostoma distortum</i>	0	0	0	0	0	1	1	2	1	0	1	0	1	3	2	6
<i>Phialophora fastigiata</i>	7	1	0	0	0	0	0	0	0	7	5	2	14	6	2	22
Summe Bläuepilze	7	1	0	0	0	1	4	2	1	7	6	2	18	9	4	31
Indifferente Pilze																
<i>Acremonium curvulum</i>	2	0	0	0	0	0	2	1	0	1	0	0	5	1	0	6
<i>Ambrosiella sp.</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1
<i>Cylindrocarpon sp.</i>	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	0	0	2	1	1	4
<i>Gliocladium roseum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1
<i>Stilbella fusca</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	2
sonstige	0	0	0	1	0	1	2	4	4	3	4	0	6	8	5	16
Summe Indifferente Pilze	2	0	0	1	0	1	7	6	5	6	5	0	16	11	6	30

Probenort: B: Bohrgang; S: 1 cm vom Bohrgang in Faserrichtung; W: 1 cm vom Bohrgang quer zur Faserrichtung

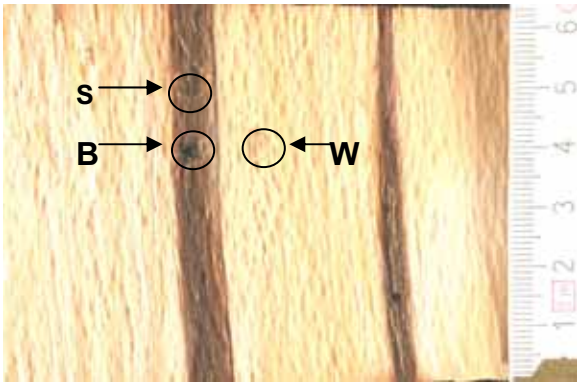


Abb. 1: Schwarte 200; Darstellung des Probenahmesystems: B: Probe vom Bohrloch, S: Probe 1 cm senkrecht darüber; W: Probe 1 cm waagerecht daneben

Fig. 1: Slab 200; Sampling scheme: Item from bore hole (B), Item 1cm from borehole fibre direction (S), and 1 cm cross fibre direction (W)

Abb. 2: Schwarte 71a; Bohrgang vollständig überwallt

Fig. 2: Slab 71a; bore hole completely closed with callus



Abb. 3: Schwarte 204: Radiale Ausdehnung von vorzeitig verlassenen und überwallten Bohrgängen

Fig. 3: Slab 204: Radial extension of prematurely left bore holes

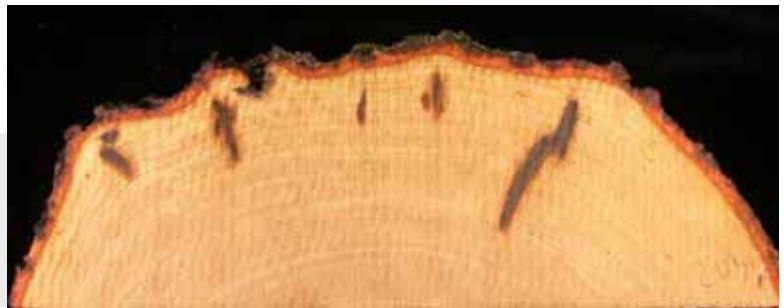


Abb. 4: Schwarte 200: axiale Ausdehnung der Verfärbungen um die Bohrlöcher

Fig. 4: Slab 200: Axial extension of oxidative wood discoloration beside bore holes

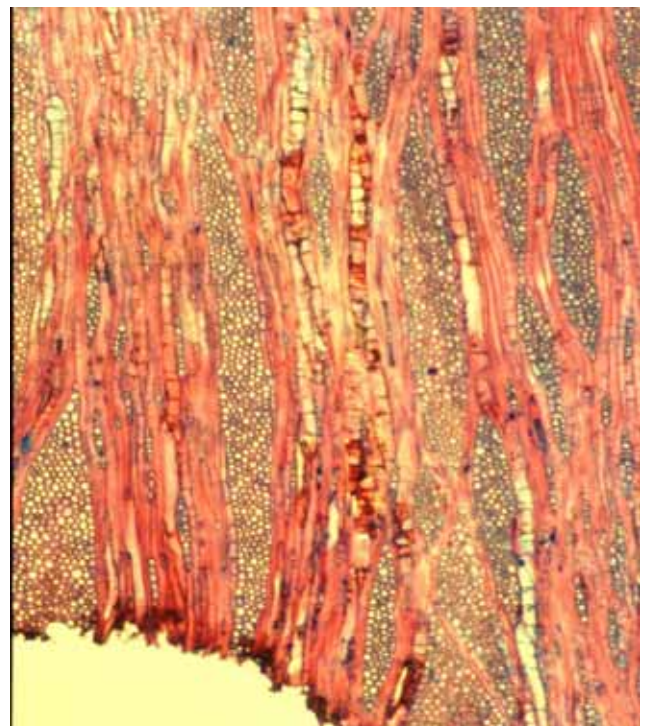


Abb. 5: Schwarte 101, Verthüllung der Gefäße, Holzstrukturen sind intakt

Fig. 5: Slab 101: Tyloses in vessels, wood structure untouched by fungal activity



Abb. 6: Schwarte 83; Einbohrung im Bereich einer großen Kambiumnekrose
 Fig. 6: Slab 83; Bore hole in area of a cambium necrosis



Abb. 7: Schwarte 208: Bohrgang mit Einischen
 Fig. 7: Slab 208: Bore hole with egg niches

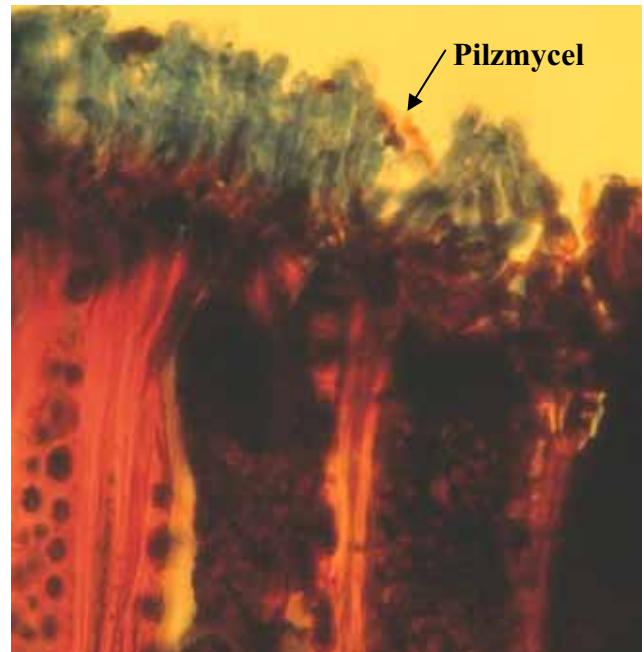


Abb. 8: Schwarte 201: Ambrosiarasen an der Innenwand des Bohrgangs
 Fig. 8: Slab 201: Ambrosia fungus on the inner surface of the bore hole

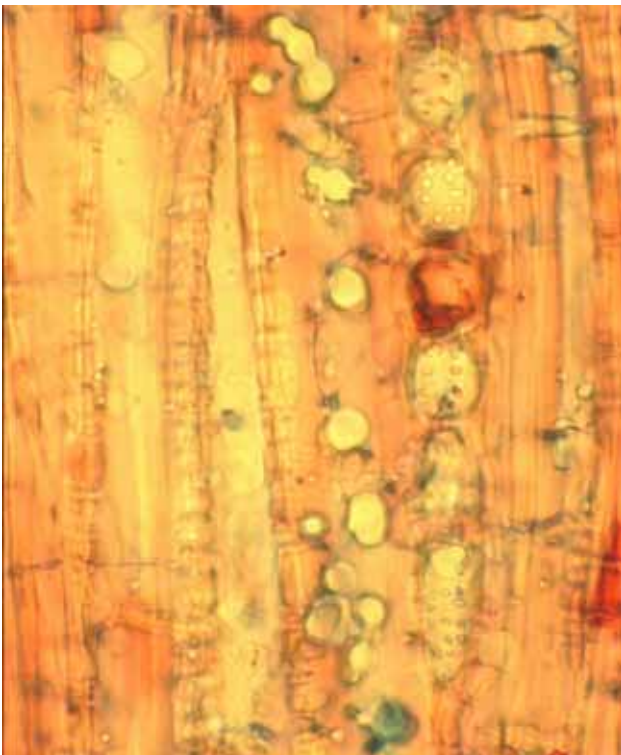


Abb. 10: Schwarte 5c, Auflösung der Zellwände durch Weißfäulepilze
 Fig. 10: Slab 5c; large holes in cell walls formed by white rot fungi



Abb. 9: Schwarte 5; Holz fleckig, mit großflächigem Einlauf und Verstockung
 Fig. 9: Slab 5; wood discolored from oxidation and from white rot fungi

Frisch angelegte Bohrgänge ohne Brutkammern

Die 2004 stehend befallenen und am 20.4.2004 beprobten Bäume wiesen großflächige Kambiumnekrosen auf (Schw. 83, 84, Abb. 6). Es waren Bohrgänge, jedoch noch keine Brutkammern angelegt. Abgestorbenes Kambium wurde auch an liegendem Holz vorgefunden, welches im Winter 2004 eingeschlagen und im Frühjahr 2005 beprobt worden war (Schwarte 209). Es handelt sich somit in allen drei Fällen nicht um Primärbefall.

Das Holz unmittelbar um die frischen Bohrungen war nicht oder nur sehr schwach verfärbt. In den Bohrgängen steckten ein, manchmal zwei Käfer. Die Innenwände der Bohrgänge waren noch hell. Die mykologische Untersuchung ergab aus dem Bohrgang selbst nur das Isolat eines unbekanntes Pilzes. Quer zur Faserrichtung (W) wurde der Bläuepilz *Ophiostoma distortum* gefunden.

Bohrgänge aus abgestorbenem Holz mit frisch angelegten Brutkammern und jungen Larven

In die Untersuchung wurden drei Bohrgänge von liegendem Holz sowie zwei von bereits stehend abgestorbenen Bäumen (Schwarten 201, 206-209) einbezogen, weil dieses Entwicklungsstadium der angelegten Brut an lebenden stehenden Bäumen nicht gefunden werden konnte.

Die Innenseiten dieser fertigen Bohrgänge sind dunkel verfärbt, nur das frisch gebohrte Ende (ca. 0,5-1 cm) erscheint noch hell (Abb. 7). Bei der dunklen Anlagerung im Bohrgang handelt es sich um die Ausscheidungen der Mutterkäfer (ölige Sekrete, evtl. auch Exkrementen), die von den Ambrosiapilzen als Substrat genutzt werden. Ebenso sind die mit Larven besetzten Kammern dunkel verfärbt, nur frisch angelegte Nischen erscheinen hell. Die Gefäße um den Bohrgang sind mit Hyphen durchsetzt. Das im Bohrgang der Schw. 201 wachsende weiße Pilzmycel konnte als Ambrosiapilz (*Ambrosiella sp.*) identifiziert werden (Abb. 8). In diesem Bohrgang waren keine weiteren Pilze nachweisbar. Die Abimpfung aus den anderen frisch angelegten Bohrgängen mit Brutkammern (Schw. 206-208) ergab *O. distortum* und eine weitere *Ophiostoma*-Art. Daneben *A. curvulum*, *Cylindro-*

carpon sp., *Fusarium sp.* und *Ascocoryne sp.* Es wurden keine Holzerstörer nachgewiesen.

Bohrgänge nach abgeschlossener Brut während der Überwinterung

Das Holz um die Bohrgänge herum ist durch Einlauf dunkel verfärbt, die Innenseiten der Bohrgänge sind dunkelbraun bis schwarz. Die Gefäße um den Bohrgang sind stark mit Hyphen durchsetzt (Schwarten 31; 117).

Dominierend in diesen Proben war *Ph. fastigiata*, die auch hier in allen Proben aus den Bohrgängen nachweisbar war. Daneben traten erstmalig zwei holzerstörende Basidiomyceten auf. Außerdem wurden auch *Stilbella fusca*, *Penicillium sp.*, sowie ein unbekanntes Mycel gefunden. Die Einbohrungen waren erfolgt, als das Kambium bereits nekrotisiert war. Am Bohrgang selbst wurden zusätzlich histologisch monilioide Zellketten gefunden, vermutlich Reste eines Ambrosia-Pilzes. Der Isolierungsversuch verlief hier jedoch negativ. Schwarte 5 zeigte zum Teil schon großflächige Weißfäule im Holz (Abb. 9), entsprechend sind in der Holzstruktur die Spuren von Abbauvorgängen zu erkennen (Abb. 10).

Bei den Bohrgängen der Schwarten 5 und 9 waren direkt an der Stelle der Einbohrung keine Kambiumnekrosen erkennbar. Bei diesen Bohrgängen sind am Kambium teilweise Überwallungsversuche erfolgt. Der Eingang zum Bohrgang wird von dem Mutterkäfer von Überwallungsstrukturen freigehalten. In den Bohrgängen wurden überwinternde Jungkäfer gefunden.

Alte verlassene Brutsysteme

Die Rinde dieser Proben ist meist seit längerem abgestorben. Das Holz um die untersuchten alten Brutsysteme ist meist großflächig fleckig verfärbt und es ist bereits Weißfäule erkennbar. Auch die histologische Untersuchung zeigt zum Teil starke Zersetzungsstrukturen in den Zellwänden des Holzes. Die verlassenen Bohrgangssysteme selbst erscheinen schwarz. Die Eingänge der Bohrlöcher sind nicht überwallt oder zeigen nur sehr reduzierte Überwallungsversuche.

Die meisten Isolate an Holzzerstörern kommen aus diesem Kollektiv. Es handelt sich um *Bjerkandera adusta* und um *Sporotrichum sp.* Die Probenahmen unmittelbar aus den Bohrgängen ergaben neben *Ph. fastigiata* auch *Penicillium sp.*, *A. curvulum* sowie *Gliocladium roseum*.

Diskussion

Die Frage der Vitalität des Kambiums zum Zeitpunkt der Einbohrung lässt sich klar daran ablesen, ob Überwallungsstrukturen gebildet werden oder nicht. Und das ist bei 12 gegen 4 Einbohrungen der Fall, bei denen eine Aussage dazu möglich ist. In einem Fall war sogar zu erkennen, dass die begonnene Überwallung offensichtlich vom brutpflegenden Käfer wieder aufgenagt wurde. Dies zeigt, dass *T. domesticum* zwar von Phloemnekrosen angelockt bzw. begünstigt wird, sich aber durchaus auch in grünes Kambium und saftfrisches Holz einbohren kann. Allerdings bleibt zu vermuten, dass der Einbohr- und Bruterfolg vom baumindividuellen physiologischen Zustand abhängt. Das vorzeitige Verlassen von Bohrgängen schon nach wenigen Millimetern oder Zentimetern dürfte mit austretendem Xylem- oder Phloemsaft zu tun haben, das die Käfer behindert und in Sauerstoffnot bringt. Genauso dürfte die Ansiedelung bzw. der Ausschluss von pilzlichen Keimen in den Bohrgängen beeinflusst werden. KÜHNHOLZ et al. (2001) beschreiben einige Faktoren, die eine physiologische Schwächung der Bäume oder deren Ausnutzung ermöglichen könnten.

Der Zustand des Holzes bei vorzeitig verlassenen Bohrgängen erscheint generell durchwegs vital und saftfrisch. Dieser scheinbare Primärbefall durch *T. domesticum* im gesunden Baum schädigt das Holz kaum. Bereits in unmittelbarer Nähe der Bohrgänge konnten kaum pilzliche Keime nachgewiesen werden. Die beiden harmlosen Pilzarten (*Ph. fastigiata* und *A. curvulum*), die als einzige in diesen Bohrgängen vorzufinden waren, konnten sich offensichtlich durch den weitgehenden Sauerstoffabschluss, durch die Saftführung des Holzes und die unmittelbar einsetzende Überwallung der Bohrgänge nicht weiterentwickeln, so dass das Holz weitge-

hend steril blieb. Interessant ist, dass in den vorzeitig verlassenen Gängen nicht einmal Ambrosiapilze gefunden werden konnten. Die Zellwände sind unverändert intakt. Das Holz um den abgebrochenen Bohrgang zeigt nur eine sehr lokal begrenzte Verfärbung durch Verthyllung. Die Verfärbung durch Einlauf bei längeren Bohrungen (2-7 cm) ist in axialer Ausdehnung etwas größer als bei nur kurzen Bohrversuchen. Bemerkenswert sind die Einbohrungen bei den Schwarten 200 (Baum 40) und 203, 204 (Baum 243), weil alle nach wenigen Zentimetern abgebrochen und mit etwa 4 Jahresringen gesund überwältigt worden waren, d.h. diese Bohrversuche stammten alle aus dem Frühjahr 2001. Es wurden keine neuen Einbohrungen aus dem Frühjahr 2005 von *T. domesticum* in diesen Schwarten gefunden; dies deutet darauf hin, dass diese Bäume nicht geschwächt waren.

Die mykologische Untersuchung ergibt folgende Reihenfolge der den Bohrgang besiedelnden Pilze: Im Bereich der vorzeitig abgebrochenen Bohrgänge sind nur wenige Keime von *Ph. fastigiata* festzustellen, die sich unter diesen Bedingungen nicht weiter im Holz vermehren können. In Bohrgängen mit Brutkammern und jungen Larven wurden hauptsächlich der Ambrosiapilz *Ambrosiella sp.* sowie Bläuepilze der Gattung *Ophiostoma* nachgewiesen. In den Brutsystemen, in denen sich überwinterte Jungkäfer befanden (Probenahme Sept. und Dez.) wurde kein Wachstum von Ambrosia- und klassischen Bläuepilzen mehr festgestellt, dafür regelmäßig *Ph. fastigiata* (hier relativ am häufigsten), außerdem verschiedene andere Pilze wie *Stilbella fusca*, *Sporotrichum sp.* und *Penicillium sp.* ZIMMERMANN (1973) fand den Ambrosiapilz ebenfalls ausschließlich bei Untersuchungen im Frühjahr, wenn die Brutsysteme aktiv sind.

Ähnlich sieht das Bild bei den Bohrgängen aus, die als alt und verlassen eingestuft wurden. Neben *Phialophora* wurde *Sporotrichum* häufiger isoliert; außerdem andere imperfekte Pilze und verschiedene Basidiomyceten. Die Basidiomyceten wurden allerdings ausschließlich aus den Proben im angrenzenden Holz isoliert. Wachstum von Bläuepilzen konnte dagegen nicht mehr nachgewiesen werden.

Aus den Proben unmittelbar aus dem Bohrgang wurden mit Abstand mehr Pilze isoliert als aus den Proben aus dem angrenzenden Holz. Die Käfer tragen die spezifischen Ambrosia-Pilze in ihren Mycangien in das Brutsystem hinein (FRANCKE-GROSMANN, 1966), ferner unspezifische Keime an ihrer ganzen Oberfläche. KIRSCHNER (1994) isolierte von einem adulten *T. domesticum* drei Pilzarten: *Gliocladium roseum*, *Stilbella fusca* und *Graphium penicilloides*, ein Bläuepilz. Auch Milben, die gelegentlich die Bohrgänge frequentieren, dürften passiv Keime in die Bohrgänge eintragen. Ferner sind durch den Luftzutritt in den Bohrgängen bessere Wachstumsbedingungen für die Mikroorganismen gegeben. Von hier aus ist auch die Ausbreitung der Organismen in Faserrichtung leichter als quer zur Faserrichtung.

Die Beobachtung, dass während der Entwicklung der Larven in ihren Gangsystemen keine holzeretzenden Pilze (Basidiomyceten) in den Proben aus den Bohrgängen nachgewiesen werden konnten, ist ein starkes Indiz dafür, dass die Holzzerstörer in der Regel nicht durch die Käfer eingeschleppt werden, sondern eher unabhängig davon über Kambiumnekrosen eindringen. Dies kann man auch den Schilderungen von ZYCHA (1960) entnehmen. Nach Abschluss der Brutpflege nimmt die pilzliche Aktivität im Holz zu. Gleichzeitig ist aber in diesen Pro-

ben das Wachstum der Ambrosiapilze nicht mehr nachweisbar.

Literatur

- FRANCKE-GROSMANN, H. (1966): Über Symbiosen von xylomycetophagen und phloeophagen Scolytoidea mit holzwohnenden Pilzen. *Material und Organismen* 1: 501-522.
- GRÜNER J. und METZLER, B. (2006): Nectria-Arten an Buchenrinde mit Phloemnekrosen. *Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz* Nr. 59/06, S. 129 - 138.
- KIRSCHNER, R. (1994): Mit Borkenkäfern assoziierte Pilze. Diplomarbeit Fak. Biologie, Uni. Tübingen, 148 S.
- KÜHNHOLZ, S.; BORDEN, J. H. und UZUNOVIC, A. (2001): Secondary ambrosia beetles in apparently healthy trees: Adaptions, potential causes and suggested research. *Integrated Pest Management Reviews* 6: 209-219.
- METZLER, B. (1997): Quantitative assessment of fungal colonization in Norway spruce after green pruning. *Eur. J. Forest Pathol.* 27: 1-27.
- PARINI, C. und PETERCORD, R. (2006): Der Laubnutzholzborkenkäfer *Trypodendron domesticum* L. als Schädling der Rotbuche. *Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz* Nr. 59/06, S. 63 - 78.
- PETERCORD, R. (2003): Schadtypenbeschreibung zur Buchenerkrankung in Rheinland Pfalz und Luxemburg, Interner Bericht.
- SCHRÖTER, H. (2001): ‚Belgische Buchenerkrankung‘ gibt Rätsel auf. *Holzzentralbl.* 127: 142.
- ZIMMERMANN, G. (1973): Die Pilzflora einiger im Holz lebender Borkenkäfer. *Material und Organismen* 8:2: 121-131.
- ZYCHA, H. (1960): Die kranken Buchen – Ursachen und Folgen. *Holz-Zentralblatt* 86: 2061-2063.

Autorenanschriften:

Dr. Berthold Metzler und Ulrike Hecht
 Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt
 Baden-Württemberg
 Abt. Waldschutz
 Wonnhaldestr. 4
 79100 Freiburg i. Brsg.
 Tel. 0761-4018-162
 Email: berthold.metzler@forst.bwl.de

Buchenholzmarkt und Buchenholzaufkommen im DeLux-Raum

Engels, J., Maier, T. und Seegmüller, S.

Zusammenfassung

Um Hinweise für eine Verbesserung des regionalen DeLux-Buchenholzmarktes bereitzustellen, wurde der Verkauf und der Verbleib des Buchenholzes von 1997 bis 2002 anhand von Produktions- und Kundenkonten aus Luxemburg, der Westeifel und dem Saar-Hunsrück analysiert. Darüberhinaus wurde eine Aufkommensprognose bis 2010 anhand der Forsteinrichtungswerke aus Westeifel und Saar-Hunsrück sowie einem Bestandesinventar in Verbindung mit dem üblichen Buchenwaldbau in Luxemburg aufgestellt.

Insgesamt haben die Forstbetriebe 1997 bis 2002 durchschnittlich fast 140.000 Efm_{o.R.} Buchenholz jährlich in der DeLux-Region produziert. Etwas mehr als ein Drittel davon war Stammholz. In der Vergangenheit kam das meiste Stammholz aus Luxemburg. Vor dem Hintergrund neuer Naturwaldreservate könnte das Stammholzaufkommen in Luxemburg in der näheren Zukunft fühlbar schrumpfen. Andererseits exportieren die Forstbetriebe beider Teilregionen immer mehr Buchenstammholz, weil sie es vor Ort nicht mehr absetzen können.

Während die luxemburgischen Forstbetriebe bisher das meiste Nichtstammholz aus der Region exportieren, setzen die Forstbetriebe der Westeifel und des Saar-Hunsrücks das meiste Nichtstammholz an Kleinkunden ab. Dies dürfte fühlbar zur regionalen Wertschöpfung in Westeifel und Saar-Hunsrück beitragen.

Schlüsselwörter: Buche, Holzmarkt, Aufkommen, Produktion, Verwendung, Verbleib, Import, Export, Prognose

Beech lumber market and supply prognosis for the DeLux-region

Summary

For a better regional DeLux-beech-lumber market, the sales and the destination of the 1997 to 2002 beech lumber were analysed. Furthermore, we set up a supply prognosis for the years to come.

In the years 1997 to 2002 there was an average DeLux-beech lumber production of annually nearly 140.000 m³. 1/3 of it was trunk wood. In the past, most of the trunk wood was from Luxembourg. Because of intended nature reserves there will be a substantial loss in beech trunk wood production during the next few years. The forest enterprises export more and more trunk wood without further processing.

The Westeifel and Saar-Hunsrück forest enterprises sell most of their non-trunk wood to local customers. This might contribute to the regional added value.

Keywords: European beech, wood market, appearance, production, use, destination, import, export, prognosis

Einleitung

In der jüngeren Vergangenheit hat sich Buchenrundholz stark verbilligt. So ist der Preis für Stammholz normaler Qualität seit 2000 um ca. 40 % zurückgegangen. Ansonsten fehlerfreies, rot-kerniges Stammholz wird als fehlerhaftes Holz gehandelt, dessen Erlöse in etwa denjenigen für Brennholz entsprechen (SEEGMÜLLER, 2004). Doch selbst zu diesen Preisen gelang es den rheinland-pfälzischen Forstbetrieben in den vergangenen Jahren nicht immer, den Nachhaltshiebsatz an Buchenholz zu realisieren (HEIDINGSFELD, mündl. Mitt., 2004).

Diese Situation wurde seit dem Jahr 2000 durch die neuen Käferschäden an Buchen auch in der DeLux-Region zusätzlich verschärft. Die neuen Schäden haben die Forstbetriebe und Holzkunden irritiert und den Holzabsatz erschwert (EUROPÄISCHE UNION DER SÄGEWERKE, 2001). Dies stellte die Wirtschaftlichkeit vieler Buchenbetriebe in Frage.

Eine solche Situation lässt es notwendig erscheinen, den regionalen Buchenholzmarkt zu beleben. Ziel ist, den Buchenholzabsatz nach Mengen und Preisen attraktiver zu machen. Eine Voraussetzung dazu ist die Kundenorientierung. Produkt, Preis- bzw. Konditionen- und Kommunikationspolitik sollen an den Kundenwünschen ausgerichtet werden (GRAMMEL, 1988). Dies setzt gründliche Marktinformationen voraus (KASTIN, 1995).

Um diese Hinweise bereitzustellen, analysiert der vorliegende Artikel den Buchenholzmarkt Luxemburgs, des Saar-Hunsrücks, Triers und der Westeifel. Er identifiziert Stärken und Schwächen verschiedener Produkte. Darauf aufbauend prognostiziert er das Buchenholzaufkommen in der DeLux-Region bis 2010. Die Prognose macht die Versorgungsmöglichkeiten mit heimischem Buchenholz deutlich und zeigt die Folgen des waldbaulichen Handelns auf. Der Ergebnisse werden für das Gesamtaufkommen, das Stammholz und das Nichtstammholz dargestellt.

Material und Methode

Alle Untersuchungen beziehen sich auf

das Großherzogtum Luxemburg, die kreisfreie Stadt Trier sowie die Landkreise Trier-Saarburg und Bitburg-Prüm (DeLux-Region). Dort stocken ca. 43.000 ha Buchenwälder. Davon wachsen jeweils etwa die Hälfte in der rheinland-pfälzischen und in der luxemburgischen Teilregion. Etwa zwei Drittel aller Buchenwälder sind öffentlich und ein Drittel ist privat (Tab. 1).

Marktanalyse

Um den regionalen Buchenholzmarkt an den Kundenwünschen zu orientieren ist es notwendig, seine Entwicklung in der jüngeren Vergangenheit zu charakterisieren. Zu diesem Zweck standen die anonymisierten Holzabsatzdaten zur Verfügung, die die Forstämter der Programmregion für ca. 80 % aller Buchenwälder pflegen. Die Statistiken berücksichtigen das Buchenholz aus dem selbstbeförsterten Privatwald nicht. Solchen Privatwald gibt es in Luxemburg auf etwa 7.750 ha und in der Westeifel und im Saar-Hunsrück auf 2.500 bis 3.000 ha. Eine Umfrage erlaubte einen Einblick in das Buchenholzaufkommen des selbstbeförsterten Privatwaldes der rheinland-pfälzischen Teilregion.

Die Holzabsatzdaten geben über das Aufkommen an Buchenholz nach Menge und Güte während der Jahre 1997 bis 2002 Festmeter-genau Aufschluss. Dies erlaubt, die Buchenholzproduktion nach Stammholz-/Nichtstammholz zu gliedern. Das Stammholz lässt sich in schwache und starke Sortimente unterteilen. Unter starkem Stammholz versteht der vorliegende Beitrag solches Holz, das mindestens der Handelsklassensortierungsstärkeklasse 4 angehört. Zum Nichtstammholz ge-

Tab. 1: Buchenwälder in der DeLux-Region

Tab. 1: Beech forests in the DeLux-region

Waldbesitzart	Luxemburg	Westeifel und Saar-Hunsrück	Summe
Staats- und Gemeindewald	12.800 ha	14.000 ha	26.800 ha
Privatwald	7.750 ha	8.600 ha	16.350 ha
Summe	20.650 ha	22.600 ha	43.150 ha

Die Flächenangaben wurden von der FAWF Rheinland-Pfalz zur Verfügung gestellt bzw. vom MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DE LA VITICULTURE ET DU DEVELOPPEMENT RURAL *et al.* (2003) veröffentlicht.

hören das lange Industrieholz und das Schichtholz. Demgegenüber wurden die unvermarkteten Holzsortimente wie das X-Holz und das nicht verwertbare Derbholz aus der Analyse ausgeschlossen.

Der Verbleib des Holzes wurde anhand der Kundenstatistik untersucht. Die Kundenstatistik erlaubt Aussagen über den Verbleib des Holzes nach Sorten und Mengen. Insbesondere macht sie deutlich, wieviel Buchenholz seine Kunden innerhalb bzw. außerhalb der DeLux-Region findet. Besondere Berücksichtigung fand dabei die Stammholzverarbeitung in Luxemburg, der Westeifel und dem Saar-Hunsrück. Weitere Hinweise dazu ließen sich einer schriftlichen und mündlichen Umfrage unter den Sägewerken des Untersuchungsgebietes entnehmen. Die Adressen der Sägewerke wurden den Kundenlisten der beteiligten Forstverwaltungen entnommen. Die Sägewerke wurden hinsichtlich ihrer technischen Eignung zur Buchenholzverarbeitung sowie zur Aufnahme von Buchenstammholz in der Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft analysiert. Als geeignet für die Bearbeitung von Buchenholz galten Sägewerke mit Gatterschnitt- oder Blockbandsägetechnik.

Aufkommensprognose

Die Aufkommensprognose wurde getrennt für die Westeifel und den Saar-Hunsrück sowie für Luxemburg angefertigt. Sie bezieht sich auf die Periode von 2005 bis 2010.

Für die rheinland-pfälzische Teilregion wurden die Forsteinrichtungsdaten der öffentlichen Wälder analysiert. Die Auswertung ging von der Feststellung aus, dass sich Forsteinrichtungsdaten größerer Flächen auch bei Verwendung von zum Teil älteren Daten nicht wesentlich ändern (EGIDI, mündl. Mitt., 2003).

Die Forsteinrichtungsdaten geben über die mittelfristigen Nutzungsmöglichkeiten an Buchenholz bestandesweise Auskunft. Außerdem lässt sich auf ihnen aufbauend die Stärkeklassenverteilung schätzen (Abb. 1 A). Die Ergebnisse wurden unter der Annahme ähnlicher natürlicher Waldstrukturen auf den Privatwald übertragen.

Das Buchenholzaufkommen aus den luxemburgischen Wäldern wurde ausgehend von Bestandesinventuren eines Teils der öffentlichen Wälder in Verbindung mit der üblichen waldbaulichen Behandlung der Buchenwälder im Großherzogtum der Menge und Stärkeklassenverteilung nach geschätzt (Abb. 1 B). Die übliche waldbauliche Behandlung sieht ein Qualifizierungs-/Dimensionierungskonzept nach WILHELM vor und geht ab dem Alter von 120 Jahren in die Bestandesverjüngung mit 40-jährigem Femelbetrieb über (BURSCHEL & HUSS, 1987; WILHELM *et al.*, 1999).

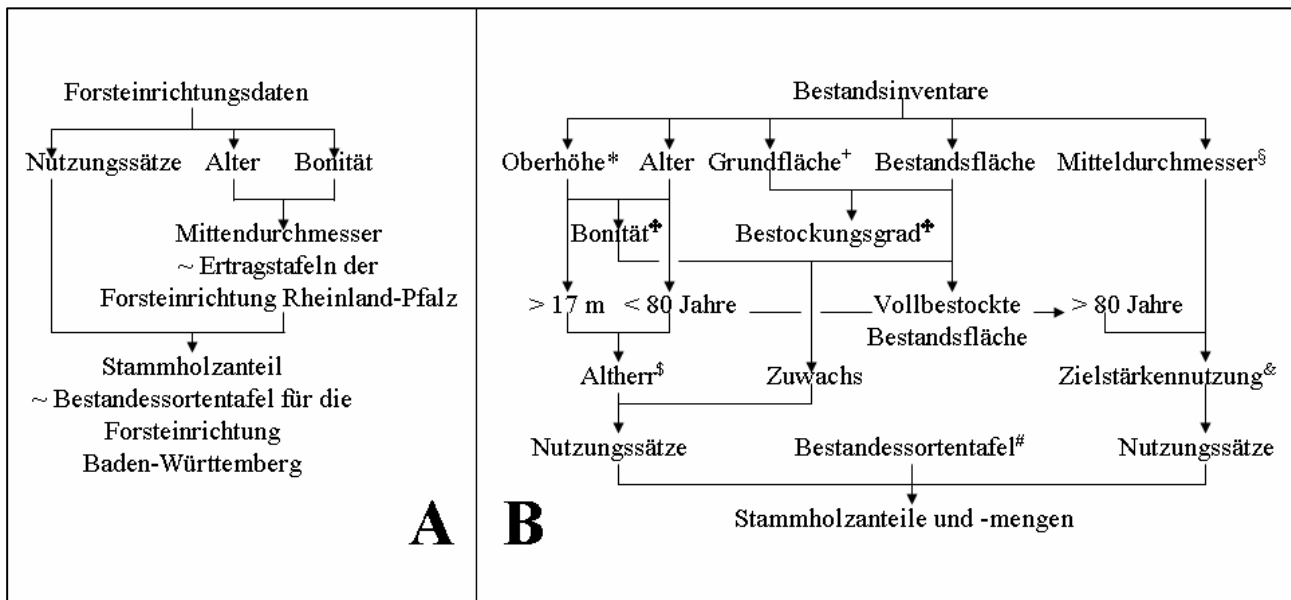
Die Buchenholzproduktion während der Qualifizierung und Dimensionierung wurde in Anhalt an KLÄDTKE (1997) mit Hilfe des einschlägigen k-Wertes aus rheinland-pfälzischen lichtwuchsdurchforsteten Buchenbeständen geschätzt. Der k-Wert bezeichnet den mittleren Durchmesser der Erntebäume im Verhältnis zu den verbleibenden. Das Holzaufkommen älterer Buchenbestände wurde mit Hilfe des Waldwachstumssimulators SILVA 2.2 (Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, Technische Universität München) geschätzt. Die Anteile an Nichtstammholz und Stammholz berücksichtigen, dass die luxemburgischen Forstbetriebe etwa zwei Drittel ihres schwachen Stammholzes als Nichtstammholz verkaufen (MAIER *et al.*, 2006).

Die Ergebnisse wurden unter der Annahme ähnlicher natürlicher Waldstrukturen sinngemäß auf den im Rahmen der Aufkommensprognose nicht betrachteten öffentlichen und auf den nicht inventarisierten privaten Wald übertragen. Bei allen Schätzungen wurde angenommen, dass ein Viertel des Totholzes in luxemburgischen Buchenbeständen nicht mehr genutzt wird und möglicherweise 9 % aller Buchenwälder bis 2010 unter Schutz gestellt sein könnten (HEINRICH *et al.*, 2002).

Ergebnisse und Diskussion

Gesamtaufkommen

Von 1997 bis 2002 produzierten die DeLux-Forstbetriebe durchschnittlich fast 140.000 ± 7.000 Efm_{o.R.}/a. Dieser Wert wird mit ca. 120.000 bis



* Oberhöhe: Durchschnittliche Höhe der 20 % höchsten Bäume eines Bestandes (m), + Grundfläche, Summe der Brusthöhen-Querschnittsflächen aller Bäume oder eines Teilkollektivs eines Bestandes (m² / ha), § Mitteldurchmesser: Durchmesser des Grundflächenmittelstamms (cm), § entsprechend den Hilfstafeln für die Forsteinrichtung (MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, WEINBAU UND FORSTEN, 1980), § ALTHERR: Lichtwuchsdurchforstung nach ALTHERR (1981), & Zielstärke = 45 cm, # Bestandessortentafel der Hilfstabellen für die Forsteinrichtung (MINISTERIUM FÜR LÄNDLICHEN RAUM, ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN BADEN-WÜRTTEMBERG, 1993)

Abb. 1: Ablaufschemata für die Buchenholzaufkommensprognosen in der Westeifel und im Saar-Hunsrück (A) sowie in Luxemburg (B)

Fig. 1: Flowcharts for the prognoses of beech lumber supply in Westeifel and Saar-Hunsrück regions (A) and in Luxembourg (B)

133.000 Efm_{o.R.} / a in der näheren Zukunft nur geringfügig tiefer liegen. Im Vergleich dazu rechnen BADERSCHNEIDER & BÖCKMANN (2004) bis 2014 mit einem jährlichen Buchenholzaufkommen von lediglich 55.000 Efm_{o.R.} aus dem niedersächsischen Teil des Harzes. Offensichtlich bleibt die DeLux-Programmregion wie schon in der jüngeren Vergangenheit ein ergiebiger Produktionsstandort für Buchenholz.

Noch 1997 bis 2002 stammten fast 60 % des Buchenholzes aus Luxemburg. Dieser Anteil könnte unter dem Einfluss der in Zukunft angestrebten Waldbauausrichtung in Luxemburg auf 50 % und bei zusätzlichen Naturwaldreservaten auf 43 % zurückgehen (Abb. 2 A). Dies lässt sich darauf zurückführen, dass das luxemburgische Naturwaldreservatskonzept vorsieht, vor allem viele ertragreiche Altbestände aus der Bewirtschaftung herauszunehmen (BURSCHEL & HUSS, 1987; HEINRICH *et al.*, 2002).

