



Symptom- und Ursachenanalyse der aktuellen Buchenerkrankung in höheren Lagen von Nordrhein-Westfalen

Christoph Mathias Niesar



Cuvillier Verlag Göttingen

**Symptom- und Ursachenanalyse der aktuellen
Buchenerkrankung in höheren Lagen
von Nordrhein-Westfalen**

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultäten
der Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von
Christoph Mathias Niesar
geboren in Rodalben

Göttingen, im Dezember 2007

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2008
Zugl.: Göttingen, Univ., Diss., 2007

978-3-86727-532-3

Studiendekan:	Prof. Dr. A. Dohrenbusch	Waldbau
Referent:	Prof. Dir. Dr. A. Wulf	Forstpathologie
Korreferent:	Prof. Dr. S. Schütz	Forstzoologie

Tag der mündlichen Prüfung: 07.02.2008

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2008
Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen
Telefon: 0551-54724-0
Telefax: 0551-54724-21
www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2008

Gedruckt auf säurefreiem Papier

978-3-86727-532-3

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	6
1. Einleitung	8
2. Material und Methode	8
2.1 Orientierende Voruntersuchungen	11
2.1.1 Makroskopisch sichtbare Symptome an Altbuchen in 2001	11
2.1.2 Laubnutzholzborkenkäferbefallsbonitur an ca. 60-jährigen Buchen in 2002	11
2.2 Untersuchungen zum Pilzbefall der Rinde ab 2004	13
2.2.1 Versuchsbestände	13
2.2.2 Auswahl und Aufarbeitung der Versuchsbäume im Wald	15
2.2.3 Probengewinnung und Probenbehandlung	16
2.2.3.1 in der Werkstatt	16
2.2.3.2 Im Labor	18
2.2.4 Mikrotomschnitte	19
2.2.5 Endophytenuntersuchung	20
2.3 Wachstumsgeschwindigkeit, Pathogenität, Antagonismus	21
2.3.1 Wachstumsgeschwindigkeit und Pathogenitätstest mit Buchenaststücken	21
2.3.2 Wachstumsgeschwindigkeit und Antagonismus in Dualkulturen.	23
2.3.3 Wachstumsgeschwindigkeit und Antagonismus in Buchenaststücken	24
2.3.4 Pathogenitätstest in Rinde stehender, lebender Buchen	25
2.4 Bestimmung des Schadensjahres	29
2.5 Rindentemperaturaufzeichnungen	29
2.6 Statistische Methoden	31
3. Ergebnisse	32
3.1 Makrosymptome, Käfer- und Wolllausbefall bei Altbuchen	32
3.2 Mikroskopische Symptomatik und Isolierung von Pilzen in Mikronekrosen bei Buchen mittleren Alters	35

3.2.1	Mikroskopische Symptomatik der Frühstadien von Rindenekrosen	36
3.2.2	Isolierung von Pilzen aus Mikronekrosen	38
3.2.3	Isolierung von Pilzen aus symptomlosem Gewebe	44
3.3	Wachstum und gegenseitiger Antagonismus isolierter Pilze auf Nährsubstrat	44
3.4	Wachstum und gegenseitiger Antagonismus isolierter Pilze in Buchenrinde	46
3.4.1	Pilzwachstum in Buchenaststücken mit einer Inokulation	46
3.4.2	Antagonismus in Buchenaststücken mit zwei Pilzinokulaten ...	50
3.4.3	<i>Neonectria coccinea</i> - Wachstum in lebenden Buchen im Bestand	51
3.4.3.1	Rindenekrosen	51
3.4.3.2	Kambiumnekrosen	52
3.4.3.3	Rückisolierungen	54
3.5	Rindentemperaturmessungen	55
3.6	Zeitpunkt der Rindenschädigung	55
4.	Diskussion	59
4.1	Beteiligung von Laubnutzholzborkenkäfer am Schadgeschehen ...	59
4.2	Regionalität des Auftretens der Buchenrindenekrose und Exposition der Schäden am Stamm	60
4.3	Einfluss von Lufttemperatur und Niederschlag auf das Schadgeschehen	61
4.4	Einfluss der Rindentemperatur auf das Schadgeschehen	61
4.5	Die Rolle von Endophyten am Schadgeschehen	65
4.6	Der Einfluss von Weißfäuleerregern auf das Schadgeschehen	65
4.7	Die Rolle von <i>Neonectria coccinea</i> am Schadgeschehen	66
4.7.1	Schlussfolgerungen aus den Inokulationsversuchen an lebenden Buchen	67
4.7.2	Der Einfluss der Rindenkonstitution auf das Schadgeschehen	69
4.7.3	Infektionsverlauf	70

4.7.4 Ablauf der Erkrankung	70
4.8 Erkrankungen anderer Baumarten	72
4.9 Untersuchungen anderer Buchenschadensereignisse	73
4.10 Gegenmaßnahmen und Konsequenzen	74
5. Zusammenfassung	76
6. Literaturverzeichnis	79
7. Anhang	86
Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen	107
Danksagung	111

Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
&	und
°C	Grad Celsius
Ca ²⁺	Calcium
Ø	Durchmesser
AG	Arbeitsgruppe
Abb.	Abbildung
Abt.	Abteilung
BHD	Brusthöhendurchmesser
BV%	Blattverlustprozent
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
cm	Centimeter
cm ²	Quadratcentimeter
d.h.	das heißt
dest.	destilliert
et al.	Lateinisch für „und andere“
FA	Forstamt
FÄ	Forstämter
FBB	Forstbetriebsbezirk
Fm	Festmeter
FWF	Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft
ggf.	gegebenenfalls
ha	Hektar
incl.	inclusive
j-n-E	Ja Nein Entscheidung
Kap.	Kapitel
KJ	Kilojoule
lfd. Nr.	laufende Nummer
m	Meter
mm	Millimeter
min.	Minuten

ml	Milliliter
MEA	Malzextraktagar
MS-Excel	Microsoft-Excel
N	Norden
NO	Nordosten
NW	Nordwesten
NRW	Nordrhein-Westfalen
O	Osten
o.a.	oben angeführt
P1	<i>Cylindrocarpon album</i>
P2	<i>Cylindrocarpon candidum</i>
P3	<i>Cylindrocarpon willkommii</i>
P4	<i>Pezicula cinnamomea</i>
P5	<i>Disculina sp.</i>
p.A.	pro analysi
ppm	parts per million
S	Süden
S.	Seite
SAS	Statistik- und Analyse-Software
SO	Südosten
SW	Südwesten
s.o.	siehe oben
SPSS	Statistik- und Analyse-Software
vergl.	vergleiche
u.a.	unter anderem
Uabt.	Unterabteilung
ü. N.N.	über Normal Null
W	Westen
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil

1. Einleitung

WACHENDORF (1983) sieht das Buchenrindensterben als die bedeutendste Erkrankung nordwestdeutscher Buchenbestände an. Sie ist innerhalb des natürlichen Verbreitungsgebietes der Buche in allen Ländern Europas, mit Schwerpunkt im atlantisch geprägten Klimabereich, zu finden (PETERCORD 1999). Schon HARTIG (1880) berichtet über solche Buchenerkrankungen aus den Regierungsbezirken Düsseldorf und Westfalen (Reviere Oefte und Nievenheim) um 1870. Im 20. Jahrhundert sind vier regional begrenzte Hauptbefallsperioden in den Jahren 1910-14, 1939-43, 1947-51 und 1959-66 bekannt, als ganz Nordrhein-Westfalen, vor allem aber Ostwestfalen betroffen war. Hier fielen in einem einzigen größeren Privatforstamt 14.000 FM Buchenschadholz an (MÖLLER 1960). Seit 1999 treten solche Schäden erneut in NRW auf, wobei erste örtlich starke Schäden an Altbuchen auffielen, die äußerlich partiell welkende Kronen, einseitige, streifenförmige, bis zu 7 m lange Rindennekrosen am Stamm und Befall durch Laubnutzholzborkenkäfer zeigten (EMSCHERMANN & NIESAR 2000). Das waldbauliche Ausmaß reichte von hinnehmbaren 2 Bäumen pro Hektar bis zu äußerst bedenklichen 75 % des aufstockenden Holzvorrats (EMSCHERMANN & NIESAR 2001, NIESAR et al. 2003). Die aktuellen Schadgebiete liegen im südlichen Sauerland, der Hocheifel und im Bergischen Land, in Höhenlagen über 250 m mit Schwerpunkt oberhalb 400 m. Die Forstämter Olpe und Hilchenbach meldeten ab 2000 Befall durch Laubnutzholzborkenkäfer in ca. 60-jährigen, äußerlich gesund erscheinenden Buchenbeständen in Lagen von 500 bis 600 m. Gleiche Schäden traten 2002 im Eggegebirge und höheren Lagen Südwestfalens auf, nicht dagegen in Ostwestfalen und am Niederrhein. Die in ganz NRW eingeschlagene, jährliche Schadholzmenge stieg bis 2001 auf 1390 FM und schnellte dann bis 2004 auf fast 10.000 FM empor (NIESAR 2001, NIESAR et al. 2003, 2004). Aus Rheinland-Pfalz, Luxemburg und Belgien wurden ebenfalls Buchenschäden in Mittelgebirgslagen bekannt, die z. B. in Belgien bis 2001 zu 1,2 Mio. FM Schadholz geführt haben (EISENBARTH 2001, PANKERT 2001, THEISEN 2001).