Die Stammholzanteile werden sich in der DeLux-Region nicht wesentlich ändern. Wie in der jüngeren Vergangenheit werden sie auch in der nächsten

Zukunft bei etwas über einem Drittel des Rohholzaufkommens liegen (Abb. 2 B). Eine solche Sortenzusammensetzung ist für eine Buchenbetriebsklasse mit ausgeglichenem Altersklassenverhältnis typisch (GEROLD & BIEHL, 1992). Dies deutet darauf hin, dass die Region auch längerfristig eine breite Palette an Buchenrohholzprodukten liefern können.

Stammholz

Von 1997 bis 2002 produzierten die Forstbetriebe der DeLux-Region jährlich fast 34.000 ± 2.300 Efm_{o.R.} Buchenstammholz. Auch in den kommenden Jahren werden die DeLux-Forstbetriebe ähnlich viel Buchenstammholz vermarkten können (Abb. 2 B). Allerdings wird der Starkholzanteil davon voraussichtlich um ein bis zwei Drittel abnehmen.

So werden die Forstbetriebe in der Westeifel und im Saar-Hunsrück in der nahen Zukunft jährlich statt über 11.000 ± 3.500 Efm_{o.R.} wie in der Zeit von 1997 bis 2002 möglicherweise weniger als 2.000 Efm_{o.R.} an Starkholz vermarkten können. (Abb. 3). Dies steht im Widerspruch zur rheinland-pfalzweiten Bundeswaldinventur 2-Prognose, die

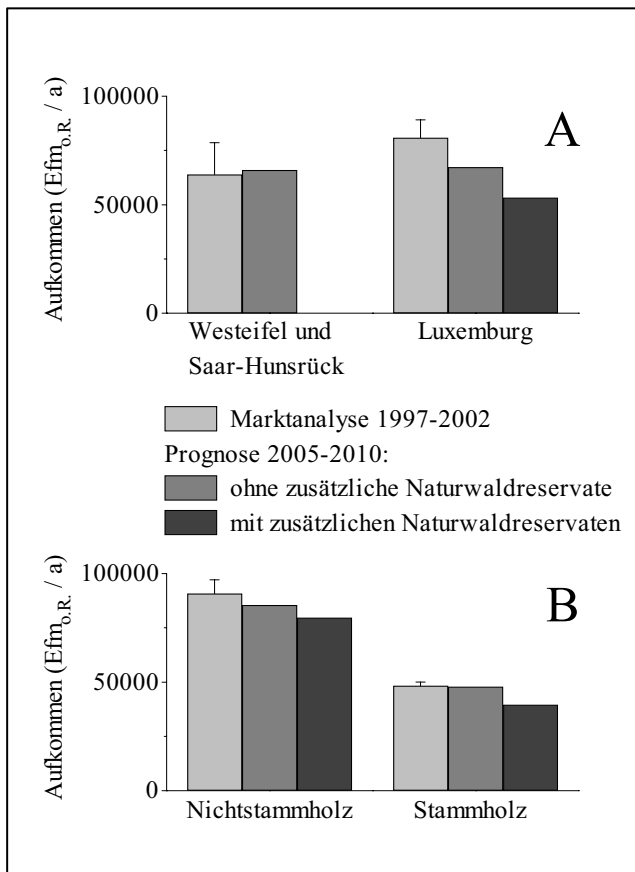


Abb. 2: Buchenholz-Gesamtaufkommen nach DeLux-Teilregionen (A) und Holzaufteilung (B)
 Fig. 2: Beech lumber total appearance in the parts of the DeLux-region (A) and appearance of trunk wood and non-trunk wood beech lumber (B)

Die Marktanalyse 1997 bis 2002 zeigte keinen Trend. Deshalb lässt sich das Holzaufkommen dieser Periode mit Mittelwert und Standardabweichung darstellen. Die Prognose der Jahre 2005 bis 2010 berücksichtigt den Willen der luxemburgischen Legislative, Naturwaldreservate auszuweisen

voraussagt, dass die Nutzungsmöglichkeiten für Buchenstarkholz in der Zeit von 2008 bis 2012 gegenüber heute (2003 bis 2007) um 7 % zunehmen werden (BUNDESMINISTERIUM FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT, 2006).

Auch in Luxemburg könnte das Starkholzaufkommen unter Umständen um bis zur Hälfte von jährlich 22.500 ± 2.000 Efm_{0,R} in der Zeit von 1997 bis 2002 auf 11.700 Efm_{0,R} in der nächsten Zukunft absinken (Abb. 3). Ursache hierfür ist vor allem, dass das luxemburgische Naturwaldreservatskonzept vor allem starkholzreiche Altbestände betreffen wird (HEINRICH *et al.*, 2002).

Die Forstbetriebe setzten ihr Stammholz in der luxemburgischen Teilregion während der Analyseperiode von 1997 bis 2002 zu etwa der Hälfte und in

der rheinland-pfälzischen zu lediglich einem Drittel an Kunden in der Region ab. Den Rest exportierten sie (Tab. 2). Sofern sie in Zukunft eher schwaches als starkes Stammholz produzieren (s.o.), könnte der Export in Zukunft erschwert sein, weil er vor allem wertvolles, starkes Buchenholz erfasst (Unbekannt, 2003).

In der Westeifel und im Hunsrück verkauften die Forstbetriebe noch 1997 fast 70 % des regional vermarkteten Buchenstammholzes an örtliche Sägewerke. Dieser Anteil ist bis 2002 auf 40 % gesunken (Abb. 4). Damit übereinstimmend ergab die Umfrage unter den Sägewerken der DeLux-Region, dass alleine in der Westeifel und im Saar-Hunsrück 11 Unternehmen in der mittleren bis jüngeren Vergangenheit vor 2003 Buchenholz verarbeitet haben. Nach 2003 haben nur noch 2 Unternehmen Buchenholz abgenommen.

In der DeLux-Region entstand 2002 aus dem regionalen Buchenstammholz bei etwa 60 %iger Ausbeute ca. $0,6 \text{ m}^3$ Buchenschnittholz je 100 Einwohner. Im Vergleich dazu haben die deutschen Buchenschnittholzproduzenten etwa doppelt soviel und die französischen zehn mal soviel Buchenschnittholz für die Bevölkerung hergestellt (KREYER, 1997). Andererseits bauen große überre-

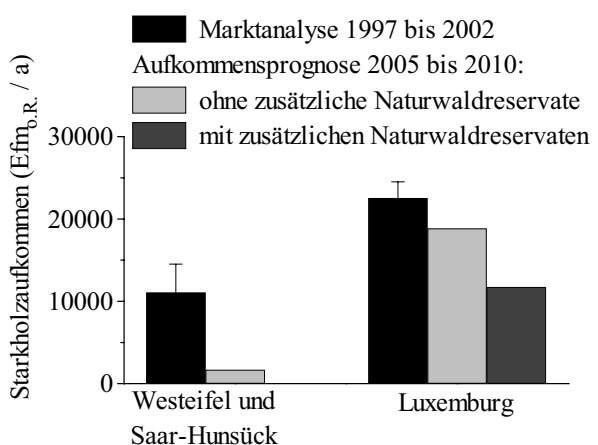


Abb. 3: Starkholzaufkommen in der DeLux-Region
 Fig. 3: Thick lumber appearance in the DeLux-region

Das Starkholzaufkommen der Periode von 1997 bis 2002 unterlag keinem Trend, so dass es sich als Mittelwert \pm Standardabweichung darstellen ließ. Die Prognose für Luxemburg berücksichtigt die Möglichkeit, neue Naturwaldreservate bis 2010 auszuweisen

Tab. 2: Verbleib des Stammholzaufkommens aus der Analysezeit von 1997 bis 2002

Tab. 2: Trunk wood destinations in the years 1997 to 2002

Verarbeitung	Luxemburg	Westeifel und Saar-Hunsrück	DeLux
Innerhalb der Region	84.524 Efm _{o.R.}	42.448 Efm _{o.R.}	126.972 Efm _{o.R.}
Außerhalb der Region	88.756 Efm _{o.R.}	70.818 Efm _{o.R.}	159.574 Efm _{o.R.}
Unbekannt	4.529 Efm _{o.R.}	3.223 Efm _{o.R.}	7.752 Efm _{o.R.}
Summe	177.809 Efm _{o.R.}	116.489 Efm _{o.R.}	294.298 Efm _{o.R.}

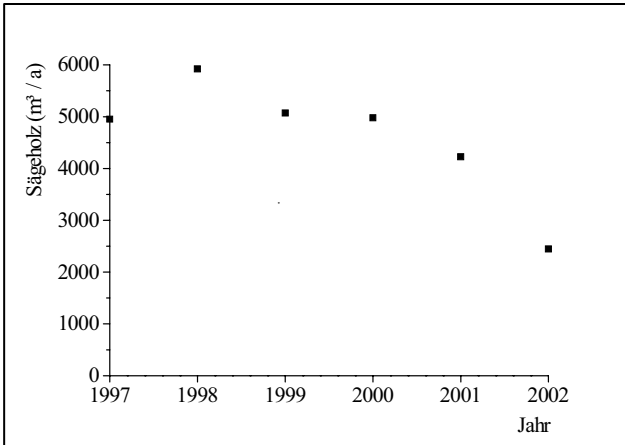


Abb. 4: Verkauf von Buchenstammholz aus der rheinland-pfälzischen Programregion an Sägewerke in der DeLux-Region

Fig. 4: Beech trunk wood sales from the rhenish-palatine part of the DeLux-region to regional sawmills.

Die Verkaufsdaten wurden dem rheinland-pfälzischen Kundenkonto der Jahre 1997-2002 entnommen

gionale Buchensägewerke ihre Verarbeitungskapazitäten außerhalb der Region aus (POLLMEIER, 2006). Im Vergleich dazu verarbeiteten 2001/2002 die kleinen und mittelständigen Sägewerke Oberfrankens nach wie vor ca. 90 % des regionalen Stammholzes vor Ort (BRUCKNER & STROHMEIER, 2003).

Vor diesem Hintergrund wäre es für eine verstärkte regionale Wertschöpfung wünschenswert, wenn mehr Buchenstammholz in der Region verarbeitet würde. Voraussetzung hierfür wären konkurrenzfähige Marktketten für Buchenholzprodukte. Solche Marktketten müssten vom Produktwert am Endkundenmarkt ausgehen (SCHANZ, 2006). Allerdings ist bisher kaum bekannt, ob sich solche Konzepte in einer regionalen Forst- und Holzwirtschaft etablieren lassen.

Nichtstammholz

In der Periode von 1997 bis 2002 produzierten die

Forstbetriebe der DeLux-Region jährlich fast 91.000 ± 6.500 Efm_{o.R.} Nichtstammholz aus Buche. Der Prognose zufolge wird dieses Aufkommen in den kommenden Jahren voraussichtlich um ca. 10 % zurückgehen. Die Einbußen betreffen vor allem die luxemburgischen Forstbetriebe und dürften mit dem angestrebten Waldbau zusammenhängen, der weniger schwache Sortimente hervorbringt (Abb. 5, WILHELM *et al.*, 1999).

Die Produzenten exportierten in der Periode von 1997 bis 2002 fast 40 % des Nichtstammholzes ohne weitere Bearbeitung aus der DeLux-Region. Vor allem die luxemburgischen Forstbetriebe verkauften ihr Nichtstammholz nahezu vollständig an wenige Industrieholzkunden (Abb. 6). Im Gegensatz dazu haben die Forstbetriebe in der Westeifel und im Saar-Hunsrück das meiste Nichtstammholz als Energieholz an örtliche Kleinkunden abgesetzt (Abb. 6).

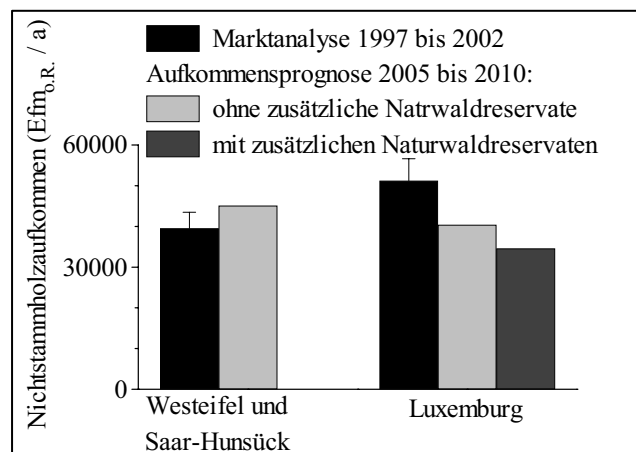


Abb. 5: Nichtstammholzaufkommen in der DeLux-Region

Fig. 5: Non-trunk wood appearance in the DeLux-region

Das Industrieholzaufkommen der Periode von 1997 bis 2002 unterlag keinem Trend, so dass es sich als Mittelwert \pm Standardabweichung darstellen ließ. Die Prognose für Luxemburg berücksichtigt die Möglichkeit, neue Naturwaldreservate bis 2010 auszuweisen

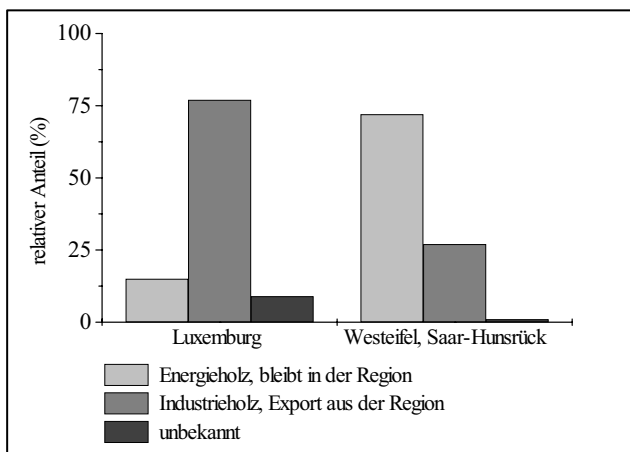


Abb. 6: Verbleib von Nichtstammholz aus der DeLux-Region

Fig. 6: Non-trunk wood destinations in the DeLux-region

Der Nichtstammholzverbleib wurde anhand der Kundenkontos untersucht. Beim Absatz an Kleinkunden, Eigentümer und Privatkunden wurde die Verwendung als Energieholz in der Region unterstellt

In der INTERREG III A-, wenn auch nicht in der DeLux-Region gibt es zwar ein Unternehmen, das Nichtstammholz als Industrieholz verarbeitet (für Luxemburg: ENGELS, mündl. Mitt.; für Westeifel und Saar-Hunsrück: MANTAU *et al.*, 2003). Wie sich besonders für die Westeifel und den Saar-Hunsrück gezeigt hat, binden sich Industrieholzkunden jedoch nicht an ihre Lieferanten (ENGELS & MAIER, 2002). Dies erschwert die operationale Planung in Forstbetrieben, die Buchenholz produzieren.

Andererseits vermarkten die Forstbetriebe in der Westeifel und im Hunsrück solches Holz zu erheblichen Anteilen auch an lokale Kleinabnehmer. Die Kleinabnehmer verwenden das Buchenholz hauptsächlich als Energiequelle. Das Energieholz verbleibt in der Region und trägt zur Wertschöpfung bei (BRUCKNER & STROHMEIER, 2003). So geht beispielsweise das Schweizerische Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft davon aus, dass bei der Holzenergie 60 % der Ausgaben für Erdöl als regionale Wertschöpfung im Land bleiben (KREIENMEIER, 2004). Dies hat in Österreich bereits ca. 50.000 Arbeitsplätze geschaffen. In den deutschen Ländern könnten darüber hinaus weitere 70.000 Arbeitsplätze entstehen, wenn der Biomasseanteil an der Heizenergie von 3,3 % (Stand 2004)

auf 7 % steigt (KREIENMEIER, 2004).

Vor diesem Hintergrund wäre es regional wirtschaftlich wünschenswert, geringwertiges Buchenholz in Zukunft noch stärker zur Energieversorgung heranzuziehen. Hilfreich auf dem Weg dorthin könnten Biomassehöfe sein. Biomassehöfe sammeln, sortieren, trocknen und vermarkten vor allem holzige Biomassen zu Heizzwecken (SIMSEN & PESTER, 2006; STEFFEN, 2006).

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei Herrn Fritz Speer vom Ministerium für Umwelt und Forsten (heute: Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz), Herrn Peter Anton Mayer von der Zentralstelle der Forstverwaltung in Rheinland-Pfalz sowie Herrn Jean-Pierre Arend und Herrn Claude Parini von der Administration des Eaux et Forêts in Luxemburg für die Bereitstellung der Daten. Desweiteren bedanken wir uns bei Herrn Wolfgang Koch von der Außenstelle Forsteinrichtung der Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd für die Bereitstellung der Forsteinrichtungsdaten.

Literatur

- ALTHERR, E. (1981): Erfahrungen bei der Anwendung quantifizierter Durchforstungshilfen in Buchenbeständen. Allgemeine Forstzeitschrift 36: S. 552-554.
- BADERSCHNEIDER, A. und BÖCKELMANN, T. (2004): Holzaufkommen im niedersächsischen Teil des Harzes. Holz-Zentralblatt 130: S. 1329-1330.
- BRUCKNER, G. und STROHMEIER, P. (2003): Holz der kurzen Wege - Wunsch und Wirklichkeit. Holz-Zentralblatt 129: S. 975, 981.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, ERNÄHRUNG und LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.) (2006): Bundeswaldinventur². <http://www.bundeswaldinventur.de> Internet, 03.03.2006.
- BURSHEL, P. und HUSS, J. (1987): Grundriß des Waldbaus. Hamurg und Berlin: Verlag Paul Parey. 351 S.
- ENGELS, J. und MAIER, T. (2002): Bericht der regionalen Buchenmarktstudie im Rahmen des Buchen-Interreg III A Projektes der Länder Luxemburg und Rheinland-Pfalz. - Teil 1 -. Trippstadt: Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft. 44 S.
- EUROPÄISCHE UNION DER SÄGEWERKE (2001): Note on the belgian wood market. Brüssel: Europäische Union der Sägewerke. 1 S.
- GEROLD, D. und BIEHL, R. (1992): Vergleich zwischen Buchenplenterwald und Buchenbetriebsklasse. Allgemeine Forstzeitschrift 47: S. 91-94.

- GRAMMEL, R. (1988): Forstbenutzung. Hamburg und Berlin: Verlag Paul Parey. 195 S.
- HEINRICH, C.; JUNCK, C.; TAKLA, M. und SOWA F. (2002): Naturwaldkonzept für Luxemburg - Das vorgeschlagene Schutzgebietsnetz. Olm: Biologesch Statioun Westen. 228 S.
- KASTIN, K. (1995): Marktforschung mit einfachen Mitteln. München: Verlag C. H. Beck. 395 S.
- KLÄDTKE,, J. (1997): Buchen-Lichtwuchsdurchforstung. Allgemeine Forstzeitschrift / Der Wald 52: S. 1019-1023.
- KREIENMEIER, U. (2004): Energetische Biomassenutzung in Kommunen - ein Chance für die Zukunft? Gemeinde und Stadt 3/2004: S. 70-73.
- KREYER, D. (1997): Entwicklung des Laubschnittholzmarktes und seiner Absatzpotentiale (Folgemärkte). Diplomarbeit an der Universität Hamburg. Hamburg: Ordinariat für Weltforstwirtschaft. 89 S. + 3 Anhänge.
- MAIER, T., ENGELS, J., SEEGMÜLLER, S. (2006): Bericht regionale Buchenmarktstudie im Rahmen der Buchen-Interreg III A-Projekts der Länder Luxemburg und Rheinland-Pfalz –Teil 2 –. Trippstadt: Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft. 39 S.
- MANTAU, U.; WIERLING, R. und WEIMAR, H. (2003): Holzwerkstoffindustrie in Deutschland. Holz-Zentralblatt 129: S. 231, 234.
- MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DE LA VITICULTURE ET DU DEVELOPPEMENT RURAL, ADMINISTRATION DES EAUX ET FORÊTS und FACULTÉ UNIVERSITAIRE DES SCIENCES AGRONOMIQUES DE GEMBOUX (Hrsg.) (2003) : La Forêt luxembourgeoise en chiffres. Résultats de l'Inventaire forestier national au Grand-Duché de Luxembourg 1998-2000. Luxembourg : Administration des Eaux et Forêts, Service de l'Aménagement des Bois et de l'Economie Forestière. 210 S.
- MINISTERIUM FÜR LÄNDLICHEN RAUM, ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.) (1993): Hilfstabellen für die Forsteinrichtung. Stuttgart: Ministerium für ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. 188 S.
- MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, WEINBAU UND FORSTEN RHEINLAND-PFALZ (Hrsg.) (1980): Hilfstafeln für die Forsteinrichtung (zur FA 72). Grünstadt: Druck und Verlag Emil Sommer. 255 S.
- POLLMEIER, R. (2006): „Pollmeier-Buche“ - Notwendigkeit und Nutzen der Markenbildung in der Holzwirtschaft. Vortrag auf dem 26. Freiburger Winterkolloquium „Vom Holzverkaufsreferenten zum Key Account Manager“ am 26./27.01.2006 in Freiburg.
- SEEGMÜLLER, S. (2004): Werterhaltung und Werterhöhung von Buchenholz. In: FORSCHUNGSANSTALT FÜR WALDÖKOLOGIE UND FORSTWIRTSCHAFT (Hrsg.): Aktuelle Versuchsergebnisse für die forstliche Praxis. Trippstadt: Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft. 63 S.
- UNBEKANNT (2003): Exporte von Buchenrohholz steigen geringfügig. HolzJournal 36: S. 2.
- WILHELM, G.-J.; LETTER, H.-A. und EDER, W. (1999): Zielsetzungen und waldbauliche Prinzipien. Allgemeine Forstzeitschrift / Der Wald 54: S. 232-233.

Autorenanschriften:

Dr. Julia Engels
ARBOR Inform
2, rue de cimetiére, L-7313 Heisdorf
Email: engels@pt.lu

Thomas Maier
Woodpacker
Am Kreuzsteinacker 2, D-79117 Freiburg
Email: info@wood-packer.de

Dr. Stefan Seegmüller
Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft
Rheinland-Pfalz
Hauptstr. 16, D-67705 Trippstadt
Email: stefan.seegmüller@wald-rlp.de

Untersuchungen zu Ursachen der Fleckenbildung in Buchenhölzern an rheinland-pfälzischen und saarländischen Standorten

Kubiniok, J. und Gerber, C.

Zusammenfassung

Waldstandorte unterliegen durch ihre Einbindung in atmosphärische Stoffkreisläufe, die heute überwiegend anthropogen geprägt sind, starken Veränderungen. Die von außen eingetragenen Nähr- und Schadstofffrachten, die z.T. weit über der ökosystemaren Belastungsgrenze liegen, führen auf der einen Seite zu einer fortgesetzten Versauerung (Auswaschung essentieller Nährstoffe: Ca, Mg, K) und Eutrophierung der Waldböden, auf der anderen Seite kommt es zu Nährstoffungleichgewichten in den Beständen. Waldstandorte sind somit nicht mehr länger als statisch anzusehen, sie unterliegen vielmehr einer Dynamik, die die Stabilität, Produktivität und planmäßige forstliche Nutzung mehr und mehr beeinträchtigt und z.T. auch in Frage stellt.

In den letzten Jahren fielen beim Bucheneinschlag im Stammholz im Saarland verstärkt rötlich-braune bis schwarze Flecken auf, die zu erheblichen wirtschaftlichen Problemen bei der Holzvermarktung (Wertholz/Furnierholz) führten. Diese Entwicklung ist mit zunehmender Tendenz, neben anderen Bundesländern sowohl im Saarland als auch im angrenzenden Rheinland-Pfalz festzustellen. Im Rahmen eines von der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz (FAWF Trippstadt) finanziell geförderten Forschungsprojektes der Physischen Geographie an der Universität des Saarlandes konnte nachgewiesen werden, dass in den braunen Flecken stark erhöhte Mangangehalte im Vergleich zum nicht verfärbten Holz vorliegen, die als verfärbende Ursache der Flecken anzusehen sind. Gleichzeitig ergaben sich deutliche Hinweise auf eine Abhängigkeit zwischen dem Auftreten von rötlich-braunen Flecken im Stammholz der Buche und dem Versauerungszustand des Waldbodens.

Schlüsselwörter: Buche, *Fagus sylvatica*, Manganflecken, Buchenstammholz, Bodenversauerung, Saarland, Rheinland-Pfalz

Investigations of reddish-brown coloured spots in trunk wood of European beech (*Fagus sylvatica* L.)

Summary

Forest ecosystems are subject to detrimental alterations in consequence of being imbedded in chemical substance cycles of the atmosphere. Atmospheric deposition of nutrients and pollutants with loads that in part reach far beyond the critical ecosystem limit, lead to continual acidification (leaching of essential nutrients Ca, Mg and K) and eutrophication of the forest soils. At the same time this induces nutrient imbalances in the forest stands. Forest ecosystems cannot be considered any longer as a static system. They are rather subject to dynamics which challenge and impair its stability, productivity and silvicultural utilization increasingly. Within the past few years, more and more reddish-brown to black spots have been identified in the stem wood of beech trees harvested in the Saarland region and posing considerable economic problems to the marketing of the wood (value wood/veneer wood). Besides other Federal German states, this development can be observed both in the Saarland and in the adjacent Rhineland-Palatinate at an increasingly negative trend. Within the scope of a research project sponsored by the Research Institute for Forest Ecology and Forestry of Rhineland-Palatinate (FAWF Trippstadt), the department of Physical Geography at the

Saarland University was able to provide evidence that these brownish spots are caused by increased manganese concentrations. These were detected in the discoloured spots as compared to stem wood being not discoloured. Clear indications of a dependency between the appearance of reddish-brown spots in stem wood of beech trees and the state of acidification of the forest soils resulted from this study, too.

Keywords: European beech, *Fagus sylvatica*, manganese spots, stem wood, soil acidification, Saarland, Rhineland-Palatinate

Zielsetzung der Untersuchungen

In den letzten Jahren fielen im Saarland beim Bucheneinschlag im Stammholz verstärkt rötlich-braune bis schwarze Flecken auf, die zu erheblichen wirtschaftlichen Problemen bei der Holzvermarktung (Wertholz/Furnierholz) führen. Diese Entwicklung ist mit zunehmender Tendenz, neben anderen Bundesländern sowohl im Saarland als auch im angrenzenden Rheinland-Pfalz festzustellen.

Nachdem das forstbotanische Institut der Universität Freiburg organische Gründe (echte Markflecken, abgetötete Zellen, Fraßspuren o. ä.) für das Entstehen der rot-braunen Punkte im Stammholz von *Fagus sylvatica* ausschließen konnte (schriftl. Mittl. Prof. Dr. S. Fink., Inst. für Forstbotanik, Universität Freiburg 15.05.03), war es im Hinblick auf zu entwickelnde pragmatische Schutzkonzepte Ziel der Untersuchungen herauszufinden, ob anorganische Prozesse die Verfärbungen im Buchenholz verursachen und welche Umweltkompartimente an diesen Vorgängen beteiligt sind.

Ausgangspunkt der Studien ist die Arbeitshypothese, dass es sich bei den Flecken um durch Mangananreicherungen verursachte Verfärbungen (braunrot-schwarzes Farbspektrum) handelt. Hinweis hierzu liefert zum einen das Farbspektrum und zum anderen die an den korrespondierenden saarländischen Level II- Flächen beobachtete Dynamik des Manganleachings bei gleichzeitiger Verschlechterung der Basenversorgung. Die Blätter von Buchen und Eichen, die auf gut mit Nährstoff versorgten Standorten wurzeln, zeigten hingegen hohe Basen- und keine Mangangehalte beim Leaching. Die bisher über das Verhalten von Mangan im Boden vorliegenden Erkenntnisse weisen darauf hin, dass eine

Beziehung zwischen der Bodenversauerung, einer erhöhten Manganmobilität im Boden und einer Mangananreicherung in der Biomasse bestehen kann, wodurch die Fleckenbildung beeinflusst wird.

Mangan kommt als natürlicher Bestandteil in den Gesteinen der Erdkruste (mittlerer Gehalt 800mg/kg) vor. Die Mn-Gehalte der Böden (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL, 1992; 2002) schwanken zwischen 20 und 800 mg/kg. In Böden kommt Mn in Form von Manganoxiden, Silikaten und Carbonaten oder an den Austauschern gebunden (zweiwertig) vor. Daneben tritt Mn adsorbiert (Fe-Oxiden, organische Substanzen), austauschbar sowie in gelöster Form auf. Nach MEYER (1985; MEYER und ULRICH, 1990) gehen hohe Konzentrationen an mobilen Manganionen auf Pufferungsmechanismen als Reaktion auf eingetragene oder Boden intern gebildete Säuren (KAUS und WILD, 1998) zurück. Manganoxide stellen im pH-Bereich zwischen 4 und 5 wesentliche Puffersubstanzen dar (ULRICH, 1981). Liegt der Boden-pH-Wert über 5 wird Mangan an der Bodenmatrix fest gebunden. Hohe Mangankonzentrationen im Boden belegen somit, in welchem Versauerungszustand (Pufferklasse) sich der Boden aktuell befindet. Bei fortschreitender Versauerung gehen die Mn-Konzentrationen (begrenzter Vorrat an Mn-Oxiden) zurück, Mangan wird fast vollständig aus dem System ausgetragen (HILDEBRAND, 1986; MEYER und ULRICH, 1990). Die freigesetzten Manganionen zeichnen sich durch eine hohe Mobilität aus. Daher bestehen zwischen den Mn-Konzentrationen aller Ökosystemkompartimente meist sehr enge Korrelationen (GÄRTNER, 1986; BLOCK und WUNN, 1996).

Allgemeine Merkmale der Fleckensymptomatik im Buchenstammholz

Bei den Verfärbungen im Stammholz von *Fagus sylvatica* handelt es sich im Gegensatz zu anderen biotischen und abiotischen Verfärbungen (SCHNELL, 1986; TRÜBSWETTER, 1995; KOCH et al, 2000) um punktförmige Flecken mit scharfer Begrenzung zum umgebenden nicht verfärbten Holzgewebe, die im Längsschnitt (Abb. 1, siehe Farbbildseite) streifen- bis spindelförmig erscheinen.

Durchforstungen in den letzten Jahren zeigten, dass im Saarland sowohl Altbestände als auch jüngere Altersklassen betroffen sind. Die Flecken können über die gesamte Stammlänge vorkommen, sie sind hierbei entweder über den ganzen Stammquerschnitt verteilt oder lokal begrenzt. Ein entscheidendes Erkennungsmerkmal ist, dass sie beim Einschlag meist sofort - im Gegensatz zu anderen Verfärbungen - an der Schnittfläche feststellbar sind. Die Form der Flecken ist eckig, bisweilen auch rund, die Farbe variiert von orange über tief dunkelbraun bis hin zu schwarz. Ein wichtiges Kriterium zur Identifikation von Buchenstammholz, das die oben beschriebene wertmindernde Symptomatik aufweist, sind unregelmäßige längliche Vertiefungen in der Kambialzone, die nach Lösen der Rinde deutlich in Erscheinung treten.

Auf der Schnittfläche sind häufig deutliche Anomalien (Einbuchtungen) der Jahrringe zu beobachten, an deren Ende die Punkte auf einem Jahrring aufsitzen. Sehr oft zeigen sich zusätzlich (Abb. 2, siehe Farbbildseite) helle Streifen von der Rinde ausgehend bis zu der Verfärbung. Es wurden jedoch auch Flecken festgestellt, bei denen keine Veränderung der Jahrringstruktur zu erkennen war, oder solche, bei denen die Jahrringanomalien nur über eine kurze Wachstumsperiode verfolgbar waren. Für die Flecken, bei denen eine Verbindung zum Kambium erkennbar war, wurde der Einfluss der Buchenwollschildlaus als biotischer Faktor der Fleckenbildung diskutiert. Für die restlichen Fleckenvarianten fehlen bislang biotische oder abiotische Erklärungen hinsichtlich der Entstehungsursachen.

Methodik

Die Untersuchungen wurden mit finanzieller Unterstützung der FAWF Trippstadt in zwei Projektabschnitten im Zeitraum zwischen Oktober 2002 und Juli 2005 durchgeführt. Abbildung 3 (siehe Farbbildseite) gibt eine Übersicht über die durchgeführten Untersuchungsschritte, Abbildung 4 (siehe Farbbildseite) einen Überblick über die Untersuchungsmethodik wieder.

Ergebnisse und Diskussion

Die im Vorfeld der Forschungsaufträge durchgeführten Mikrosondenuntersuchungen an 6 befallenen saarländischen Buchenstämmen wiesen für die dunklen Stellen im Buchenstammholz erhöhte Elementgehalte in Relation zum umgebendem, nicht verfärbten Holz auf. Diese Vorstudien wurden durch Mikrosondenanalysen der Bundesanstalt für Materialprüfung bestätigt. Die Calcium- und Manganengehalte in den dunklen Stellen waren jeweils in etwa um den Faktor 10 gegenüber dem nicht verfärbten Holz erhöht, wohingegen die Magnesiumanreicherung den Faktor 2 beträgt.

Die in 2003/2004 durchgeführten Untersuchungen (KUBINIOK und GERBER, 2004) ergaben Hinweise auf eine Standortabhängigkeit des Auftretens von Flecken im Stammholz von *Fagus sylvatica*. Auf hoch mit Basen versorgten (Deckschichten) oder rein basischen Substraten (Oberer Muschelkalk) konnten keine Flecken festgestellt werden, während mit zunehmender Versauerung der Böden die Fleckensymptomatik ausgeprägter in Erscheinung trat. Als Schwelle für das Auftreten von Flecken im Buchenstammholz konnte ein pH-Wert (H₂O) von 4,5 im überwiegenden Teil der Bodenprofile festgestellt werden. Bei tieferen pH-Werten traten die Flecken vermehrt auf.

Im zweiten Projektabschnitt (2005) wurden die Flecken auf Buchenstammkreisläusen quantitativ erfasst, die korrespondierenden Bodenprofile aus finanziellen Gründen lediglich durch den pH-Wert (H₂O und KCl) und die Eluate einer Mischprobe der oberen 30 cm charakterisiert. Hierzu wurden an eingeschlagenen Buchen in 1 m Höhe und unterhalb des



gesundes Furnierholz

Ausschnitte aus befallenem Furnierholz

Abb. 1: Vergleich gesundes - geschädigtes Furnierholz

Fig. 1: Comparison of normal - infected veneer wood



Abb. 2: Jahrring anomalien mit Streifenbildung

Fig. 2: Tree ring anomalies with stripes

Projektschritte 2002:

Mikrosondenuntersuchungen

Projektschritte 2003/2004:

Literaturrecherche

Erarbeitung eines digitalen Symptomatkataloges zur Abgrenzung von Flecken in Buchenhölzern

48 Holz-Rindenproben - 64 Bodenproben aus Rheinland-Pfalz und Saarland -

- Zusätzliche Datengrundlage:

- 54 Holz-Rindenproben - Saarland 2001

- 100 Bodenprofile (BZE 1989 Saarland)

- Analysen der Bodenlösungen von 8 saarl. Dauerbeobachtungsflächen (1990-2001)

Projektschritte 2005:

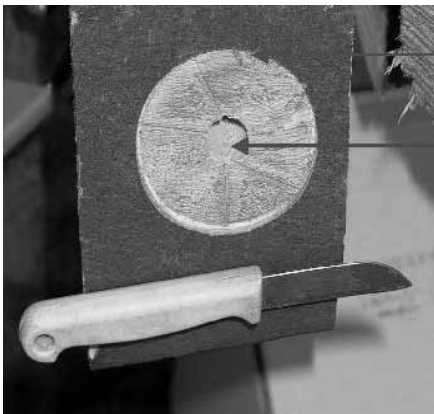
166 Holz-Rindenproben - 75 Bodenproben aus Rheinland-Pfalz und Saarland -

Abb. 3: Durchgeführte Untersuchungen

Fig. 3: Investigation scheme

Methodik: Holz, Rinde

Holz-Rindenproben: an 4 gegenüberliegenden Stammseiten



Rinde: Bohrung 8 cm Ø

Holz: Bohrung 16 mm Ø – 1/2 Stamm

Trocknung - Aufmahlen - Scheibenschwingmühle

HNO₃-Druckaufschluss - Analytik - AAS

Holz-Rinde: Ca, Mg, K, Mn

Abb. 4: Überblick über die Methodik

Fig. 4: Methodology

Kronenansatzes je eine Stammscheibe entnommen. An beiden Stammscheiben wurde über ein codiertes Schema die Mn-Fleckenausbildung und die zu deren Bewertung notwendigen Parameter erfasst. Es zeigte sich hierbei, dass die Fleckenausbildung, über die Länge des Stammes und radial gesehen, annähernd gleich ausgebildet ist. Expositionsunterschiede konnten nicht nachgewiesen werden.

Die Korrelation zwischen Bodenzustandsparametern und dem quantitativ ermittelten Fleckengehalt der korrespondierenden Buchen bzw. deren Chemismus der Baumkompartimente zeigte keine signifikanten Ergebnisse. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Bodenprofile nur durch eine Mischprobe der oberen 30 cm charakterisiert wurden und im Wesentlichen nur gekalkte Standorte beprobt wurden. Die Basenzufuhr über die Kalkung verändert die Dynamik in den versauerten Böden und damit die Prozesse, die als ursächlich für die Fleckenbildung angesehen werden können, sodass der vermutlich irreversible Fleckenbefall den zum Zeitpunkt der Beprobung ermittelten Bodenzustand nicht widerspiegelt. Darüber hinaus wird die Manganmobilität im Boden über die in dieser Studie nicht erfassten Redox-Verhältnisse beeinflusst.

Die Auswertung aller bisheriger Datensätze zeigt, dass zur Beschreibung der Entstehungsursachen, die zur Fleckenbildung führen, auf ungekalkte Standorte zurückgegriffen werden muss, da die zusätzliche Basenzufuhr, wie oben dargelegt, die in den versauerten Böden ablaufende Prozesse überlagert. Weiterhin wurde deutlich, dass hierbei "Substratbezogen" (s. Abb. 5) vorgegangen werden muss, da das unterschiedliche Pufferungsvermögen den zeitlichen Ablauf der Manganmobilität prägt. Der Vergleich der Abhängigkeiten von boden- und holzchemischen Parametern in Bezug zu den verschiedenen Wuchsbezirken zeigt, dass die regionalen substratspezifischen Unterschiede einen entscheidenden Einfluss auf die Ausbildung der Buchenstammholzflecken haben.

Die Fragestellung, ob Waldkompensationskalkungen in der Lage sind, die Entstehung der Mn-Flecken zu verhindern oder zumindest die Flecken-

intensität zu reduzieren, konnte auf Basis der bislang vorliegenden Analysedaten nicht abschließend beantwortet werden.