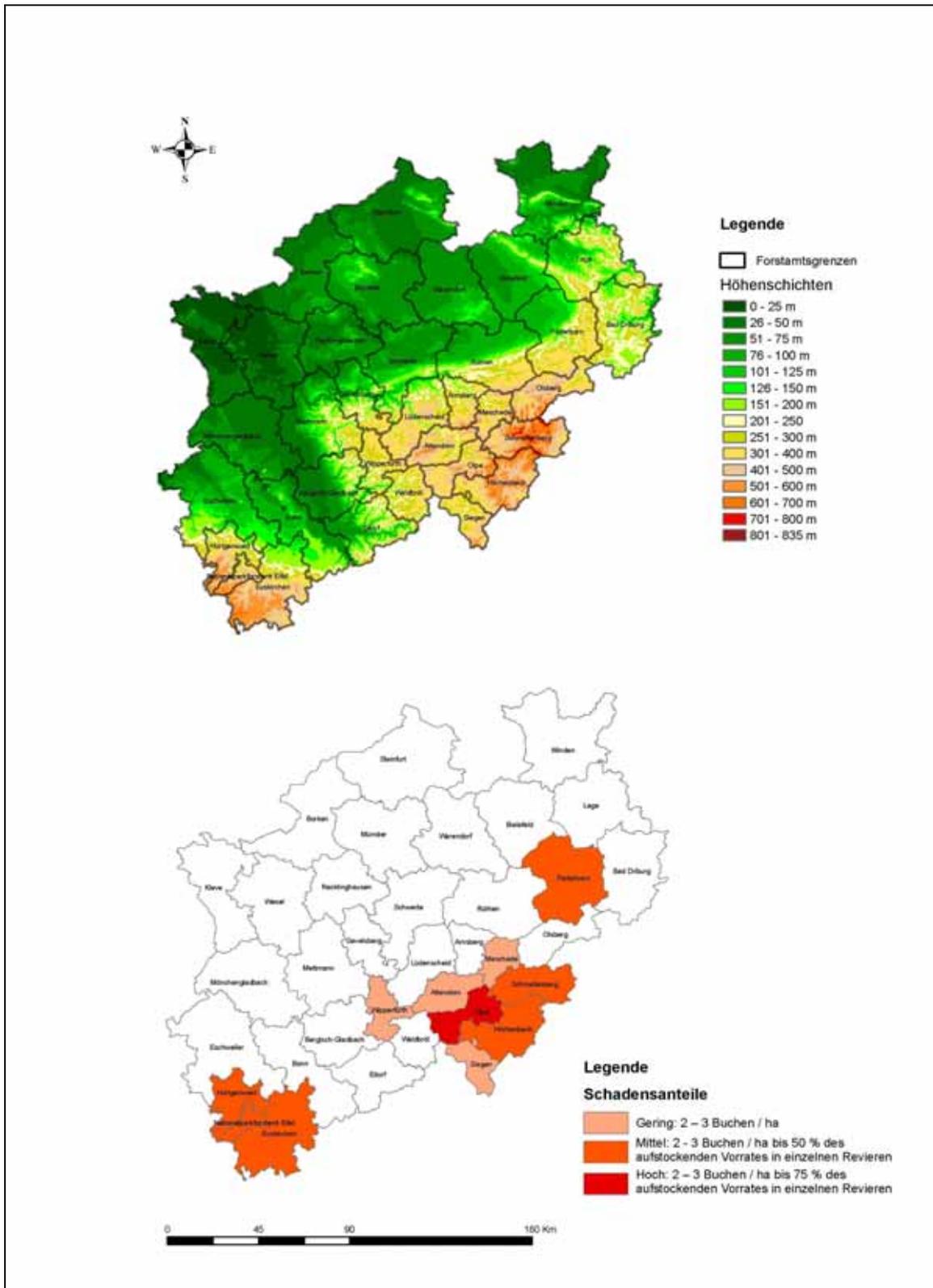


Abb.1: In den Jahren 1999 bis 2004 von der Buchenrindenerkrankung betroffene Forstämter des Landes NRW (Organisationsstand: 2006)

Diese Schäden traten demnach in einem von Nordost nach Südwest verlaufenden „Band“ in mehreren großen, nicht zusammenhängenden Gebieten ohne erkennbaren zentralen Ausgangspunkt auf. Das bevorzugte Vorkommen in höheren Lagen (siehe Abb. 1 und Anhang 1), die Lage der Rindennekrosen am Stamm und der Befall anscheinend gesunder Buchen durch den als sekundär bekannten Laubnutzholzborkenkäfer (SCHWENKE 1974) warf folgende Fragen auf: Handelt es sich bei den Schäden um die klassische Buchenrindennekrose oder um eine neue Erkrankung der Buche? Warum kommt die Erkrankung besonders in höheren Mittelgebirgslagen vor und welches sind die wesentlichen biotischen und abiotischen Ursachenfaktoren?

Als Beitrag zur Klärung dieser Fragen wurden die nachfolgend vorgestellten Untersuchungen durchgeführt. Schwerpunkte sind die bisher wenig untersuchte Pilzflora in den kleinen, inselartigen Frühstadien der Rindennekrosen („Mikronekrosen“) sowie die mögliche Beteiligung von Witterungseinflüssen am Ursachenkomplex.

2. Material und Methode

2.1 Orientierende Voruntersuchungen

2.1.1 Makroskopisch sichtbare Symptome an Altbuchen in 2001

In den Hauptschadensgebieten, den Forstämtern Olpe (Forstbetriebsbezirk Oberhundem) und Hilchenbach (Forstbetriebsbezirk Elberndorf, siehe Abb. 1), wurden am 19.07.2001 und am 01.08.2001 an 112 (Olpe, Abt. 157A; Hilchenbach: Abt. 14A und 15E) geschädigten, noch stehenden 120–150-jährigen Altbuchen neben den allgemeinen Daten BHD, Kraftsche Klasse, Blattverlustprozent (AG DAUERBEOBACHTUNGSFLÄCHEN 1997), das Vorkommen und die Lage von Laubnutzholzborkenkäfern (weiße Bohrmehlhäufchen, vergl. Schwenke, 1974, Seite 334 ff.) und Buchenwollschildlausbefall (Stufen: kein, geringer, mittlerer und starker Befall, in Anlehnung an PETERCORD 1999, Seite 19), auch das Vorkommen und die Lage von Spechtabschlägen (ja-nein-Entscheidung = j-n-E), Pilzkonsolen (j-n-E), *Nectria* sp. Fruchtkörpern (j-n-E), Schleimfluß (j-n-E), welker Äste (j-n-E) und von Rauhborkigkeit (j-n-E) okular bonitiert, in ein Aufnahmeformblatt (siehe Anhang 2) eingetragen und die Ergebnisse mittels „MS-Excel“ visualisiert. Um Doppelaufnahmen bei der Vollbonitur auszuschließen, wurde jeder aufgesuchte Baum an 2 gegenüberliegenden Seiten mit weißen Kreidestrichen markiert. Am 19.07.2001 wurde zusätzlich, bei strömendem Regen, die Exposition des Wasserablaufs am Stamm aufgenommen (Markierung aufgesuchter Buchen erfolgte mittels rotweißem Trassierband).

2.1.2 Laubnutzholzborkenkäferbefallsbonitur an ca. 60-jährigen Buchen in 2002

Zur Untersuchung eines angeblich in den Forstämtern Olpe und Hilchenbach vorkommenden primären Befalls gesunder, ansonsten symptomloser 54- bis 62-jähriger Buchen durch Laubnutzholzborkenkäfer, wurden die beiden betroffenen und im o.a. Hauptschadensgebiet gelegenen Bestände in den Forstbetriebsbezirken Elberndorf und Einsiedelei (siehe Tab. 1) ausgewählt. Ende Mai 2002 wurden im Zuge einer Vollaufnahme (Hilchenbach: Abt. 68A & 67B und

Olpe Abt. 17D) alle Buchen auf frischen (Einbohrlöcher mit weißen Bohrmehlhäufchen) oder auf zurückliegenden Befall (Einbohrlöcher ohne Bohrmehlauswurf) hin untersucht. Die 8 bei der Aufnahme beteiligten Forstingenieure und forstlichen Sachbearbeiter der Pflanzenschutzdienste Münster und Bonn und der Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten NRW wurden vorher eingewiesen um Übersehfehler möglichst gering zu halten. Aufgesuchte Buchen wurden wie o.a. markiert. Von den Revierleitern gezeigte Befallsbereiche dienten als Ausgangspunkt, um von dort in konzentrischen Kreisen ausweitend möglichst 10 befallene Buchen je Bestand auszuwählen. Diese wurden mit einem rot-weißen Band markiert, nachdem die Nordflanke und der BHD mit einem roten Farbstrich versehen worden war. Dann wurden sie gefällt, von der Krone getrennt, die befallene Seite nach oben gedreht, das Oberflächenperiderm vorsichtig mittels eines Ziehmessers entfernt, alle gefundenen Bohrlöcher mit einer Nadel gekennzeichnet (siehe Abb. 2), der Stamm in 1,00 m lange Segmente eingeteilt, die Mitte farblich markiert und hier der Stammumfang gemessen, um ggf. die Befallsdichte (Käfer pro Flächeneinheit) herleiten zu können. Die Breite und Lage der Nekrosen wurde gemessen und beschrieben, die Anzahl der gefundenen Bohrlöcher ermittelt und bei einzelnen Bohrlöchern wurde deren Durchmesser mit einem transparenten Geo-Dreieck festgehalten und die Daten in ein Formblatt (siehe Anhang 3) eingetragen. Ferner wurden je Baum 2 Bohrgänge mit einem Stechbeitel freigelegt, um die dort zusammen mit den auf den Stämmen zufällig gefundenen Käfer in verschließbare Glasröhrchen mit 96 % Ethanol zu geben, um diese schließlich bestimmen zu können (Bestimmungsschlüssel: GRÜNE 1979). Die Ergebnisse wurden mittels „MS-Excel“ visualisiert. Im Bereich der Nekrosen wurden 3 Stammscheiben (5 cm vom oberen Ende, Mitte, 5 cm vom unteren Ende) gewonnen, beschriftet, getrocknet, geschliffen und das Schadensjahr ermittelt (siehe Kap. 2.4).



Abb. 2: Rindennekrose mit markierten (Nadeln) Borkenkäferbohrlöchern; am rechten Rand befindet sich der älteste Teil der Nekrose; Baum Nr. 5 Hilchenbach, siehe Abb. 31

2.2. Untersuchungen zum Pilzbefall der Rinde ab 2004

2.2.1 Versuchsbestände

Forstamt und Forstbetriebsbezirk	FA Hilchenbach, FBB Elberndorf	FA Olpe, FBB Einsiedelei
Abt./Uabt.	68 A und 67 B	17 D
Stichtag der FE	01.10.2004	01.01.2000
Bestandsbeschreibung	Locker bis gedrängtes Rotbuchenstangen- bis Baumholz aus Kernwuchs, 10 – 20 % Schältschäden, einzelstamm- bis truppweise durch Buchenrindennekrose abgängig mit einzelstamm- bis truppweise beigemischt geringem bis mittlerem Fichtenbaumholz aus Naturverjüngung, grobstig mit 81-90 % Schältschaden 51-60 % Rotfäule;	Locker bis gedrängtes Rotbuchenstangen- bis Baumholz aus Naturverjüngung, einzelstamm- bis truppweise durch Buchenrindennekrose abgängig , mit einzelstamm- bis truppweise beigemischt geringem bis mittlerem Fichtenbaumholz aus Naturverjüngung, teils grobstig mit 51-60 % Rotfäule;
Alter der Buchen	Im Mittel 64 jährig	54 – 62 / 57 jährig
Ertragsklasse	I,5	II,0
Wuchsgebiet	Sauerland	Sauerland
Wuchsbezirk	Rothaargebirge	Südsauerländer Bergland
Höhe über NN	600 m, montan	545 m, montan
Hangneigung	Mäßig geneigter Nordostoberhang	Eben bis mäßig geneigter Nordosthang
Standortstyp	gering nährstoffversorgter, mäßig frischer bis frischer, steinig schluffiger Schiefergebirgslehm	
Flächenart	Wirtschaftswald 1	
Natürliche Waldgesellschaft	Hainsimsen Buchenwald	

Tabelle Nr. 1: Bestandsdaten der beiden Versuchsbestände laut Forsteinrichtung

Als Untersuchungsbestände wurden die beiden im Kapitel 2.1.2 angeführten 54- bis 62-jährige Buchen-Fichten-Mischbestände ausgewählt (siehe Tab.1) in denen

bereits in 2002 der Status des Laubnutzholzborkenkäferbefalls geprüft worden war. Die Abb. 3 bis 6 zeigen Luftbildkarten dieser Versuchsflächen.



Abb. 3 und 4: Übersichtskarten: Versuchsflächen im Forstamt Olpe, in der Nähe der Ortschaft Oberveischede und im Forstamt Hilchenbach, in der Nähe der Ortschaft Lützel

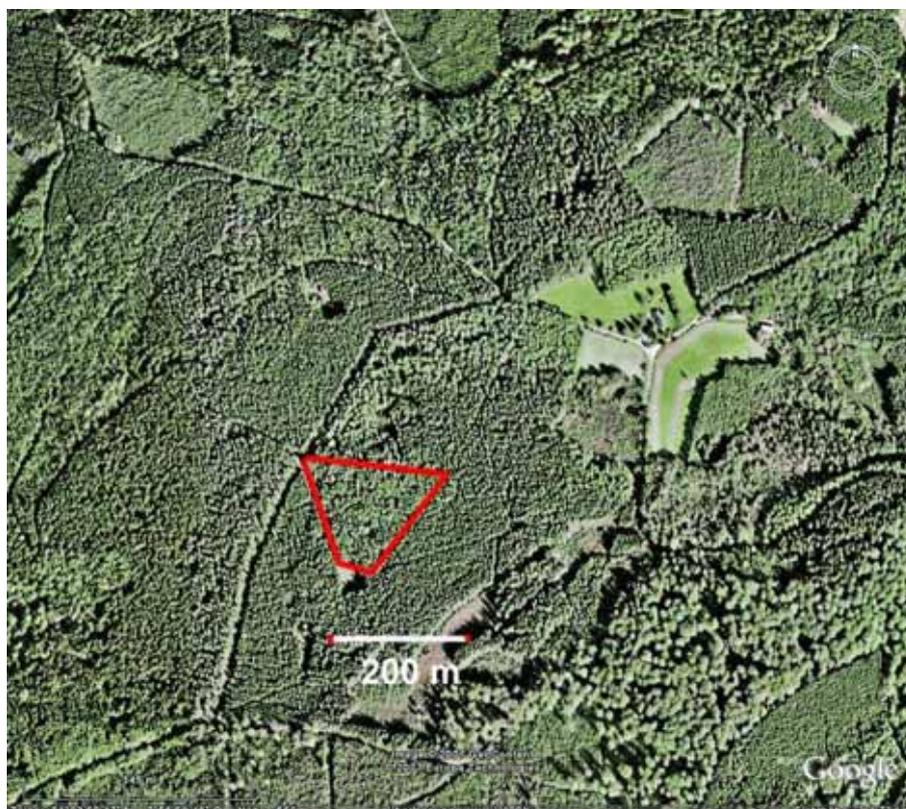


Abb. 5: Detailkarte: Versuchsfläche Olpe



Abb. 6: Detailkarte: Versuchsfläche Hilchenbach (Quelle der Luftbilder: Internetplattform Google-Earth, verändert)

2.2.2 Auswahl und Aufarbeitung der Versuchsbäume im Wald

Im Zuge einer Vollaufnahme, analog der unter 2.1.2 beschriebenen Vorgehensweise, wurden in 2004 je Versuchsbestand 5 bis 10 Buchen zur Untersuchung von Nekrosefrühstadien (**Mikronekrosen**) nach folgenden Prioritäten ausgewählt:

- a) Buchen mit makroskopisch ansprechbaren Rindennekrosen mit der Merkmalsausprägung: eingesunkene, teils aufgerissene Rinde (9 Bäume in Hilchenbach und eine Buche in Olpe)
- b) Buchen ausschließlich mit Mikronekrosen (vier Buchen in Olpe), welche erst nach einem vorsichtigen, orientierenden Entfernen des Oberflächenperiderms mittels eines scharfen Messers ausgewählt werden konnten. Wegen der intensiv durchgeführten Vornutzungen des Jahres 2003 konnten in Olpe nur diese 5 Buchen gefunden werden.

Die Versuchsbäume wurden an den Nordseiten mit einem grünen Farbstrich markiert, fotografiert, die nachfolgend angeführten Kriterien / Ausprägungen beschrieben und in ein Formblatt eingetragen (siehe Anhang 4): Kraftsche Klasse, Feinreisiganteil der Krone nach ROLOFF (1985), Rindenrauhigkeit (tiefe

Klüfte = 3, rauhe Oberfläche = 2, beginnende Oberflächenrauigkeit = 1, glatte Oberfläche = 0), gefällt (Hilchenbach am 19.4. und 3.5.2004; Olpe am 29.4.2004), in 20 cm lange Buchenrollen mit Hilfe eines Maßbandes eingeteilt, dort mit Fettkreide markiert und anschließend abgeschnitten. Um den Probenumfang zu begrenzen, wurden im Bereich makroskopisch ansprechbarer Nekrosen alle Rollen und für die darüber und darunter liegenden Stammabschnitte eine Auswahl von Rollen gewonnen, die hinsichtlich der Ausprägung der Rindenrauigkeit (0 bis 3) als repräsentativ für die verbleibenden Stammbereiche anzusehen waren. Rollen mit Fällschäden wurden übersprungen. Die Rollen wurden unmittelbar an der oberen, der Kronenspitze zugewandten Hirnfläche und wie im Anhang 4 für Baum Nr. 10, Hilchenbach gezeigt, beschriftet (z.B. Baum-Nr 1, Rollensegment von 40 cm bis 60 cm → HI / 1 / 3). Weiterhin wurde hier die Himmelsrichtungen mit Hilfe eines mit Fettkreide aufgezeichneten Kreuzes aufgetragen und die Rollen noch am Erntetag in eine Kühlkammer des Instituts für Pflanzenschutz im Forst der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft in Braunschweig gebracht, wo diese bis zum Beginn der Abimpfungen, nach spätestens 4 Tagen bei max. 5°C gelagert wurden.

2.2.3 Probengewinnung und Probenbehandlung

2.2.3.1 In der Werkstatt

Die Buchenrollen wurden in einer Tischlerbank fest eingespannt und das Oberflächenperiderm mittels eines scharfen Messers vorsichtig entfernt. Aus den freigelegten Mikronekrosen wurden aus allen frischen, mindestens 5 mm im Ø messenden, leicht an der hellbraunen Färbung zu erkennenden Nekrosen, mit einem Zuwachsbohrer bis zum Kambium reichende Rindenstückchen gewonnen (Innendurchmesser des Bohrers: 5 mm; der Schneidekranz wurde vor jeder Probennahme in einem Fläschchen mit 96 % -igem Äthanol 4 sec. lang sterilisiert). Stets wurde der Nekrosenrandbereich mit beprobt. Die Isolate wurden in eine saubere, unsterile Petrischale (Ø 55 mm) gegeben und wie in Abb. 10 angeführt beschriftet. Zur Festlegung der Nekrosenlage wurden die Buchenrollen in ziffernblattgleiche Segmente von 0.00 Uhr bis 11.00 Uhr eingeteilt.



Abb. 7 bis 9: Links: Probenbaum mit markierter Nordseite; Mitte: Gewinnung von Buchenrollen im Bestand; Rechts: nach Entfernen des Oberflächenperiderms werden Mikronekrosen sichtbar, ältere mit dunkelbrauner und frische mit hellbrauner Färbung (diese wurden hier, nach der Probengewinnung rot markiert)

Die gewonnene Probenzahl je Rolle wurde in einer Strichliste notiert. Nach mindestens jeder 10-ten Probe wurde eine Kontrollprobe aus augenscheinlich nekrosefreiem grünem Bast im Bereich der zuletzt beprobten, frischen Nekrose wie oben beschrieben gewonnen. Mit zunehmendem Aufarbeitungsfortschritt wurde die Entscheidung getroffen, auch die älteren, dunkelbraun gefärbten Mikronekrosen zu beproben. Für Hilchenbach waren dies die Buchen Nr. 8, 9 und 10 und in Olpe alle 5 Bäume. Diese Proben wurden im gleichen Expositionsbereich der letzten hellbraun beprobten Nekrose unmittelbar nach der Kontrollprobe gewonnen. Auf eine nachträgliche Beprobung der Buchen Nr. 1 bis 7 wurde verzichtet, da diese, mit partiell entferntem Oberflächenperiderm, bereits zu lange in der Werkstatt lagerten und eine Verfälschung der ursprünglichen Situation als wahrscheinlich angenommen werden musste.