Über die Auswertungen der Untersuchungsergebnisse auf gekalkten/ungekalkten Buchenstandorten im Saarland ließ sich lediglich nachweisen, dass auf den gekalkten Flächen eine deutlich geringere Fleckenintensität vorhanden ist. Wären die Stammscheiben auf den gekalkten Flächen ohne Fleckenbefund gewesen, hätte dies gezeigt, dass die Kalkung die Fleckenbildung verhindert. Die Tatsache, dass die Buchenscheiben - wenn auch im Vergleich zu den ungekalkten sauren Standorten - weniger Flecken aufwiesen, kann zwei Möglichkeiten haben. Entweder waren die Flecken vor der Kalkung auf allen Flächen schon vorhanden und die Basenzufuhr hat die Weiterentwicklung dieser Schadenssymptomatik "quasi eingefroren", während sie auf den ungekalkten weiterging, oder, falls alle Flächen vor der Kompensationskalkung fleckenfrei waren, hat die Zufuhr des puffernden Gesteinsmehls die Entstehung der Verfärbungen im Buchenstammholz der gekalkten Standorten verzögert. Da die Fleckenintensität auf den gekalkten Flächen vor Ausbringung der Kompensationskalkung nicht bekannt ist, kann die Frage, ob es zu einer Reduktion der Mn-Flecken gekommen ist, mit den bislang durchgeführten Untersuchungsansätzen nicht eindeutig geklärt werden. Eine Reversibilität erscheint jedoch unwahrscheinlich.

Nachgewiesen werden konnte, dass ein Buchenbestand neben einer Douglasienfläche, die Schäden auf Grund von hohen Mangangehalten in der Biomasse zeigt, als "annähernd fleckenfrei" einzustufen ist. Möglicherweise besitzt die Buche eine höhere "Mangantoleranz" als die benachbarten Nadelbestockungen.

Zusammenfassend zeigt sich, dass Mangan ursächlich für die beschriebenen Verfärbungen im Buchenstammholz verantwortlich ist und eine Abhängigkeit zum versauerungsbedingten Bodenzustand zu erkennen ist. Dies zeigen auch in der Literatur beschriebene Untersuchungen an krautigen und verholzten Kulturpflanzen.

Die physiologische Bedeutung (BERGMANN, 1988;

Ca+Mg (Boden) / Mn Holz in ungekalkten saarländischen Buchenstandorten

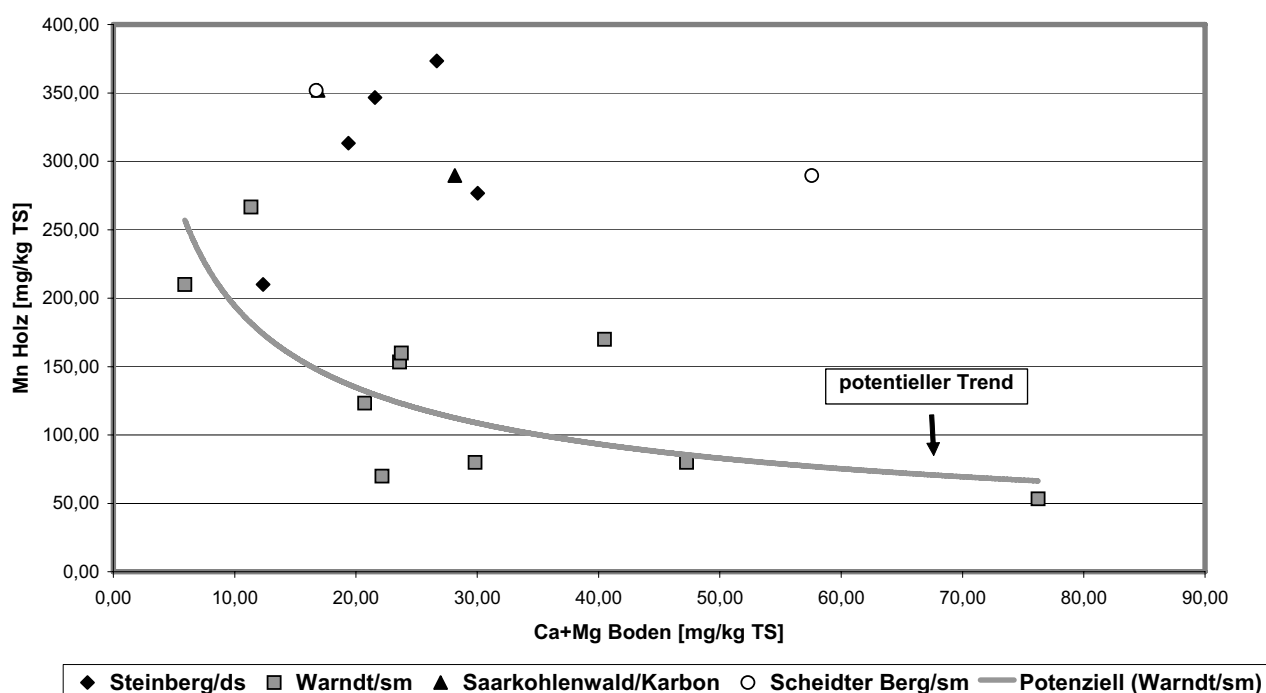


Abb. 5: Verhältnis (Ca+Mg Boden) / Mn Holz unterschiedlicher saarl. Buchenstandorte
 Fig. 5: (Ca+Mg soil) / Mn wood ratio at different investigation sites of Saarland

GRAHAM et al., 1988) des Mangans im Stoffwechsel der Pflanze ist in seinen Redoxeigenschaften und damit der Steuerung der Oxidations- und Reduktionsvorgänge sowie durch Carboxylierungsprozesse im Kohlenhydrat- und Eiweißstoffwechsel begründet. Mangan ist zusammen mit Magnesium an zahlreichen Enzymreaktionen (HELYAR, 1981) aktiv beteiligt, wobei sich beide Elemente bis zu einem gewissen Grad vertreten können. Aufgenommen wird das Mangan allgemein über die Wurzeln in Form wasserlöslicher oder adsorbierter Mn^{2+} -Kationen und wird dann leicht in den Spross verlagert (BERGMANN, 1988).

In hohen Konzentrationen kann Mn, meist in Verbindung mit einer Aluminiumtoxizität, schädigend auf Pflanzen wirken. Die Mn-Gehalte (RIEK und WOLFF, 1998) und damit die Mn-Resistenz, bzw. das Einsetzen von Schadsymptomen sind bei Pflanzen unterschiedlich stark ausgebildet. Häufig sind bei Mn-Überschuss Verfärbungen (SCHUBERT, 1992) in den Blattadern festzustellen, wie sie z.B. in Hibiskus-, Bohnen-, Tomatenblättern vorkommen können. Bei Mn-toleranten Pflanzen (z.B.

Azaleen) wird überschüssiges Mn in den verholzten Pflanzenteilen abgelagert. Hierbei handelt es sich um enzymatisch gesteuerte Mn-Ausfällungen (SCHUBERT, 1992) in Form von aufoxidierten Mn-Verbindungen (MnO_2 – Braunstein), wie sie auch in den Stängeln der Kartoffelpflanze vorkommen können (BERGMANN, 1988). Diese Ablagerungen an physiologisch unbedeutenden Stellen werden von BUSSLER (1985) als "Mn-Entgiftung" angesehen. Manche Pflanzen (HELYAR, 1981) sondern Mangan statt in der Pflanze auf der Wurzeloberfläche ab, andere drosseln den Mn-Transport zur Krone dadurch, dass sie Mangan in Zellvakuolen isolieren, oder an Zellwände fixieren. Die seit einigen Jahren in Nordamerika zu beobachtende Entlaubung der Ahornbestände wird nach Untersuchungen von ST.CLAIR und LYNCH (2003) auf eine Mn-Toxizität in den Blattorganen zurückgeführt. GÄRTNER et al. (1990) konnten einen Zusammenhang zwischen Nadelverlusten an mittelalten Fichten und den Mn-Blattspiegelwerten feststellen und ASCHE (1997) für Buchenstandorte eine Beziehung zwischen dem Mn-Gehalt der Blätter und den Mangan-

vorräten im Boden nachweisen. BLOCK (1997) konnte eine Douglasienerkrankung, die seit Mitte der 60er Jahre in Rheinland-Pfalz und in der angrenzenden Nordeifel beobachtet wurde, ebenfalls auf einen Manganüberschuss in den Baumkompartimenten zurückführen.

Mn-Toxizität kann sich auch in einer veränderten Rindenstruktur äußern. Der Delicious Apfelbaum ist hierfür z.B. als sehr anfällig bekannt. Es kommt im Laufe der Mn-Vergiftung meist auf den 2 - 3jährigen Zweigen zu Rindenerhöhungen (MILLER, 1986), die sich vergrößern und aufbrechen. Dies führt zu einer rauen, abblätternen Rinde. Entfernt man die Rinde, so zeigen sich kleine nekrotische Bereiche in der Kambiumzone, die als internal bark necrosis (IBN) oder apple measles bezeichnet werden. Eine ähnliche durch Mn-Übersorgung ausgelöste Symptomatik (Papierrinde) beschreibt BERGMANN (1988) für Birnbäume.

Literatur

- ASCHE, N. (1997): Nährelementgehalte in Buchenblättern unter besonderer Berücksichtigung der zeitlichen Variation auf basenarmen Standorten in Nordrhein Westfalen, Blackwell Wissenschaftsverlag, Berlin.
- BERGMANN, W. (1988): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen, Entstehung und Ursachen, 2. erw. und neu gestaltete Aufl., VEB Gustav Fischer Verlag Stuttgart (u.a.).
- BLOCK, J. (1997): Schadsituation der Douglasie in Rheinland-Pfalz, Symptome und Ausmaß der Erkrankung, bisherige Untersuchungen, Mitteilungen der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, Nr. 41; 46-75.
- BLOCK, J. und WUNN, U. (1996): Beziehungen zwischen Bodenparametern, Nadelinhaltsstoffen und Kronenzustand, Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, Nr. 35, S. 15-42.
- BUSSELER (1985): zitiert in BERGMANN, W. (1998): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen, Entstehung und Ursachen, VEB Gustav Fischer Verlag Stuttgart (u.a.).
- GÄRTNER, E.J. (1986): Mangengehalte in Altfichten, Boden, und Kronendurchlass an gleichen Standorten, VDI-Bericht 560, Waldschäden, Einflussfaktoren und ihre Bewertung, 559-573, 986.
- GÄRTNER, E. J.; URFER, W.; EICHHORN, J.; GRABOWSKI, H. und HUSS, H. (1990): Mangan – ein Bioindikator für den derzeitigen Zustand mittelalter Fichten in Hessen, Forstarchiv 61, 229-233.
- GERBER, C.; KUBINIOK, J. und FRITZ, E. (2004): Nährstoffhaushalt von Laubwald auf unterschiedlichen Böden - Sicherung der Nachhaltigkeit forstlicher Standortnutzung im Saarland. - In: AFZ-Der Wald 22: 1230-1233.
- GERBER, C.; KUBINIOK, J.; LOHMANN, H. und SCHNEIDER, H. (2001): Dynamik der Stoffhaushalte von Forstökosystemen, Eine Bilanz der Messperiode 1989-1999 des forstlichen Monitorings Saarland, GEOÖKO XXII, 1-22, Bensheim.
- GRAHAM, R.D., HANNAM, R.J. und UREN, N.C. (1988): Manganese in soil and plants, KLUVER ACADEMIC PUBLISHERS, London, ISBN 90-247-3758-3.
- HELYAR, K.R. (1981): The symptoms and effects on plants of nutrient disorders in acid soils, Agricultural research centre, Wollongbar, NSW 2480.
- HILDEBRAND, E.E. (1986): Zustand und Entwicklung der Austauschereigenschaften von Mineralböden aus Standorten mit erkrankten Waldbeständen, Forstw. Cbl., 105, 60-76.
- KAUS, A. und WILD, A. (1998): Nutrient disturbance through manganese accumulation in Douglas Fir, Chemosphere, Vol3.6, No. 4-5, pp. 961-964.
- KOCH, G.; BAUCH, J.; PULS, J.; SHWAB, E. und WELLING, G. (2000): Holzverfärbungen der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) und Möglichkeiten vorbeugender Maßnahmen, Holz-Zentralblatt 126, Nr.6 S. 74-75.
- KUBINIOK, J. (2005): Waldsterben - Ein in Vergessenheit geratenes Umweltproblem ? - In: Der Erdkundelehrer Nr. 24: 17-23.
- KUBINIOK, J. und GERBER, C. (2004) : Untersuchungen zur Entstehungsursache von mineralischen Flecken im Stammholz von *Fagus sylvatica* , Physische Geographie, Universität des Saarlandes, unveröffentlicht.
- MEYER, M. und ULRICH, B. (1990): Auswirkungen einer Kalkung auf Böden mit Mangantoxizität bei Douglasienbeständen der Nordeifel, Forst und Holz 45, Heft (17), 493-498.
- MEYER, M. (1985): Bodenversauerung und Manganüberschuß, Untersuchungen in Douglasienbeständen in der Nordeifel, Forstwissenschaftliche Fakultät, Universität Göttingen, Diplomarbeit.
- MILLER, S. (1986): Beginning an orchard nutrition program: determining nutritional status for apple and peach, United States, Department of Agriculture, Appalachian Fruit Research Station, Kearneysville, West Virginia, 25430.
- RIEK, W. und WOLFF, B. (1998): Verbreitung von Nährstoffmangel bei Waldbäumen in Deutschland, Ergebnisse der Nadel-/ Blattanalysen im Rahmen der BZE, AFZ, 10, S. 507-510.
- SCHAEFFER, F. und SCHACHTSCHABEL, P. (1992): Lehrbuch der Bodenkunde, 13. Auflage, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 1992.
- SCHAEFFER, F.; SCHACHTSCHABEL, P.; BLUME, H.P.; BRÜMMER, G.; SCHWERTMANN, U.; HORN, R.; KÖGEL-KNABNER, I.; STAHR, K. und WILKE, B.-M. (2002): Lehrbuch der Bodenkunde, 15. Auflage, Spektrum, Akademischer Verlag Heidelberg, Berlin.
- SCHNELL, G.R. (1986): Bildung von Braunkern, Spritzkern und Flecken bei der Buche, Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 137, S. 163-166.
- SCHUBERT, T.S. (1992): Manganese Toxicity of Plants in Florida, Fla. Dept.Agric.& Consumer Services, Division of Plant Industry, Plant Pathology Circular, No.353, May,

June.

ST.CLAIR, S. und LYNCH,J. (2003): Photochemical responses of sugar maple and red maple to excess manganese in contrasting light environments, Pennsylvania State University, Department of Horticulture.

TRÜBSWETTER, W. (1995): Die Trocknung heller Laubhölzer und ihre Problematik, Holz-Zentralblatt, 121, 2194-2198.

ULRICH, B. (1981): Ökologische Gruppierung von Böden nach ihrem chemischen Bodenzustand. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 144, 647-659.

Autorenanschriften:

Prof. Dr. Jochen Kubiniok
Physische Geographie und Umweltforschung
Universität des Saarlandes
Zentrum für Umweltforschung, Zeile 2
Am Markt
D-66125 Saarbrücken-Dudweiler
Email: j.kubiniok@mx.uni-saarland.de

Dr. Claus Gerber
Physische Geographie und Umweltforschung
Universität des Saarlandes
Zentrum für Umweltforschung, Zeile 2
Am Markt
D-66125 Saarbrücken-Dudweiler
Email: c.gerber@mx.uni-saarland.de

Mangan im braunfleckigen Holz der Buche (*Fagus sylvatica* L.)

Fritz, E.; Langenfeld-Heyser, R.; Polle, A. und Petercord, R.

Zusammenfassung

Braune Flecken wurden in letzter Zeit vermehrt im Holz von Buchen beobachtet. Sie enthalten Mangan, es wird daher ein ursächlicher Zusammenhang mit hohen Mangan-Gehalten in der Bodenlösung vermutet. Durch Röntgenmikroanalyse von Semidünnschnitten im Elektronenmikroskop wurde der Mangan-Gehalt brauner Flecken auf zellulärer und subzellulärer Ebene untersucht. Zell-Proliferationen, die oft große Areale der braunen Flecken einnehmen, zeigten nur geringe Mangan-Konzentrationen von 6,4 mM. Braun gefärbte Fasern enthielten ebenfalls nur wenig Mangan: in den braunen Lumina 12 mM, in Sekundärwänden 2,3 mM. Deutlich höhere Mangan-Gehalte von maximal 344 mM zeigten die Thyllenwände verthyllter Gefäße. In etwa 5 % der braunen Flecken gibt es einen oder mehrere kleinere Teilbereiche mit auffallend schwarzbrauner Färbung. Die Lumina dieser Zellen enthielten extrem hohe Mn-Mengen von bis zu 17.000 mM. Im normal erscheinenden hellen Holz wurden teilweise höhere Mn-Konzentrationen gemessen als in großen Bereichen der braunen Flecken. Wahrscheinlich sind nur die schwarz-braunen Teilbereiche durch Bildung von MnO_2 dunkel gefärbt. Die Braunfärbung im größten Teil der Flecken wird vermutlich durch Polyphenole verursacht, die dann Mangan durch Kationenaustausch binden können. Die Kationenaustauschkapazität wurde durch Nickel-Adsorption in Semidünnschnitten bestimmt. Die höchsten Nickel-Adsorptionen von etwa 2.300 mM erfolgten in Zellen, die auch die höchsten Mangan-Gehalte aufwiesen (MnO_2 -Zellen). Durch Säure-Behandlung und Nickel-Adsorption konnte Mangan von den schwarz-braunen Teilbereichen nicht desorbiert werden. Von den braunen Fasern wurde Mangan vollständig desorbiert, die Braunfärbung blieb aber erhalten.

Schlüsselwörter: Buche, *Fagus sylvatica*, braune Flecken, EDX, Elektronenmikroskop, Mangan, Xylem, Röntgenmikroanalyse

Manganese in brown-spotted wood of beech (*Fagus sylvatica* L.)

Summary

Brown spots have been increasingly observed lately in the wood of beech trees. These spots contain manganese, consequently it is assumed that high manganese concentrations in the soil solution are responsible for their formation. Semi-thin sections were analyzed by X-ray microanalysis (EDX) in the electron microscope. The manganese content of brown spots and adjacent xylem was determined on a cellular and subcellular level. Proliferated cells which are often the most abundant cells in brown spots, contained only 6,4 mM manganese. Brown coloured fibers contained 12 mM manganese in the brown lumina and 2,3 mM in secondary walls. In the walls of tyloses, Mn concentrations of maximal 344 mM were determined. For about 5 % of the brown spots, one or several smaller areas with striking black-brown colour were observed. The lumina of these cells contained extremely high Mn concentrations of up to 17.000 mM. Beech xylem with normal bright colour and normal anatomy contained sometimes higher Mn concentrations than large areas of the brown spots. Only the black-brown parts of the brown spots seem to be coloured actually by the presence of manganese, probably by MnO_2 . Brown colouration of the main areas of the brown spots is probably caused by the presence of polyphenols which can adsorb Mn through cation exchange. Cation ex-

change capacity was determined through adsorption of nickel in semi-thin sections. The highest nickel adsorption of about 2.300 mM was found in cells which contained the highest Mn concentrations (MnO₂ cells). Treatments with acid and nickel could not desorb manganese from the black-brown MnO₂ cells. Manganese was completely desorbed from the brown fibers, however the brown colour remained.

Keywords: European beech, *Fagus sylvatica*, brown spots, EDX, electron microscope, manganese, xylem, X-ray microanalysis

Einleitung

Braune Flecken, die seit einigen Jahren vermehrt im Buchenholz von Standorten in Rheinland-Pfalz und im Saarland auffallen, führen zu beträchtlichen finanziellen Einbußen bei der Holzvermarktung. Die Flecken finden sich nur in Buchen auf bodensauren Standorten mit hoher Mn-Konzentration in der Bodenlösung, zudem sind die Mangangehalte in den braunen Flecken stark erhöht (KUBINIOK und GERBER, 2005). Daher wurde Mangan als Ursache für die Entstehung der braunen Flecken angesehen (KUBINIOK und GERBER, 2005). Zweifel sind jedoch angebracht, da kein Zusammenhang besteht zwischen der Anzahl der braunen Flecken und den Mangangehalten im übrigen Buchenholz (KUBINIOK und GERBER, 2005). POLLE et al. (2005) konnten durch fluoreszenzmikroskopische Untersuchungen Polyphenole in den braunen Flecken nachweisen. Polyphenole können unter dem Einfluss unterschiedlicher Stressbedingungen wie Trockenheit, Nährstoff-Mangel, Ozon u.a. gebildet werden (BUSSOTTI et al., 1998). Sie besitzen zudem starke Bindungskräfte gegenüber polyvalenten Kationen (HIDER et al., 2001; NORTHUP et al., 1998). So könnten neben Mangan auch noch andere Stressfaktoren für die Entstehung der braunen Flecken verantwortlich sein. Es schien daher angebracht, detaillierte Element-Analysen in braunen Flecken und im benachbarten Xylem durchzuführen sowie die Möglichkeit einer Mangan-Auswaschung und einer Kationen-Adsorption an Strukturen im Bereich brauner Flecken auf zellulärer Ebene zu untersuchen.

Material und Methoden

Die Untersuchungen erfolgten an einer Buche die im Forstamt Kaiserslautern am 03.02.2005 einge-

schlagen wurde. Proben wurden vom Stammfuß und von einem Ast aus 11 m Höhe gewonnen und in ca. 5 mm dicke Scheiben zersägt. Mit Stechbeitel und Single-Edge-Klingen wurden ca. 2 x 3 mm große Stücke mit braunen Flecken aus den Scheiben herauspräpariert, in Alunetz-Körbchen überführt, in Propan-Isopentan bei minus 196°C schockgefroren (FRITZ, 1989), bei minus 48°C Stellflächentemperatur gefriergetrocknet und bis zur Weiterverarbeitung über Silicagel aufbewahrt. Die Proben wurden unter Ausschluss wässriger Medien in Styrol-Methacrylat eingebettet. Dadurch wurde eine Verlagerung oder Auswaschung löslicher Elemente aus dem Gewebe verhindert (FRITZ, 1989). Mit dem Ultramikrotom und trockenem Glasmesser wurden 1 µm dicke Schnitte für die Lichtmikroskopie und 0,5 µm dicke Schnitte für die Röntgenmikroanalyse (EDX) im Elektronenmikroskop (EDAX + Philips EM420) angefertigt. Die Färbung der Schnitte für die Lichtmikroskopie erfolgte mit Toluidinblau. Schnitte für die Röntgenmikroanalyse wurden auf Cu-Netzchen aufgeklebt (FRITZ, 1991) und zur Verbesserung der Leitfähigkeit mit Kohlenstoff bedampft. Der Durchmesser des Elektronenstrahls wurde an die zu analysierende Struktur angepasst: fein fokussiert auf dünne Zellwände wie Thyllen und flächig aufgeweitet für die Elementanalyse einer Gruppe von mehreren Zellen (Flächenmessungen). Die Ergebnisse werden als millimolare Konzentrationen im analysierten Gewebevolument (mmol/dm³) dargestellt.

Gewebeproben für die Versuche zur Mangan-Auswaschung und Nickel-Adsorption wurden mit Alkohol-Eisessig (70 % Ethanol mit 5 % Eisessig) fixiert, in Aceton entwässert (JENTSCHKE, 1994) und in Styrol-Methacrylat eingebettet.

Ergebnisse

Die Abb. 1 (Abb. 1 bis 7 und Abb. 9 befinden sich auf den Farbbildseiten) zeigt die Verteilung der braunen Flecken im Stammfuß (A) und im Ast in 11 m Höhe (B). Im Stammfuß finden sich die Flecken nur in der äußeren Hälfte der Querschnittsfläche. Im Ast sind die Flecken gleichmäßig über die gesamte Querschnittsfläche verteilt.

Nach dem Trocknen und Schleifen der Stammscheiben wurden alle Flecken mit der Stereolupe untersucht. Es zeigte sich, dass die Flecken außerordentlich variabel sind in Bezug auf den Anteil der einzelnen Gewebebestandteile und deren Anordnung in einem braunen Fleck. Typisch sind folgende Gewebe:

- a) Gefäße mit braunen Thyllen
- b) Fasern mit braunem Lumen
- c) Teilweise unfangreiche Zellproliferationen, deren Färbung meist etwas heller und mehr rötlich-braun erscheint.
- d) Kleinere schwarzbraune Teilbereiche, die nur in relativ wenigen Flecken zu finden sind.

Die verthyllten Gefäße und die braunlumigen Fasern sind in allen Flecken vorhanden. Die Zellproliferationen finden sich in den meisten Flecken und nehmen flächenmäßig oft den weitaus größten Anteil eines braunen Flecks ein. Die schwarzbraunen Teilbereiche sind mit der Lupe in schätzungsweise 5 % der braunen Flecken zu finden, jedoch bestehen die schwarzbraunen Bereiche manchmal nur aus wenigen Zellen, die dann mit der Lupe nicht erkennbar sind. In Abb. 2 sind typische Beispiele dargestellt.

Fleck (A) besteht nur aus verthyllten Gefäßen und braunlumigen Holzfasern mit ansonsten normaler Anatomie. Fleck (B) zeigt alle typischen Bestandteile eines braunen Flecks: braune Holzfasern (bF), die sehr häufig in größeren Arealen im Spätholz eines Jahrringes auftreten und zusammen mit braun gefärbten Zellen des nächstjüngeren Jahrringes den Fleck bilden. Es gibt außerdem einen großen Bereich von proliferierten Zellen (P) und 2 kleinere schwarzbraune Bereiche (Pfeile). Xylemstrahlen verlieren sich meist im Bereich der Zellproliferatio-

nen, sind dann aber im jüngeren Xylem oft in sehr stark verbreiteter Gestalt wieder erkennbar (S). Braun verthyllte Gefäße (Th) finden sich auch im Bereich der braunen Fasern (bF), ebenso braune Fasern im Bereich der verthyllten Gefäße (Th). Weitere Details zeigt der Semi-Dünnschnitt in Abb. 3.

Verthyllte Gefäße haben oft einen kleineren Durchmesser, ein Hinweis auf eine frühzeitige Schädigung. Neben typischen Thyllen (Pfeile) sind oft auch kompakte Ablagerungen in den Gefäßen zu finden (K). Das braune Lumen der Holzfasern erscheint im lichtmikroskopischen Schnitt intensiv dunkelblau.

Mangan-Gehalt

Thyllen

In Thyllen wurden im Mittel 45,4 mM (Abb. 4, Tab. 1) und 113 mM (Abb. 5, Tab. 2) Mangan gemessen. Die Schwankungsbreite der Messwerte war in beiden Flecken erheblich, 9–258 mM Mn (Abb. 4, Tab. 1) bzw. 36,6–344 mM Mn (Abb. 5, Tab. 2).

Holzfasern

Holzfasern mit braunem Lumen, die in braunen Flecken immer vorkommen, enthalten im Lumen 11,9 mM, in den Sekundärwänden 2,3 mM Mangan (Abb. 6, Tab. 3). Flächenmessungen über mehrere Fasern, d.h. gleichzeitig über Wände und Lumina, ergaben im Bereich der braunen Flecken 8,8 mM (Abb. 4, Tab. 1) und 5,9 mM Mangan (Abb. 5, Tab. 2).

Holzfasern mit hellem Lumen im Xylem außerhalb der braunen Flecken enthielten im Lumen kaum messbare Mangankonzentrationen von 1,1 mM und in den Sekundärwänden 2,8 mM (Abb. 6, Tab. 3) und 2,5 mM bzw. 2,9 mM (nicht abgebildet). Flächenmessungen ergaben Werte von 1,9 mM, 2,1 mM und 2,3 mM Mangan (Abb. 4, Tab. 1) sowie 3,2 mM und 4,2 mM Mangan (Abb. 5, Tab. 2).

Die Mangankonzentrationen in den Primärwänden der Fasern lagen deutlich höher: 25 mM (Abb. 5, Tab. 2) und 10,5 mM bzw. 12,3 mM (nicht abgebildet).

	Mn [mmol dm ⁻³] MW (min.-max.).
(1) Thyllen	45,4 (9-258)
(1) Gefäße, Sek.wand	9,4 (3,7-23,5)
(2) Strahl, Lumen	108 (70-169)
(2) Strahl, Wand	9,4 (3,7-23,5)
(3) Fasern+f.ä.Z., Fl.	8,8
(4) Strahl, Fl.	7,4
(5) Strahl, Fl.	6,3
(6) Holzfasern, Fl.	1,9
(7) Holzfasern, Fl.	2,1
(8) Holzfasern, Fl.	2,3
(9) Strahl, Lumen	37,3 (28,4-59,0)

Proliferation

Im Lumen der proliferierten Zellen war Mangan oft nicht nachweisbar, der Mittelwert betrug 1,8 mM (Abb. 6, Tab. 3). Messungen in der ganzen Wand (Sekundär- + Primärwand) proliferierter Zellen ergaben 3,7 mM Mangan (Abb. 6, Tab. 3), in der Primärwand allein wurden 27,2 mM Mangan gemessen (Abb. 5, Tab. 2). Flächenmessungen über jeweils mehrere proliferierte Zellen incl. Lumen, Primär- und Sekundärwand ergaben Mangankonzentrationen von 6,4 mM (Abb. 5, Tab. 2).

Gefäße

Sekundärwände von verthyllten Gefäßen im Bereich eines braunen Flecks enthielten 9,4 mM Mangan (Abb. 4, Tab. 1).

Im hellen Xylem außerhalb brauner Flecken wurden in den Sekundärwänden von Gefäßen geringere Mangankonzentrationen gefunden: 5,4 mM (Abb.

Tab. 1: Mangan-Konzentrationen der in Abb. 4 dargestellten Messregionen. Die Zahlen (1) bis (9) beziehen sich auf die entsprechenden Zahlen in Abb. 4. Wegen schwacher Mn-Signale in den Regionen (3) bis (8) wurden nur die Summenspektren ausgewertet, daher keine Angabe der Min.-Max.-Werte. f.ä.Z. = faserähnliche Zellen; Fl. = Flächenmessungen; MW = Mittelwerte

Tab. 1: Manganese concentrations of the measured regions as shown in Fig. 4. Numbers (1) to (9) refer to the corresponding numbers in Fig. 4. Due to weak Mn signals in regions (3) to (8) only summed-up spectra were calculated, therefore minimum and maximum results could not be given. f.ä.Z. = fiber-like cells; Fl. = large area measurements; MW = mean values

6, Tab. 3) sowie 3,3 mM und 4,8 mM Mangan (2 unterschiedliche Messregionen, nicht abgebildet).

In Primärwänden von Gefäßen wurden 28,0 mM Mangan gemessen (Abb. 5, Tab. 2).

Schwarzbraune Teilbereiche brauner Flecken

Im Lupenbild sind in manchen braunen Flecken auffallend dunkle schwarzbraune Bereiche erkennbar, die in unterschiedlicher Größe einzeln oder zu mehreren in einem braunen Fleck auftreten können. Im Semidünnschnitt färben sie sich ebenfalls auffallend dunkel blau (Abb. 6). Die Zellen sind rundlich bis länglich mit mäßig verdickten Wänden und einem hoch kontrastierten Lumen (Abb. 7). EDX-Messungen ergaben extrem hohe Mangankonzentrationen im Lumen (Abb. 6, Tab. 3). Der größere der 3 schwarzbraunen Teilbereiche (Abb. 6, Tab. 3) umfasst 3 unterschiedliche Zelltypen mit hohen Mangan-Mengen im Lumen: Parenchymzel-

	Mn [mmol dm ⁻³] MW (min.-max.).
(1) Thyllen	112,9 (36,6-344,4)
(2) Proliferation, Fl.	6,4
(2) Proliferation, PW.	27,2 (12,7-65,8)
(3) Fasern, Fl.	3,2
(3) Fasern, PW.	25,0 (10,5-67,2)
(3) Gefäße, PW.	28,0 (15,1-50,4)
(4) Fasern, Fl.	5,9
(5) Fasern, Fl.	4,2

Tab. 2: Mangan-Konzentrationen der in Abb. 5 dargestellten Messregionen. Die Zahlen (1) bis (5) beziehen sich auf die entsprechenden Zahlen in Abb. 5. Wegen schwacher Mn-Signale bei den Flächenmessungen wurden nur die Summenspektren ausgewertet, daher keine Angabe der min.-max.-Werte. Fl. = Flächenmessungen; PW. = Primärwand

Tab. 2: Manganese concentrations of the measured regions as shown in Fig. 5. Numbers (1) to (5) refer to the corresponding numbers in Fig. 5. Due to weak Mn signals in large area measurements only summed-up spectra were calculated, therefore minimum and maximum results could not be given. Fl. = large area measurements; PW. = primary wall

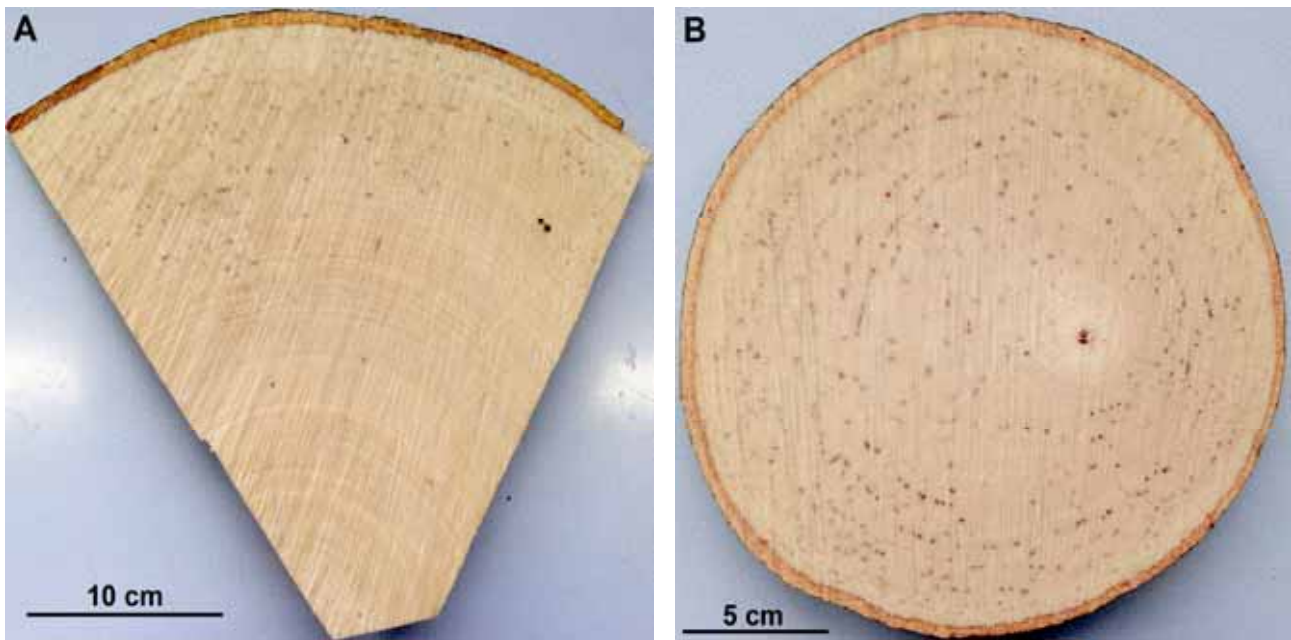


Abb. 1: Buche Rheinland-Pfalz, frische Stammscheiben. A: Stammfuß. B: Ast aus 11 m Höhe
 Fig. 1: Beech Rhineland-Palatinate, freshly cut stem slices. A: base of the trunk. B: branch from 11 m height

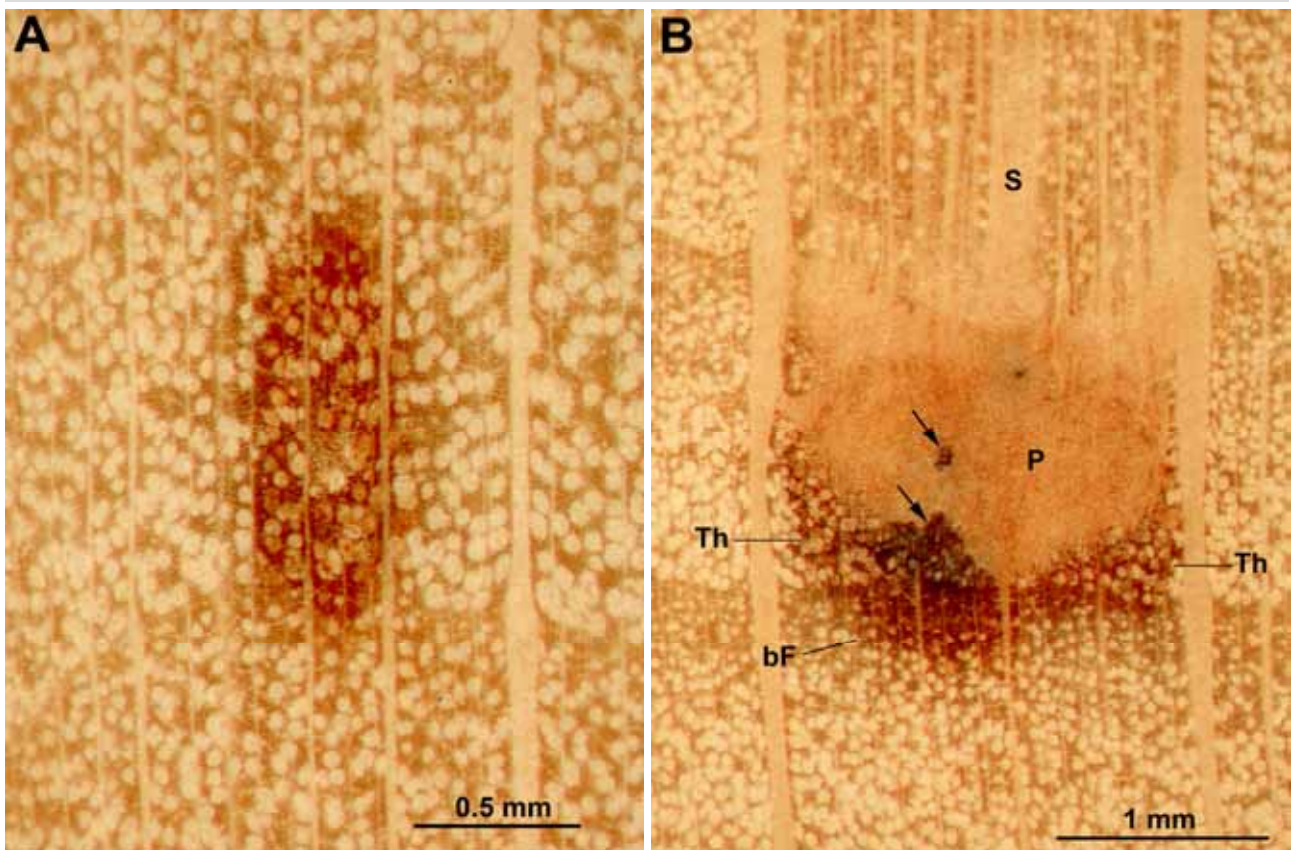


Abb. 2: Lupenaufnahmen der trockenen und geschliffenen Stammscheiben. A: brauner Fleck im Stammfuß aus einem 21 Jahre alten Jahrring. Es sind nur verthyllte Gefäße und Fasern mit braunem Lumen vorhanden, ansonsten ist die Anatomie unverändert im Vergleich zum normalen Holz. B: brauner Fleck im Ast in 11 m Höhe aus einem 11 Jahre alten Jahrring. Th = verthyllte Gefäße; bF = Fasern mit braunem Lumen; P = proliferierte Zellen; Pfeile = schwarzbraune Teilbereiche mit MnO_2 -Zellen; S = stark verbreiterter Strahl.