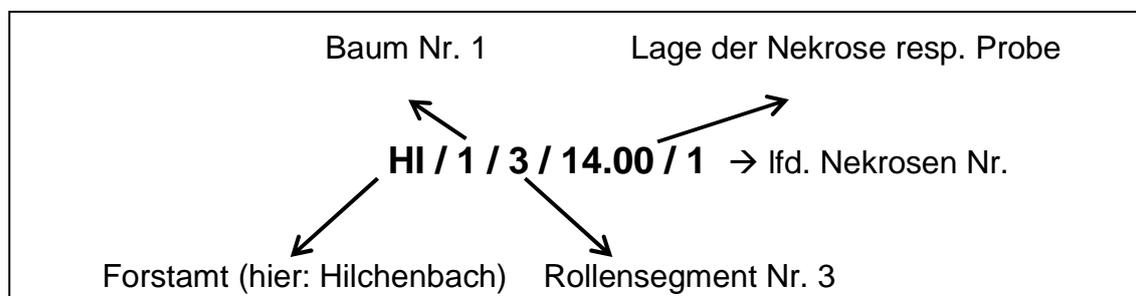


Abb. 10: Probenkennzeichnung

2.2.3.2 Im Labor

Die gewonnenen Rindenstücke wurden unmittelbar in das Labor gebracht und dort unter Reinluftbedingungen und mit sterilen Pinzetten und Skalpell wie folgt abgeimpft resp. behandelt:

1. 4 sec. lange Oberflächensterilisation der Probe in 96 % Ethanol
2. Abtupfen des restlichen an der Oberfläche haftenden Alkohols auf sterilem Löschpapier
3. Trennung des Rundlings durch einen Radialschnitt (keine Trennung in Weich- und Hartbast) mit einem desinfizierten Skalpell in 2 etwa gleich große halbkreisförmige Teilchen.
4. Je ein Rindenstückchen wurde mit der Schnittseite voran, in die Mitte einer entsprechend beschrifteten Petrischale (Ø 90 mm) in 2 unterschiedliche Nährmedien (je 20 ml / Schale) eingedrückt. Die Rezepturen dieser Medien waren:
 - a. 2 % Malzextraktagar mit 30 ppm Streptomycin (20g Malzextrakt, 20g Agar und 0,03 g Streptomycin auf 1 Liter Aqua dest.) sowie
 - b. 2% Wasseragar angereichert mit autoklavierten Möhrenschnitzel (20g Agar und 50g tiefgefrorene, geraspelte Möhrenschnitzel auf 1 Liter Aqua dest.) um ggf auch Phytophthora-Arten erfassen zu können (siehe KRÖBER 1985, LÖSCHE 2004, S.54). Zur Unterscheidung wurde diese Petrischale zusätzlich mit dem Kürzel „Mö“ beschriftet.

Beide Nährmedien wurden nach dem Einwiegen der Zutaten bei 121°C etwa 20 min. lang autoklaviert. Das Streptomycin wurde dem ersten Nährmedium nach Abkühlung auf unter 60°C hin zugefügt. Beide Medien wurden anschließend unter der Sterilbank in Petrischalen gegossen. Die Lagerung erfolgte im Kühlschrank bei 4 °C.

5. Verschließen der Petrischalen mit Deckel im Reinluftmilieu mit anschließendem Umwickeln des Deckelrandbereiches mit Parafilm zur Verhinderung von Milbenbefall.

6. Die Inkubation der Proben erfolgte bei Zimmertemperatur (ca. 20°C) und bei diffusem Tageslicht (Tageslänge ca. 9 Stunden) mit wöchentlicher Kontrolle (7 Tage-Rhythmus) des Pilzwachstums und Eintragung der Ergebnisse in ein Abimpfprotokoll (Anhang 5)
7. Bei ausbleibender Sporulation wurden die Kulturen einer einmaligen 14-tägigen UV-Behandlung (Protokollierung von Beginn und Ende) unterzogen.
8. Bei Verunreinigungen der Pilzkulturen wurde versucht den eigentlichen Pilz durch Subkulturen zu sichern.

Die Bestimmung der isolierten Pilze erfolgte nach BOOTH (1966, 1977), SUTTON (1980) UND ELLIS (1971). Dazu wurde jede Mycelkultur mit dem Binokular (bis 40-fache Vergrößerung) auf Sporenbildung hin untersucht, um mit den anschließend hergestellten Präparaten unter dem Lichtmikroskop (bis 100-fache Vergrößerung) die Sporenform zu beschreiben, deren Länge und Breite zu vermessen, die Anzahl der Septen festzuhalten, soweit dies notwendig war und die Präparate zu fotografieren. Die Einschätzung der Pilzpathogenität erfolgte nach BRANDENBURGER (1985).

Anzahl	Hilchenbach	Petri-schalen	Olpe	Petri-schalen
der ausgewählten Buchen	10	--	5	--
der gewonnenen Buchenrollen	67	--	49	--
der beprobten hellbraunen Mikronekrosen	554	554	328	328
		554		328
der beprobten dunkelbraunen Mikronekrosen	85	85	52	52
		85		52
der gewonnenen Kontrollen	85	85	55	55
Summen:		1363		815

Tabelle Nr. 2:
 Probenumfang der Mikronekrosenabimpfungen

= Möhrenschnitzelagar

2.2.4 Mikrotomschnitte

Von einzelnen Buchenrollen des Baumes Nr. 5 (Hilchenbach) wurden mittels Bandsägen ca. 3 cm breite Holzklötzchen, incl. Rinde, im Bereich von Rindenmikronekrosen ausgeschnitten, geschliffen und mit Hilfe eines Schlittenmikrotoms histologische Präparate hergestellt. Die Proben wurden für

den Schnitt mit einer Konservierungslösung (3 Teile 96% Ethanol, 1 Teil Glycerin p.A., 2 Teile destilliertem Wasser) vorbereitet. Die Präparate wurden fotografiert.

2.2.5 Endophytenuntersuchung

Zur Untersuchung der Endophytenpilzflora in 2005 wurden nekrosefreie, jedoch mit Buchenwollschildläusen (*Cryptococcus fagisuga*) befallene Buchen ausgewählt; je Standort (siehe Tab. 1) eine Buche mit sehr schwachem Punktbefall, in Hilchenbach eine Buche mit schwachem Punktbefall und in Olpe eine Buche mit Punkt- bis Reihenbefall. Die grobe Einschätzung (Ausnahme siehe Abb.11) des Buchenwollschildlaus-Befallsgrades erfolgte nach dem von Petercord (1999, Seite 19) entworfenen Boniturschlüssel. Je Baum wurden 8 Rollen zur Rindenbeprobung wie folgt festgelegt: die erste Rolle wurde im Bereich unterhalb 80 cm Stammhöhe gewonnen, bis zu einer Stammhöhe von 180 cm wurde jedes dritte, von 180 cm bis 500 cm jedes vierte und darüber die beiden Rollensegmente oberhalb 620 cm und 720 cm ausgewählt. Bei der Gewinnung der Rindenproben wurde grundsätzlich das im Kap. 2.2.3 beschriebene Verfahren angewandt. Hier wurden aber ausschließlich aus symptomlosem Rindengewebe (Gewebe ohne sichtbare Verfärbungen), systematisch je Buchenrolle im Süden, Westen, Norden und Osten, jeweils 10 Proben gewonnen.

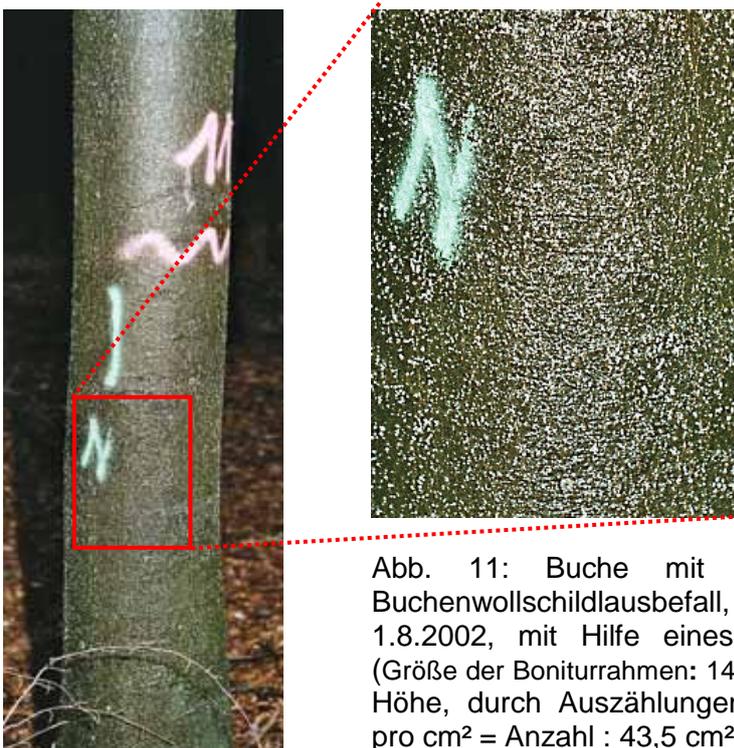


Abb. 11: Buche mit punktförmigem bis reihigem Buchenwollschildlausbefall, welcher im Gelände am 1.8.2002, mit Hilfe einer durchsichtigen Messschablone (Größe der Boniturrahmen: 14,5 x 3 cm) in 1 m, 1,5 m und 2 m Höhe, durch Auszählungen bonitiert wurde (Befallsdichte pro cm² = Anzahl : 43,5 cm²); Versuchsbestand Olpe;

2.3 Wachstumsgeschwindigkeit, Pathogenität, Antagonismus

2.3.1 Wachstumsgeschwindigkeit und Pathogenitätstest mit

Buchenaststücken

Zur Prüfung der Pathogenität und der Wuchsgeschwindigkeit von im Zuge der Abimpfungen häufig gefundenen und als pathogen bekannten Pilze (ausgewählt wurden 5 Pilze → siehe Tab. 6, Seite 40), diente ein Vorversuch im Labor mit 20 cm langen, ca. 3 cm dicken Buchenaststücken. Ausgangsmaterial für die Herstellung dieser Aststücke waren Kronenzweige einer am 6.9.2004 im Forstamt Braunschweig, Abt. 270 Veltheimer Berge gefälltten Altbuche. Aus diesen Zweigen wurden 400 Aststücke mit einer Länge von 20 cm und einer Stärke von ca. 3 cm mit einer Bandsäge hergerichtet. Die Stücke mit Rindenverletzungen wurden aussortiert, die Rinde der übrigen Aststücke mit einer Bürste unter laufendem, kaltem Wasser gesäubert, 2 Stunden an der Luft getrocknet und die Schnittflächen anschließend mit erhitztem Paraffinwachs, als Austrocknungsschutz, versiegelt. Anschließend wurde mit sterilen Skalpell in der Aststückmitte eine ca. 1 cm² große Rindenlasche angeschnitten, an einer Seite angehoben, das Inokulat (Durchmesser: 6 mm; Dicke: 4 mm; aus eigens angelegten Kulturen auf Malzagar) in der Rinde platziert, die Lasche angedrückt und schließlich dieser Bereich mit Parafilm umwickelt (siehe Abb.12). Die Kontrollaststücke wurden ebenso vorbereitet und mit einem sterilen Malzagarstückchen der entsprechenden Größe inokuliert. Die Aststücke wurden nach Codierung, (z.B.: Nie / 5 / 1 / 8 = Aststücke Niesar / Temperaturstufe → hier: 5°C / Pilz Nr. → hier: 1 / Laufende Nr. des Aststücks → hier: 8) in 3 Klimakammern, mit den nachfolgend angeführten Temperaturvarianten, ausgelegt: 5°C, 15°C und 15°C im Wechsel mit 2°C (g ewechselt wurde immer Montags und Donnerstags). Der Stichprobenumfang betrug 20 Aststücke + 5 weitere Zusatzaststücke je Variante mit deren Hilfe der Nekroseentwicklungsverlauf kontrolliert und das Versuchsende festgelegt wurde. Vor dem Versuchsbeginn wurde das Anfangsgewicht (Aststück incl. Wachs + Parafilm) ermittelt und durch wöchentliche Wiegen (siehe Anhang 6) die Austrocknungsgeschwindigkeit festgehalten.



Abb. 12: von links nach rechts:
unbehandeltes, gesäubertes, mit Wachs an
den Enden versiegeltes, inokuliertes und im
Bereiche der Inokulationsstelle mit Parafilm
umwickeltes Buchenaststück

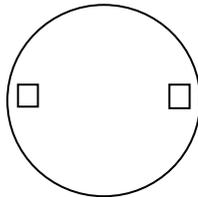
Mit dem Boniturbeginn wurde jede Behandlungscharge komplett aus der Klimakammer entnommen und möglichst innerhalb eines Tages bearbeitet oder bei 2°C zwischengelagert. Zur **Bonitierung der Nekroseflächen** wurde das Oberflächenperiderm mit scharfen Skalpelln vorsichtig entfernt, um die Länge, Breite, Form und die Ausfärbung der Nekrose messen resp. beschreiben und notieren zu können (siehe Anhang 7). Bei den Nekroseformen wurde zwischen kreisförmig, elliptisch oder rechteckig unterschieden und die entsprechenden Flächenberechnungsformeln in Excel eingegeben (Kreis: $r^2 \times \pi$; Ellipse: $a \times b \times \pi$; Rechteck: $a \times b$). Bei jedem Aststück wurde weiterhin die Inokulationslasche vermessen und schließlich die Nekrosefläche wie folgt berechnet: Fläche der Gesamtnekrose – Fläche der Inokulationslasche.

Zur Berechnung der mittleren täglichen Nekroseausdehnung wurde die Nekrosefläche durch die Anzahl der Inkubationstage geteilt (Datumseingabe in MS Excel mit entsprechender Formatierung).

Unmittelbar nach der Oberflächenperidermentfernung wurden je Aststück 2 Rückisolierungen an den Nekroserändern zur Feststellung des nekroseverursachenden Pilzes mit einem jeweils sterilisierten Zuwachsbohrer gewonnen. Diese Proben wurden wie im Kapitel 2.2.3.2 beschrieben behandelt und die Pilze bestimmt, wobei als Nährmedium 2 % -iger Malzextraktagar verwandt wurde.

2.3.2 Wachstumsgeschwindigkeit und Antagonismus in Dualkulturen

Um mögliche Interaktionen zwischen den am häufigsten gefundenen Pilzen erkennen zu können, wurde in Anlehnung an PETERS et al. (1998) ein Dualkulturversuch angelegt.



	P1	P2	P3	P4	P5	Kontrolle
P1	--	10 Platten				
P2	--	--	10 Platten	10 Platten	10 Platten	10 Platten
P3	--	--	--	10 Platten	10 Platten	10 Platten
P4	--	--	--	--	10 Platten	10 Platten
P5	--	--	--	--	--	10 Platten

Tabelle Nr. 3: Platzierung der Inokulate in den Petrischalen (links: Kreis mit 2 Quadraten) und die Versuchsmatrix (P1- bis P5- Erläuterung in Tab. 6, Seite 40)

Die zu testenden 5 Pilze wurden stets paarweise, wie in der Versuchsmatrix gezeigt (siehe Tab. Nr. 3), in Form von ausgestochenen Pilzmycel-Agar-Rondellen (Rondellendurchmesser: 4 mm; Höhe: 3 mm), gegenüberliegend an den äußersten Rändern der Petrischalen (Durchmesser 90 mm) gegeben.

Die Chronologie des Versuchsablaufs:

1. Gießen der Platten unter der Impfbank mit 20 ml autoklaviertem MEA (alle Platten aus der selben Charge)
2. Positionsmarkierung für die Mycelimpfstücke auf der Mittellinie der Plattenunterseite am äußersten Rand
3. Beschriftung des Deckels: oben mit Pilznummern und senkrechtem Strich über Deckel und Unterschale, zur eindeutigen Zuordnung der Pilze und unten mit Abimpfungsdatum incl. fortlaufender Schalennummer
4. Einsetzen der Mycelkulturstücke unter sterilen Bedingungen gemäß Beschriftung (links stets der Pilz mit der niedrigeren Kennnummer)

*Wegen der geringen Wachstumsgeschwindigkeit der Pilze Nr. 4 & 5 erhielten diese einen vierwöchigen (*Disculina* sp.) resp. einwöchigen (*Pezicula cinnamomea*) Wachstumsvorsprung, bevor die restlichen Pilze wie o.a. inokuliert wurden.*

5. Inkubation der mit Parafilm verschlossenen Petrischalen in einem vollklimatisierten Raum (21 °C) bei diffusem Tageslicht
6. Nachzeichnen des Wachstumsrandes auf der Unterseite der Petrischalen, mit Datumsangabe mittels Eddingstiften
7. Messung der Wachstumszonen zwischen den Positionsmarkierungen auf der Mittellinie (mm) und Eintrag in eine Liste
8. Beschreibung ggf. visuell ansprechbarer antagonistischer Wirkungen

2.3.3 Wachstumsgeschwindigkeit und Antagonismus in Buchenaststücken

Zur Prüfung möglicher antagonistischer Wirkungen der im Vorversuch (siehe Kap. 2.3.1) als pathogen eingestuften 4 Pilze (siehe Kap. 3.4.2, S. 45) wurde ein weiterer Versuch mit 30 cm langen, 3 bis 4 cm dicken Buchenaststücken angelegt. Die Proben wurden ebenso in der o.a. Abteilung des Forstamtes Braunschweig gewonnen. Auch die sonstigen Bearbeitungsmodalitäten entsprachen im Wesentlichen denen in Kap. 2.3.1. Neben der Größe der Aststücke sind folgende weitere Abweichungen zu nennen: 2 Inokulationsstellen in einem Abstand von 3 cm, Inkubation ausschließlich bei konstant 15 °C, zwei Reisolierungen je Aststück bei ausgebildeten Nekrosen, Stichprobenumfang: N = 20, keine Gewichtsbestimmung, Versuchsabbruch nach 64 Tagen. Wenn die Nekrosen als nicht zusammengewachsene Ereignisse anzusprechen waren, wurden deren Länge und Breite vermessen und die Form beschrieben. Berührten sich jedoch die Nekrosenwachstumszonen, oder waren diese zusammengefließen, wurde wie in Abb. 13 dargestellt gemessen. Dabei wurden mit einem durchsichtigen Lineal die 4 Längenmaße ermittelt und in ein Formblatt (siehe Anhang Nr. 8) eingetragen. Für statistische Auswertungen wurden die ermittelten Längenmaße verwendet (siehe Tab. 10).

Wenn eine Demarkationslinie „D“ festgelegt werden konnte, wurden die Längen als Maß der Wuchsgeschwindigkeit, am vorliegenden Beispiel, wie folgt ermittelt: „P1“ = a + (D – a) und „P2“ = c – D, ansonsten: „P1“ = a und „P2“ = c – b. Das

Vorkommen antagonistischer Wirkungen wurde mit deskriptiver Statistik dargestellt.