Fig. 2: Stereo microscopical pictures of brown spots from the dry and polished stem slices. A: brown spot in the stem base, 21 years old tree ring. Only vessels with tyloses and fibers with brown lumina are visible. Apart from this, the anatomy is the same as compared to normal xylem. B: brown spot in the branch from 11 m height, 11 years old tree ring. Th = vessels with tyloses; bF = fibers with brown lumina; P = proliferated cells; arrows = black-brown parts of the brown spot with MnO_2 cells; S = greatly broadened ray.

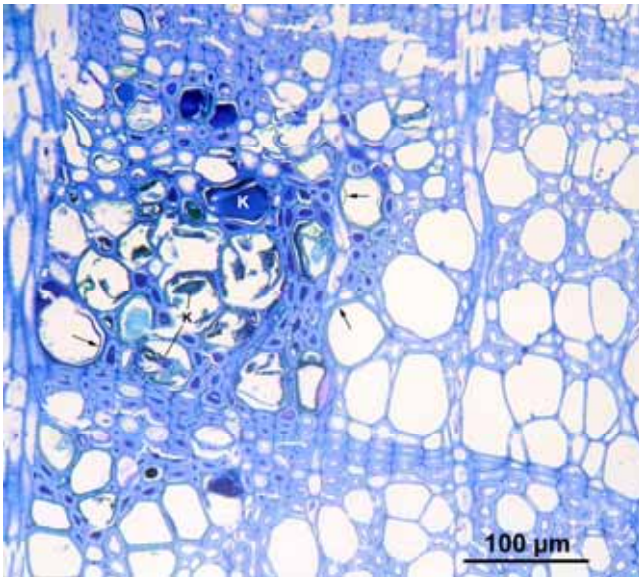


Abb. 3: Links: Teile eines braunen Flecks, rechts: normales Xylem (Detail aus dem Schnitt Abb. 4). Gefäße im braunen Fleck haben meist kleinere Durchmesser, enthalten Thyllen (=Pfeile) oder kompakte Einlagerungen (=K), Fasern im braunen Fleck mit braun gefärbten Einlagerungen im Lumen (dunkelblau nach Färbung mit Toluidinblau)

Fig. 3: Left side: part of a brown spot, right side: normal xylem (detail from the section Fig. 4). Vessels in brown spots often have smaller diameters and contain tyloses (=arrows) or compact deposits (=K), fibers in brown spots with brown deposits in the lumina (stained dark blue with Toluidine blue).

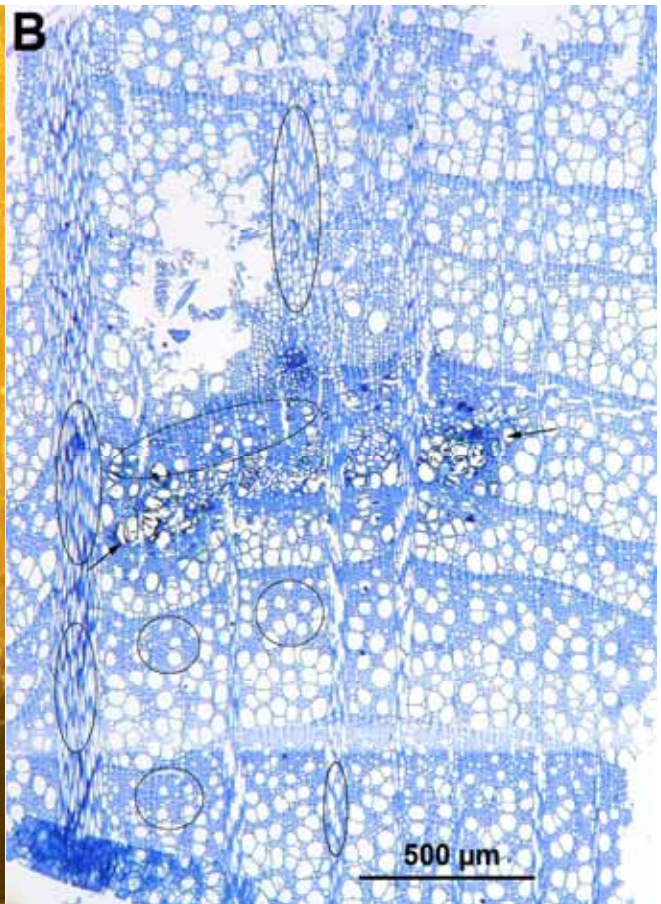
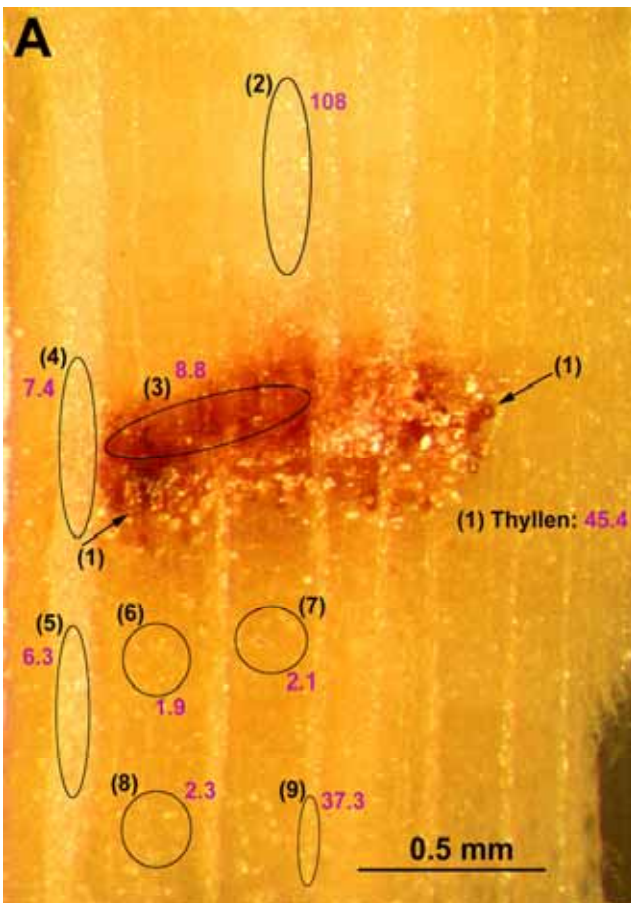


Abb. 4: Buche Rheinland-Pfalz, Ast aus 11 m Höhe. Brauner Fleck in einem ca. 5 Jahre alten Jahrring. A: Blockoberfläche nach Methacrylat-Einbettung. Messregionen: (1) = Thyllenwände, Gefäß-Sekundärwände; (2) + (9) = Lumen von Strahlzellen; (3)-(8) = Flächenmessungen über mehrere Zellen; (4) + (5) = Strahlzellen, (3) = Fasern und faserähnliche Zellen; (6)-(8) = Holzfasern. Mittelwerte der Mangankonzentrationen [mmol dm^{-3}] in pink. B: Schnitt von Block A, Färbung mit Toluidinblau

Fig. 4: Beech Rhineland-Palatinate, branch from 11 m height. Brown spot in a 5 years old tree ring. A: surface of the block after embedding in methacrylate. Measured regions: (1) = walls of tyloses, secondary walls of vessels; (2) + (9) = lumen of ray cells; (3)-(8) = large area measurements over several cells; (4) + (5) = ray cells, (3) = fibers and fiber-like cells (6)-(8) = xylem fibers. Mean values of manganese concentrations [mmol dm^{-3}] in pink colour. B: Section taken from block A, stained with Toluidine blue

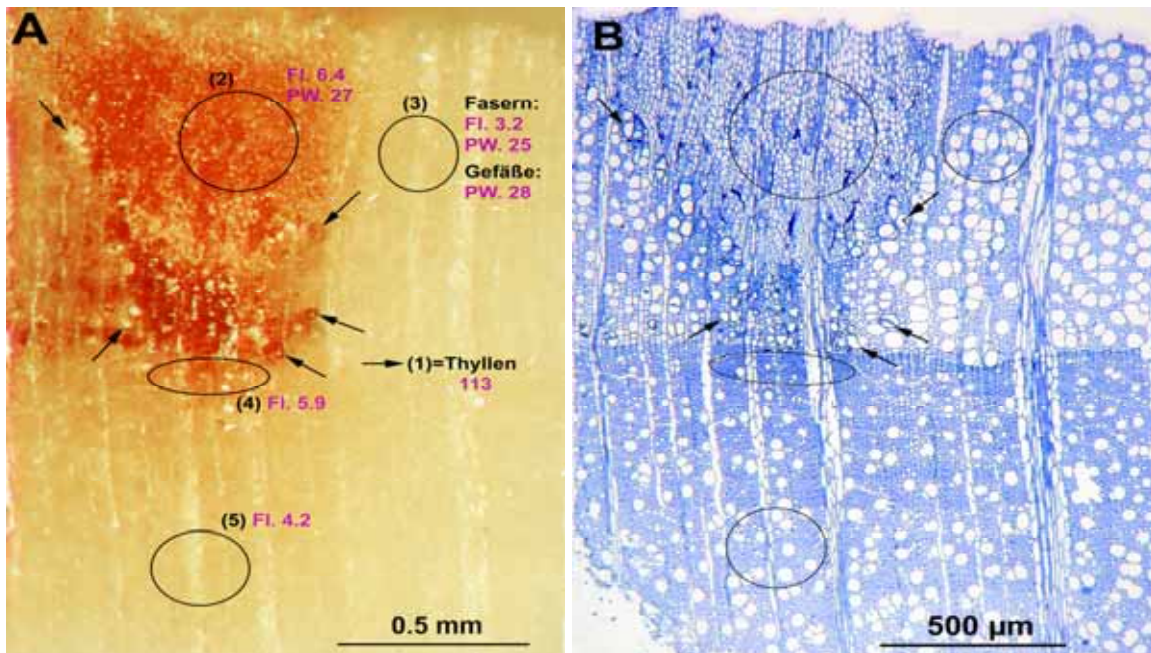


Abb. 5: Buche Rheinland-Pfalz, Ast aus 11 m Höhe. Brauner Fleck in einem 33-40 Jahre alten Jahrring.
A: Blockoberfläche nach Methacrylat-Einbettung. Messregionen: (1 = Pfeile) = Thyllenwände; (2) = Proliferation; (3) = Fasern und Gefäße; (4) = Fasern mit braunem Lumen; (5) = helle Fasern. Fl. = Flächenmessungen über mehrere Zellen; PW. = Primärwand. Mittelwerte der Mangankonzentrationen [mmol dm⁻³] in pink. **B:** Schnitt von Block A, Färbung mit Toluidinblau.

Fig. 5: Beech Rhineland-Palatinate, branch from 11 m height. Brown spot in a 33-40 years old tree ring.
A: surface of the block after embedding in methacrylate. Measured regions: (1 = arrows) = walls of tyloses; (2) = proliferated cells; (3) = fibers and vessels; (4) = xylem fibers with brown lumina; (5) = normal xylem fibers with light lumina. Fl. = large area measurements over several cells; PW. = primary wall. Mean values of manganese concentrations [mmol dm⁻³] in pink colour. **B:** Section taken from block A, stained with Toluidine blue

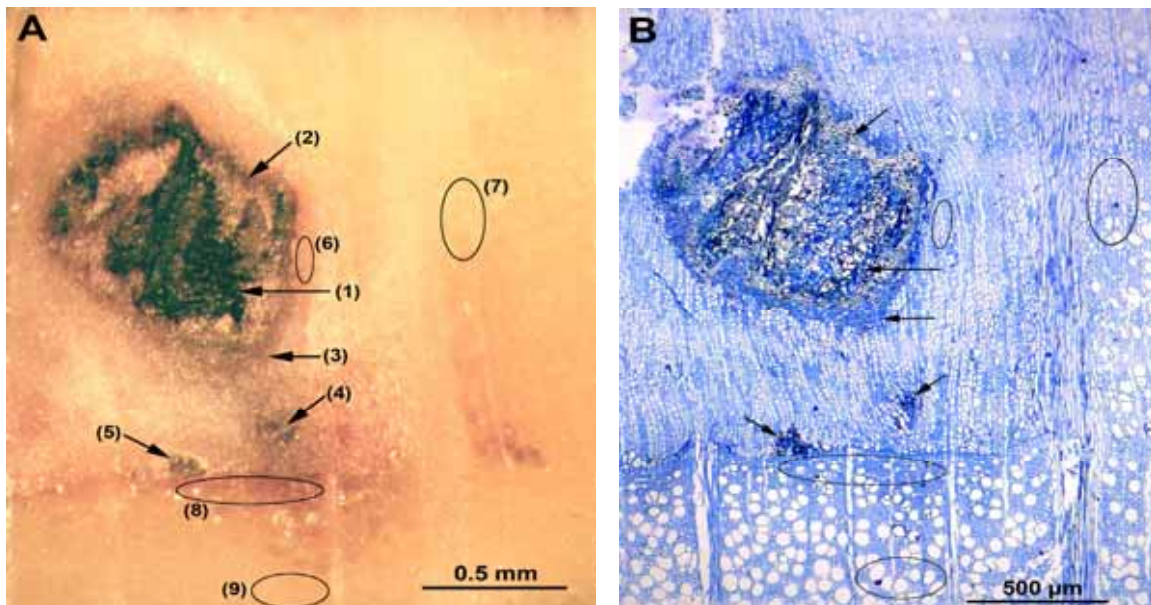


Abb. 6: Buche Rheinland-Pfalz, Stammfuß. Brauner Fleck in einem 25-27 Jahre alten Jahrring.
A: Blockoberfläche nach Methacrylat-Einbettung. Messregionen: (1) = schwarzbrauner Teilbereich mit vielen MnO₂-Zellen; (2) = Periderm; (3) = Proliferation mit MnO₂-Zellen; (4)+(5) = MnO₂-Zellen in kleinen schwarzbraunen Teilbereichen; (6) = Proliferation; (7) = Parenchym und Gefäße; (8) = Fasern mit braunem Lumen; (9) = helle Fasern. **B:** Schnitt von Block A, Färbung mit Toluidinblau.

Fig. 6: Beech Rhineland-Palatinate, base of the trunk. Brown spot in a 25-27 years old tree ring.
A: surface of the block after embedding in methacrylate. Measured regions: (1) = black-brown part of the brown spot with many MnO₂ cells; (2) = periderm; (3) = proliferated cells with MnO₂ deposits; (4)+(5) = MnO₂ cells in small black-brown parts of the brown spot; (6) = proliferated cells; (7) = parenchyma and vessels; (8) = xylem fibers with brown lumina; (9) = normal xylem fibers with light lumina.

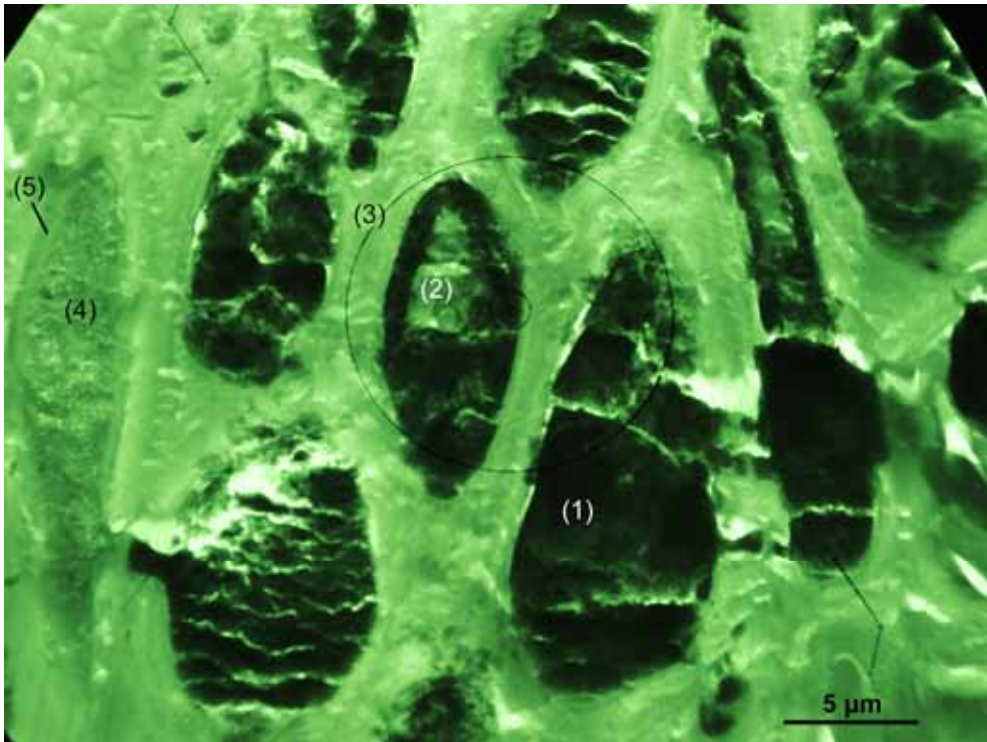


Abb. 7: Schwarzbrauner Teilbereich (1) aus Abb. 6, elektronenmikroskopische Abbildung eines 0,5 µm dicken Schnittes. Die MnO₂-Zellen sind sehr stark kontrastiert. (1) = sehr dunkle Bereiche mit extrem hohen Mn-Konzentrationen; (2) = hellerer Bereich des Lumens, offenbar Rest-Vacuole nach Einlagerung von MnO₂ in den größten Teil der ehemaligen Vacuole; (3) = Zellwand von MnO₂-Zellen; (4) = Vacuole einer mittel-kontrastierten Parenchymzelle; (5) Zellwand der mittel-kontrastierten Parenchymzelle

Fig. 7: Black-brown part of the brown spot of Fig. 6, electron microscopical picture of 0.5 µm thick section. MnO₂ cells are very high contrasted. (1) = very dark areas with extremely high Mn concentrations; (2) = lighter part of the lumen, obvious remaining vacuole after most of the former vacuole was filled with MnO₂ deposits; (3) = wall of MnO₂ cells; (4) = vacuole of a medium-contrasted parenchyma cell; (5) wall of the medium-contrasted parenchyma cell.

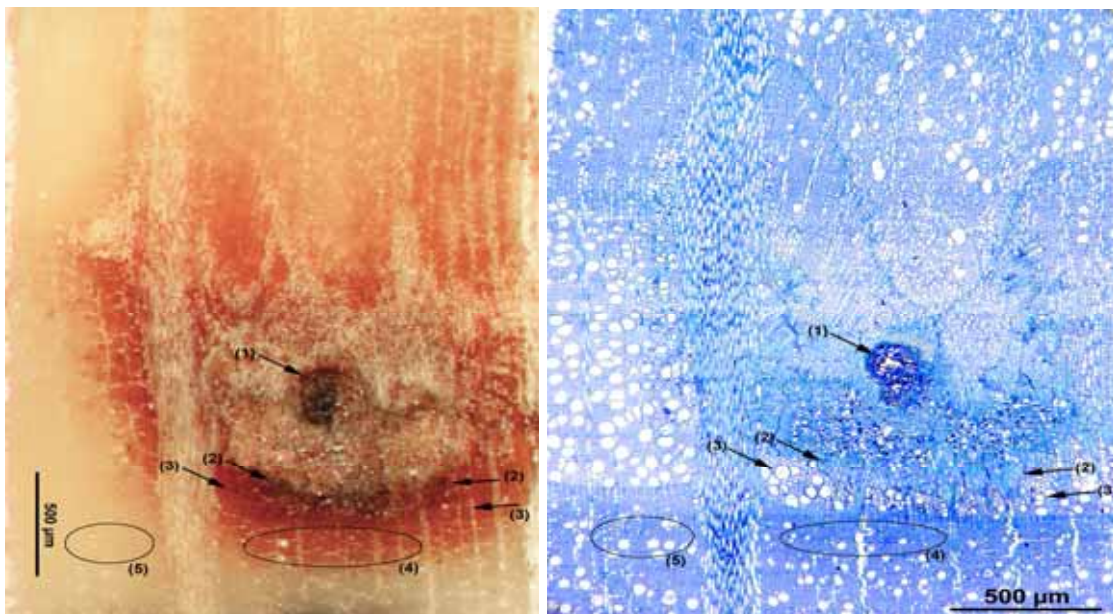


Abb. 9: Buche Rheinland-Pfalz. Fixierung mit Alkohol-Eisessig. **A:** Blockoberfläche nach Methacrylat-Einbettung. Messregionen: (1) = schwarzbrauner Teilbereich mit vielen MnO₂-Zellen; (2) = sehr dunkler Teilbereich mit einzelnen MnO₂-Zellen; (3) = Thyllen; (4) = Fasern mit braunem Lumen; (5) = helle Fasern. **B:** Schnitt von Block A, Färbung mit Toluidinblau

Fig. 9: Beech Rhineland-Palatinate. Fixation with alcohol-acetic acid. **A:** surface of the block after embedding in methacrylate. Measured regions: (1) = black-brown part of the brown spot with many MnO₂ cells; (2) = very dark part with single MnO₂ cells; (3) = tyloses; (4) = xylem fibers with brown lumina; (5) = normal xylem fibers with light lumina. **B:** Section taken from block A, stained with Toluidine blue

Tab. 3: Mangan-Konzentrationen der in Abb. 6 dargestellten Messregionen. Die Zahlen (1) bis (9) beziehen sich auf die entsprechenden Zahlen in Abb. 6. Wegen schwacher Mn-Signale im Lumen heller Fasern (9) wurde nur das Summenspektrum ausgewertet, daher keine Angabe der min.-max.-Werte. Lu. = Lumen

Tab. 3: Manganese concentrations of the measured regions as shown in Fig. 6. Numbers (1) to (9) refer to the corresponding numbers in Fig. 6. Due to weak Mn signals in the lumina of light fibers (9) only the summed-up spectrum was calculated, therefore minimum and maximum results could not be given. Lu. = lumina.

len (MnO₂-Zellen) im Zentrum mit 3.824 mM Mangan. Sie sind vollständig von Peridermzellen umgeben, deren Lumen 4.023 mM Mangan enthält. An das Periderm schließt sich nach außen eine Schicht von Parenchymzellen an, die sich von der großen Menge der proliferierten Zellen nur durch die intensive Blaufärbung im lichtmikroskopischen Schnitt unterscheidet (Abb. 6B). Sie enthalten 2.966 mM Mangan im Lumen (Abb. 6, Tab. 3). Im Lumen der Zellen in den kleinen schwarzbraunen Teilbereichen wurden im Mittel über 8.100 mM Mangan gemessen, mit Maximalwerten von bis zu 17.347 mM (Abb. 6, Tab. 3). Vermutlich liegt das Mangan in den schwarzbraunen Teilbereichen in einer mineralischen Form vor, wahrscheinlich als Mangan-dioxid (Braunstein).

Die Zellwände in den schwarzbraunen Teilbereichen enthalten vergleichsweise geringe Mangan-Konzentrationen: 64,9 mM im Zentrum des größeren schwarzbraunen Bereichs (Abb. 7, Tab. 4) und 20,3 mM im Periderm (Abb. 6, Tab. 3).

Die Zellen mit den extrem hohen Mangangehalten sind nicht immer vollständig mit kontrastreichem Material ausgefüllt, oft ist ein Teil des Lumens viel schwächer kontrastiert. Diese Bereiche enthalten sehr viel geringere Mangan-Konzentrationen von 151 mM (Abb. 7, Tab. 4). Andere Parenchymzellen sind insgesamt schwächer kontrastiert, sie enthalten mit 14,6 mM nur wenig Mangan (Abb. 7, Tab. 4).

Strahlzellen

Messungen im Lumen von Strahlzellen ergaben Mangan-Werte von 108 mM und 37,3 mM. Wände von Strahlzellen enthielten 9,4 mM Mangan (Abb.

	Mn [mmol dm ⁻³] MW (min.-max.)
(1) MnO ₂ -Zellen, Lumen	3824 (369-13422)
(2) Periderm, Lumen	4023 (1098-11720)
(2) Periderm, Wand	20,3 (8,8-39,2)
(3) MnO ₂ -Zellen, Lu.	2966 (283-6782)
(4) MnO ₂ -Zellen, Lu.	8178 (1302-17347)
(5) MnO ₂ -Zellen, Lu.	8136 (7297-9767)
(6) Proliferation, Lumen	1,8 (0 -11,5)
(6) Proliferation, Wand	3,7 (2,2-6,0)
(7) Parenchym, Lumen	30,6 (20,0-46,7)
(7) Gefäße, Sek.wand	5,4 (2,9-11,5)
(8) braune Fasern, Lu.	11,9 (9,2-17,6)
(8) br. Fasern, Sek.wand	2,3 (2,0 -3,2)
(9) helle Fasern, Lumen	1,1
(9) helle Fas., Sek.wand	2,8 (2,5-3,5)

4, Tab. 1). In Flächenmessungen über mehrere Strahlzellen (Lumen + Wand) lagen die Mangan-Konzentrationen bei 7,4 und 6,3 mM (Abb. 4, Tab. 1).

In einem anderen braunen Fleck (nicht abgebildet) wurden im Lumen von Strahlzellen in unterschiedlichen Entfernungen vom braunen Fleck 13,2 (0-33,5), 7,7 (0-28,4) und 16,7 (0-38,6) mM Mangan gemessen, wobei der Bereich mit den höchsten Mangan-Werten am weitesten vom braunen Fleck entfernt lag. Die entsprechenden Mangan-Gehalte in den Zellwänden waren 6,5 (3,8-9,1), 6,1 (2,4-11,0) und 7,6 (3,3-23,9) mM.

Calcium-Gehalt

In den schwarzbraunen Teilbereichen wurden immer auch extrem hohe Calcium-Konzentrationen gemessen. Aber auch in den übrigen Bereichen trat Mangan fast immer zusammen mit Calcium auf. Dabei waren die Calcium-Konzentrationen in der Regel 4-6-mal höher als die Mangan-Konzentrationen, fast immer mit einer engen positiven Ca-Mn-Korrelation. Jedoch gab es in schwarzbraunen Bereichen mit den extrem hohen Mn- und Ca-Gehalten entweder gar keine oder nur eine schwach negative Ca-Mn-Korrelation. Beispiele

Tab. 4: Mangan-Konzentrationen der in Abb. 7 dargestellten Messregionen. Die Zahlen (1) bis (5) beziehen sich auf die entsprechenden Zahlen in Abb. 7. MW = Mittelwert

Tab. 4: Manganese concentrations of the measured regions as shown in Fig. 7. Numbers (1) to (5) refer to the corresponding numbers in Fig. 7. MW = mean value

	Mn [mmol dm ⁻³] MW (min.-max.)
(1) MnO ₂ -Zellen	3824 (369-13422)
(2) MnO ₂ -Z.: Rest-Vac.	151 (104-220)
(3) MnO ₂ -Z.: Wand	64,9 (14,2-140,7)
(4) Parenchym, Vac.	14,6 (9,9-23,7)
(5) Parenchym, Wand	11,5 (10,0-13,2)

zeigt Abb. 8.

Braunfärbung der Flecken durch Mangan?

Die dunkle Färbung der schwarzbraunen Teilbereiche, die in einigen braunen Flecken zu finden sind, ist sicher auf den hohen Mangengehalt zurückzuführen; vermutlich liegt Mangan hier als MnO₂ (Braunstein) vor. Alle anderen Gewebebereiche, die in den braunen Flecken gemessen wurden, enthalten sehr viel geringere Mangan-Konzentrationen. Thyllen sind nächst den schwarzbraunen Zellen die am höchsten mit Mangan belasteten Strukturen, jedoch wurden hier nur maximal 344 mM Mangan gemessen (Tab. 2). Oft enthalten Thyllen sehr viel weniger Mangan, minimal 9 mM (Tab. 1). Andererseits erscheinen Thyllen im Lupenbild in allen

braunen Flecken immer relativ dunkel. Es ist anzunehmen, dass Thyllen durch die Einlagerung von Polyphenolen braun gefärbt werden. Holzfasern mit braunem Lumen bilden immer einen beträchtlichen flächenmäßigen Anteil an einem braunen Fleck, ihre Braunfärbung ist sowohl im Lumen als auch in den Sekundärwänden mindestens ebenso intensiv wie die der Thyllen. Sie enthalten jedoch nur geringe Mangan-Konzentrationen: im Lumen wurden maximal 17,6 mM Mangan gemessen (Tab. 3). Die Sekundärwände braunlumiger Fasern enthalten maximal 3,2 mM Mangan, dagegen enthalten Sekundärwände von hellen Fasern außerhalb des braunen Flecks sogar etwas mehr Mangan, maximal 3,5 mM (Tab. 3). Andererseits wurde in Strahlzellen, die in der Regel sehr hell erscheinen (Abb. 4, 5,), wieder

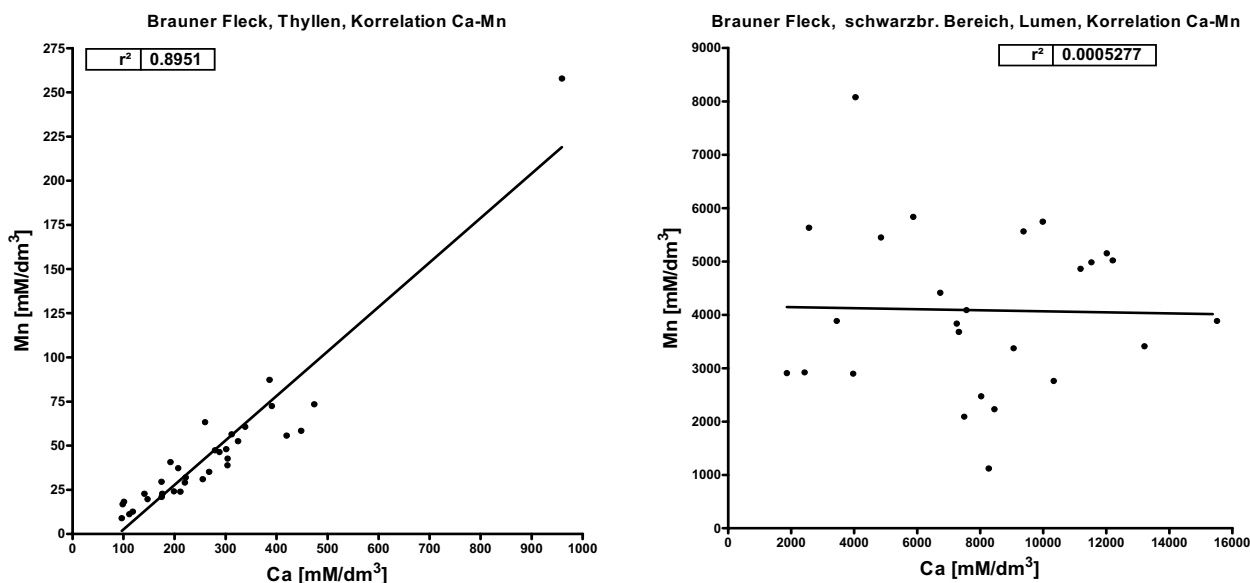


Abb. 8: Korrelationen Ca-Mn in braunen Flecken. Linke Grafik: Wände von Thyllen. Rechte Grafik: Lumina von hoch kontrastierten Zellen im schwarzbraunen Teilbereich eines braunen Flecks.

Fig. 8: Correlations Ca-Mn in brown spots. Left graph: walls of tyloses. Right graph: lumina of high contrasted cells in a black-brown part of a brown spot

deutlich mehr Mangan gemessen als in den braunlumigen Holzfasern: maximal 59 mM und 169 mM in den Lumina einzelner Zellen und in Flächenmessungen 6,3 bzw. 7,4 mM Mangan (Abb. 4, Tab. 1) gegenüber 5,9 mM (Abb. 5, Tab. 2) bzw. 8,8 mM Mangan in Bereichen brauner Holzfasern (Abb. 4, Tab. 1).

Mit Ausnahme der schwarzbraunen Bereiche ist also die Braunfärbung der Flecken im Buchenholz sehr wahrscheinlich auf die Anreicherung von Polyphenolen und Tanninen an diesen Stellen zurückzuführen. Es ist bekannt, dass diese Substanzen mehr oder weniger starke Komplexe mit polyvalenten Kationen bilden können (NORTHUP et al., 1998; VAZQUEZ et al., 2002). Mangan ist im Xylem leicht beweglich, es findet sich in erhöhten Mengen im Xylem von Buchen auf Manganbelasteten Böden. Eine Anreicherung durch Adsorption an Polyphenole und/oder Tannine ist daher denkbar.

Diese Hypothese wurde experimentell geprüft: Es wurde versucht, Mangan aus den braunen Flecken durch Fixierung der Holzproben mit Alkohol-Eisessig auszuwaschen. Weiterhin wurde geprüft, ob Nickel an den gleichen Strukturen adsorbiert wird, an denen auch Mangan akkumuliert.

Tab. 5 zeigt die Ergebnisse. Die hoch kontrastierten Zellen in den schwarzbraunen Bereichen (1) und (2) (Abb. 9, Tab. 5) enthalten extrem hohe Mangan-Konzentrationen, der Mittelwert beträgt 10.183 mM. Viele dieser Zellen sind jedoch nicht vollständ-

dig mit hoch kontrastiertem Material ausgefüllt, sondern enthalten zusätzlich noch einen weniger stark kontrastierten Bereich, ähnlich Abb. 7 (Nr. 2,). In diesen helleren Bereichen ist der Mangan-Gehalt gering, im Mittel 41,1 mM. Andererseits erfolgt hier eine starke Nickel-Adsorption mit mittleren Konzentrationen von 1.583 mM und mit Maximalwerten bis zu 2.248 mM. Auch Thyllen adsorbieren sehr viel Nickel, im Mittel 799 mM, maximal 2.340 mM. Mäßige Nickel-Adsorption erfolgt im Lumen und in der Sekundärwand der braunen Fasern (Abb. 9, Tab. 5, Nr. 4), es werden im Mittel 101 mM im Lumen und 40,1 mM in der Sekundärwand erreicht. Fasern im intakten Xylem außerhalb des braunen Flecks (Abb. 9, Nr. 5) adsorbieren in Sekundärwänden im Mittel 35,4 mM Nickel, im Lumen war kein Nickel nachweisbar (Tab. 5, Nr. 5). Mangan ist sowohl in braunen als auch in hellen Fasern (Abb. 9, Tab. 5, Nr. 4+5) nicht mehr nachzuweisen, es wurde offenbar durch die Alkohol-Eisessig-Behandlung vollständig ausgewaschen.

Diskussion

Anormale braune Verfärbungen im Buchenholz sind schon häufig beschrieben worden. Oft wurden braun verfärbte, stark erweiterte Strahlen beobachtet (BURO, 1952; SACHSSE, 1974), jedoch zeigen die Verfärbungen der vorliegenden Buchenholz-Proben ein anderes Bild: die Strahlen sind zwar

Tab. 5: Adsorption von Nickel aus einer 1 mM NiSO₄-Lösung. Mangan- und Nickel-Konzentrationen der in Abb. 9 dargestellten Messregionen. Die Zahlen (1) bis (5) beziehen sich auf die entsprechenden Zahlen in Abb. 9. d.L. = dunkler Bereich des Lumens; h.L. = heller Bereich des Lumens. MW = Mittelwert.

Tab. 5: Adsorption of Nickel from an 1 mM NiSO₄-solution. Manganese and Nickel concentrations of the measured regions as shown in Fig. 9. Numbers (1) to (5) refer to the corresponding numbers in Fig. 9. d.L. = dark area of the cell lumina; h.L. = light area of the cell lumina

	Mn [mmol dm ⁻³] MW (min.-max.).	Ni [mmol dm ⁻³] MW (min.-max.)
(1)+(2) MnO ₂ -Zellen, d.L.	10183 (4201-15267)	74,2 (0 -585)
(1)+(2) MnO ₂ -Zellen, h.L.	41,1 (13,9-86,3)	1583 (720-2248)
(3) Thyllen	28,9 (0 -118)	799 (163-2340)
(4) braune Fasern, Lumen	0	101 (65-142)
(4) braune Fasern, Sek.wand	0	40,1 (33,6-45,3)
(5) helle Fasern, Sek.wand	0	35,4 (31,6-40,9)
(5) helle Fasern, Lumen	0	0

manchmal erweitert, doch niemals braun gefärbt. Die von SACHSSE (1974) beobachtete starke Thyllenbildung in der Nachbarschaft der braun verfärbten Strahlen haben auch wir im Bereich der braunen Flecken fast immer gefunden. Auch im Querschnitt geschliffener Buchenstämmen sind Thyllen in den Gefäßen mit der Stereolupe deutlich zu erkennen (Abb. 2). BOSSHARD (1965) hat Verfärbungen im Buchenholz beschrieben, die im Holz-Querschnitt eine typische T-förmige Gestalt aufweisen. BOSSHARD (1965) vermutet als Entstehungsursache Haarrissbildungen in der Rinde durch starke Temperaturdifferenzen. Dies ermöglicht das Eindringen von Luftsauerstoff in das Holz und dadurch Braunfärbung von Zellinhaltsstoffen. Diese T-Form hat jedoch keiner der von uns untersuchten braunen Flecken. Die von TORELLI et al. (1994) beschriebenen Veränderungen im Buchenholz nach Verletzungen von Rinde und Holz sind teilweise ähnlich den Veränderungen, die wir in den vorliegenden Buchenholz-Proben beobachtet haben: Braunfärbung, in radialen Reihen angeordnete Parenchymzellen (Proliferationen, Abb. 5B, 6B, 9B), Fehlen von Gefäßen (Abb. 2B, 5B, 6B, 9B), Thyllenbildung (Abb. 2, 3). Auch in den Versuchen von TORELLI et al. (1994) spielte Luftsauerstoff offenbar eine wesentliche Rolle bei der Braunfärbung. Während jedoch die von TORELLI et al. (1994) experimentell herbeigeführten Verletzungen recht erheblich waren, konnten wir in den von uns untersuchten Proben weder auf der Oberfläche der Rinde noch im Holz irgendwelche Anzeichen von Verletzungen finden.