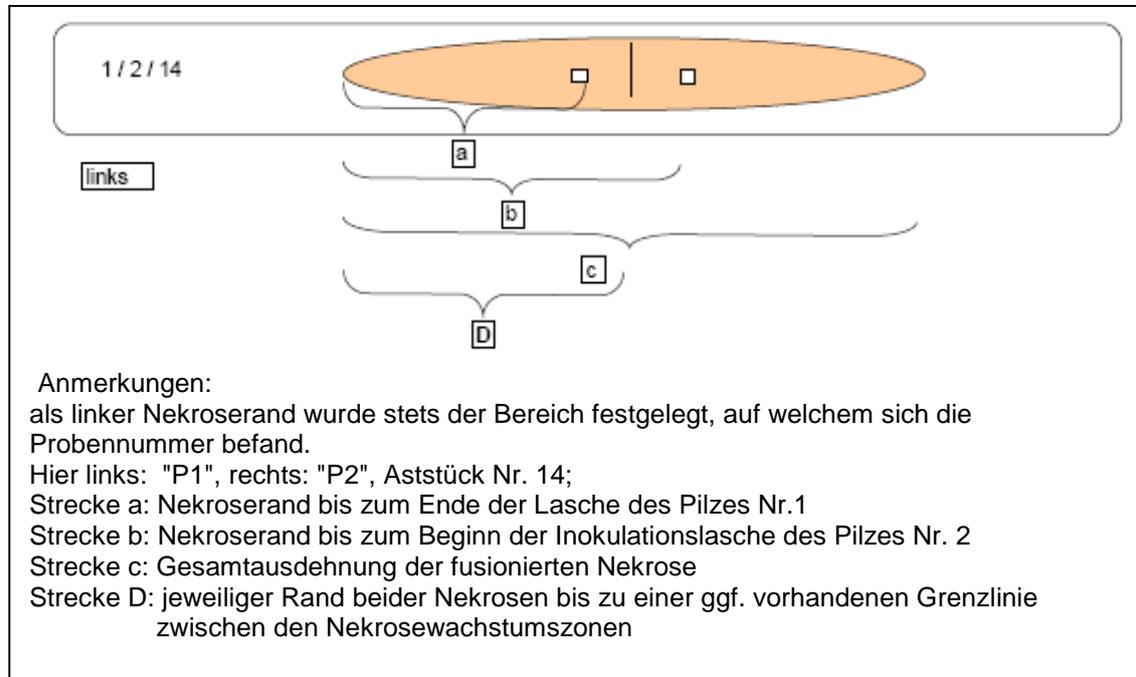


Abb. 13: Schema zur Vermessung fusionierter Nekrosen in Buchenaststücken

2.3.4 Pathogenitätstest in Rinde stehender, lebender Buchen

Die Versuchsbuchen wurden nach den Kriterien „soziale Schicht“, Blattverlustprozent, Rindenrauhigkeit und Buchenwollschildlausbefall ausgewählt. Die Ausprägungen sollten dabei möglichst gleich sein. Zur Einschätzung der Rindenrauhigkeit wurden folgende 4 Stufen festgelegt: 0 = glatte Rinde, 1 = beginnende Rindenrauhigkeit bis beginnende furchige Borkigkeit, 2 = vermehrte furchige Borkigkeit bis beginnende tieffurchige Borkigkeit, 3 = tieffurchige Borkigkeit. Die Amplitude der Buchenwollschildlausbefallsintensität sollte von „sehr schwach“ bis „schwach“ reichen. In den Wachstumsversuchen und in den Pathogenitätstests konnte als virulentester Pilz der als „P2“ bezeichnete Pilz gefunden werden (s. Ergebnisteil). Dieser Pilz wurde zunächst am 6.4.2005 in die Rinde von 2 lebenden Buchen im Freiland des Versuchsbestandes Hilchenbach, jeweils an der Süd- und Nordseite

ausgewählter Buchen (siehe Ergebnisteil Tabelle Nr. 11) in 3 Wiederholungen pro Baum, zusammen mit je 3 sterilen Agar-Kontrollen eingebracht.

Neben den o.a. Kriterien sollten die ausgewählten Buchen ferner in einer Entfernung von maximal 40 m (Schlauchlänge; s.u.) unterhalb des am Oberhang gelegenen Hauptfahrweges der Versuchsfläche Hilchenbach liegen. In Vorversuchen wurde die Übertragung der bei den Buchenaststücken angewandten Inokulationsmethode verworfen, da an der wesentlich rauheren Rinde der Stämme die Skalpelle abbrachen oder abrutschten und sich als nicht brauchbar erwiesen. Auch konnte das Ziel einer sicheren Inokulatplatzierung nicht erreicht werden, da die Agar-Pilzmycel-Inokulate aus den angehobenen Laschen sofort wieder herausfielen. Folgendes Verfahren wurde deshalb angewandt:

1. Säubern der ausgewählten Buchen im Bereich der einzubringenden Inokulate an der Nord- und Südseite der Stämme (ca. BHD Höhe) mit Hilfe einer neuen Wurzelbürste und Leitungswasser, welches aus einem ausschließlich für Frischwassertransporte genutzten 200 - Litertank über eine Schlauchleitung, unter Ausnutzung des natürlichen Hanggefälles, zu den Buchen geleitet wurde.
2. Festlegung der 6 Inokulationspunkte pro Baumseite in 2 Reihen, bei 10 cm Reihenabstand und 10 cm Abstand der Inokulationspunkte innerhalb der Reihen.
3. Bei trockener Witterung wurden die „P2“- und Kontrollinokulate, welche wie im Kapitel 2.3.2 Nr.1 hergestellt worden waren, in die Rinde wie folgt für jeden einzelnen Punkt eingebracht:
 - a. Ausstechen eines bis zum Kambium reichenden Rindenstückchens mittels eines in 96 % Ethanol sterilisierten Korkbohrers (Innendurchmesser: 8 mm)
 - b. Einsetzen des Inokulates (Rondellendurchmesser: 4 mm; Höhe: 3 mm) mittels einer sterilen, vorne gebogenen Präpariernadel
 - c. Herausdrücken des Rindenstückchens aus dem Korkbohrer mit einem sterilen Bolzen und zurückdrücken dieses Rindenstückchens in den

Inokulationspunkt mit desinfiziertem Finger (mittels 96 % Alkohol-Sprühflasche)

- d. Abdichten des Inokulationspunktes mit steriler Vaseline
- e. Schutz der Inokulationspunkte gegen Vogelfraß mittels locker über den Reihen gespannter grauer Textilbänder

Am 16.08.2005 wurde die Nekroseentwicklung dieser ersten Inokulationsreihe bonitiert (siehe Ergebnisteil). Zehn weitere lebende Buchen wurden am 06.12.2005 im Freiland in gleicher Weise wie o. beschrieben ausgewählt und inokuliert. Nekrosebonituren wurden bei fünf Bäumen am 09.06.2006, bei weiteren vier am 13.09.2006 und bei einem Baum am 27.04.2007, jeweils bei trockener Witterung, wie folgt durchgeführt:

1. Nach dem Entfernen der Textilbänder wurde das Rindenoberflächenperiderm vorsichtig mit einem scharfen Messer soweit entfernt, bis die Nekrosen vollständig zu erkennen waren
2. Fotografieren der Rindennekrosen
3. Vermessen dieser mit einer Schieblehre (Messschieber; mit 1/10 mm Messgenauigkeit) und Eintrag in ein Formblatt (Anhang Nr. 9; N1 bis N3 und S1 bis S3 = „P2“ Inokulationspunkte; die Ziffern 4 bis 6 = jeweils Kontrollpunkte)
 - a. Messung des Inokulationspunktes an zwei gegenüberliegenden Seiten (Grund: im Zuge des Ausstechens der Inokulationspunkte vergrößerte sich die Korkbohrerinnenweite)
 - b. Messung der Nekrosenränder (Höhe und Breite), Angabe der Form (Ellipse, Kreis, Rechteck)
4. Gewinnung von Rückisolierungsproben, ausschließlich bei „P2“-hervorgerufenen Rindennekrosen, an deren Rändern (siehe Abb.17), welche in beschriftete Petrischalen gegeben wurden, die sofort in einer mit Kühlakkus versehenen Kühlbox, bis zur weiteren Bearbeitung am gleichen Tag, gelagert wurden.
5. Am 13.9.2006 wurde damit begonnen, die Kambiumnekrosen zu bonitieren. Die aus 9 Buchen stammenden 108 Untersuchungspunkte wurden an diesem Tag durch Entfernen der Rinde bis zum Kambium und

Freilegen des abgestorbenen Kambialgewebes sichtbar gemacht, wie unter 3b beschrieben vermessen und anschließend fotografiert. Mit der letzten Buche wurde am 27.4.2007 analog verfahren.

6. Die Rückisolierungsproben wurden grundsätzlich wie in Kapitel 2.2.3.2 beschrieben gewonnen und bearbeitet. Als Nährmedium diente 2 % -iger Malzextraktagar. Da für diese Arbeiten keine sterile Impfbank zur Verfügung stand, wurden sie in einem oberflächensterilisierten Badezimmer durchgeführt. Vor dem Arbeitsbeginn wurde mit 96 %-igem Alkohol, mittels einer Sprühflasche, im Bereich des Arbeitsplatzes die Luft durch Sprühsedimentation gereinigt.
7. Pilzbestimmung wie o.a
8. Übertragen der Daten in MS Excel. Die tatsächliche Nekrosefläche je Inokulationspunkt wurde dabei als Differenz der jeweiligen Gesamtnekrosefläche abzüglich der jeweiligen Inokulationsfläche festgelegt.
9. Statistische Auswertungen (siehe Kap. 2.6 und Ergebnisteil)

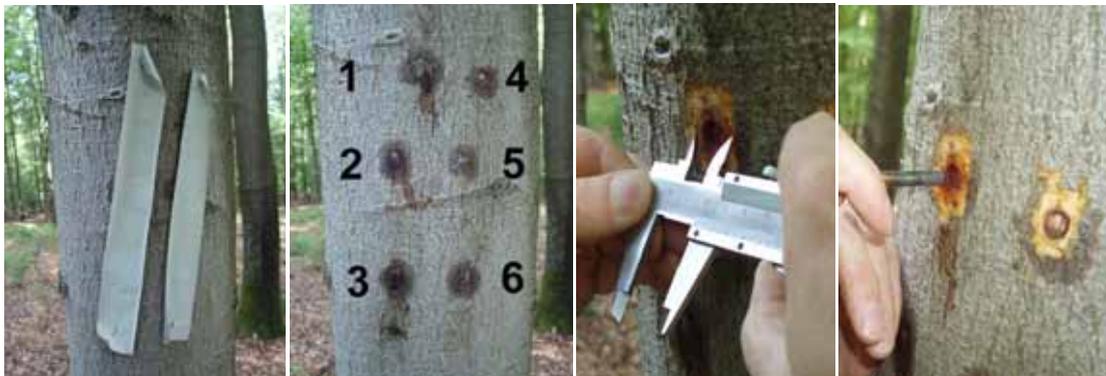


Bild 14 bis 17: Links: durch locker angeheftete Textilbandstreifen gegen Vogelfraß gesicherte Inokulatereihen; Mitte links: die Ansicht, unmittelbar nach Entfernen der Textilbänder, hier mit digital eingetragenen Nummerierungen der Inokulationspunkte: 1 bis 3 = „P2“ und 4 bis 6 = Kontrollen; Abstand zwischen den Punkten und zwischen den Reihen jeweils 10 cm; Mitte rechts: Durchmesserbestimmung mittels Schiebelehre nach erfolgter Oberflächenperidermentfernung; Rechts: Gewinnen einer Rückisolierungsprobe mit einem Korkbohrer.

2.4 Bestimmung des Schadensjahres

Zur Schadensdatierung wurden von 12 gefällten Buchen, aus der Mitte großflächiger Rindennekrosen und aus Rollensegmenten (vergl. Anhang 4) im Bereich der Rindennekrosen, Stammscheiben entnommen. Daran wurde, unter Zuhilfenahme eines Stereomikroskopes, der letzte vollständig ausgebildete Jahrring ermittelt, bevor der Rinden- und Kambiumschaden im Bereich der Nekrose eingetreten ist. Um bei der Zuordnung des Schadensjahres im Nekrosebereich ggf. ausgefallene (auskeilende) Jahrringe berücksichtigen zu können (ZYCHA 1959), wurde in einem 90° Winkel links und rechts von der Nekrose 5 Jahrringe zurückgezählt. Dieser Jahrring wurde dann bis in den Nekrosebereich verfolgt (siehe Abb. 18, rote gestrichelte Linie), um von dort, nach außen zählend, das Schadensjahr bestimmen zu können. Von jeder gewonnenen Stammscheibe wurde eine Schnittseite vor der Bonitur mit Hilfe eines Exzentrerschleifers, mit zunehmend feinerem Schleifpapier (80 → 100 → 120), geschliffen.

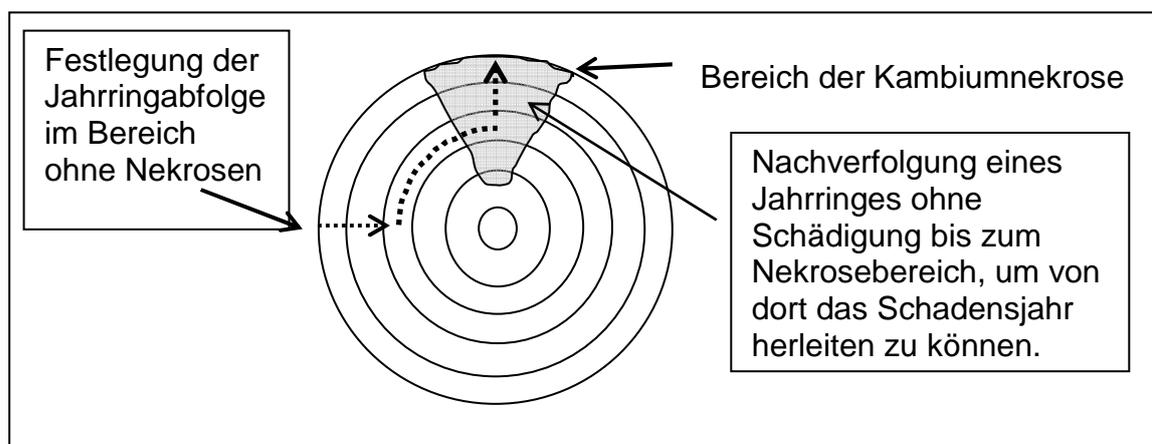


Abb. 18: Schematische Darstellung der Herleitung des Schadensjahres

2.5 Rindentemperaturaufzeichnungen

Zur Temperaturaufzeichnung mit Hilfe eines speziell für den Waldeinsatz hergestellten Mikroprozessors (SKATULLA 2001) wurden an 5 Stämmen, jeweils nord- und südseitig, in Brusthöhe, Temperaturfühler innerhalb der Rinde angebracht und an einem Stamm durch einen nordseitigen Außenfühler zur Messung der Lufttemperatur ergänzt. Die Aufzeichnungen wurden am 28.9.2004 in einem 30-Minuten-Takt gestartet.

Zum Einsetzen der Datenfühler wurden mit einem Akkuschauber (3 mm Metallbohrer), innerhalb der Rinde, 45° nach oben führende „Kanäle“ angelegt, in den die Datenfühler eingebracht wurden. Der Bereich wurde mit handelsüblichem, grau gefärbtem Silikon verschlossen.

Aufgrund der begrenzten Speicherkapazität des Rechners, der über eine Autobatterie und eine photovoltaische Solarzelle mit Strom versorgt wurde, musste dieser einmal pro Woche mit einem Laptop ausgelesen werden. Die Software zum Auslesen und auch zur Übertragung der Daten in Excel-Dateien wurde von SKATULLA (2001) zur Verfügung gestellt.



Abb. 19 bis 21: Mikroprozessor zum Messen der Rindentemperaturen; (In einem als Vogelhäuschen getarnten Kasten war der Prozessor in einem Kunststoffbehälter untergebracht)



Abb. 22 bis 23: Temperaturmessfühler in der Rinde (jeweils an der Süd- und Nordseite von 5 Buchen wurden in BHD Höhe Temperaturfühler in die Rinde eingebracht)

Abb. 24: die Stromversorgung wurde durch ein installiertes Solarmodul gesichert

2.6 Statistische Methoden

Die statistische Auswertung der Symptomerhebung bei Altbuchen und der gefundenen Pilze in den 60-jährigen Beständen beschränkte sich auf deskriptive Methoden und auf Darstellungen als Tortendiagramme und Histogramme, welche in MS-Excel erstellt wurden. Bei dem durchgeführten Dualkulturversuch wurden mittels SAS – Routinen Wachstumskurven gebildet, wobei als Maß der Pilzwachstumsgeschwindigkeit die Steigung logarithmierter, am Nullpunkt beginnender Wachstumskurven gewählt wurde. Die Auswertung der Wuchsverhältnisse der in Buchenastrinde eingebrachten Pilze wurde mit SPSS-Routinen und wegen inhomogener Varianzen mit dem Tamhane-Test durchgeführt.

Die Abhängigkeit des Pilz-Wachstums von der Temperatur wurde mit dem F-Test und die Normalverteilung der Daten mit dem Shapiro-Wilk-Test geprüft (LOZAN & KAUSCH 2004). Für die Inokulationsversuche in der Rinde lebender Buchen waren keine statistischen Tests erforderlich, da die Unterschiede eindeutig waren.

3. Ergebnisse

3.1 Makrosymptome, Käfer- und Wollausbefall bei Altbuchen

Die Verteilung der Blattverlustprozente, die BHD- Verteilung und die der Kraftschen Klassen der in Hilchenbach und Olpe untersuchten 112 Altbuchen, zeigen die Abb. 25 bis 28. In Abb. 28 ist die Symptomanalyse dargestellt. Hier ist zu erkennen, dass an Wurzelanläufen und an den Nordseiten der Stämme 93 % der Buchen bis zu mehrere Meter hohe pathologische Verborkung aufwiesen und diese waren zu 54 % von Laubnutzholzborkenkäfer (*Xyloterus domesticus*) und Sägehörnigem Werftkäfer (*Hylecoetus dermestoides*) im Verhältnis von 97:3 befallen. An 20% der Buchen fruktifizierten die Weißfäuleerreger „Angebrannter Rauchporling“ (*Bjerkandera adusta*) und „Echter Zunderschwamm“ (*Fomes fomentarius*). An 3 % der Bäume waren Fruchtkörper von *Nectria sp.* auf der Rinde zu finden. Frische Schleimflussflecken wurden an 4 % und Wollläuse (*Cryptococcus fagisuga*) an 29% der Bäume beobachtet, letztere in kleinen punktförmigen Kolonien auf glatter Rinde, nicht dagegen auf der rauhen, pathologischen Borke.

Die Brutgänge der Laubnutzholzborkenkäfer lagen zu 89 % auf der nordexponierten Schattseite der Stämme und stets im Bereich von Rindennekrosen. Stellenweise wurden auch Buchen mit über 10 Meter langen, nördlich exponierten Rindennekrosen ohne nennenswerten Borkenkäferbefall, mit geringem Werftkäferbefall oder ganz ohne Käferbefall gefunden. Bei 32 % der Buchen waren Spechtabschläge zu finden, welche zu 87 % im Expositionsbereich von NW über N bis NO vorkamen.