Ein ganz anderer Typ von Verfärbungen entsteht bei der Zersetzung von Holz durch Weißfäulepilze (BLANCHETTE, 1984). Diese Verfärbungen sind schwarz und gekennzeichnet durch einen hohen Mangan-Gehalt. Der Lignin-Abbau durch Weißfäulepilze ist ein oxidativer Prozess, extrazellulär und unspezifisch. Daher vermutet BLANCHETTE (1984) eine gleichzeitige Oxidation von Mangan zu Manganoxid. Die Ausfällung von Mn-Oxiden ließe einen Mn-Gradienten entstehen, dadurch würde der Transport von zusätzlichem Mangan in die Region der schwarzen Flecken begünstigt. PEARCE (2000)

beschreibt ebenfalls die Akkumulation verschiedener Elemente in der Reaktionszone des Buchenholzes nach einer Pilzinfektion. Die durch PIXE (proton induced X-ray emission) gewonnenen Daten zeigen eine Akkumulation mehrerer Elemente in der Reaktionszone im Vergleich zum gesunden Holz: Calcium 6-fach, Kalium 2,5-fach, Mangan 4,4-fach, Magnesium 3,4-fach. Die absolute Mangan-Konzentration liegt jedoch weit unter der von Ca, K und Mg. Es ist jedoch bemerkenswert, dass gerade Ca und Mn den höchsten Anstieg zeigen. PEARCE (2000) beschreibt auch das Vorkommen von braunen polymeren Substanzen, die in Reaktionszonen von Ahorn Gefäße und Holzfasern verschließen. Allgemein ist die Deposition von braunen Polymeren typisch für Reaktionszonen im Holz nach Pilzinfektionen. Auch in unseren Proben erscheinen sowohl die Thyllenwände als auch die Faser-Lumina im Bereich der braunen Flecken im Lupenbild dunkelbraun (Abb. 2). Mit Toluidinblau färben sich diese Strukturen dunkelblau (Abb. 3). Es kann vermutet werden, dass auch hier die Braunfärbung durch Einlagerung von Polyphenolen hervorgerufen wird. An diesen Stellen sind immer auch die Mangan-Konzentrationen deutlich erhöht (Tab. 1, 2) und fast immer auch die Calcium-Konzentrationen (Abb. 8). Dies entspricht den Ergebnissen von PEARCE (2000) und stimmt mit anderen Beobachtungen überein, dass polyphenolische Substanzen starke Bindungskräfte gegenüber 2- und 3-wertigen Metallionen besitzen (HIDER et al., 2001). Trotz mancher Ähnlichkeiten mit den bisher in der Literatur beschriebenen Phänomenen brauner Holzverfärbungen konnten wir jedoch bisher keine Hinweise auf mechanische Schäden oder auf das Vorliegen einer Pilzinfektion finden.

Die bisher vorliegenden EDX-Analysen von braunen Flecken im Buchenholz deuten darauf hin, dass bei schätzungsweise über 95 % der braunen Flecken die Braunfärbung nicht durch die Mangan-Einlagerung hervorgerufen wird, sondern durch Polyphenole, an die das Mangan dann gebunden wird. Es wurden maximal 344 mM Mn in der Thyllenwand eines Gefäßes in einem braunen Fleck gemessen, meist liegen jedoch die Mn-

Konzentrationen in Thyllen im Bereich der braunen Flecken viel niedriger (siehe Tab. 1, 2). Fasern gehören zu den am intensivsten braun gefärbten Geweben im Bereich der braunen Flecken, enthalten jedoch nur geringe Mangan-Konzentrationen: im Mittel 12 mM im Lumen und nur 2,3 mM in der Sekundärwand (Tab. 3). Dass Mn-Konzentrationen von 20 – 100 mM allein nicht zu Braunfärbungen führen, hat sich in vielen Messungen gezeigt, z. B. in Abb. 4, Bereich (2) oder Abb. 6, Bereich (7). Obwohl die Mangan-Werte hier deutlich über denen der braunen Fasern liegen, ist das Xylem an diesen Stellen normal hell gefärbt. Strahlzellen enthalten oft um 40 mM Mangan, Strahlen sind jedoch immer ausgesprochen hell gefärbt (Abb. 4-6, 9).

Mangan in den sehr dunklen schwarz-braunen Teilbereichen, die schätzungsweise nur in weniger als 5% der braunen Flecken zu finden sind und die oft auch nur einen kleinen Teil des braunen Flecks einnehmen, ist sehr wahrscheinlich nicht an Polyphenole gebunden. Vermutlich handelt es sich um Manganoxid wie von BLANCHETTE (1984) beschrieben, auch Calcium liegt wahrscheinlich als Oxid vor. Die extrem hohen Ca und Mn-Konzentrationen von bis zu 17.000 mM sind nur durch das Vorliegen von anorganischen Verbindungen zu erklären. An diesen Stellen ist die Probe immer extrem schwer zu schneiden, da der dunkle Zellinhalt offenbar sehr spröde ist und leicht zerbröseln. Dies sind vermutlich auch die Stellen, die bei der Verarbeitung von braunfleckigem Buchenholz zu Furnieren besonders leicht reißen.

Versuche zur Mangan-Auswaschung und zur Nickel-Adsorption können weitere Hinweise zur Natur der braunen Flecken liefern. Die hohe Protonenkonzentration im Fixiergemisch (5 % Essigsäure in 70 % Alkohol) desorbiert alle nicht fest gebundenen Kationen von ihren Bindungsstellen. Die Behandlung der Schnitte mit einer 1 millimolaren NiSO₄-Lösung führt zu weiteren Kationen-Desorptionen: Ni hat eine hohe Affinität zu negativen Bindungsstellen in den Zellen und kann Mn aus diesen Bindungen verdrängen. Die schwarzbraunen Zellen enthielten aber nach der Säure-Ni-Behandlung noch immer sehr hohe Mangan- und

Calcium-Gehalte, jeweils maximal um 16.000 mM. Dies ist am einfachsten mit der Annahme zu erklären, dass Mn und Ca in diesen Zellen als Oxide vorliegen. Wir haben diese Zellen daher als MnO₂-Zellen bezeichnet. Vollständig desorbiert wurde das Mangan nur aus den braunen und den hellen Fasern (Tab. 5). Die Braunfärbung ist an diesen Stellen jedoch geblieben, da Polyphenole hier offenbar als hochpolymere Verbindungen vorliegen und nicht ausgewaschen werden (Abb. 9).

In Zellen mit den höchsten Mangan-Akkumulationen wurden auch die höchsten Nickel-Adsorptionen gemessen (Tab. 5), jedoch in den MnO₂-Zellen nur dort, wo das Lumen der Zelle nicht vollständig mit hochkontrastiertem Inhalt ausgefüllt war und ein Teil der ursprünglichen Vacuole als geringer kontrastierter Bereich erhalten geblieben war (Abb. 7, Bereich 2). An den hochkontrastierten Stellen der MnO₂-Zellen wurden sehr unterschiedliche Nickel-Adsorptionen gefunden, maximal 1.743 mM, jedoch erfolgte an vielen Stellen überhaupt keine Nickel-Adsorption.

Die Entstehung der braunen Flecken wird wahrscheinlich ausgelöst durch einen Impuls zur Bildung von Thyllen und Zellproliferationen. Die Ursache ist bisher noch unbekannt (Mikroorganismen? Wollschilddlaus?). Diese Vorgänge müssen auch schon vor vielen Jahren abgelaufen sein. Die Entstehung der massiven anatomischen Anomalitäten vieler brauner Flecken ist nur im cambiumnahen Xylem denkbar, die anatomischen Veränderungen sind teilweise so gravierend, dass eine nachträgliche Änderung der Anatomie im ausdifferenzierten alten Xylem unmöglich erscheint. Diese Veränderungen in der Holz Anatomie sind aber lange Zeit nicht aufgefallen, da zunächst keine Polyphenole eingelagert wurden. Es gibt Beispiele dafür, dass massive anatomische Veränderungen manchmal mit so schwacher Braunfärbung einhergehen (LANGENFELD-HEYSER et al., 2006a), dass sie leicht übersehen werden können. Die Bildung von Polyphenolen könnte später als Reaktion auf eine erhöhte Mn-Konzentration im Transpirationsstrom erfolgen, so wie viele Pflanzen auf Schwermetall-Stress mit der Bildung von Polyphen-

nolen reagieren (NEUMANN et al., 1995). Mangan wird dann an die Polyphenole adsorbiert. Die extrem hohen Mangan-Werte in den MnO₂-Zellen machen einen zusätzlichen Vorgang erforderlich, die Oxidation zu MnO₂. Es ist vielleicht kein Zufall, dass die MnO₂-Zellen aus speziellen parenchymatischen Zellen der Proliferationen hervorgehen. Anders als Gefäße und Fasern bleiben die Zellen der Proliferation wahrscheinlich über viele Jahre lebend, da sie immer mit Strahlen in Verbindung stehen, die auch im älteren Xylem von Buchen lange vital sind (PFANZ et al., 2002). Die Bildung von Polyphenolen und die Oxidation von Mn zu MnO₂ sind enzymatische Vorgänge, die die Anwesenheit lebender Zellen erfordern.

Literatur

- BLANCHETTE, R.A. (1984): Manganese accumulation in wood decayed by white rot fungi. *Phytopathology* 74, 725-730.
- BOSSHARD, H.H. (1965): Mosaikfarbkernholz in *Fagus sylvatica* L. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 116, 1-11.
- BURO, A. (1952): Bericht über die Erkrankung der Markstrahlen des Rotbuchenholzes. *Arch. Forstw.* 1, 167-172.
- BUSSOTTI, F.; GRAVANO, E.; GROSSONI, P. und TANI, C. (1998): Occurrence of tannins in leaves of beech trees (*Fagus sylvatica*) along an ecological gradient, detected by histochemical and ultrastructural analyses. *New Phytologist* 138, 469-479.
- FRITZ, E. (1989): X-ray microanalysis of diffusible elements in plant cells after freeze-drying, pressure-infiltration with ether and embedding in plastic. *Scanning Microscopy* 3, 517-526.
- FRITZ, E. (1991): The use of adhesive-coated grids for the X-ray microanalysis of dry-cut sections in the TEM. *Journal of Microscopy* 161, 501-504.
- FRITZ, E. und JENTSCHKE, G. (1994): Agar standards for quantitative X-ray microanalysis of resin-embedded plant tissues. *Journal of Microscopy - Oxford* 174, 47-50.
- HIDER, R.C.; LIU, Z.D. und KHODR, H.H. (2001): Metal chelation of polyphenols. *Flavonoids and other Polyphenols* 335, 190-203.
- KUBINIÖK, J. und GERBER, C. (2005): Untersuchung der Standortabhängigkeit der „Manganflecken“, Prüfung der Ursachenhypothese, Untersuchung der Wirksamkeit von Kalkungen auf die Reduzierung der Manganverfügbarkeit und die Fleckenausbildung. Abschlussbericht, Interreg III A DeLux-Projekt „Entwicklung von Strategien zur Sicherung von Buchenwäldern“.
- LANGENFELD-HEYSEYER, R.; LANG, C.; FRITZ, E.; PETERCORD, R. und POLLE, A. (2006a): Stehendbefall von *Fagus sylvatica* L. mit *Trypodendron* – anatomische Untersuchungen. S. 79-94.
- NEUMANN, D.; ZUR NIEDEN, U.; LICHTENBERGER, O. und LEOPOLD, I. (1995): How does *Armeria maritima* tolerate high heavy metal concentrations? *Journal of Plant Physiology* 146, 704-717.
- NORTHUP, R.R.; DAHLGREN, R.A. und MCCOLL, J.G. (1998): Polyphenols as regulators of plant-litter-soil interactions in northern California's pygmy forest: A positive feedback? *Biogeochemistry* 42, 189-220.
- PEARCE, R.B. (2000): Decay development and its restriction in trees. *Journal of Arboriculture* 26, 1-11.
- PFANZ, H.; ASCHAN, G.; LANGENFELD-HEYSEYER, R.; WITTMANN, C. und LOOSE, M. (2002): Ecology and ecophysiology of tree stems: cortical and wood photosynthesis. *Naturwissenschaften* 89, 147-162.
- POLLE, A.; LANGENFELD-HEYSEYER, R.; LANG, C. und OLBRICH, A. (2005): Anatomische Untersuchungen zur Entstehung von Weichbastnekrosen, Holzstrahlproliferationen und Manganflecken in geschädigtem Buchenholz. Abschlussbericht, Interreg III A DeLux-Projekt „Entwicklung von Strategien zur Sicherung von Buchenwäldern“.
- SACHSSE, H. (1974): Eine Anomalie des Strahlgewebes von *Fagus sylvatica* L. *HOLZ als Roh- und Werkstoff* 32, 95-98.
- TORELLI, N.; KRIZAJ, B. und OVEN, P. (1994): Barrier zone (CODIT) and wound-associated wood in beech (*Fagus sylvatica* L.). *Holzforschung und Holzverwertung* 46, 49-51.
- VÁZQUEZ, G.; GONZÁLEZ-ÁLVAREZ, J.; FREIRE, S.; LÓPEZ-LORENZO, M. und ANTORRENA, G. (2002): Removal of cadmium and mercury ions from aqueous solution by sorption on treated *Pinus pinaster* bark: kinetics and isotherms. *Bioresource Technology* 82, 247-251.

Autorenanschriften

Dr. Eberhard Fritz, Dr. Rosemarie Langenfeld-Heyser, Prof. Dr. Andrea Polle
 Institut für Forstbotanik, Georg-August Universität Göttingen
 Büsgenweg 2, D-37077 Göttingen
 Email: efritz@gwdg.de
 rheyser@gwdg.de
 apolle@uni-goettingen.de

Dr. Ralf Petercord
 Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz
 Schloss, D-67705 Trippstadt (bis Dezember 2005)
 Email: rpetercord@web.de

Auswirkungen der Buchenkomplexerkrankung auf die Bewirtschaftung der Buchenbestände in FFH – Gebieten

Nicolas, D. und Quatraro, A.

Zusammenfassung

Die Studie umfasst die Untersuchung von durch die Buchenkomplexkrankheit geschädigten Beständen, die sich gleichzeitig in FFH-Gebieten (Netz Natura 2000) befinden und einer Bewirtschaftung im Sinne der europäischen Richtlinie 92/43/EWG bedürfen. Das Ziel bestand in der Festlegung von praktischen Empfehlungen für die Behandlung dieser Bestände.

Auf der Basis des derzeitigen Informationsstandes bezüglich der Buchenkomplexkrankheit und des Natura 2000-Netzes wurde in den luxemburgischen Forstämtern Wiltz und Mersch anhand von konkreten Beispielen ermittelt, inwiefern die unterschiedlichen Bewirtschaftungsvorschriften für die Buchenwaldflächen in FFH-Gebieten mit der regionalen Problematik der Buchenerkrankung vereinbar sind. Darüber hinaus wurden die Auswirkungen auf die biologische Vielfalt, die wirtschaftlichen Auswirkungen im Privatwald und der Aspekt der Sicherheit untersucht sowie die Situation in Rheinland-Pfalz im Überblick dargestellt.

Unter dem Gesichtspunkt der Erhaltung der Buchenwälder als Lebensraum stellt sich das Problem des Wiederaufbaus der befallenen Bestände. Die in der Untersuchung vorgeschlagenen waldbaulichen Eingriffe betreffen im Wesentlichen die gezielte Förderung der natürlichen Verjüngung der Bestände sowie Änderungen in der Hiebsplanung. Es wird ebenfalls auf den verstärkten Konkurrenzdruck der Fichtennaturverjüngung und auf die Buchenverjüngung in Mischbeständen hingewiesen. Die Verjüngung der Bestände wird, unabhängig von der Buchenkomplexkrankheit, noch durch andere Aspekte erschwert, welche der europäischen Richtlinie zuwiderlaufen. Dazu zählen z.B. zu hohe Wilddichten, welche die Verjüngung der Begleit- und Nebenbaumarten der Buche verhindern.

Unter dem Gesichtspunkt der biologischen Vielfalt stellt die Buchenerkrankung einen natürlichen Faktor dar, der neue Lebensräume entstehen lässt, in denen sich eine Vielzahl von durch die Richtlinie geschützten Tier- und Pflanzenarten ansiedeln können.

Schlussendlich dürfte die in Luxemburg und in Rheinland-Pfalz betriebene naturnahe Waldbaupolitik in gewissem Maße die negativen Folgeerscheinungen der Buchenerkrankung abmildern und den Erhalt der betroffenen Waldlebensraumtypen gewährleisten.

Schlüsselwörter: Buche, *Fagus sylvatica*, Buchenkomplexkrankheit, Buchenrindennekrose, Natura 2000, Waldbau, Verjüngung, biologische Vielfalt, Privatwald, Öffentlichkeitsarbeit

The impact of the beech bark disease on the management practices of beech stands on FFH-sites

Summary

This study deals with the analysis of beech stands being affected by the beech bark disease, which are located on FFH-sites (network Natura 2000) and require management practices that follow the European guideline 92/43/EWG. The goal was defined to work out practical suggestions for the treatment of these stands.

On the basis of the latest standard of knowledge regarding the beech bark disease and the network Natura 2000, it has been analysed by means of concrete examples in the Luxembourg forest districts of Wiltz and

Mersch, to what extent the different management regulations concerning beech stands on FFH-sites are compatible with the regional problem of the beech bark disease. Furthermore, the effects on biodiversity, the economical effects in private forests, and the aspect of security were studied as well as the situation of Rhineland-Palatinate was outlined.

From the point of view of conserving beech forests as a habitat, the rebuilding of the damaged stands can be considered as a challenge. The silvicultural treatments suggested by this study mainly affect the aimed promotion of natural regeneration in stands as well as changes concerning the logging plan. Attention is also put on the increase of competition between the natural regeneration of spruce and the regeneration of beech in mixed stands. The regeneration of the stands, regardless of the beech bark disease, is complicated through other aspects which are contradictory to the European directives. Part of this issue is for example a too high game density, which inhibits the regeneration of associate and secondary tree species of beech.

With the viewpoint of biodiversity, the beech bark disease represents a natural factor creating new habitats in which a multitude of animal and plant species, protected through the directive, are able to settle down.

Finally, ecologically responsible silvicultural politics as practised in Luxembourg and Rhineland-Palatinate may attenuate the negative after-effects of the beech bark disease to some extent, which may assure the preservation of the affected types of forest habitats.

Keywords: European beech, *Fagus sylvatica*, beech bark disease, Natura 2000, silviculture, regeneration, biodiversity, private forest, public relations

Einleitung

Die seit dem Jahr 2001 in der deutsch-belgisch-luxemburgischen Grenzregion auftretende Buchenerkrankung ist neben verschiedenen Symptomen durch eine extrem starke Infektion der Buchen durch Weißfäulepilze gekennzeichnet. Das Abbrechen der befallenen Buchen droht erhebliche ökologische Schäden in Buchenbeständen des Natura 2000-Netzes zu verursachen.

Diese Studie untersucht das Auftreten der Buchenerkrankung in befallenen Beständen, die sich in FFH-Gebieten befinden und die einer Bewirtschaftung im Sinne der europäischen Richtlinie 92/43/EWG bedürfen. Ziel war die Ableitung von praktischen Empfehlungen für die Behandlung dieser Bestände. Zum einen soll ermittelt werden, wie weit die unterschiedlichen Bewirtschaftungsvorschriften für die Buchenwaldflächen in FFH-Gebieten mit der regionalen Problematik der Buchenerkrankung vereinbar sind. Zum anderen zielt die Untersuchung, im Hinblick auf die Vielfältigkeit der vorgefundenen Situationen in Luxemburg, auf spezifische Handlungsempfehlungen ab. Darüber hinaus wurden die Auswirkungen auf die biologische Vielfalt, die wirtschaftlichen Auswirkun-

gen im Privatwald und der Aspekt der Sicherheit untersucht sowie die Situation in Rheinland-Pfalz im Überblick dargestellt.

Methoden

Bei der vorliegenden Untersuchung wurden zunächst aus der Literatur Informationen zur Buchenerkrankung, zum Management von FFH-Gebieten und allgemein zum *Natura 2000*-Netz zusammengestellt.

Da zum Zeitpunkt der Untersuchung in keinem der untersuchten Gebiete ein Bewirtschaftungsplan nach FFH-Richtlinie vorlag, wurden zusammen mit den Vertretern der luxemburgischen Forstverwaltung in den Forstämtern Wiltz und Mersch insgesamt zehn von der Buchenerkrankung betroffene Bestände aufgesucht, wobei jedoch aus Vergleichsgründen lediglich fünf Bestände in FFH-Gebieten lagen. Ergänzende Informationen wurden, von mit dem Thema vertrauten Fachleuten aus Luxemburg und Rheinland-Pfalz, mittels Gesprächen und Fragebögen eingeholt.

Fünf der zehn ausgewählten Bestände können den folgenden drei, mehr oder weniger stark von der Buchenkomplexkrankheit betroffenen, luxemburgi-

schen FFH-Gebieten zugeteilt werden:

- LU 000 1002: Ourtal von Ouren bis Wallendorf-Pont
- LU 000 1013: Attertall von der belgischen Grenze bis Useldange
- LU 000 1018: Mamertal und Eischtal

Als Ergebnis dieser Arbeit wurden die Empfehlungen zur Bewirtschaftung dieser FFH-Gebiete vier verschiedenen Themenbereichen (waldbauliche Behandlung, Auswirkungen auf die biologische

Vielfalt, wirtschaftliche Aspekte und Auswirkungen im Privatwald, Sicherheit und Unterrichtung der Öffentlichkeit) zugeordnet.

Ergebnisse

Die luxemburgische Liste des Natura 2000-Netzes zählt 47 Gebiete, die als „besondere Schutzzonen“ nach der FFH-Richtlinie in Frage kommen, sowie 12 besondere Schutzzonen für wildlebende Vögel (Gesetz vom 19. Januar 2004, Ministère de

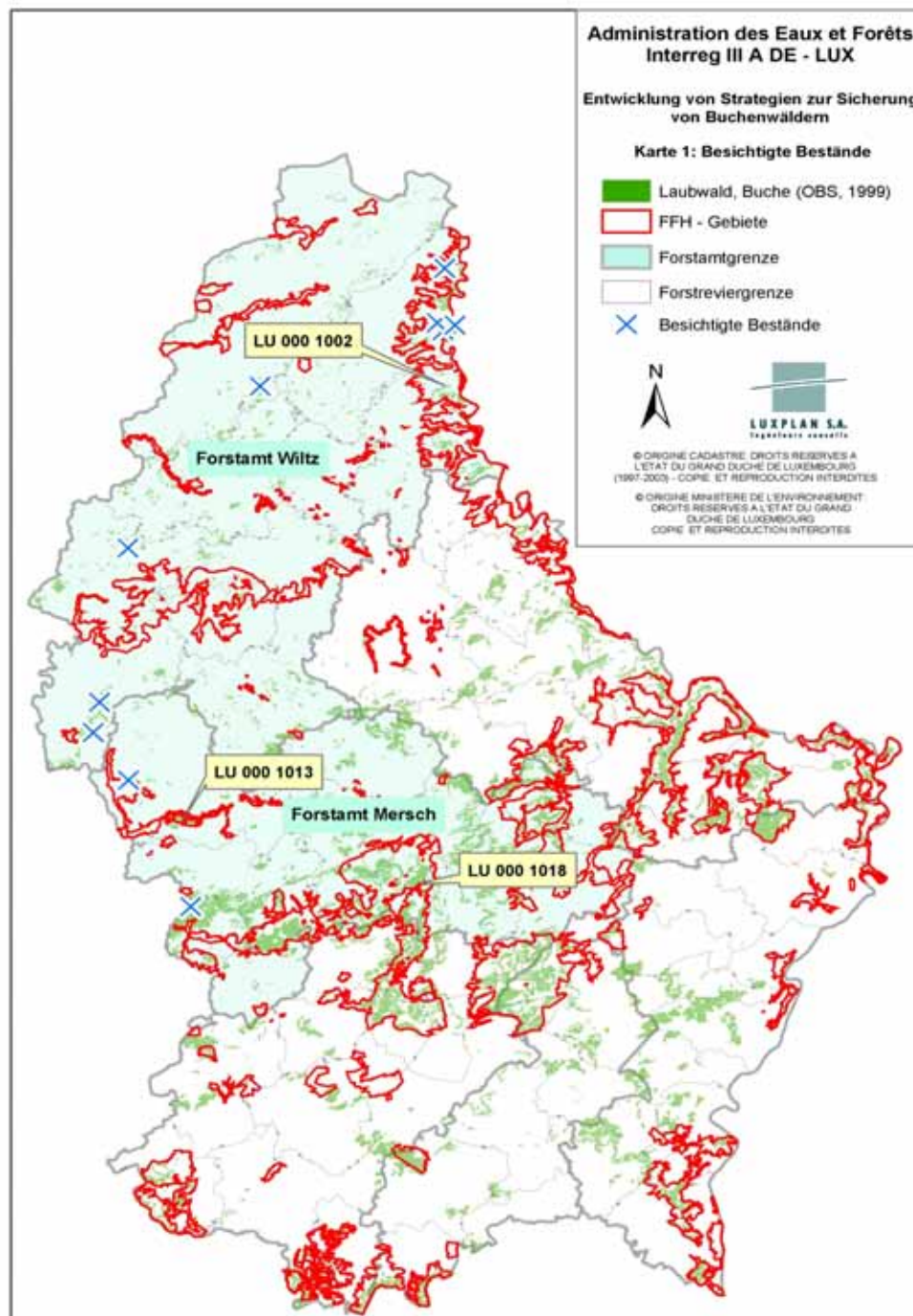


Abb. 1: Von der Buchenkomplexkrankheit betroffene FFH-Gebiete und besichtigte Bestände
Fig. 1: FFH-sites affected by the beech bark disease und visited stands

l'Environnement). Die Buchenwaldflächen umfassen 4 unterschiedliche Lebensraumtypen (von insgesamt 31 Lebensraumtypen laut Natura 2000-Richtlinien), von denen jedoch keiner als „vorrangig“ definiert ist. Am häufigsten vertreten sind der von der Buchenerkrankung betroffene Hainsimsen-Buchenwald (Luzulo-Fagetum) sowie der Waldmeister-Buchenwald (Asperulo-Fagetum). In Deutschland kommen zurzeit insgesamt 14 Waldlebensraumtypen des Anhangs I der FFH-Richtlinie vor. Der Großteil der in Deutschland zu schützenden Waldgebiete entfällt auf die Lebensraumtypen "Hainsimsen-Buchenwald" und "Waldmeister-Buchenwald" (SIPPEL, 2005). In diesen beiden Waldgesellschaften stellt die Buche die wichtigste Baumart dar. Andere Lebensraumtypen, an der die Baumart Buche maßgeblich beteiligt ist, sind weniger häufig. Da es sich bei den Waldgesellschaften „Hainsimsen-Buchenwald" und "Waldmeister-Buchenwald" nicht um prioritäre Lebensraumtypen handelt, liegen für diese Gebiete prinzipiell keine FFH-Managementpläne vor (BURKHARDT, R., mündl. Mitteilung 2005).

Waldbauliche Behandlung der befallenen Bestände
 Folgende waldbauliche Maßnahmen können gegebenenfalls die Zukunft der Bestände im Sinne der FFH-Richtlinie sichern:

Änderung der Hiebsplanung

Bei Beständen, die sich beim Auftreten der Erkrankung schon in der Verjüngungsphase befinden, müssen der Umfang der Lichtwuchshiebe und die Auswahl der zu schlagenden Bäume angepasst werden. Im luxemburgischen Forstrevier Perlé (Abb. 2) beschränkten sich die Hiebe auf das kontrollierte Fällen von erkrankten Bäumen in Bereichen starker Verjüngung, mit dem Ziel, die Schäden am Nachwuchs in Grenzen zu halten und

den wirtschaftlichen Verlust zu mindern (Verkauf als Industrieholz).

In den dichten Beständen, in denen noch keine Verjüngung stattgefunden hat, können die durch das Brechen der Kronen kranker Bäume entstehenden Blößen eine Verjüngung ermöglichen, die der Revierförster entsprechend steuern kann. In bestimmten Fällen ist es daher angebracht, die Hiebstermine für die Verjüngungshiebe vorzuziehen und ihren Umfang an die Schwere des Befalls und den gewünschten Verjüngungstyp anzupassen.

Auch die Methode des Einschlags kann so verändert werden, dass nur in den befallenen Gebieten eine Durchforstung erfolgt, während man gesunde Inseln auch über die Hiebsreife hinaus ausspart. Die Erhaltung gesunder Bäume über die Hiebsreife hinaus begünstigt außerdem die biologische Vielfalt.

Generell begünstigen plenterartige, „gruppenweise“ Eingriffe eine bessere Verteilung der Altersklassen. Da dieser Eingriffstyp auf dem Luxemburger Staatsgebiet weitgehend fehlt, sind die entsprechenden Methoden zu fördern, insbesondere in FFH-Gebieten.

Bei schwachem Befall sind keine Eingriffe erforderlich, und die erkrankten Bäume werden im nor-



Abb. 2: Kontrolliertes Einschlagen von erkrankten Bäumen in Verjüngungsbereichen („Jongebësch“, Forstrevier Perlé)
 Fig. 2: Controlled felling of affected trees in regeneration areas (“Jongebësch”, forest station Perlé)

malen Pflegeurnus entnommen oder bleiben einfach stehen.

Gezielte Förderung der Bestandesverjüngung

Zusätzlich zu den Verjüngungshieben können ergänzende Techniken eingesetzt werden, mit denen die natürliche Verjüngung der Bestände unterstützt wird und die sich in den von der Buchenkomplexkrankheit betroffenen Beständen einsetzen lassen.

Die oberflächliche Bodenbearbeitung zur Förderung des Auskeimens der Samen ist eine alte Technik. Vor allem in folgenden Situationen ist eine Bodenbearbeitung unerlässlich (HUSS, 2004):

- Ungünstige Standortbedingungen: Diese Situation steht nicht in direktem Zusammenhang mit der Buchenerkrankung, sondern liegt bei Rohhumus mit dicker Streu oder auf Böden mit kompakter Oberflächenschicht vor.
- Starke Verkräutung des Bodens durch Adventivvegetation: Ein zu starker Lichteinfall in Zusammenhang mit dem Absterben der erkrankten Bäume kann zu einer starken Vermehrung der Krautschicht führen. Eine zu dichte Krautschicht kann die Bildung einer Ansamung verhindern.
- Notwendigkeit einer schnellen Bestandesverjüngung: Während normalerweise eine Verjüngung durch mehrere aufeinander folgende Buchenmasten erzielt werden kann, ist im Falle erkrankter Bestände die Zukunft des Bestandes mit Hilfe einer begrenzten Zahl von Buchenmasten sicherzustellen, da die Zahl der Samenbäume in der Hauptschicht stark zurückgeht.

Der Terminplan der Arbeiten und das Arbeitsmaterial sind abhängig von der Einzelsituation zu wählen. Mit Hilfe der oberflächlichen Bodenbearbeitung sind in den beiden besuchten Forstämtern schon bisher erfolgreich Versuche durchgeführt worden.

In zahlreichen Situationen mit gemischtem Oberbestand findet ausschließlich eine Verjüngung der Buche statt. Dies ist in erster Linie auf selektiven Wildverbiss zurückzuführen, da vor allem Eichen

und Begleitbaumarten vom Rehwild bevorzugt werden. Die Errichtung von Kontrollzäunen hat das Problem deutlich sichtbar werden lassen. Die alleinige Verjüngung der Buche zieht eine genetische Verarmung des Bestandes (und das Verschwinden lokaler Ökotypen) nach sich und steht im Widerspruch zur FFH-Richtlinie.

Eine kurzfristige Lösung besteht im Errichten von Zäunen dort, wo eine Verjüngung von Eiche und Begleitbaumarten stattfindet. Mittel- und langfristig ist eine Regulierung der Wilddichte abhängig von der Biotopkapazität des Lebensraums durch die Anwendung strenger Abschussvorschriften erforderlich. Gleichzeitig müssen Ernährungs- und Lebensbedingungen des Wildes gesichert werden.

Liegen Fichtenbestände in der Nachbarschaft kranker Buchenwaldflächen, kommt es auf den entstehenden Blößen gelegentlich zur Ansiedlung von Fichten. Hier ist darauf zu achten, dass diese den ursprünglichen Bestand nicht verdrängen. Trotzdem kann die temporäre Beibehaltung der Fichte unter waldbaulichen Gesichtspunkten interessant sein, wenn eine Buchenverjüngung erfolgt ist. Die Fichten begünstigen die natürliche Astreinigung der Buche, bieten Schatten und können sogar als natürlicher Schutz gegen Wildschäden fungieren.

Pflanzung

Verjüngung durch Pflanzung empfiehlt sich nur dann, wenn die natürliche Verjüngung fehlgeschlagen ist, oder aber zur Erhöhung der Baumartenvielfalt, wenn die erwünschten zu verjüngenden Arten im Hauptbestand nicht vorhanden sind. Voraussetzung ist aber, dass die gepflanzten Baumarten an den Standort angepasst sind.

Im Staats- und Körperschaftswald Luxemburgs ist aufgrund der guten Steuerung der natürlichen Verjüngung in den meisten Fällen keine Pflanzung erforderlich, allenfalls handelt es sich dabei um Ausbesserungspflanzungen.

Die verwendeten Pflanzen sind vorzugsweise lokaler Herkunft aus staatlichen Baumschulen. Im Rahmen der FFH-Richtlinie wäre es auch interessant, die aufgrund einer auf eine geringere Anzahl von

Baumarten ausgerichtetes Forstwirtschaft selten gewordenen Begleitbaumarten zu fördern und in Baumschulen heranzuzüchten.

Auswirkungen auf die biologische Vielfalt

Tabelle 1 zeigt geeignete Anwendungssituationen für unterschiedliche vorgeschlagene waldbauliche Eingriffe und ihre Auswirkungen auf die biologische Vielfalt.

Totholz und Altholz

Hierbei handelt es sich um eine sehr positive unmittelbare Auswirkung der Buchenerkrankung im Sinne der FFH-Richtlinie. Zusätzlich zu einer signifikanten Steigerung des Totholzvolumens über die empfohlenen Vorgaben (> 5 % des stehenden Volumens) hinaus bewirkt die Buchenerkrankung das Auftreten von im Nutzwald sonst selten vorkommenden Totholzkategorien, beispielsweise Baumstümpfe mit großem Durchmesser oder am Boden liegende vollständige Kronen. Die verschiedenen Totholzkategorien sind Lebensraum zahlreicher durch die Richtlinie geschützter Arten.

Gleichzeitig sind die wichtige Rolle des Totholzes für die Rückführung der für den Produktionszyklus erforderlichen Nährstoffe in den Nahrungskreislauf und sein positiver Effekt auf die Qualität und die Fruchtbarkeit der Böden genau zu betrachten.

Die Erhaltung alter Bäume mit ihren zahlreichen Mikrolebensräumen als Ergänzung zum Totholz im Wald ist ebenfalls zu empfehlen. Die Erhaltung kleiner Baumgruppen bis zur Erreichung von 2/3 ihrer natürlichen Lebensdauer (gegenüber einem normalen Erntezeitpunkt nach 1/3 ihrer Lebensdauer) wirkt sich auf die biologische Vielfalt sehr deutlich aus. Diese Altholzinseln sind Rückzugsraum für bestimmte Arten und begünstigen die Vielfalt der Altersklassen in den Beständen.

Wertsteigerung der Waldlebensräume

Aus dem Blickwinkel der Waldlebensräume betrachtet, ist die Buchenerkrankung eine Störung, die zu einer Erhöhung der biologischen Vielfalt führt. Sie bewirkt gleichzeitig aber auch eine Verschlechterung der betroffenen Bestände. Daher steht das völlige Unterlassen jeglicher Maßnahmen in vielen Fällen im Widerspruch zur Richtlinie und ist daher abzulehnen. So zum Beispiel, wenn die Verdrängung eines vorhandenen Bestandes durch unkontrollierte Verfichtung oder der Verlust des örtlichen Genbestandes droht.

Die Maßnahmen einer „unterstützten“ Verjüngung und die vorgeschlagenen plenterartigen Eingriffe zielen auf die Wiederherstellung und Verbesserung der Struktur und der Artenzusammensetzung dieser Bestände ab.

Tab. 1: Auswirkungen waldbaulicher Eingriffe auf die biologische Vielfalt
 Tab. 1: Impact of silvicultural measures on biodiversity

Eingriffstyp	Indikation	Auswirkung auf biologische Vielfalt
Kein Eingriff	Gefahr für Waldarbeiter, kein wirtschaftlicher Wert, schwacher Befall...	Signifikante Zunahme von Totholz und von darauf angewiesenen Arten
Anpassung der Verjüngungshiebe	Befall in sich verjüngendem Bestand	Begünstigung einer erfolgreichen natürlichen Verjüngung
Vorziehen der Hiebstermine	Befall in erwachsenen, nicht durchforsteten Beständen	Sicherstellen der Zukunft des Bestandes auf natürlichem Wege
Plenterartige Pflege	Inseln hiebsreifer gesunder Bäume	Vielfältige Altersstruktur, Inseln alternder Bäume
Oberflächliche Bodenbearbeitung	Rohhumus, kompakte Böden, wuchernde Krautschicht, Ausnutzung der Buchenmasten	Stimulation der Humusbildung, Bodenleben, Sicherung einer natürlichen Verjüngung
Zäune	Zu hohe Wilddichte, Mischbestand	Bewahrung des örtlichen Genbestandes
Bekämpfung der Verfichtung	Nadelbäume in benachbarten Beständen	Wahrung der aktuellen spezifischen Bestandeszusammensetzung
Pflanzung	Scheitern natürlicher Verjüngung, wenige Arten im erwachsenen Bestand	Steigerung der Vielfalt an einheimischen, an den Standort angepassten Arten

Die Größe der Verjüngungsflächen kann eine positive Wirkung auf die Zahl der sich potentiell verjüngenden Baumarten ausüben.

Bestimmte Maßnahmen können in einer mehr oder weniger starken Veränderung der Bewirtschaftungsplanung münden und beträchtliche Investitionen erfordern. Andererseits lassen sich die durch die Richtlinie festgeschriebenen Ziele so schneller erreichen.

Wirtschaftliche Aspekte und Auswirkungen im Privatwald

Der Markt für Buchenholz ist seit den in der Vergangenheit in der Großregion wütenden Stürmen (Februar 90 und Dezember 99) belastet. Der Verkauf gesunden Buchenholzes bringt in Luxemburg kaum mehr als 45 €/m³. Schwach oder mittelstark befallene Bäume können Verwendung als Industrieholz finden, soweit die Stabilität der verbleibenden Bestände und ihre Verjüngung gesichert sind. Dies gleicht die wirtschaftlichen Verluste teilweise aus. Das systematische Fällen der erkrankten Bäume ist abzulehnen, da der künstliche Wiederaufbau der Bestände den durch den Verkauf des Holzes erzielbaren Erlös übersteigen dürfte. Des Weiteren steht der Verlust an ökologischem Wert einer künstlichen Verjüngung gegenüber einer Naturverjüngung im Widerspruch zur FFH-Richtlinie.

Folgende Schwierigkeiten machen den privaten Waldbesitzern beim Übergang zu einer situationsangepassten Bewirtschaftung hauptsächlich zu schaffen:

- Zerstückelung und Kleinflächigkeit der Parzellen
- Unkenntnis bezüglich der Krankheit
- Schwache Investitionskapazität angesichts äußerst geringer Erlöse

Wie im Laufe der Geländebegehungen in Luxemburg zu beobachten war, äußerten sich diese Schwierigkeiten in den meisten Beständen durch ein vollständiges Unterbleiben jeglichen Eingriffs.

Es besteht die Gefahr, dass manche Waldbesitzer zu einem systematischen Fällen der erkrankten

Bäume übergehen, sei es aus finanziellen Gründen oder aus der (oft unbegründeten) Angst vor einer Verbreitung der Krankheit heraus. Beide Praktiken sind für die Erhaltung des guten Zustands des Ökosystems potentiell schädlich.

Bei der Durchführung von Kahlhiebsen besteht die Gefahr, dass sich der Waldbesitzer für die Pflanzung von Nadelbäumen von geringerem ökologischem Wert entscheidet, obwohl in Luxemburg die neuen Bestimmungen zum Schutz der natürlichen Ressourcen dem entgegenstehen.

Sicherheit und Unterrichtung der Öffentlichkeit

Die ergriffenen Maßnahmen bezüglich der Waldnutzer und Waldarbeiter greifen offenbar sehr gut und werden systematisch umgesetzt. In Luxemburg ist kein Unfall in Zusammenhang mit der Buchenerkrankung bekannt.

Die Unterrichtung der Öffentlichkeit durch Tafeln am Eingang zu Waldflächen als ergänzende Präventivmaßnahme sollte insbesondere in Wäldern mit vorrangiger Erholungsfunktion stattfinden. Das Einschlagen betroffener Bäume findet zur Zeit nur entlang der Hauptwege statt, während die verschiedenen Waldbenutzer (Reiter, Mountainbiker) zunehmend die Nebenwege (Rückewege etc.) nutzen, auf denen nicht systematisch für Sicherheit gesorgt werden kann.

Diskussion

Die Bewertung der Auswirkungen der Buchenerkrankung auf die Bestände in den FFH-Gebieten kann auf zwei unterschiedlichen Ebenen erfolgen:

- Unter dem Gesichtspunkt der biologischen Vielfalt stellt die Buchenerkrankung einen natürlichen Störfaktor dar, der neue Lebensräume („Mikrohabitate“) entstehen lässt, in denen sich eine Vielzahl von durch die Richtlinie geschützten Tier- und Pflanzenarten ansiedeln können.
- Unter dem Gesichtspunkt der Erhaltung der Buchenwälder als Lebensraum stellt sich das Problem des Wiederaufbaus der befallenen Bestände. Positiv ist die Entstehung von Blößen zu bewerten, die eine potentielle Diversifizierung der Al-



Abb. 3: Schäden im Privatwald: große Mengen an liegendem Totholz, Fehlen waldbaulicher Eingriffe („Hollerbäsch“, Forstrevier Clervaux)

Fig. 3: Damage in private forest: large amounts of lying deadwood, lack of silvicultural measures (“Hollerbäsch“, forest station Clervaux)

tersklassen und der Arten einleiten kann. Negativ ist die Gefahr der Entwicklung des Hauptbestandes in Richtung eines Bestandes von geringerem ökologischem Wert.

Die signifikante Steigerung der verschiedenen Totholzkategorien macht den positiven Effekt der Buchenerkrankung auf die biologische Vielfalt im Wald deutlich.

Die in der Untersuchung vorgeschlagenen waldbaulichen Eingriffe betreffen im Wesentlichen die natürliche Verjüngung der Bestände. Je nach Schwere des Befalls, dem Entwicklungsstadium der befallenen Bestände und den Besonderheiten des Standorts können die Investitionen für die Wiederherstellung des ursprünglichen Bestandes im Sinne der FFH-Richtlinie stark schwanken.

Die Untersuchung der Verjüngung der Bestände bringt andere Problemfelder ans Licht, die von der Buchenerkrankung unabhängig sind, jedoch der Richtlinie zuwiderlaufen. Dazu zählen z.B. zu hohe Wilddichten, welche die Verjüngung der Begleit- und Nebenbaumarten der Buche verhindern.

Die Vertreter der zuständigen Forst- und Naturschutzbehörden in Rheinland-Pfalz befürchten vor allem eine durch den Rückgang des Buchenanteils als gesellschaftstypische Baumart schlechtere Einstufung des Lebensraumtyps. Zusätzlich besteht vor allem im Privatwald die Gefahr der Verdrängung der Buche durch natürliche Verfichtung oder gezielte Anpflanzung von Fichte (SCHROER, H., mündl. Mitteilung, 2004).

Schlussendlich dürfte die in Luxemburg und in Rheinland-Pfalz betriebene naturnahe Waldbaupolitik in gewissem Maße die negativen Folgeerscheinungen

nungen der Buchenerkrankung abmildern und den Erhalt der betroffenen Waldlebensraumtypen gewährleisten.

Die Wiederherstellung von strukturreichen Buchenwäldern mit hoher biologischer Vielfalt kann nur durch einen bestimmten finanziellen Aufwand gewährleistet werden. Diese Investitionen dürften langfristig die Stabilität der Bestände gegen natürliche Katastrophen sichern und die Produktion von hochwertigem Holz begünstigen.

Literatur

Richtlinie 92/43/EWG - Fauna - Flora – Habitat zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen.

Ministère de l'Environnement : Cahier des charges relatif à

l'établissement du plan de Gestion « Natura 2000 ».

Ministère de l'Environnement : Mise en oeuvre des directives européennes « Habitats » et « Oiseaux », FICHES SITES ERSA 2000.

Ministère de l'Environnement : Cahiers Habitat, EFOR/ERSA 2000.

Administration des Eaux et forêts, Service de l'Aménagement des Bois : La forêt luxembourgeoise en chiffres, 2003.

HUSS, J. (2004): The practice of natural regeneration of beech in Central Europe, Communication, Bruxelles.

Ministère de la Région Wallonne, Direction générale des Ressources naturelles et de l'Environnement : La régénération naturelle assistée du hêtre : du peuplement adulte au fourré, Fiche technique forêt N°8, 1996.

SIPPEL, A. (2005): Erfassung, Bewertung und Sicherung von FFH-Waldlebensraumtypen, AFZ 2/2005 S. 71-74.

Autorenanschriften:

Dan Nicolas, Aurélio Quatraro
LUXPLAN S.A.
Parc d'activités Capellen, 85-87, L-8303 Capellen
Email:
dan.nicolas@luxplan.lu
Aurelio.quatraro@luxplan.lu

Totholzmanagement in Buchenwäldern

Petercord, R.

Zusammenfassung

Die Notwendigkeit eines Totholzmanagements in Buchenwäldern ergibt sich aus dem Zielkonflikt von Natur- und Waldschutz. Die Totholzanteile im Wirtschaftswald sollen zum Schutz seltener Arten erhöht und kontinuierlich erhalten bleiben, gleichzeitig gefährden Insekten aus der Gilde der frischholzbesiedelnden Arten (BAWBILT) die Bestände bei Massenvermehrungen. Das regelmäßige Belassen von frischem stehenden und liegenden Totholz liefert bruttaugliches Material und könnte Massenvermehrungen von potentiell primären Schädlingen fördern. Der Befall vital erscheinender Buchen durch den Laubnutzholzborkenkäfer *Trypodendron domesticum* L. in den Jahren 2001 und 2002 verdeutlicht die Bedeutung dieser Problematik.

Anhand von Lagerungsversuchen und flächigen Totholzaufnahmen wurde im Zeitraum 2003 bis 2005 die Besiedlung von Totholz mit Frischholzinsekten in verschiedenen Beständen untersucht. Das Totholz wurde entsprechend dem Zersetzungsfortschritt in vier Zersetzungsgrade unterteilt. Frisches Totholz des Zersetzungsgrades Z⁰1 wird von vergleichsweise wenigen potentiell primären Arten besiedelt. Am liegenden Stammholz traten während des Beobachtungszeitraumes im Wesentlichen nur *Taphrorychus bicolor* als Rindenbrüter und *Hylecoetus dermestoides* und *Trypodendron domesticum* als Holzbrüter auf, daneben fanden sich im geringeren Umfang auch *Ernoporus fagi*, *Trypodendron signatum*, *Xyleborus dispar* und *Agri-lus viridis*.

Ein Zusammenhang zwischen der Lagerungsdauer und dem Befall des Lagerholzes mit Frischholzinsekten, insbesondere mit *Trypodendron domesticum*, konnte nicht nachgewiesen werden. Stöcke und Stämme können vielmehr über mehrere Jahre als Brutraum genutzt werden. Es bildet sich ein einzelbaumspezifisches Besiedlungsmuster aus, das dem jeweiligen Austrocknungsgradienten folgt. Die Besiedlung beginnt jeweils in Bereichen an den Schnittflächen bzw. Rindenverletzungen.

Der Vorrat an Holz des Zersetzungsgrades Z⁰1 kann daher nicht in seiner Gesamtheit als Brutraum genutzt werden. Dementsprechend konnte im Rahmen der flächigen Totholzaufnahmen kein linearer Zusammenhang zwischen dem aktuellen Totholzvorrat und der Populationsdichte von *Trypodendron domesticum* festgestellt werden.

Schlüsselwörter: Buche, *Fagus sylvatica*, Zersetzung, Waldschutz, Besiedlung, Laubnutzholzborkenkäfer, *Trypodendron domesticum*, Bohrkäfer *Hylecoetus dermestoides*, Buchenborkenkäfer *Taphrorychus bicolor*

Management of deadwood in beech forests

Summary

The necessity for the management of deadwood in beech forests results from conflicting aims of nature and forest conservation. The portions of deadwood in the commercial forests which must remain for the protection of rare species, increased and continuously received, at the same time, endangering insects from the ecological guild of the fresh wood coloniser (BAWBILT) by mass increase. Regularly leaving fresh standing and lying deadwood supplies material for breeding which could promote mass increase of potentially

primary pests. The infestation affecting vital beeches by the broad-leaved ambrosia beetle *Trypodendron domesticum* L. in the years 2001 and 2002 clarifies the importance of this problem.

On the basis of wood storage attempts and deadwood investigations in the period of 2003 to 2005, the settlement was examined by deadwood with fresh wood insects in different beech stands. The dead wood was divided according to decomposition progress into four decomposition degrees. Deadwood of the decomposition degree of Z°1 is settled by comparatively few potentially primary species. At the lying log, essentially only *Taphrorychus bicolor* was found to be present as bark breeder, and during the observation period *Hylecoetus dermestoides* and *Trypodendron domesticum* as wood borers. *Ernoporus fagi*, *Trypodendron signatum*, *Xyleborus dispar* and *Agrilus viridis* were present to a smaller extent.

A connection between the duration of wood storage and the infestation with fresh wood insects, in particular with *Trypodendron domesticum*, could not be proven. Sticks and trunks can be used rather over several years as breeding sites. A single tree-specific settlement sample is formed, which follows relevant desiccation gradients. The settlement begins in each case within ranges located at the cut surface and/or bark injuries. Therefore the supply of deadwood of the decomposition degree of Z°1 cannot be used completely for breeding sites. Accordingly no linear correlation between the current dead wood supply and the population density of *Trypodendron domesticum* could be determined in the context of dead wood investigations.

Keywords: European beech, *Fagus sylvatica*, decomposition, forest conservation, colonization, broad-leaved ambrosia beetle, *Trypodendron domesticum*, large timberworm, *Hylecoetus dermestoides*, small beech bark beetle *Taphrorychus bicolor*

Einleitung

Aus dem räumlich und zeitlich parallelen Auftreten der Buchenrindennekrose (ARENDE et al., 2006; PETERCORD, 2006a) und dem Befall augenscheinlich vitaler Buchen durch den Laubnutzholzborkenkäfer (*Trypodendron domesticum* L.) (PARINI und PETERCORD, 2006) könnte die Forderung nach einer „Sauberen Waldwirtschaft“ auch in der Buchenwirtschaft abgeleitet werden. Maßnahmen der „Sauberen Waldwirtschaft“ zielen in der Bewirtschaftung von Nadelholzbeständen, durch die konsequente Beseitigung potentiellen Brutmaterials aus den Beständen, auf die Vermeidung von Borkenkäferschäden ab. Auch bei der Rotbuche finden sich eine Reihe von frischholzbesiedelnden Arten, die bei hohem Totholzanfall Massenvermehrungen durchlaufen und als potentielle „Primärschädlinge“ angesehen werden können. In der Vergangenheit wurden entsprechende Schäden durch den Buchenprachtkäfer *Agrilus viridis* (RUPF, 1951; WOELFLE, 1951; KAMP, 1952), den Buchenborkenkäfer *Taphrorychus bicolor* (SCHÖNHERR und KRAUTWURST, 1979; SCHÖNHERR, 1980) und den Laubnutzholz-

borkenkäfer *Trypodendron domesticum* (LÖSEKRUG, 1988a & b) beobachtet. In der Folge der Buchenrindennekrose werden in den kommenden Jahren hohe Totholzanfälle in den betroffenen Beständen unvermeidbar sein und damit das Auftreten von Massenvermehrungen potentieller Schadinsekten bei günstigen Witterungsbedingungen hoch wahrscheinlich.

Das Holz der durch die Buchenrindennekrose absterbenden Bäume ist durch den mit der Krankheit einhergehenden massiven Pilzbefall (PETERCORD, 2006a) technisch weitgehend entwertet und häufig allenfalls noch als Brennholz verwertbar. Maßnahmen einer „Sauberen Waldwirtschaft“, die die Aufarbeitung dieser Stämme zum Ziel hätten, wären für die betroffenen Waldbesitzer mit einem hohen finanziellen Aufwand verbunden. Dieser wäre nur dann gerechtfertigt, wenn die Maßnahmen analog zur Situation in der Nadelholzwirtschaft das Waldschutzrisiko in den Beständen effektiv verringern würden.

Aus dem Zielkonflikt zwischen der Totholzmehrung aus naturschutzfachlicher Sicht und der Besei-

tigung frischen Totholzes aus Gründen des Waldschutzes ergibt sich damit die Notwendigkeit eines Totholzmanagements in Buchenwäldern.

Zielsetzung

Im Teilprojekt wurde die Gefährdung der Buchenbestände in Abhängigkeit vom Totholzanteil untersucht. Ziel der Untersuchung war, Gefährdungspotentiale aufzuzeigen und daraus eine Totholzmanagementstrategie für die Bewirtschaftung von Buchenwäldern zu entwickeln. Dazu wurde in unterschiedlich intensiv bewirtschafteten Buchenwäldern die Populationsdynamik potentieller Schadinsekten in Bezug zum Totholzanteil beobachtet und die Brutraumverfügbarkeit in Abhängigkeit vom jeweiligen Zersetzungsgrad analysiert.

Methodik

Potentielle Schadinsekten

Im Rahmen der Untersuchung wurden die in Tabelle 1 aufgeführten rinden- bzw. holzbewohnenden Käferarten betrachtet.

Bei *Trypodendron domesticum*, *Trypodendron signatum*, *Xyleborus dispar* und *Xylosandrus germanus* handelt es sich um holzbrütende Borkenkäfer, die sich von Ambrosia-Pilzen ernähren, die sie in ihren arttypischen Brutsystemen kultivieren. Im Gegensatz dazu gehören *Taphrorychus bicolor* und *Scolytus intricatus* zu den rindenbrütenden Borkenkäfern, die sich vom Speicher- und Leitbastgewebe

ernähren. Der Bohrkäfer *Hylecoetus dermestoides* gehört ebenfalls zu den Ambrosia-Käfern, allerdings legen bei dieser Art ausschließlich die Larven (s. Abb. 1), die den gesamten Holzkörper durchziehenden, Gänge an. *Agrilus viridis*, der Buchenprachtkäfer ist ein rindenbewohnendes Insekt, das nur zur Verpuppung in das Holz eindringt. Alle acht Arten gelten als sekundäre Insekten, sind in der Vergangenheit aber bereits in Zusammenhang mit Buchenerkrankungen in Erscheinung getreten, respektive können in bestimmten Dispositionssituationen (z.B. nach Trockenjahren) als primäre Schädlinge der Buche gelten.

Totholzaufnahme

Die Beziehung zwischen den Frischholzinsekten und dem quantitativen und qualitativen Totholzangebot wurde in zwei getrennten Untersuchungsansätzen parallel untersucht.

Im Winter 2002/03 wurde auf drei Untersuchungsflächen in den Forstämtern Hochwald (Rheinland-Pfalz), Saarburg (Rheinland-Pfalz) und Wiltz (Luxemburg) ein Einschlagterminversuch angelegt. Dazu wurden in jedem der drei Bestände von Oktober 2002 bis März 2003 monatlich acht vitale Buchen gefällt, die Stämme ungerückt im Bestand belassen und sämtliches Kronenholz bis zum April 2003 aus den Beständen entfernt. Der Austrocknungsprozess der Stämme wurde an jeweils drei Buchen jeden Bestandes und Einschlagtermins

Tab. 1: Potentielle Schadinsekten der Rotbuche

Tab. 1: Potential insect pests of European beech

Familie	Artnamen	Deutscher Artname
Scolytidae	<i>Ernoporus fagi</i>	Kleiner Buchenborkenkäfer
Scolytidae	<i>Taphrorychus bicolor</i>	Buchenborkenkäfer
Scolytidae	<i>Scolytus intricatus</i>	Eichensplintkäfer
Scolytidae	<i>Trypodendron domesticum</i>	Laubnutzholzborkenkäfer
Scolytidae	<i>Trypodendron signatum</i>	Gestreifter Laubnutzholzborkenkäfer
Scolytidae	<i>Xyleborus dispar</i>	Ungleicher Holzbohrer
Scolytidae	<i>Xyleborus saxeseni</i>	Kleiner Holzbohrer
Scolytidae	<i>Xylosandrus germanus</i>	Schwarzer Nutzholzborkenkäfer
Lymexylidae	<i>Hylecoetus dermestoides</i>	Bohrkäfer
Buprestidae	<i>Agrilus viridis</i>	Buchenprachtkäfer

durch Ermittlung der Holzfeuchte in einem 14tägigen Turnus verfolgt. Vorrangiges Ziel dieses Versuchs war die Ermittlung eines Einschlagtermins, der für den nachfolgenden Befall des Lagerholzes durch holzbesiedelnde Arten besonders ungünstig ist. 2003 wurde an allen 144 Stämmen und Stubben des Versuchs die Besiedlung durch Insekten verfolgt, 2004 und 2005 aus zeitlichen Gründen nur noch an den 96 Stämmen und Stubben in Rheinland-Pfalz. Dazu wurden die Stämme jeweils in 10 Längssegmente und 5 Oberflächensegmente (s. Abb. 2) unterteilt, so dass der Befall an jedem Stamm 50 Aufnahmeflächen räumlich zugeordnet werden konnte.

Im zweiten Untersuchungsansatz wurden im Naturwaldreservat Kampelstich (Forstamt Hochwald), in der Abt. 147 a¹ (Forstamt Saarburg, Revier Kling) und im Privatwald L. (Forstamt Prüm) auf jeweils einer ein Hektar großen Untersuchungsfläche die Totholzanteile durch Vollaufnahme ermittelt. Das Totholz wurde klassifiziert (MEYER et al., 2001), eingemessen und der Befall von Frischholzinsekten aufgenommen.

Monitoring und Fallensysteme

In den drei oben bezeichneten Untersuchungsflächen wurde in den Jahren 2003 bis 2005 ein Monitoring zum Flugverlauf und zur Populationsdichte von *Trypodendron domesticum* durchgeführt. Dazu wurden in jede Fläche fünf, in einem Kreuztrakt angeordnete Lockstofffallen aufgestellt, die mit dem Pheromon Lineatin und denaturiertem Ethanol beködert wurden (PARINI und PETERCORD, 2006). Zusätzlich wurde der Bruterfolg der verschiedenen Arten durch den Einsatz von Stamm- und Bodenelektoren an ausgewählten Stammabschnitten bzw. Stubben untersucht. Ergänzend wurden Holzproben im Labor geöffnet und einzelne Brutsysteme analysiert.

Ergebnisse

Besiedlung der Stämme und Stubben des Einschlagterminversuchs durch frischholzbesiedelnde Insekten im Zeitraum 2003 bis 2005

Die Besiedlung der Stämme und Stubben durch frischholzbesiedelnde Insekten verlief im Beobachtungszeitraum einzelbaumweise sehr unterschiedlich, insgesamt aber nach einem charakteristischen Besiedlungsmuster, das offensichtlich dem Austrocknungsgradienten folgt. An den Stämmen traten im Wesentlichen nur drei Arten auf, dabei handelte es sich um den Buchenborkenkäfer *Taphrorychus bicolor*, den Bohrkäfer *Hylecoetus dermestoides* und den Laubnutzholzborkenkäfer *Trypodendron domesticum*. Neben diesen, den Befall dominierenden Arten, fanden sich vereinzelt auch der Kleine Buchenborkenkäfer *Ernoporus fagi*, der Gestreifte Laubnutzholzborkenkäfer *Trypodendron signatum*, der Ungleiche Holzbohrer *Xyleborus dispar* und der Schwarze Nutzholzborkenkäfer *Xylosandrus germanus*.

Der Befall betraf zunächst die äußeren Stammbereiche an den Schnittstellen bzw. in Bereichen mit Rindenverletzungen auf den Stammoberseiten und verlagerte sich dann zur Stammmitte und den Stammunterseiten. Im Sommer 2003 dominierte der Befall durch *Taphrorychus bicolor*, der an 59 der 144 Stämme beobachtet wurde, während *Hylecoetus dermestoides* und *Trypodendron domesticum* nur an einzelnen Stämmen und auch an diesen nur sehr vereinzelt auftraten. *Taphrorychus bicolor* besiedelte vornehmlich die obenliegenden Stammseiten mit deutlichen Schwerpunkten am Fuß- und Zopfende.

2004 und 2005 wurde neben dem erneuten Befall durch *Taphrorychus bicolor* auch der Befall durch *Hylecoetus dermestoides* und *Trypodendron domesticum* an den Stämmen beobachtet. *Hylecoetus dermestoides* besiedelte die Stämme in beiden Jahren vornehmlich an den unteren Stammseiten, dieser Trend war 2004 deutlich stärker ausgeprägt als 2005. Entsprechend dem Befallsmuster von *Taphrorychus bicolor*, war auch bei *Hylecoetus dermestoides* 2005 eine Verlagerung des Befalls zur Stammmitte hin zu beobachten.

Trypodendron domesticum besiedelte 2004 verstärkt die oberen Stammseiten im Bereich der Schnittstellen. 2005 zeigte sich auch bei dieser Art

eine Befallsverlagerung zur Stammmitte (s. Abb. 3).

Insgesamt konnte eine Besiedlungsabfolge beobachtet werden, die mit dem rindenbrütenden Borkenkäfer *Taphrorychus bicolor* beginnt und dem zeitlich nahezu parallele Befall durch die holzbrütenden Arten *Hylecoetus dermestoides* und *Trypodendron domesticum* folgt. Die Besiedlung erfolgt allerdings einzelbaumspezifisch und wird durch externe Faktoren (z.B. Rindenverletzungen, Pilzbefall) überprägt. Mit zunehmender Lagerungsdauer werden die, den Befall steuernden, physiologischen Bedingungen in den Stämmen heterogener, so dass zunehmend mehr Arten parallel an den Stämmen gefunden werden können. In ihrer Gesamtheit boten die Stämme so über den gesamten Beobachtungszeitraum für alle drei Arten Brutmöglichkeiten.

Bei der Besiedlung der Stubben dominierte bereits 2003 *Hylecoetus dermestoides*, dessen Befall an 53 der 144 Stubben beobachtet wurde (s. Abb. 4). *Taphrorychus bicolor* besiedelte die Stubben dagegen nur in Einzelfällen. Ein Befall durch *Trypodendron domesticum* wurde erst im Sommer 2004 an 34 von 96 Stubben festgestellt. Ebenso wie an den Stämmen wurde auch an den Stubben eine mehrjährige Besiedlung beobachtet. Häufig wurden zunächst nur einzelne Stubbensegmente oder dispanierte Wurzeln besiedelt, so dass sich auch an den Stubben individuelle Besiedlungsmuster ausbildeten.

Besiedlung der Stämme durch den Laubnutzholzborkenkäfer in Abhängigkeit von der Holzfeuchte

Der Einschlagterminversuch wurde ursprünglich mit der Fragestellung angelegt, inwieweit ein Befall von Lagerholz durch den Laubnutzholzborkenkäfer über den Einschlagtermin verhindert werden kann. Ein Befall durch den Laubnutzholzborken-



Abb. 1: Larve des Bohrkäfers *Hylecoetus dermestoides* (Foto: J.-P. Arend)

Fig. 1: Larva of the large timberworm *Hylecoetus dermestoides* (Photo: J.-P. Arend)

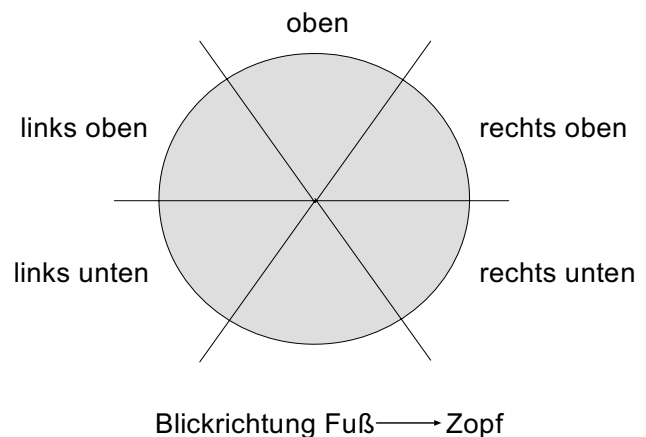


Abb. 2: Einteilung der Stämme in fünf Oberflächensegmente vom Fuß- zum Zopfende hin

Fig. 2: Disposition of the trunks into five surface segments from the foot to the top

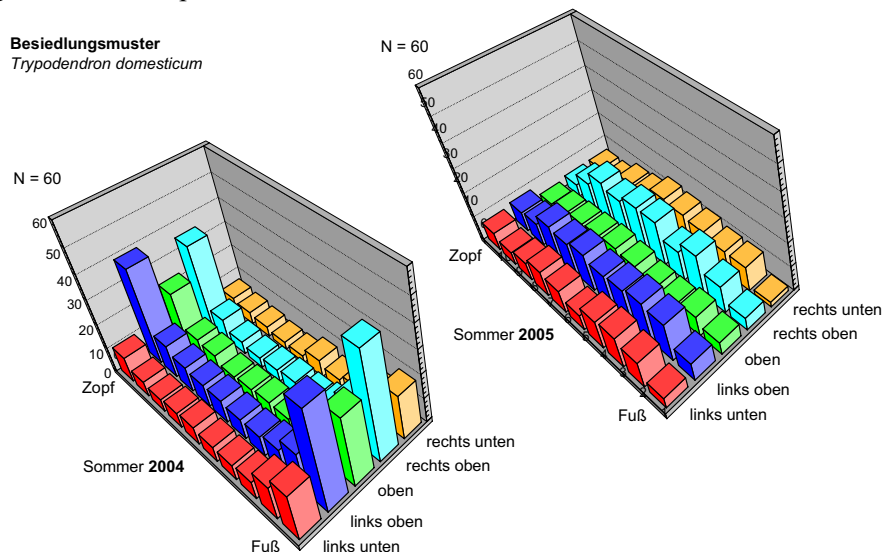


Abb. 3: Veränderung der Besiedlungsmuster am Beispiel von *Trypodendron domesticum* an 60 liegenden Stämmen in den Jahren 2004 und 2005

Fig. 3: Change of the settlement samples by the example of *Trypodendron domesticum* in 60 lying trunks in the years 2004 and 2005

käfer wurde im Sommer 2003 allerdings nur an insgesamt 4 von 144 Stämmen beobachtet. Ein Zusammenhang zwischen dem Einschlagtermin und dem Befall durch den Laubnutzholzborkenkäfer wurde nicht gefunden. Holzfeuchtemessungen an jeweils 9 Stämmen (3 pro Bestand) zum Einschlagzeitpunkt (Oktober 2002 bis März 2003) und zu Beginn der Vegetationszeit im Mai 2003 erbrachten keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Einschlagterminen (Oktober bis März), weder im Vergleich der Holzfeuchte zum Zeitpunkt des Einschlags, noch im Mai 2003 nach unterschiedlich langer Lagerungsdauer (s. Abb. 5). Bis auf den Einschlagtermin Februar 2003 konnte auch keine signifikante Abnahme der Holzfeuchte vom Einschlagtermin bis zum Mai 2003 festgestellt werden.



Abb. 4: Stubben mit starkem Befall durch den Bohrkäfer *Hylecoetus dermestoides*

Fig. 4: Tree stump with strong infestation by the large timberworm *Hylecoetus dermestoides*

Erst im Frühjahr 2004 kam es zu einem differenzierten Befall bestimmter Stammpartien, allerdings unabhängig vom Einschlagtermin. Zu diesem Zeitpunkt war der Kambium- / Bastbereich der lagernden Stämme frisch hell, streifig orange, flächig o-



Z°1a: Bast weiß, Holz hell frisch, Rinde fest



Z°1b: Bast rötlich violett, Holz orange feucht, Rinde fest; Geruch: gärig



Z°1c: Bast braun trocken, Holz hellbraun trocken, Rinde fest; Geruch: schwach gärig



Z°1d: Bast dunkelbraun trocken, Holz braun-schwarz trocken, Rinde leicht lösend; Geruch: muffig

Abb. 6: Unterteilung des Zersetzungsgrades Z°1 in vier Zersetzungsgradstufen anhand der Verfärbung, der Rindenfestigkeit und des Geruchs. Eine Besiedlung des Holzes durch *Trypodendron domesticum* wurde nur in der Zersetzungsstufe Z°1b beobachtet

Fig. 6: Partitioning of the decomposition degree of Z°1 in four decomposition degree stages on the basis the discoloration, the bark firmness and the smell. A settlement of the wood by *Trypodendron domesticum* was observed only in the decomposition stage Z°1b

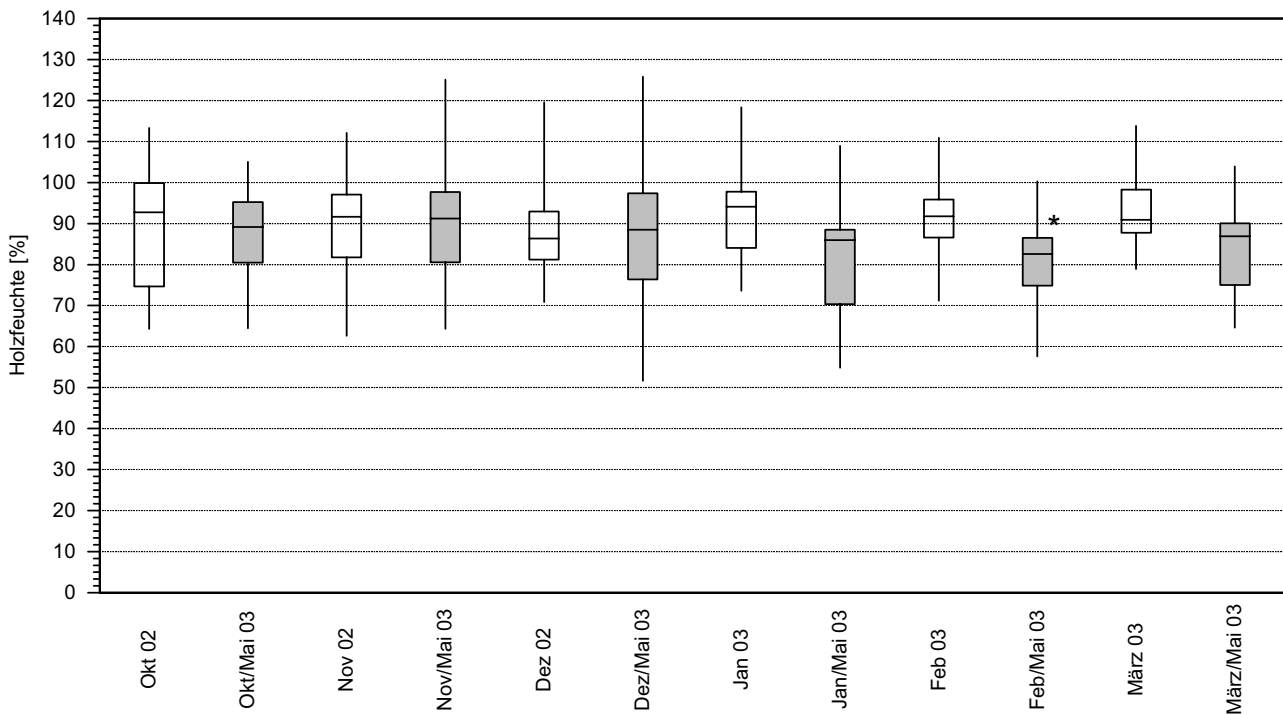


Abb. 5: Veränderung der Holzfeuchte in Abhängigkeit von der Lagerungsdauer

Fig. 5: Change of the wood moisture as a function of the storage duration

range, hellbraun oder dunkelschwarz verfärbt. Der Käferbefall war ausschließlich auf Bereiche beschränkt, in denen der Bast streifig orange bis flächig orange verfärbt war (s. Abb. 6 auf der Farbseite). Die unterschiedliche Färbung des Kambium-/Bastbereichs, charakteristischer Rindengeruch sowie unterschiedliche Rindenfestigkeit wurden genutzt, um den Zersetzungsgrad $Z^{\circ}1$ in vier Zersetzungsgradstufen $Z^{\circ}1a - 1d$ zu unterteilen (s. Abb. 6 auf der Farbseite).

Die Holzfeuchte der befallenen Stammportien (C) (mittlere Holzfeuchte 73 %) war im Vergleich zu unbefallenen Bereichen mit schwarz verfärbtem Bast (A) (mittlere Holzfeuchte 57 %) hoch signifikant feuchter bzw. hoch signifikant trockener als der unbefallene Holzkörper mit frisch hellem Bast (B) (mittlere Holzfeuchte 94 %). Zwischen den unbefallenen Stammportien unterschiedlicher Verfärbung (A & B) bestehen höchst signifikante Holzfeuchte-Unterschiede (s. Abb. 7). Aus diesen Ergebnissen lässt sich ein Holzfeuchtebereich von 60 bis 85 % für den *Trypodendron*-Befall an lagerndem Stammholz ableiten.

Der Vergleich der Bastfeuchte der verschiedenen Stammportien erbrachte keine signifikanten Unterschiede. Tendenziell ist der orange bis hellbraun

verfärbte Bast feuchter als der frisch helle oder schwarzverfärbte Bast (s. Abb. 7), weist aber insgesamt eine sehr weite Spreitung der Feuchtwerte auf.

Totholzanteile in unterschiedlich stark durch die Buchenrindennekrose geschädigten Beständen

Die Totholzanteile (Zersetzungsgrad $Z^{\circ}1$) in den drei Untersuchungsflächen (Naturwald-reservat Kappelstich (Forstamt Hochwald), Abt. 147 a¹ (Forstamt Saarburg, Revier Kling) und Privatwald L. (Forstamt Prüm)) differierten entsprechend dem unterschiedlich starken Auftreten der Buchenrindennekrose in den Beständen. Die größten Totholzvorräte mit 120 m³/ha fanden sich im unbewirtschafteten Privatwald L., die geringsten (8 m³/ha) im ebenfalls unbewirtschafteten Naturwaldreservat Kappelstich. Mit einem Totholzvorrat ($Z^{\circ}1$) von 27 m³/ha nahm die bewirtschaftete Abt. 147 a¹ eine Mittelstellung ein. Ein Befall augenscheinlich vitaler Buchen durch den Laubnutzholzborkenkäfer wurde in der Untersuchungsperiode 2001 bis 2005 nur in der Abt. 147 a¹ beobachtet, auf den anderen beiden Untersuchungsflächen trat dieses Schadphänomen nicht auf.

Bei der Besiedlung des frischen Totholzes dominierten wiederum *Taphrorychus bicolor*, *Hylecoetus dermestoides* und *Trypodendron domesticum*. Zusätzlich zu den, ebenfalls an der Besiedlung des liegenden Stammholzes beteiligten, anderen Frischholzinsekten traten auch der Buchen-Prachtkäfer *Agrilus viridis* und der Eichen-splintkäfer *Scolytus intricatus* in Erscheinung. Der Befall beider Arten war allerdings auf Einzelfälle beschränkt. *Agrilus viridis* wurde in einem Fall an stärkerem Kronenholz (Privatwald L.) und im zweiten Fall an einem stehend abgestorbenen Stammholzstück (Abt. 147 a¹) gefunden. *Scolytus intricatus* trat am selben Stammholzstück über die gesamte Stammlänge auf.

Im Zeitraum 2003 bis 2005 wurde in den Untersuchungsflächen ein Monitoring des Flugverlaufs von *Trypodendron domesticum* mit Lockstofffallen durchgeführt (PARINI und PETERCORD, 2006). Die Fangzahlen geben einen Einblick in die Populationsdynamik dieser Art und zeigen mit einem ausgeprägten Maximum im Jahr 2004 in allen drei Untersuchungsflächen einen einheitlichen Verlauf.

Im Vergleich zu den jeweils vorhandenen Totholzvorräten zeigen die Fangzahlen keinen linearen Zusammenhang mit diesen. Trotz des deutlich höheren Totholzvorrates in der Untersuchungsfläche Privatwald L. wurden hier in allen drei Jahren die niedrigsten Fangzahlen erzielt. In den beiden anderen Versuchsflächen sind die Fangzahlen 2004 annähernd gleich hoch, obwohl im NWR Kämpelstich der besiedelbare Totholzvorrat nur knapp $\frac{1}{3}$ des in Abt. 147 a¹ vorhandenen ausmacht (s. Abb. 8).

Diskussion

Bedeutung des Totholzes für den Schutz der Biologischen Vielfalt

Zum Schutz der Biologischen Vielfalt in Waldökosystemen ist Totholz als Lebensraum für die verschiedensten Tier- und Pflanzenarten unabdingbar (ALBRECHT, 1991; KÖHLER, 1996; FLECHTNER et al. 2000).

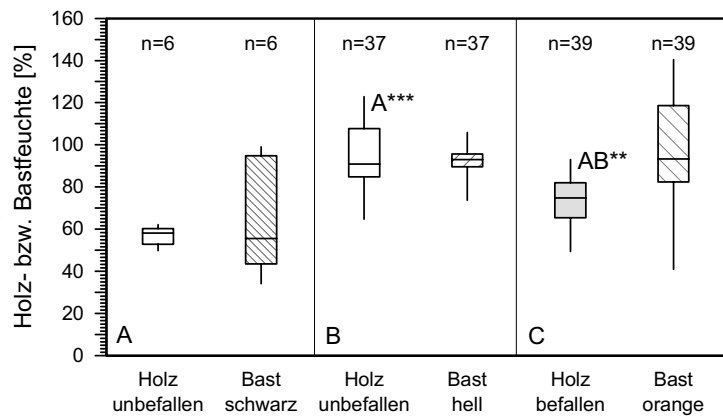


Abb. 7: Holz- und Bastfeuchte befallener und nicht befallener Stammportionen an lagerndem Buchenstammholz aus dem Wintereinschlag 2002/2003 im April 2004 (Statistische Unterschiede mit ** hoch signifikant; * höchst signifikant; Großbuchstaben bezeichnen die verschieden Varianten)**

Fig. 7: Wood and phloem moisture of infested and non infested stem sections at storing beech log from the cutting period winter 2002/2003 in April 2004 (Statistic differences with ** highly significantly; * most significantly; Capital letters designate those differently variants)**

Im Vergleich zu Urwaldbeständen in denen Totholzanteile von 30 – 50 fm/ha bzw. in den Zerfallsphasen sogar 200 – 300 fm/ha vorhanden sein können (KORPEL, 1995) sind die Totholzanteile im Wirtschaftswald mit 1 – 5 fm/ha (ALBRECHT, 1991) deutlich geringer. Zudem findet sich im Urwald Totholz aller Dimensionen, insbesondere starkes Stammholz, während es sich beim Totholz im Wirtschaftswald zumeist um Kronenrestholz und Stubben handelt, die nach der Holzernte zurückbleiben. Für die geringere Strukturdiversität des Wirtschaftswaldes sind das Überspringen der Terminal- und Zerfallsphase sowie präventive Waldschutzmaßnahmen ursächlich. Im Sinne einer ökologischen Nachhaltigkeit ist die Totholzmehrung im Wirtschaftswald damit eine notwendige Maßnahme der multifunktionalen Forstwirtschaft (ZAHNER, 1999).

Die Erhöhung des Totholzanteils in den Wirtschaftswäldern ist im Rahmen der naturnahen Waldbewirtschaftung erklärtes Ziel der aktuellen Bewirtschaftungsgrundsätze im Staatswald. In Rheinland-Pfalz ist das Belassen von Totholzanteilen ein Grundsatz der ökologischen Waldentwicklung entsprechend dem Grundsatzenerlass vom 24. Juni 1993.

Bedeutung des Totholzes als Risikofaktor der Waldbewirtschaftung

Während bei der Bewirtschaftung naturferner Nadelholz-Reinbestände das Prinzip der „Sauberen Waldwirtschaft“ konsequent verfolgt werden muss, ist dies für die Bewirtschaftung naturnaher Laubwälder fraglich. Insbesondere welche Auswirkungen die Anreicherung von Totholz, insbesondere der kurzfristige Anfall großer Totholzmengen nach Schadereignissen, auf die Insektenfauna in bewirtschafteten Buchenwäldern hat, ist noch unbekannt. Bisherige Untersuchungen in Buchenwäldern (KLEINEVOSS et al., 1996; HARZ und TOPP, 1999) können aus methodischen Gründen (Untersuchungszeitraum, Fangzeitraum im Jahr, Fallentyp) diese Fragestellung nicht befriedigend beantworten.

Waldschutzrisiken können nur von solchen Insekten ausgehen, die zum Stratenwechsel vom toten, bereits in Zersetzung befindlichen, zum lebenden Gewebe befähigt sind. Die Anzahl der potentiell waldfährlichen Arten ist dementsprechend gering, ihre Fähigkeit zur Besiedlung vitaler Bäume artspezifisch verschieden. Bei den meisten der potentiellen Schadinsekten der Rotbuche sind ihre Anforderungen an das Brutmaterial, ebenso wie die den Massenwechsel bestimmenden Faktoren weitgehend unbekannt. Prognosen zu den von ihnen möglicherweise ausgehenden Gefahren sind daher bislang rein spekulativ.

Unter den klimatischen und standörtlichen Bedingungen im Projektgebiet wird frisches Buchen-Totholz innerhalb der Bestände im Wesentlichen durch *Taphrorychus bicolor*, *Hylecoetus dermestoides* und *Trypodendron domesticum* besiedelt. Dabei bilden sich einzelbaumspezifische Besiedlungsmuster aus, die sich aus der physiologischen Veränderung bei fortschreitender Zersetzung und Austrocknung erklären lassen. Zunächst ausgehend von Schnitt- oder Bruchstellen sowie Rindenverletzungen werden bestimmte Stammabschnitte fortschreitend, für die sich olfaktorisch orientierenden Insekten, attraktiv und als Brutraum erkannt (HOLIGHAUS und SCHÜTZ, 2006). Der Zersetzungsfortschritt ist zwar eine Funktion der Lagerungs-

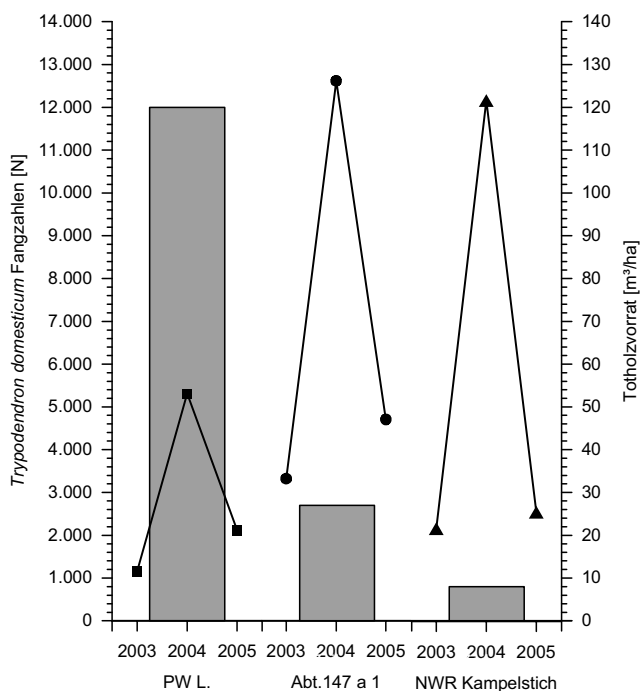


Abb. 8: Totholzvorrat (Zersetzungsgrad $Z^{\circ}1$) [m³/ha] in den Untersuchungsflächen PW L, FA Saarburg Abt. 147 a 1 und NWR Kappelstich im Jahr 2004 (graue Säulen) in Relation zu den Fangzahlen von *Trypodendron domesticum* in den Jahren 2003 – 2005 auf denselben Flächen

Fig. 8: Deadwood supply (decomposition degree $Z^{\circ}1$) [m³/ha] in the investigation areas PW L., FA Saarburg Abt. 147 a 1 and NWR Kappelstich in the year 2004 (grey columns) in relation to the catch numbers of *Trypodendron domesticum* in the years 2003 – 2005 on same areas

dauer, externe Faktoren, wie z.B. die Lagerungsbedingungen (Besonnung), überprägen diesen jedoch zusätzlich. Die zeitliche Differenz innerhalb einer Einschlagsperiode führt nicht zu physiologischen Unterschieden, die die Befallseignung für den Laubnutzholzborkenkäfer merklich beeinflussen. Der Einschlagsterminversuch 2002/03 erbrachte keine Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen dem Einschlagstermin und dem Befall des Lagerholzes durch *Trypodendron domesticum*.

Erfolgreich besiedelt wird Totholz des Zersetzungsgrades $Z^{\circ}1$ von frischholzbesiedelnden Arten nur, wenn es zum Zeitpunkt der jeweiligen artspezifischen Flugzeit physiologisch als Brutraum geeignet ist. Der Zersetzungsgrad $Z^{\circ}1$, für den MÜLLER-USING (2005) bei der Buche eine durchschnittliche Verweildauer von 3,6 Jahren angibt, muss unter diesem Gesichtspunkt stärker differenziert werden.

So ist für den Laubnutzholzborkenkäfer *Trypodendron domesticum* ausschließlich Holz in der Zersetzungsstufe 1b nutzbar, das durch eine orange Verfärbung im Bastbereich, einen ausgeprägt gäri- gen Geruch und einen Holzfeuchtebereich von 60 bis 85 % charakterisiert ist. Die beobachteten Besiedlungsmuster verdeutlichen allerdings auch, dass das Totholz bzw. wechselnde Teilbereiche eines Totholzobjektes über mehrere Jahre als Brutraum nutzbar sind.

Keine der beobachteten Arten konnte das vorhandene Totholz zu einem Zeitpunkt komplett als Brutraum nutzen. Die artspezifischen Anforderungen an die physiologische Eignung des Brutraums macht die im Vergleich zu anderen Frischholzinsekten (z.B. *Ips typographus*) geringere Aggressivität der beobachteten Arten aus. Andererseits können insbesondere die holzbrütenden Arten vergleichsweise geringe Totholzvorräte, durch fehlende Brutraumkonkurrenz, effektiv nutzen und hohe Populationsdichten aufbauen. Die aktuell beobachteten Schäden an vorgeschädigten Bäumen durch *Trypodendron domesticum* im Zusammenhang mit den ersten Krankheitsstadien der Buchenrindennekrose (PARINI UND PETERCORD, 2006) sowie durch *Taphrorychus bicolor* und *Trypodendron domesticum* nach dem Extremsommer 2003 (FVA Baden-Württemberg, 2004; METZLER, 2006) können hierdurch begünstigt sein.

Totholz-Strategie im Buchen-Wirtschaftswald

Aus waldschutzfachlicher Sicht besteht, im Rahmen einer planmäßigen Buchenwirtschaft, entsprechend den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung im Bezug auf *Taphrorychus bicolor*, *Trypodendron domesticum* und *Hylecoetus dermestoides* für Maßnahmen im Sinne einer „Sauberen Waldwirtschaft“ keine solche Notwendigkeit, wie beim Nadelholz in Bezug auf die rindenbrütenden Borkenkäfer. Eine Totholz-Strategie im Buchen-Wirtschaftswald kann daher primär auf das naturschutzfachliche Ziel der Totholzmehrung ausgerichtet sein. Dabei ist Totholz späterer Zersetzungsgrade (Z² bis 4) von besonderer Bedeutung. Bei einer Gesamtzersetzungsdauer für Buchenholz von

ca. 33,8 Jahren (MÜLLER-USING, 2005) ist der Zersetzungsgrad Z¹ mit einer durchschnittlichen Verweildauer von 3,6 Jahren von untergeordneter Bedeutung. Für die Zielsetzung einer langfristigen Totholzanreicherung ist eine kontinuierliche Totholznachlieferung in regelmäßigem Turnus entscheidend und nicht der exakte Zeitpunkt derselben. Der Zeitraum, den die Frischholzinsekten der Buche effektiv nutzen können, um eine begrenzte Totholzmenge als Brutraum zu besiedeln, ist trotz der Ausbildung einzelbaumspezifischer Besiedlungsmuster begrenzt.

Die Totholznachlieferung in einem an den Naturschutzziele orientierten und begrenzten Umfang sollte nicht jährlich, sondern in einem Turnus von 4 bis 5 Jahren im Rahmen der planmäßigen Durchforstung erfolgen. Auf diese Weise können eine niedrige latente Populationsdichte der Frischholzinsekten angestrebt und mögliche Folgeschäden an vorgeschädigten Bäumen minimiert werden.

Kalamitäten, die regelmäßig zu einem dramatischen Anstieg der Populationsdichten von Frischholzinsekten führen, können auch bei der Buche umfangreiche Maßnahmen eines kurativen Waldschutzes bedingen.

Literatur

- ALBRECHT, L. (1991): Die Bedeutung des toten Holzes im Wald. Forstw. Cbl. 110:106 – 113.
- AREND, J.-P.; EISENBARTH, E. und PETERCORD, R. (2006): Schadsymptome und Schadentwicklung der Buchenkomplexkrankheit in Luxemburg und Rheinland-Pfalz in den Jahren 2001 bis 2005. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59, S. 11 - 22.
- FLECHTNER, G; DOROW, W. H. O. und KOPELKE, J.-P. (2000): Naturwaldreservate in Hessen 5/2.2 Niddahänge östlich Rudingshain. Zoologische Untersuchungen 1990 – 1992. Mitteilungen der Hessischen Landesforstverwaltung, Band 32, Forschungsinstitut Senckenberg, Frankfurt a. M.: 550 S.
- FORSTLICHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT BADEN-WÜRTTEMBERG (FVA) (2004): Rindenbrüter an Buche. Waldschutz-Info 4/2004: 16 S.
- HARZ, B. und TOPP, W. (1999): Totholz im Wirtschaftswald: eine Gefahrenquelle zur Massenvermehrung von Schadinsekten? Forstw. Cbl. 118 (5): 302 – 313.
- HOLIGHAUS, G. und SCHÜTZ, ST. (2006): Strategie der olfaktorischen Wirtsfindung von *Trypodendron domesticum* L... Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59, S. 119 - 128.

- KAMP, H.-J. (1952): Zur Biologie, Epidemiologie und Bekämpfung des Buchenprachtkäfers (*Agrilus viridis* L.). Mitteilungen der Württembergischen Forstlichen Versuchsanstalt Band IX, Heft 1: 42 S.
- KLEINEVOSS, K.; TOPP, W. und BOHAC, J. (1996): Buchen-Totholz im Wirtschaftswald als Lebensraum für xylobionte Insekten. Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz 5: 85 – 95.
- KÖHLER, F. (1996): Käferfauna in Naturwaldzellen und Wirtschaftswald. Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten / Landesamt für Agrarordnung NRW, LÖBF – Schriftenreihe 6: 283 S.
- KORPEL, ST. (1995): Die Urwälder der Westkarpaten. G. Fischer Verlag, Stuttgart, Jena: 310 S.
- LÖSEKRUG, R.-G. (1988a): Schädlingssituation 1987/88 in Hessen. Allg. Forstz. 43: 352 – 353.
- LÖSEKRUG, R.-G. (1988b): Befall von Buchenalthölzern durch den Laubnutzholzborkenkäfer. Allg. Forstz. 43: 942 – 943.
- MEYER, P.; ACKERMANN, J.; BALCAR, P.; BODDENBERG, J.; DETSCH, R.; FÖRSTER, B.; FUCHS, H.; HOFFMANN, B.; KEITEL, W.; KÖLBEL, M.; KÖTHKE, C.; KOSS, H.; UNKRIEG, W.; WEBER, J. und WILLIG, J. (2001): Untersuchung der Waldstruktur und ihrer Dynamik in Naturwaldreservaten. IHW-Verlag, Eching: 107 S.
- METZLER, B. (2006): Untersuchungen zu den Umständen des Befalls durch Holzbrüter an Stehenden Buchen. (unveröffentl. Bericht FVA Baden-Württemberg)
- MÜLLER-USING, S. (2005): Totholzdynamik eines Buchenbestandes (*Fagus sylvatica* L.) im Solling. Diss., Fak. f. Forstw. u. Waldökol., Uni. Göttingen: 175 S..
- PARINI, C. und PETERCORD, R. (2006): Der Laubnutzholzborkenkäfer *Trypodendron domesticum* L. als Schädling der Rotbuche. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59, S. 63 - 78.
- PETERCORD, R. (2006a): Die Buchenwollschildlaus als Auslöser der Buchenrindennekrose. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59, S. 53 - 62.
- RUPF, H. (1951): Ein Beitrag zur Klärung der Dürreschäden. Allg. Forstz. 6: 389 – 394.
- SCHÖNHERR, J. (1980): Neue Erkenntnisse über Buchenschädlinge. Allg. Forstz. 35: 513 – 514.
- SCHÖNHERR, J. und KRAUTWURST, K. (1979): Beobachtungen über den Buchenborkenkäfer (*Taphrorychus bicolor*). Anzeiger für Schädlingskunde 52: 161 – 163.
- WOELFLE, M. (1951): Auftreten des Buchenprachtkäfers / (*Agrilus viridis*). Allg. Forstz. 6: 118.
- ZAHNER, V. (1999): Biologische Vielfalt durch Totholz – Zeitgeist oder Notwendigkeit. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freising (Hrsg.) LWF – aktuell Nr.18: 14 – 17.

Autorenanschriften:

Dr. Ralf Petercord
 Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz
 Hauptstr. 16, D-67705 Trippstadt (bis Dezember 2005)
 Email: rpetercord@web.de

Empfehlungen zur Sicherung der Buchenwälder unter dem Aspekt der aktuellen Buchenerkrankung

Block, J.

Zusammenfassung

Das INTERREG III A DeLux-Projekt „Entwicklung von Strategien zur Sicherung der Buchenwälder“ diente zur Klärung der Ursachen und Folgen der Buchenerkrankung und zur Ableitung von Konsequenzen für die Bewirtschaftung der Buchenwälder in der Region. Aus den Projektbefunden werden Vorschläge zur Reduzierung der Folgeschäden der Erkrankung und die Behandlung der Buchenwälder unter dem Aspekt der aktuellen Buchenerkrankung abgeleitet.

Nach dem vorliegenden Wissensstand lässt sich ein Ausbruch der durch Massenvermehrungen der Buchenwollschildlaus *Cryptococcus fagisuga* ausgelösten Buchenrindennekrose nicht gezielt vermeiden. Allerdings kann durch den Anbau und die Förderung standortsangepasster Mischbaumarten und Maßnahmen zur Steigerung der horizontalen und vertikalen Bestandesstruktur das Schadausmaß reduziert werden.

Der Stehendbefall der Buchen durch *Trypodendron domesticum* wurde offenbar durch eine zeitlich begrenzte besondere Disposition der Buchen ausgelöst, deren Ursache allerdings nicht widerspruchsfrei aufgeklärt werden konnte. Die empfohlenen Maßnahmen sind daher nicht auf eine Vermeidung der Erkrankung, sondern auf die Eindämmung ihrer Folgeschäden ausgerichtet.

Empfohlen wird eine Überwachung der Buchenbestände auf das Auftreten von Erkrankungssymptomen. Bei einem frühzeitigen Erkennen der Anfangssymptome der Buchenrindennekrose können Wertverluste durch rechtzeitige Nutzung der betroffenen Bäume vermieden werden. In Gefährdungsbereichen ist eine regelmäßige Kontrolle auch aus Verkehrssicherungsgründen erforderlich.

Die Regeln des naturnahen Waldbaus gelten auch für von der Erkrankung betroffene Buchenbestände. Gersonderte Waldschutzmaßnahmen sind nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand nicht erforderlich. Sowohl für die Buchenrindennekrose als auch für den Stehendbefall durch *Trypodendron domesticum* ist offenbar die physiologische Disposition des einzelnen Wirtsbaumes entscheidend. Aufwendige Maßnahmen zur Reduzierung der Populationsdichte der beteiligten Insekten sind daher weder sinnvoll noch wirksam möglich. Bei der Holzverwertung muss zur Erhaltung des Käufervertrauens Holz mit erkrankungsbedingten Mängeln sorgfältig eingewertet, offen deklariert und gesondert angeboten werden.

Auch vor dem Hintergrund der aktuellen Erkrankung ist die Buche ein unverzichtbares Element eines zeitgemäßen naturnahen Waldbaus und des Waldnaturschutzes. Trotz der Erkrankung ist der Schadholzanfall bei Buche überregional deutlich geringer als bei anderen Baumarten, wie Fichte, Kiefer oder Eiche. Mit buchenreichen Mischbeständen lassen sich auch zukünftige Risiken für den Wald und die Forstwirtschaft reduzieren.

Die im Projekt aufgezeigten Kenntnislücken insbesondere im Hinblick auf die Entstehung der Bastnekrosen, der Holzanomalien und zur Populationsdynamik und Wirtsfindung von *T. domesticum* sollten durch weiterführende Untersuchungen geschlossen werden.

Schlüsselwörter: Buche, *Fagus sylvatica*, Buchenrindennekrose, *Trypodendron domesticum*, *Cryptococcus fagisuga*, Waldbau, Waldschutz, Verkehrssicherung, Holzverwendung, Risikostreuerung

Recommendations regarding the treatment of beech forests under the aspect of the current beech disease

Summary

The INTERREG III A DeLux-Project "Development of strategies to protect beech forests" aimed at clarifying the causes of the beech disease and at deriving consequences for the management of the beech forests in the region concerned. From the project findings, suggestions are derived on the reduction of the damages of the disease and the treatment of the beech forests under the aspect of the current beech disease.

According to available knowledge, an outbreak of the beech bark disease is a consequence of a mass propagation of *Cryptococcus fagisuga* and cannot be avoided. However, the extent of damage can be reduced by propagating site-adapted admixed tree species and measures for the increase of the horizontal and vertical stand structure.

The infestation of living trees without any other symptoms of the beech bark disease by *Trypodendron domesticum* was obviously caused by a temporally limited predisposition of the beeches. However, the cause of this disposition could not be clarified without contradiction. Therefore the recommended measures are aligned not to an avoidance of the outbreak of the disease, but to reduce the consequential damage.

A monitoring of the beech stands on the occurrence of the disease symptoms is recommended. By recognizing the initial symptoms of the beech bark disease, the trees concerned can be felled at time, and financial loss can be limited. In the neighbourhood of buildings, roads or other places haunted by visitors, a regular control is necessary for obligation to traffic safety, too.

The rules of close-to-nature silviculture apply also to beech stands affected by the beech bark disease or by *T. domesticum* infestation. Separate forest protection measures are not necessary according to the present level of knowledge. Both, for the beech bark disease and for the infestation of living trees by *T. domesticum*, obviously the physiological predisposition of the individual host tree is crucial. Consequently complex measures for the reduction of the population density of the insects involved are neither meaningfully nor effectively possible.

Regarding wood marketing wood with disease-caused damage must be evaluated carefully, declared openly, and offered separately for the preservation of the purchaser's confidence.

Even in the light of the current disease, beech is an indispensable element of a modern close-to-nature silviculture and nature protection in forests. Despite the disease, the quantity of wood damaged by biotic or abiotic diseases observed over a wide area is remarkably smaller with beech than with other tree species, like spruce, pine or oak. Mixed stands with a high proportion of beech will fit the forests also for future risks like the climate change.

The gaps in knowledge shown in the project in particular regarding the causes of the phloem necroses, the anomalies in wood anatomy and concerning the population dynamics and host finding of *T. domesticum* should be closed by further investigations.

Keywords: European beech, *Fagus sylvatica*, beech bark disease, *Trypodendron domesticum*, *Cryptococcus fagisuga*, silviculture, forest protection, obligation to traffic safety, wood utilisation, diversification of risk

Einleitung

Die Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) ist eine Baumart mit hoher ökologischer Amplitude und großer Durchsetzungskraft (KÖLLING et al., 2005). Innerhalb ihres mitteleuropäischen Verbreitungsareals meidet sie lediglich sehr nasse und sehr trockene Standorte (WALENTOWSKI et al., 2001). Auf der Mehrzahl der Standorte ist sie in ihrer Konkurrenzfähigkeit anderen Baumarten überlegen. Im Vergleich zu anderen Baumarten bereitet sie meist geringere Waldschutzprobleme. Massenvermehrungen von Schadinsekten sind zum Beispiel im Vergleich zu Fichte und Kiefer selten. Die Daten der jährlichen Waldschadenserhebungen (WWW://FAWF.WALD-RLP.DE) belegen zwar ein vergleichsweise hohes Schadniveau der Buche, gleichzeitig aber auch eine im Vergleich zu anderen Baumarten sehr niedrige Absterberate. So sind aus dem Kollektiv der Waldschadenserhebung Rheinland-Pfalz im Zeitraum 2002 bis 2005 jährlich durchschnittlich nur 0,03 % der Buchen, aber 1,2 % der Fichten wegen biotischer Schäden ausgeschieden. Auch eine bundesweite Auswertung von Dauerbeobachtungsflächen im Rahmen des forstlichen Umweltmonitorings belegt für die Buche eine deutlich unter den anderen Baumarten liegende jährliche Absterberate (Buche 0,002 % je Jahr, Kiefer 0,24 %, Fichte 0,18 %, Eiche 0,58 %) (DAMMANN et al., 2001). Die Buche ist aber nicht völlig frei von Krankheiten. Die mit großem Abstand wichtigste Erkrankung ist die Buchenrindennekrose. Diese Erkrankung ist seit mehr als 100 Jahren bekannt und seither Gegenstand umfangreicher Forschung (Überblick in PETERCORD, 1999; 2006a). Dennoch sind noch viele Fragen zu Ursachen und Ablauf der Erkrankung offen. Dies dürfte auch daran liegen, dass die Symptomatik von Erkrankungswelle zu Erkrankungswelle erheblich variieren kann und zwischen Auslösung der Erkrankung und dem Auftreten sichtbarer Symptome offenbar viele Jahre liegen können (PETERCORD, 1999; 2006a). Auch bei der in den westlichen Teilen von Rheinland-Pfalz, in Luxemburg, Belgien und Teilen Frankreichs seit dem Jahr 2000 zu beobachtende Erkrankungswelle treten einige Besonderheiten auf. So

wurde kaum Schleimfluss beobachtet, aber ein außergewöhnlich starker und früher Befall durch holzbrütende Insekten und eine außergewöhnlich rasche Entwertung durch holzbesiedelnde Pilze (ARENDE et al., 2006, EISENBARTH, 2001; EISENBARTH et al., 2001). Beim Erkennen der Erkrankung war die Entwertung daher meist bereits weit fortgeschritten. Besonders besorgniserregend war die Beobachtung, dass in einigen Regionen auch vital erscheinende Buchen ohne die bekannten Symptome der Buchenrindennekrose von holzbrütenden Insekten, insbesondere dem Laubnutzholzborkenkäfer *Trypodendron domesticum*, befallen wurden. Dies widersprach bisherigen Kenntnissen zum Verhalten dieser Insekten.

Das von den Forstverwaltungen der Länder Luxemburg und Rheinland-Pfalz getragene INTERREG – Projekt sollte die Hintergründe dieser Beobachtungen klären und prüfen, ob sich hieraus Änderungen in den Rahmenbedingungen für die Bewirtschaftung der Buchenwälder in der Region ergeben. Gegebenenfalls sollten Strategien zur Eindämmung der Erkrankung und der Erkrankungsfolgen abgeleitet werden.

Nachfolgend werden die Konsequenzen aus den in den vorstehenden Beiträgen dargelegten Projektbefunden im Hinblick auf die Möglichkeiten zur Eindämmung der Erkrankung und ihrer Folgeschäden und die waldbauliche Behandlung der Buchenwälder unter dem Aspekt der aktuellen Buchenerkrankung dargelegt.

Vermeidung der Erkrankung möglich?

Der wirkungsvollste Schutz der Buchenwälder wäre durch Maßnahmen gegeben, die den Ausbruch der Buchenrindennekrose und des Stehendbefalls durch holzbrütende Insekten verhindern oder deutlich reduzieren könnten.

Nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand wird die Buchenrindennekrose durch die Buchenwollschildlaus (*Cryptococcus fagisuga*) meist wohl in Kombination mit Befall durch Rindenpilze der Gattung *Nectria* ausgelöst (PETERCORD, 1999; 2006a; GRÜNER und METZLER, 2006). Die Buchenwollschild-

laus und die Rindenpilze sind in allen Buchenbeständen im gesamten mitteleuropäischen Verbreitungsgebiet der Buche vorhanden. Massenvermehrungen der Buchenwollschildlaus entstehen als Folge einer physiologischen Disposition des einzelnen Baumes und sind letztlich nicht vermeidbar. Eine direkte Bekämpfung der Buchenwollschildlaus ist nicht wirksam möglich. Auch der Aushieb von besonders stark befallenen, weiß erscheinenden so genannten „Wolllausbuchen“ schützt wohl kaum benachbarte Buchen, da diese bereits mit Wollläusen besiedelt sind und der Ausbruch einer Massenvermehrung von der Einzelbaumdisposition und nicht von der Wanderung der Läuse von einem Baum zum anderen gesteuert wird.

Sicher wirkende Maßnahmen zur Vermeidung des Ausbruchs der Buchenrindennekrose sind daher nicht möglich. Die Buchenrindennekrose ist ein systemimmanentes Risiko der Buchenwirtschaft. Für den Ausbruch der Erkrankung am Einzelbaum ist eine besondere Konstellation zwischen Abwehrbereitschaft des Baumes und Populationsentwicklung der Wollläuse verantwortlich. Daher tritt die Erkrankung grundsätzlich nur an einem Teil der Population eines Bestandes auf. Dieser Anteil kann möglicherweise durch eine pflegliche Waldwirtschaft, die Verletzungen vermeidet, die von Wollläusen besonders stark besiedelt werden, sowie durch waldbauliche Maßnahmen zur Förderung der Einzelbaumvitalität reduziert werden (PETERCORD, 2006a). Allerdings zeigen die Auswertungen der aktuellen Erkrankungswelle, dass auch herrschende und vorherrschende Bestandeglieder betroffen sind. In jüngeren Beständen konzentrieren sich die Schäden sogar auf die stärkeren Buchen; in älteren Beständen verteilen sich die Schäden annähernd proportional zur Durchmesserverteilung (AREND et al., 2005, 2006).

Auf Bestandesebene kann das Risiko durch Anbau und Förderung von Mischbaumarten, auf geeigneten nährstoffreichen Standorten Edellaubbaumarten, auf bodensauren Standorten in der submontanen und montanen Höhenstufe insbesondere Fichte gemindert werden. Vermutlich trägt auch eine Diversifizierung des physiologischen Alters durch

Förderung der horizontalen und vertikalen Struktur zur Reduzierung des Umfangs von Wolllausmassenvermehrungen und damit des Risikos hoher Ausfallraten durch die Buchenrindennekrose bei, da die Abwehrbereitschaft innerhalb der Buchenpopulation stärker variiert und eine zeitliche Synchronisation der Disposition so vermutlich vermieden wird (PETERCORD, 2006a).

Die Ursache des den früheren Erfahrungen widersprechenden Befalls augenscheinlich vital erscheinender Buchen durch *Trypodendron domesticum* konnte letztlich nicht widerspruchsfrei aufgeklärt werden. DITTMAR und ELLING (2006) fanden bei Jahrringanalysen befallener und nicht befallener Buchen keine Hinweise, die auf eine Vorschädigung durch Witterungseinwirkungen oder ein anderes besonderes Schadereignis hinweisen. Keine Belege fanden sich auch für die Hypothese, dass die Schäden durch einen Kälteeinbruch am 18. bis 23. November 1998 mit außergewöhnlich niedrigen Temperaturen entstanden sind (NAGELEISEN und HUART, 2005). Weder passt die Schadverteilung zu dieser Annahme, noch lassen sich hiermit die nachweislich vor 1998 entstandenen Rindennekrosen, noch ein erst 2002 in Stangenhölzern aufgetretener Stehendbefall der Buchen erklären (AREND et al., 2005; PETERCORD, 2006a). Eine Frostbehandlung (Anfang November, -25°C über ca. 6 Stunden) durch LANGENFELD-HEYSEY et al. (2006b) führte zu weiträumigen Reaktionen in Rinde und Kambium mit deutlichen strukturellen Veränderungen, die sich von den räumlich eng begrenzten Symptomen an den Buchen mit *T. domesticum*-Stehendbefall deutlich unterscheiden. HANS und KOOPMANN (2006) erachtet das vor allem im Luxemburger Ösling beobachtete Absterben von stammbesiedelnden Moosen als eine Folge überhöhter Stickstoffeinträge, die parallel hierzu auch die Sensitivität der Buchen gegenüber Schädlingsbefall erhöhen könnten. Allerdings liegen hierfür keine konkreten Belege vor. Auch korreliert die Schadverteilung nicht mit der räumlichen Verteilung der Stickstoffbelastung (AREND et al., 2005).

Nach den vorliegenden Befunden ist davon auszu-

gehen, dass ein Zusammenhang mit den beobachteten „Weichbastnekrosen“ besteht (PARINI und PETERCORD, 2006). LANGENFELD-HEYSER et al. (2006a) führen diese Nekrosen auf Buchenwollschildlausbefall zurück. Nach ihren Befunden sind diese Rindennekrosen eine Voraussetzung für den Befall durch *T. domesticum*, aber nicht alle Bäume mit dieser Voraussetzung sind auch befallen worden. Die biochemischen Befunde deuten auf eine verstärkte Aktivierung des Sekundärstoffwechsels und damit auf eine aktive Abwehrreaktion der Bäume hin (FIEBELKORN et al., 2006). Nach LANGENFELD-HEYSER et al. (2006a) lassen anatomische Veränderungen im Holzaufbau Wasserstress als Ursache vermuten. GRÜNER und METZLER (2006) stellten einen Zusammenhang zwischen dem Vorkommen von *Trypodendron*-Bohrlöchern und dem Befall durch *Nectria ditissima* fest und schließen daraus, dass pilzlich bedingte Kambiumnekrosen den Stehendbefall durch *T. domesticum* begünstigen.

Auch HOLIGHAUS und SCHÜTZ (2006) sehen in den Weichbastnekrosen eine plausible Erklärung für die Entstehung von Lockstoffen und damit die Auslösung des Befalls mit *T. domesticum*. Der neuartige Stehendbefall trat im Wesentlichen nur in den Jahren 2001 bis 2003 auf und war auf bestimmte Regionen, in Rheinland-Pfalz Teile des westlichen Hunsrücks beschränkt (PARINI und PETERCORD, 2006). Dies spricht für eine zeitlich begrenzte, starke Schwächung der Buchen, die von *T. domesticum* ausgenutzt wurde, der als „Opportunist“ an den Übergang von geschwächten zu toten Bäumen besonders angepasst ist (HOLIGHAUS und SCHÜTZ, 2006).

Zwischen der anhand von Fallenfängen abgeleiteten Populationsdichte und dem Stehendbefall ergaben sich keine Zusammenhänge (PETERCORD, 2006b). Für den Stehendbefall durch *T. domesticum* ist somit offenbar die Disposition des Baumes und nicht die Populationsdichte des Insektes entscheidend. Hierfür spricht auch die Beobachtung, dass *T. domesticum* seinen Brutraum äußerst selektiv auswählt. Selbst bei hoher Populationsdichte wurden nur bestimmte Bäume und dort bestimmte Baum-

partien besiedelt (PETERCORD, 2006b).

Da die Auswahl des Brutmaterials nicht zuverlässig bestimmbar ist und ein Teil der Population nach den Befunden der Eklektoruntersuchungen im Boden überwintert (PARINI und PETERCORD, 2006) und somit bei Hiebsmaßnahmen, die in der Regel in der Vegetationsruhe stattfinden, nicht erfasst werden, ist eine Beschränkung des Brutraumangebots und damit eine Regulation der Populationsdichte kaum zu realisieren. Auch liefern Stöcke und bereits wenige, im Konkurrenzkampf absterbende Buchen ein hohes Vermehrungspotential (PETERCORD, 2006b). Spezielle Maßnahmen zur Reduzierung der *T. domesticum* Population sind daher nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand nicht wirksam möglich.

Folgeschäden der Erkrankung eindämmen

Während sich der Ausbruch der Erkrankung kaum gezielt vermeiden lässt, können die oft sehr schwerwiegenden Folgeschäden durch geeignete Maßnahmen erheblich vermindert werden.

In den von der Buchenerkrankung betroffenen Regionen und auch darüber hinaus sollten die Buchenbestände nach Möglichkeit auf das Auftreten von Erkrankungssymptomen überwacht werden. Diese Überwachung dient der Werterhaltung der Bäume und gegebenenfalls zur Gewährleistung der Verkehrssicherung. Besonders sorgfältig sollte diese Überwachung demnach in Beständen erfolgen, in denen von Dimension und Qualität her wertvolle Buchen stocken. Nur bei einer Nutzung im Frühstadium der Erkrankung können empfindliche Wertebüßen vermieden werden. Empfohlen wird eine Durchmusterung der Bestände möglichst im Zeitraum Mai bis Juni. Geachtet werden sollte auf die Symptome der Buchenrindennekrose wie Schleimfluss, Rindenablösungen, Pilzfruchtkörper, Spechtabschläge sowie auf Anzeichen von Holzbrüterbefall (Auswurf von weißem Bohrmehl) an stehenden Stämmen. Eingehende, mit Bildern hinterlegte Symptombeschreibungen finden sich in www.interreg-buche.de (Waldschutzinformationssystem). Die Symptome der Buchenrindennekrose

treten in 4 bis 8 m Höhe auf. Der Holzbrüterbefall an ansonsten symptomfreien Buchen ist vor allem in einer Stammhöhe von 0,4 bis 1,3 m zu beobachten. Da das ausgeworfene Bohrmehl bei Regen rasch abgewaschen wird, sollte der Begang in einer Schön-Wetter-Periode erfolgen. Erkrankte Buchen sollten deutlich markiert werden. Dabei ist es zweckmäßig, zwischen den Symptomen der klassischen Buchenrindennekrose und dem ausschließlichen Holzbrüterbefall ansonsten vital erscheinender Bäume zu unterscheiden.

Auch empfiehlt es sich, insbesondere in wertvollen Beständen auf Wollausmassenvermehrungen zu achten und gegebenenfalls besonders stark betroffene Bäume zu markieren. Diese sollten besonders intensiv beobachtet werden, da an ihnen einige Jahre später die Erkrankung ausbrechen kann.

Buchen mit flächig abgestorbenen Rindenpartien und vor allem Bäume, an deren Stamm bereits Pilzfruchtkörper erscheinen, weisen in der Regel eine weit fortgeschrittene Holzfäule auf. Sie brechen daher besonders leicht. Dies gilt insbesondere, wenn die Kronen der Bäume noch grün sind. Aus Verkehrssicherungsgründen müssen Bäume mit diesen Symptomen im Gefährdungsbereich von Straßen, Häusern und anderen Einrichtungen unverzüglich entfernt werden. Bei der Fällung von Buchen mit Stammfäulen steigt die Unfallgefährdung erheblich. Dies gilt verstärkt beim Fällen von Bäumen mit grünen Kronen. Im Zweifelsfall sollten bruchgefährdete Bäume mit Seilunterstützung zu Fall gebracht werden. Weitere Informationen zur Verkehrssicherungspflicht enthält www.interreg-buche.de (Handlungsempfehlungen).

Erkrankte Bäume sollten außer aus Verkehrssicherungsgründen nur eingeschlagen werden, wenn sie auch sinnvoll zu vermarkten sind. Waldhygiene- oder Sanierungshiebe sind nicht sinnvoll, da hierdurch die Gefährdungssituation der noch nicht betroffenen Bestandesglieder nach dem vorliegenden Wissensstand nicht entscheidend reduziert wird und die Bestandesstruktur und die für die Entwicklung der Buchennaturverjüngung wichtige Schirmstel-

lung beeinträchtigt werden können. Auch belegen die Projektbefunde, dass von *T. domesticum* besiedelte Buchen überleben können (PARINI und PETERCORD, 2006). Hinweise, dass *T. domesticum* holzerstörende Pilze einschleppt, wurden nicht gefunden (METZLER und HECHT, 2006). Beim Fehlen der sonstigen Symptome der Buchenrindennekrose wurde der *T. domesticum* – Befall in vielen Fällen gesund überwältigt und ausgeheilt.

Auch in von der Erkrankung betroffenen Buchenbeständen sollte die Zielsetzung des naturnahen Waldbaues, die Erziehung buchenreicher Mischbestände mit hoher Wertholzproduktion nicht aufgegeben werden. Meist bleibt die Erkrankung auf einige Bäume beschränkt. Nur in Ausnahmefällen ist das Ausmaß so stark, dass die waldbauliche Zielsetzung grundlegend gefährdet ist. Die genetischen Untersuchungen haben keine Hinweise auf ungeeignete, besonders empfindliche Herkünfte ergeben (MAURER, 2006). Daher sollte zur Erhaltung der vorhandenen, standortsangepassten Herkünfte die Verjüngung der Buche nach Möglichkeit über Naturansamung erfolgen. Zur Sicherstellung der natürlichen Verjüngung ist die wirksame Begrenzung der Wilddichte eine unabdingbare Voraussetzung. Insbesondere in Beständen mit Fichtenanteilen muss nach Möglichkeit eine geeignete Schirmstellung erhalten werden, die der Buchenverjüngung Wachstumsvorteile gegenüber der Fichtennaturansamung verschafft. Wenn dies durch den krankheitsbedingten Ausfall von älteren Buchen nicht möglich ist und eine üppige Fichtennaturverjüngung die Verjüngung der Buche bedrängt, muss die Naturverjüngung der Buche gegebenenfalls vor der Konkurrenz der Fichte geschützt werden.

In den erkrankten Beständen sind keine gesonderten Waldschutzmaßnahmen erforderlich. Anders als beim Buchdrucker (*Ips typographus*) an Fichte sind beim *Trypodendron domesticum* keine deutlichen Zusammenhänge zwischen Populationsdichte und dem Stehendbefall durch dieses Insekt erkennbar. Auch ergab sich kein linearer Zusammenhang zwischen dem Totholzvorrat und der aus Fallenfängen

abgeleiteten Populationsdichte von *T. domesticum* (PETERCORD, 2006b). Spezielle Maßnahmen zur Regulierung der Populationsdichte von *T. domesticum* sind daher nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand nicht sinnvoll. Deshalb verbietet sich auch der Einsatz von Insektiziden z.B. als Vorausflugspritzung befallener Bäume.

Auch zum Befallsschutz von waldlagerndem Holz gegenüber *T. domesticum* ist eine Insektizidbehandlung in der Regel nicht sinnvoll, da, wie auch die in diesem Projekt durchgeführten Versuche zeigen, waldlagerndes Buchenholz nur selten und kaum vorhersehbar befallen wird. Zudem ist ein Befall bei rechtzeitiger Abfuhr zuverlässig zu vermeiden.

Die vorstehenden Vorschläge zur Behandlung erkrankter Buchenbestände gelten auch und insbesondere für nach der europäischen Fauna-Flora-Habitat (FFH)-Richtlinie ausgewiesene Gebiete. Konkrete Behandlungsvorschläge enthält der Beitrag von NICOLAS und QUATRARO (2006).

Vorschläge zur Holzverwertung

Bei der Holzverwertung in betroffenen Beständen gilt es, die Schäden möglichst frühzeitig zu erkennen und sorgfältig einzuwerten. Nur im Frühstadium der Erkrankung, das heißt, wenn nur Schleimflussflecken und/oder strichförmige Rindenarben, aber noch keine flächigen Nekrosen und kein Holzbrüterbefall auftreten, kann das Holz ohne Einbußen vermarktet werden. Der Einschlag von Buchen sollte, mit Ausnahme des Einschlags aus Verkehrsicherungsgründen, ausschließlich außerhalb der Saftzeit erfolgen. Ein überhasteter Einschlag in der Saftzeit führt häufig zu weiterer Holzentwertung, vor allem aber auch zu Schlagschäden an verbleibenden gesunden Buchen. Buchenstammholz ist ein Sortiment mit hoher Wertdifferenzierung. Um den Markt für wertvolle Sortimente nicht in Misskredit zu bringen, muss Holz mit erkrankungsbedingten Mängeln, wie Anzeichen von Verfärbungen, Pilzbefall oder Befall durch holzbrütende Insekten, unbedingt in getrennten Losen angeboten und offen deklariert werden. Zur Verarbeitung als Stammholz sollten nur gesunde Buchen vorgesehen werden.

Stammholz mit Schadsymptomen wie einigen wenigen Einbohrlöchern holzbrütender Käfer, aber ohne Pilzbefall, können als Verpackungs- und Palettenholz angeboten werden. Für Holz mit Pilzbefall kommt noch eine Nutzung als Brenn- und Energieholz z.B. für den Eigenbedarf in Frage. Weitere Informationen zur Holzverwertung aus erkrankten Buchenbeständen finden sich in WILHELM et al., 2001 und unter www.interreg-buche.de (Handlungsempfehlungen)

Trotz Erkrankung – Buche erhalten und fördern

Die Rotbuche ist die mit großem Abstand wichtigste Baumart der natürlichen Waldgesellschaften in der Region. Ihr kommt daher eine besondere Bedeutung für den Naturhaushalt zu. Buchenreiche Wälder sind überaus wichtige Lebensräume für viele Tier- und Pflanzenarten. Daher sind Hainsimsen- und Waldmeisterbuchenwälder, die in der Region den größten Anteil der natürlichen Waldgesellschaften ausmachen, in der europäischen FFH-Richtlinie als prioritäre Lebensraumtypen ausgewiesen. Die Erhaltung und naturnahe Bewirtschaftung der Buchenwälder dient somit den Zielen des europäischen NATURA 2000-Programms (NICOLAS und QUATRARO, 2006).

Die Buche ist auch für den Nährstoffhaushalt der Waldökosysteme von besonderer Bedeutung. Sie ist in der Lage, einen effektiven Nährstoffkreislauf aufzubauen und auch im Unterboden verfügbare Nährstoffe zu erschließen und in den Nährstoffkreislauf einzuspeisen. Sie wirkt so der durch Luftschadstoffeinträge verursachten Bodenversauerung entgegen und trägt zur Erhaltung der natürlichen Bodenfruchtbarkeit bei (EDER, 1980; BLOCK et al., 1997). Eine Reihe von Untersuchungen belegt, dass Buchenwälder mehr Stickstoff speichern als Nadelwälder (ROTHER et al., 1998, 1999; KREUTZER et al., 1986). Zudem ist der Stickstoff in Buchenwäldern meist in stabilerem Mineralbodenhumus, in Nadelwäldern dagegen in labilerem Auflagehumus festgelegt (BLOCK et al., 1991). Bei einer Umwandlung von Buchenwäldern in Nadelwald wird meist über eine ganze Waldgeneration hinweg Stickstoff aus

dem System ausgetragen. Beim umgekehrten Schritt wird der Stickstoffvorrat, wenn gleich nur sehr allmählich, über mehr als eine Generation hinweg wieder aufgebaut (ROTHE et al., 1998). Der Buche kommt somit eine wesentliche Bedeutung bei der Bewältigung der zunehmenden Gefährdung unserer Wälder und des Grundwassers durch überhöhte Stickstoffeinträge zu (BLOCK, 2002).

Die Buche ist demnach unzweifelhaft ein unverzichtbares Element eines zeitgemäßen naturnahen Waldbaus. Und diese Aussage hat auch vor dem Hintergrund der Buchenerkrankung Bestand.

Die Buchenrindennekrose und der Stehendbefall durch *T. domesticum* können für den einzelnen, stark betroffenen Waldbesitzer einen sehr gravierenden ökonomischen Schaden darstellen. Auf regionaler Ebene hält sich das Schadausmaß aber nach den bisherigen Erfahrungen in Grenzen. So sind von der aktuellen Erkrankungswelle in den rheinland-pfälzischen Forstämtern 0 bis 2,6 % und in den luxemburgischen Forstämtern 0 bis 11 % der Buchenwaldfläche betroffen (AREND et al., 2006). Auf den Schadflächen überwiegen die leichten bis mittleren Schäden. Trotz der aktuellen Erkrankungswelle weist die Buche auch in den letzten Jahren landesweit einen erheblich geringeren Schadholzanfall auf als andere Baumarten (-gruppen). So betrug der Schadholzanfall (Zwangsnutzung insbesondere durch Sturmwurf, Schneebruch, Insekten- und Pilzbefall) im öffentlichen Wald des Landes Rheinland-Pfalz im Mittel der Jahre 2000 bis 2005 bei Fichte 17,5 %, bei Kiefer 9,3 %, bei Eiche 8,4 % und bei der Buche „nur“ 4,8 % des jährlichen Einschlags (SPEER, schriftliche Mitteilung, Dezember 2005).

Angesichts der aktuellen Buchenerkrankung wieder vermehrt auf Nadelbaumreinbestände zu setzen, ist keine sinnvolle Alternative. Vor allem Fichtenreinbestände verstärken durch die Anhäufung von Auflagehumus die Bodenversauerung und Nährstoffverarmung (BLOCK et al., 1991). Zudem sind reine Fichtenwälder erheblichen Risiken insbesondere durch Sturm- und Schneebruch sowie durch Befall mit rindenbrütenden Borkenkäfern ausgesetzt. So

fielen beispielsweise den Stürmen des Jahres 1990 in Rheinland-Pfalz landesweit etwa 18 % des Fichtenvorrates, aber „nur“ knapp 3 % des Buchenvorrates zum Opfer (berechnet aus: MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, WEINBAU UND FORSTEN RHEINLAND-PFALZ 1992 und BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1990). Die durch das Trockenjahr 2003 ausgelösten Borkenkäferschäden bei Fichte summieren sich in Rheinland-Pfalz auf mehr als 750.000 fm. Demgegenüber sind seit dem Jahr 2000 aufgrund der aktuellen Buchenerkrankung etwa 84.000 fm Buchenschadholz angefallen.

Auch die vielfach als Alternative zur Buche herangezogene Douglasie weist nicht unerhebliche Risiken durch „Mangantoxizität“ (BLOCK, 1997), Nadelpilze und zunehmend auch Borkenkäfer auf (SCHRÖTER et al., 2005). Zudem sprechen die Unsicherheiten durch den prognostizierten Klimawandel für eine Risikostreuung durch Erhaltung und weiteren Aufbau von Mischbeständen mit Buche. Zwar sind Mischbestände unter ungestörten Verhältnissen in der Produktivität Fichtenreinbeständen häufig unterlegen, können aber über Störungen z.B. durch Sturmwurf oder Insektenfraß mit geringeren Zuwachseinbußen hinwegkommen (PRETZSCH, 2005). Je höher die Eintrittswahrscheinlichkeit von Störungen ist, umso vorteilhafter kann eine vorausschauende Mischung von Baumarten sein. Angesichts der Häufung von meteorologischen Extremereignissen in den letzten Jahren spricht viel für eine Fortsetzung und Intensivierung des Umbaus von Nadelholzreinbeständen in buchenreiche Mischbestände.

Weiterführende Forschung

Die Projektbefunde haben einige gravierende Wissenslücken aufgezeigt. So wurde deutlich, dass wir noch sehr wenig über das Verhalten des *Trypodendron domesticum* und die Disposition der Buchen für einen Befall durch dieses Insekt wissen. Der außergewöhnliche Stehendbefall vital erscheinender Buchen gibt nach wie vor Rätsel auf. Die Beobachtung eines derartigen, gravierenden Stehendbefalls im Sommer 2005 in Baden-Württemberg

(DELB, schriftl. Mitteilung, Dezember 2005) gibt Anlass zur Sorge, dass diesem Insekt in Zukunft erhebliches Schadpotential zukommen kann. Daher sollten die Untersuchungen zur Populationsdynamik des Laubnutzholzborkenkäfers zumindest an einigen Standorten fortgesetzt werden. Insbesondere sollte weiter geprüft werden, ob *T. domesticum*, wie von PARINI und PETERCORD (2006) angenommen, tatsächlich auch unter den bisherigen Klimabedingungen in der Lage ist, eine zweite Generation zu entwickeln. Diese trüfe weitaus häufiger als die erste Generation auf Bäume, die in der fortgeschrittenen Vegetationszeit unter Trockenstress leiden. Möglicherweise lässt sich das außergewöhnliche Verhalten dieses Insekts mit diesem Phänomen und der Häufung warm-trockener Vegetationszeiten in den letzten zwei Jahrzehnten erklären.

Bei erneutem Stehendbefall sollten auch die Interaktionen von Baum und Insekt noch eingehender untersucht werden, als dies in der „Abklingphase“ des Stehendbefalls im Rahmen dieses Projekts möglich war.

Weiterer Untersuchungsbedarf besteht auch im Hinblick auf Ursachen und Zusammenhänge zwischen den „Weichbastnekrosen“, Anomalien in der Holzstruktur und rotbraunen Flecken im Buchenholz (FRITZ et al., 2006; LANGENFELD-HEYSER et al., 2006a; KUBINIOK und GERBER, 2006). So gehen KUBINIOK und GERBER davon aus, dass durch Versauerungsprozesse im Boden freigesetztes Mangan als verfärbende Ursache anzusehen sei. Fehlende Korrelationen zwischen dem Mangangehalt in Holz, Rinde, Boden und der Ausprägung der Flecken bei der großflächigen Erhebung führen sie auf eine unzureichende Berücksichtigung substratspezifischer Unterschiede und den Einfluss der Kalkung zurück. Demgegenüber finden FRITZ et al. (2006), dass der überwiegende Teil der Flecken keine erhöhten Mangangehalte aufweist, sondern die Verfärbung mit Ausnahme vereinzelt beobachteter MnO₂-Zellen meist auf Phenoleinlagerungen zurückzuführen ist. Die Manganeinlagerung wird hier als sekundärer Prozess verstanden. Die ursächlichen Zellproliferationen sind im Kambium-nahen

Holz entstanden und liegen häufig viele Jahre zurück. Einschränkend zu berücksichtigen ist, dass wegen des immensen Aufwandes die Untersuchungen von FRITZ et al. (2006) im Wesentlichen nur an einer Buche erfolgten.

Letztlich hat das Projekt auch Probleme bei der Vermarktung des Buchenholzes aus der Region aufgezeigt (ENGELS et al., 2006). Das Rohstoffpotential der Buche wird in der Region bei weitem nicht ausgeschöpft. Hier kann die Entwicklung eines grenzüberschreitenden Buchennutzungs- und Vermarktungskonzepts sehr hilfreich sein.

Literatur

- AREND, J.-P.; BLOCK, J.; DELB, H.; EISENBARTH, E.; MAURER, W.; PARINI, C.; PETERCORD, R. und SEEGMÜLLER, S. (2005): INTERREG III a Programm Deutschland / Luxemburg mit der deutschsprachigen Gemeinschaft/Wallonischen Region Belgiens - Projekt "Entwicklung von Strategien zur Sicherung von Buchenwäldern", Jahresbericht 2004. In: Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz, Trippstadt; Administration des Eaux et Forêts Luxembourg(Hrsg.), www.interreg-buche.de (Berichte).
- AREND, J.-P.; EISENBARTH, E. und PETERCORD, R. (2006): Schadsymptome und Schadentwicklung der Buchenkomplexkrankheit in Luxemburg und Rheinland-Pfalz in den Jahren 2001 bis 2005. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59, S. 11 - 22.
- BLOCK, J. (1997): Schadsituation der Douglasie in Rheinland-Pfalz - Symptome und Ausmaß der Erkrankung, bisherige Untersuchungen. Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, Nr. 41, 46-75.
- BLOCK, J. (2002): Belastung des rheinland-pfälzischen Waldes durch die Ammoniak-Emission aus der Landwirtschaft. Forst und Holz 57(2002)1/2, 10-15.
- BLOCK, J.; BOPP, O.; GATTI, M.; HEIDINGSFELD, N. und ZOTH, R. (1991): Waldschäden, Nähr- und Schadstoffgehalte in Nadeln und Waldböden in Rheinland-Pfalz. Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz; 17, 1-237.
- BLOCK, J.; ROEDER, A. und SCHÜLER, G. (1997): Waldbodenrestoration durch Aktivierung ökosystemarer Nährstoffkreisläufe - Grundlagen und Maßnahmen in Rheinland-Pfalz. Allgemeine Forstzeitschrift / Der Wald 52(1997)1, 29-33.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (Hrsg.) (1990): Bundeswaldinventur 1986-1990, Grundtabellen für das Bundesland Rheinland-Pfalz. Selbstverlag, BML, Bonn.
- DAMMANN, I.; HERRMANN, TH.; KÖRVER, F.; SCHRÖCK, H.W. und ZIEGLER, CH. (2001): Dauerbeobachtungsflächen Waldschäden im Level-II-Programm - Methoden und Er-

- gebnisse der Kronenansprache seit 1983. Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (Hrsg.); Berlin, Selbstverlag, 1 - 84.
- DITTMAR, CH. und ELLING, W. (2006): Dendroökologische Untersuchungen von Buchenbeständen in der Programm-Region des INTERREG III-A-Projektes. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59, 31 - 40.
- EDER, W. (1980): Quantifizierung von bodenkundlichen Standortfaktoren als Grundlage für eine leistungsbezogene Standortkartierung insbesondere auf Buntsandsteinorten der Pfalz. Mitteilungen aus Forsteinrichtung und Waldbau, 23, 263 S.
- EISENBARTH, E. (2001) : Buchen-Komplexkrankheit in Rheinland-Pfalz. Allgemeine Forstzeitschrift/Der Wald 56 (2001) 23, 1220 - 1221.
- EISENBARTH, E.; WILHELM, G.J. und BERENS, A. (2001): Buchen-Komplexkrankheit in der Eifel und den angrenzenden Regionen - Symptome, Krankheitsverlauf, Verbreitung und Problemstrategien. Allgemeine Forstzeitschrift/Der Wald 56 (2001) 23, 1212 - 1217.
- FIEBELKORN, G.; ERNST, D. und POLLE, A. (2006): Untersuchungen von Genexpression und physiologischen Abwehrreaktionen an gesunden und geschädigten Buchen (*Fagus sylvatica* L.). Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59, 111 - 118.
- FRITZ, E.; LANGENFELD-HEYSER, R.; POLLE, A. und PETERCORD, R. (2006): Mangan im braunfleckigen Holz der Buche (*Fagus sylvatica* L.). Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59, 167 - 180.
- GRÜNER, J. und METZLER, B. (2006): Nectria-Arten an Buchenrinde mit Phloemnekrosen. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59, 129 - 138.
- HANS, F. und KOOPMANN, R. (2006): Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen der Buchenkomplexkrankheit und den Absterberaten epiphytischer Moose im Luxemburger Oesling. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59, 23 - 30.
- HOLIGHAUS, G. und SCHÜTZ, S. (2006): Strategie der olfaktorischen Wirtsfindung von *Trypodendron domesticum* L.. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59, S. 119 - 128.
- KÖLLING, CH.; WALENTOWSKI, H. und BORCHERT, H. (2005): Die Buche in Mitteleuropa - Eine Waldbaumart mit grandioser Vergangenheit und sicherer Zukunft. Allgemeine Forstzeitschrift/Der Wald 60(2005)13, 696 - 701.
- KREUTZER, K.; DESCHU, E. und HÖSL, G. (1986) : Vergleichende Untersuchungen über den Einfluss von Fichte (*Picea abies* [L] KARST.) und Buche (*Fagus sylvatica* L.) auf die Sickerwasserqualität. Forstwissenschaftliches Centralblatt 105(1986), 364 - 371.
- KUBINIOK, J. und GERBER, C. (2006): Untersuchungen zu Ursachen der Fleckenbildung in Buchenhölzern an rheinland-pfälzischen und saarländischen Standorten. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59, 157 - 166.
- LANGENFELD-HEYSER, R.; LANG, CH.; FRITZ, E.; PETERCORD, R. und POLLE, A. (2006a): Stehendbefall von *Fagus sylvatica* L. mit *Trypodendron* - anatomische Untersuchungen. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59, 79 - 94.
- LANGENFELD-HEYSER, R.; FIEBELKORN, G.; und POLLE, A. (2006b): Können Stichverletzungen oder Frühfrostereignisse bei *Fagus sylvatica* L. Rauborkigkeit und Holzstrahlproliferationen hervorrufen? Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59/06, 95 - 110.
- MAIER, T.; ENGELS, J. und SEEGMÜLLER, S. (2006): Buchenholzmarkt und Buchenholzaufkommen im DeLux-Raum. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59, 149 - 156.
- MAURER, W. (2006): Genetische Begleituntersuchungen zum aktuellen Schädgeschehen in ausgewählten luxemburgischen und rheinland-pfälzischen Buchenbeständen. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59, 41 - 52.
- METZLER, B. und HECHT, U. (2006): Pilzsukzession im Bereich von Bohrgängen von *Trypodendron domesticum* an stehenden Buchen. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59, 139 - 148.
- MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, WEINBAU UND FORSTEN RHEINLAND-PFALZ (Hrsg.) (1992): Windwurfdokumentation. Selbstverlag MLWF RLP Ref. 737, Mainz.
- NAGELEISEN, L.-M. und HUART, O. (2005): Problèmes Sanitaires d'actualité en Hétraie: La Maladie du Hêtre dans les Ardennes. Revue Forestiere Francaise (2005)2, 249 - 254.
- NICOLAS, D. und QUATRARO, A. (2006): Auswirkungen der Buchenkomplexkrankheit auf die Bewirtschaftung der Buchenbestände in FFH-Gebieten. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59, 181 - 190.
- PARINI, C. und PETERCORD, R. (2006): Der Laubnutzholzborkenkäfer *Trypodendron domesticum* L. als Schädling der Rotbuche. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59, 63 - 78.
- PETERCORD, R. (1999): Entwicklung bewirtschafteter Buchen-Edellaubholz-Mischbestände unter dem Einfluß der Buchenwollschildlaus (*Cryptococcus fagisuga* LIND.) unter besonderer Berücksichtigung physiologischer und genetischer Aspekte; Dissertation. Universität Göttingen, Hainholz.
- PETERCORD, R. (2006a): Die Buchenwollschildlaus als Auslöser der Buchenrindennekrose. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59, 53 - 62.
- PETERCORD, R. (2006b): Totholzmanagement in Buchenwäldern. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 59, 191 - 202
- PRETZSCH, H. (2005) : Wachstum von Rein- und Mischbeständen bei veränderten Umweltbedingungen - Risikovorsorge durch Mischbestände? Allgemeine Forstzeitschrift/Der Wald 60(2005)9, 465 - 468.

ROTHE, A. und KREUTZER, K. (1998): Wechselwirkungen zwischen Fichte und Buche im Mischbestand. Allgemeine Forstzeitschrift/Der Wald 53(1998)15, 784 - 787.

SCHRÖTER, H.; DELB, H.; METZLER, B. und GEHRKE, A. (2005): Waldschutzbericht 2004/2005 für Rheinland-Pfalz. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt (FVA) Baden-Württemberg, 47 S. und Anhang, Selbstverlag FVA Ba.-Wü, Freiburg.

WALENTOWSKI, H.; GULDER, H.-J.; KÖLLING, CH.; EWALD, J. und TÜRK, W. (2001): Die regionale natürliche Waldzusammensetzung Bayerns. Berichte aus der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft Nr. 32; Freising

WILHELM, G.J.; EISENBARTH, E. und HEIDINGSFELD, N. (2001): Hinweise zur Vorgehensweise bezüglich der Buchenerkrankung. Allgemeine Forstzeitschrift/Der Wald 56 (2001) 23, 1218 - 1219.

Autorenanschrift:

Dr. Joachim Block
Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz
Hauptstrasse 16
67705 Trippstadt
Tel.: 06306-911120
Email: joachim.block@wald-rlp.de

Danksagung

An dem umfangreichen grenzüberschreitenden Projekt haben sehr viele Kolleginnen und Kollegen aus der forstlichen Praxis, den beiden projekttragenden Einrichtungen, anderen Fachverwaltungen und aus Universitätsinstituten mitgewirkt.

In den Forstämtern in Luxemburg und Rheinland-Pfalz standen uns die nachfolgend benannten Kollegen vor allem bei der Auswahl und Betreuung der Untersuchungsflächen, der Bereitstellung der benötigten Probestämme und vielen anderen Aktionen stets hilfsbereit mit Rat und Tat zur Seite:

Die Forstamtsleiter: Fernand Theisen (FA Wiltz), Jean-Marie Sinner (FA Diekirch), André Schiltz (FA Mersch), Fred Trossen (FA Luxemburg-Ost), Georges Wagner (FA Grevenmacher), Bernhard Mühlhaus (FA Hermeskeil), Klaus-Peter Bell (FA Saar-Hochwald), Karl-Ludwig Pentzlin (FA Schneifel), Peter Wind (FA Prüm), Helmut Lieser (FA Saarburg), Bernhard Buss (FA Hochwald)

und die Revierleiter: Manfred Christian (FRev. Sefferweich, FA Bitburg), Georg Hauptert (FRev. Thiergarten, FA Hochwald), Helmut Hörle (FRev. Klink, FA Saarburg), Helmut Gödert (FRev. Zerf, FA Saarburg), Norbert Vollrath (FRev. Brandscheid, FA Prüm), Reinhard Streit (FRev. Schneifel PBR 17, FA Prüm), Christian Bremer (FRev. Waldhof, FA Luxemburg-Ost), Guy Gilson (FRev. Mersch-West, FA Mersch), Jos Niederweis(†) (FRev. Saeul, FA Mersch), Edouard Hansen (FRev. Redange, FA Mersch), Camille Friesing (FRev. Grosbous, FA Mersch), Marc Parries (FRev. Koerich, FA Mersch), Serge Hermes (FRev. Perlé, FA Wiltz), Jules Hollerich (FRev. Harlange, FA Wiltz), Claude Schanck (FRev. Clervaux, FA Wiltz), Martin Jakobs (FRev. Hosingen, FA Wiltz), Jo André (FRev. Bastendorf, FA Diekirch), Jeff Sinner (FRev. Diekirch, FA Diekirch), Marc Klopp (FRev. Canach, FA Grevenmacher).

Beim Käfermonitoring wirkten ein Teil der bereits oben genannten Kollegen, Herr Wolfgang Keuper (FA Hochwald), die Mitarbeiter der Administration des Eaux et Forêts: Isabelle Quintens, Tom Engel, Steve Roller, Danielle Meyer, Josy Bock, Herr Marc Meyer vom Musée national d'histoire naturelle, Frau Jennifer Maurer und Frau Tanja Rutkowski sowie weitere studentische Hilfskräfte der FAWF mit.

Die Schadkartierung wurde in Luxemburg durch Herrn Richard Ehl (Bitburg-Erdorf) durchgeführt. In Rheinland-Pfalz erfolgten die Auswertung der Schadaufnahmen durch Herrn Axel Berens (SGD-Süd, ZdF), GIS-Auswertungen und die Erstellung der Schadkarten durch Herrn Friedrich Engels (FAWF). Bei der Gestaltung der Ausstellungen und beim Abschluss-symposium wirkten mit: Raymond Kayser und Martine Kettel (bei der Administration des Eaux et Forêts), Johnny Müller (FRev. Grevenmacher, FA Grevenmacher), Georges D'Orazio (FRev. Kiem, FA Luxemburg-Ost), Schreinerei Atelier Ligna, Chauffage-Sanitaire Nico Schmit, Sascha Wernicke, Monique Wagner (Ministère de L'Environnement), diverse Referendare der Revierförsterlaufbahn in Luxemburg.

Frau Dinah Placzek hat alle Beiträge auf formale Unstimmigkeiten sorgfältig durchgesehen. Herr Dr. Werner Maurer hat die englischen Texte geprüft. Frau Ingrid Gutheil hat die umfassenden Schreibearbeiten durchgeführt, die Beiträge zusammengeführt und dieses Heft ansprechend gestaltet.

Wir danken sehr herzlich allen vorstehend aufgeführten Personen sowie den vielen nicht genannten Helferinnen und Helfern für ihre wertvolle Unterstützung. Auch danken wir den Verantwortlichen für das Interreg DeLux-Programm. Ohne die finanzielle Unterstützung aus EU-Mitteln wäre dieses Projekt nicht durchführbar gewesen.

Bisher sind folgende Mitteilungen aus der *Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz* erschienen:

59/2006	PETERCORD UND BLOCK (Hrsg.) Strategien zur Sicherung von Buchenwäldern ISSN 1610-7705	€ 10,--
58/2006	JAHRESBERICHT 2005 ISSN 0931-9662 ISSN 0936-6067	
57/2005	SEEGMÜLLER (Hrsg.): Die Forst-, Holz- und Papierwirtschaft in Rheinland-Pfalz ISSN 0931-9662	€ 10,--
56/2005	JAHRESBERICHT 2004 ISSN 0931-9662 ISSN 0936-6067	
55/2005	DONG (Hrsg.) [AUTORENKOLLEKTIV]: Zum Aufbau und Wachstum der Douglasie ISSN 0931-9662	€ 10,--
54/2004	DONG (Hrsg.) [AUTORENKOLLEKTIV]: Kiefer im Pfälzerwald ISSN 0931-9662	€ 10,--
53/2004	JAHRESBERICHT 2003 ISSN 0931-9662 ISSN 0936-6067	
52/2004	MAURER (Hrsg.) Zwei Jahrzehnte Genressourcen-Forschung in Rheinland-Pfalz ISSN 1610-7705	€ 15,--
51/2003	JAHRESBERICHT 2002 ISSN 0931-9662 ISSN 0936-6067	
50/2003	MAURER (Hrsg.): Ökologie und Waldbau der Weißtanne – <i>Tagungsbericht zum 10. Internationalen IUFRO Tannensymposium</i> am 16-20. September 2002 an der FAWF in Trippstadt ISSN 1610-7705	€ 15,--
49/2002	MAURER (Hrsg.): Vom genetischen Fingerabdruck zum gesicherten Vermehrungsgut: Untersuchungen zur Erhaltung und nachhaltigen Nutzung forstlicher Genressourcen in Rheinland-Pfalz ISSN 1610-7705	€ 15,--
48/2002	JAHRESBERICHT 2001 ISSN 0931-9662 ISSN 0936-6067	
47/2001	JAHRESBERICHT 2000 ISSN 0931-9662 ISSN 0936-6067	
46/1999	JAHRESBERICHT 1999 ISSN 0931-9662 ISSN 0936-6067	

45/1999	DELB, BLOCK Untersuchungen zur Schwammspinnerkalamität von 1992–1994 in Rheinland-Pfalz ISSN 0931-9662	€ 13,--
44/1998	JAHRESBERICHT 1998 ISSN 0931-9662 ISSN 0936-6067	
43/1997	JAHRESBERICHT 1997 ISSN 0931-9662 ISSN 0936-6067	
42/1997	BÜCKING, EISENBARTH, JOCHUM Untersuchungen zur Lebendlagerung von Sturmwurfholz der Baumarten Fichte, Kiefer, Douglasie und Eiche ISSN 0931-9662	€ 10,--
41/1997	MAURER, TABEL (Hrsg.) [AUTORENKOLLEKTIV]: Stand der Ursachenforschung zu Douglasienschäden – derzeitige Empfehlungen für die Praxis ISSN 0931-9662	€ 10,--
40/1997	SCHRÖCK (Hrsg.): Untersuchungen an Waldökosystemdauerbeobachtungsflächen in Rheinland- Pfalz – <i>Tagungsbericht zum Kolloquium am 04. Juni 1996 in Trippstadt</i> - ISSN 0931-9662	€ 8,--
39/1997	JAHRESBERICHT 1996 ISSN 0931-9662 ISSN 0936-6067	
38/1996	BALCAR (Hrsg.) [AUTORENKOLLEKTIV]: Naturwaldreservate in Rheinland-Pfalz: Erste Ergebnisse aus dem Naturwaldreservat Rotenberghang im Forstamt Landstuhl ISSN 0931-9662	€ 13,--
37/1996	HUNKE: Differenzierte Absatzgestaltung im Forstbetrieb - Ein Beitrag zu Strategie und Steuerung der Rundholzvermarktung ISSN 0931-9662	€ 10,--
36/1996	JAHRESBERICHT 1995 ISSN 0931-9662 ISSN 0936-6067	
35/1995	BLOCK, BOPP, BUTZ-BRAUN, WUNN: Sensitivität rheinland-pfälzischer Waldböden gegenüber Bodendegradation durch Luftschadstoffbelastung ISSN 0931-9662	€ 8,--
34/1995	MAURER, TABEL (Hrsg.) [AUTORENKOLLEKTIV]: Genetik und Waldbau unter besonderer Berücksichtigung der heimischen Eichenarten ISSN 0931-9662	€ 8,--
33/1995	EISENBARTH: Schnittholzeigenschaften bei Lebendlagerung von Rotbuche (<i>Fagus sylvatica</i> L.) aus Wintersturmwurf 1990 in Abhängigkeit von Lagerart und Lagerdauer ISSN 0931-9662	€ 6,--
32/1995	AUTORENKOLLEKTIV Untersuchungen an Waldökosystem-Dauerbeobachtungsflächen in Rheinland- Pfalz ISSN 0931-9662	€ 6,--

31/1995	JAHRESBERICHT 1994 ISSN 0931-9662 ISSN 0936-6067	
30/1994	SCHÜLER: Ergebnisse forstmeteorologischer Messungen für den Zeitraum 1988 bis 1992 ISSN 0931-9662	€ 6,--
29/1994	FISCHER: Untersuchung der Qualitätseigenschaften, insbesondere der Festigkeit von Douglasien-Schnittholz (Pseudotsuga Menziesii (Mirb.)Franco), erzeugt aus nicht-wertgeästeten Stämmen ISSN 0931-9662	€ 6,--
28/1994	SCHRÖCK: Kronenzustand auf Dauerbeobachtungsflächen in Rheinland-Pfalz - Entwicklung und Einflußfaktoren - ISSN 0931-9662	€ 6,--
27/1994	OESTEN, ROEDER: Zur Wertschätzung der Infrastrukturleistungen des Pfälzerwaldes ISSN 0931-9662	€ 6,--
26/1994	JAHRESBERICHT 1993 ISSN 0931-9662 ISSN 0936-6067	
25/1994	WIERLING: Zur Ausweisung von Wasserschutzgebieten und den Konsequenzen für die Forstwirtschaft am Beispiel des Pfälzerwaldes ISSN 0931-9662	€ 6,--
24/1993	BLOCK: Verteilung und Verlagerung von Radiocäsium in zwei Waldökosystemen in Rheinland-Pfalz insbesondere nach Kalk- und Kaliumdüngungen ISSN 0931-9662	€ 6,--
23/1993	HEIDINGSFELD: Neue Konzepte zum Luftbildeinsatz für großräumig permanente Waldzustandserhebungen und zur bestandesbezogenen Kartierung flächenhafter Waldschäden ISSN 0931-9662	€ 10,--
22/1993	JAHRESBERICHT 1992 ISSN 0931-9662 ISSN 0936-6067	
21/1992	AUTORENKOLLEKTIV: Der vergleichende Kompensationsversuch mit verschiedenen Puffersubstanzen zur Minderung der Auswirkungen von Luftschadstoffeinträgen in Waldökosystemen - Zwischenergebnisse aus den Versuchsjahren 1988 - 1991 - ISSN 0931-9662	€ 6,-- vergriffen
20/1992	JAHRESBERICHT 1991 ISSN 0931-9662 ISSN 0936-6067	
19/1991	AUTORENKOLLEKTIV: Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Sturm- und Immissionsschäden im Vorderen Hunsrück - "SIMS" - ISSN 0931-9662	€ 6,--
18/1991	SCHÜLER, BUTZ-BRAUN, SCHÖNE: Versuche zum Bodenschutz und zur Düngung von Waldbeständen ISSN 0931-9662	€ 6,--

17/1991	BLOCK, BOPP, GATTI, HEIDINGSFELD, ZOTH: Waldschäden, Nähr- und Schadstoffgehalte in Nadeln und Waldböden in Rheinland-Pfalz ISSN 0931-9662	€ 6,--
16/1991	BLOCK, BOCKHOLT, BORCHERT, FINGERHUT, HEIDINGSFELD, SCHRÖCK: Immissions-, Wirkungs- und Zustandsuntersuchungen in Waldgebieten von Rheinland-Pfalz - Sondermeßprogramm Wald, Ergebnisse 1983-1989 ISSN 0931-9662	€ 6,--
15/1991	JAHRESBERICHT 1990 ISSN 0931-9662 ISSN 0936-6067	
14/1990	BLOCK: Ergebnisse der Stoffdepositionsmessungen in rheinland-pfälzischen Waldgebieten 1984 - 1989 ISSN 0931-9662	€ 6,-- vergriffen
13/1990	SCHÜLER Der kombinierte Durchforstungs- und Düngungsversuch Kastellaun - angelegt 1959 - heute noch aktuell ? ISSN 0931-9662	€ 6,--
12/1990	JAHRESBERICHT 1989 ISSN 0931-9662 ISSN 0936-6067	
11/1989	BLOCK, DEINET, HEUPEL, ROEDER, WUNN: Empirische, betriebswirtschaftliche und mathematische Untersuchungen zur Wipfelköpfung der Fichte ISSN 0931-9662	€ 6,--
10/1989	HEIDINGSFELD: Verfahren zur luftbildgestützten Intensiv-Waldschadenserhebung in Rheinland-Pfalz ISSN 0931-9662	€ 13,--
9/1989	JAHRESBERICHT 1988 ISSN 0936-6067	
8/1988	GERECKE: Zum Wachstumsgang von Buchen in der Nordpfalz ISSN 0931-9662	€ 13,--
7/1988	BEUTEL, BLOCK: Terrestrische Parkgehölzschadenserhebung (TPGE 1987) ISSN 0931-9662	€ 6,--
6/1988	JAHRESBERICHT 1987 ISSN 0931-9662	
5/1988	Die Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz im Dienste von Wald und Forstwirtschaft - Reden anlässlich der Übergabe des Schlosses Trippstadt als Dienstsitz am 10.04.1987 - ISSN 0931-9662	€ 6,--
4/1987	BEUTEL, BLOCK: Terrestrische Feldgehölzschadenserhebung (TFGE 1986) ISSN 0931-9662	€ 6,-- vergriffen
3/1987	BLOCK, FRAUDE, HEIDINGSFELD: Sondermeßprogramm Wald (SMW) ISSN 0931-9662	€ 6,--

2/1987	BLOCK, STELZER: Radioökologische Untersuchungen in Waldbeständen ISSN 0931-9662	€ 6,--
1/1987	JAHRESBERICHT 1984-1986 ISSN 0931-9662	vergriffen