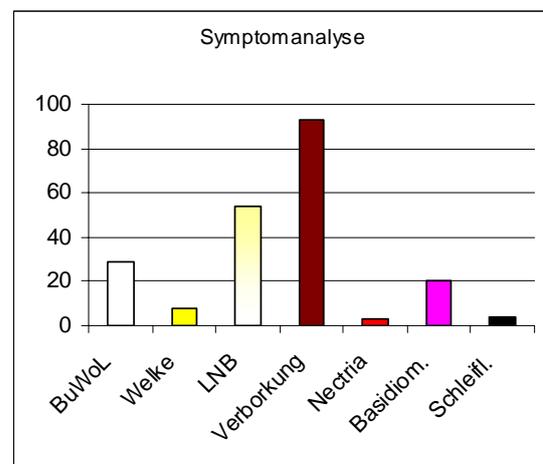
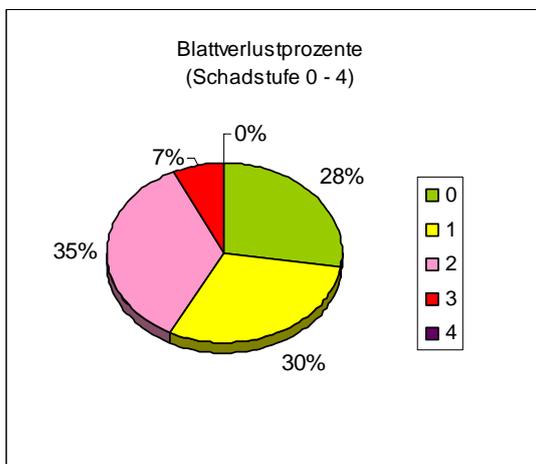
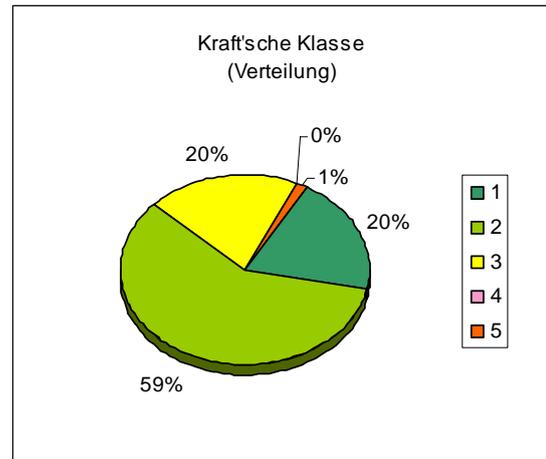
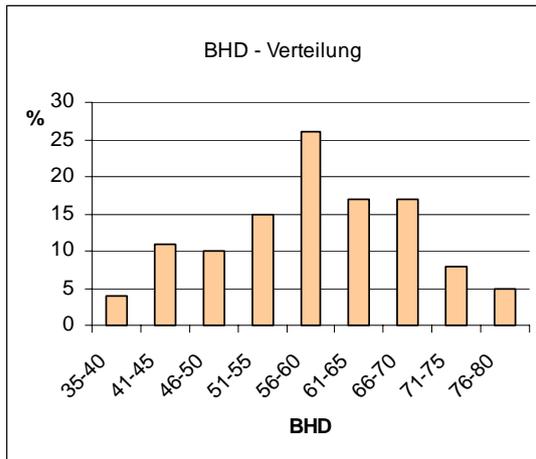


Abb. 25 bis 28: BHD Verteilung, Verteilung der Kraft'schen Klassen, Blattverlustprozente und Symptomanalyse der 112 im Hauptschadensgebiet in den Forstämtern Olpe und Hilchenbach untersuchten Altbuchen; Bonitur: August 2001

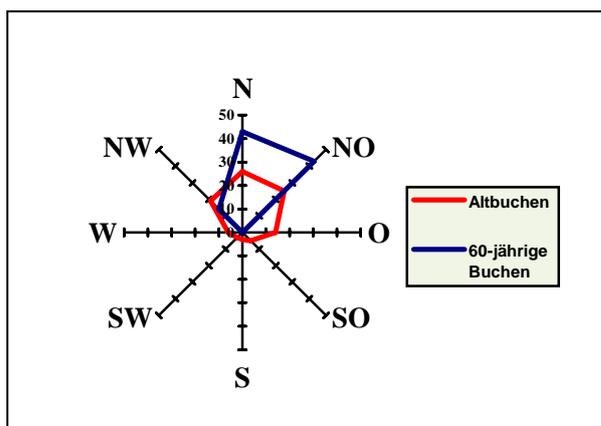


Abb. Nr. 29: Lage von Laubnutzholzborkenkäferbefall an Altbuchen (N=48) und ca. 60-jährigen Buchen (N=7) jeweils in den FÄ Olpe und Hilchenbach

An 12 gefällten, auf ganzer Länge untersuchten Buchenstämmen, die aus den Versuchsbeständen Olpe (4 Buchen, Abb. 32) und Hilchenbach (8 Buchen, Abb. 31) stammten (vergl. Tab. 1), wurden durch flaches Schälen des Außenperiderms punktförmige Mikronekrosen und bis zu 7 Meter lange spindelförmige, orangefarbene bis braune, ausschließlich auf der Schattseite der Stämme liegende Nekrosen gefunden. Sie zeigten, besonders an den nach oben und unten spitz zulaufenden Enden, 2-6 cm breite, heller gefärbte Ränder (siehe Abb. 2), die den jüngsten Nekroseteil darstellten. Bis ins Holz reichende, außen durch weißes Bohrmehl gekennzeichnete Borkenkäfergänge befanden sich zu 95% innerhalb der Nekrosen (Abb. 2 & 30).

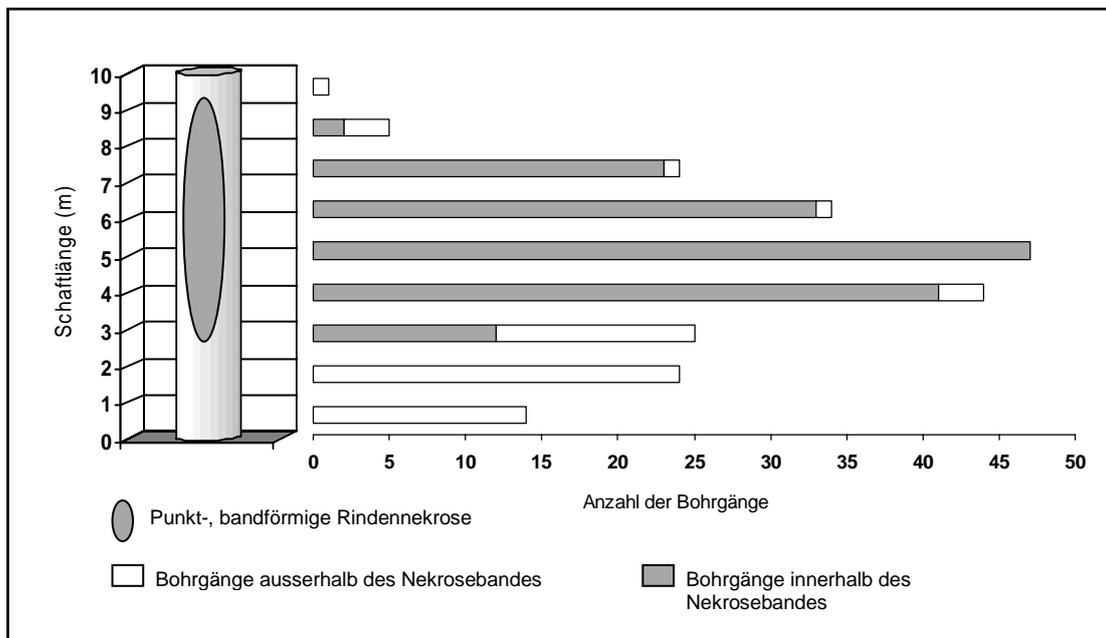


Abb. 30: Befall durch Laubnutzholzborkenkäfer im Bereich von Rindennekrosen und außerhalb davon (Buche Nr. 1; Versuchsbestand Olpe)

An Baum Nr. 2 (Hilchenbach) waren Borkenkäferlöcher ohne Bohrmehl zu finden, ohne dass an diesem Baum eine Rindennekrose vorlag. Diese Bohrlöcher führten nicht bis in den Holzkörper, sondern endeten blind innerhalb der Rinde. Holzverfärbungen traten nur in den ältesten, zentralen Teilen der Rindennekrosen auf, in denen die Nekrosen das Kambium erreichten.

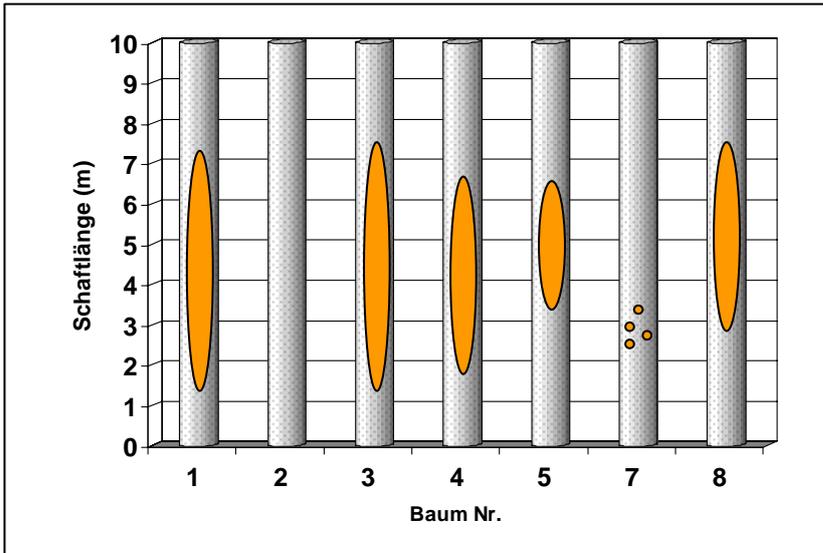


Abb. 31: Schematische Darstellung der Lage von punkt- bis bandförmigen Rindennekrosen an von Laubnutzholzborkenkäfer befallenen Buchenstammsegmenten im FA Hilchenbach (Juli 2002); siehe auch Abb. 2

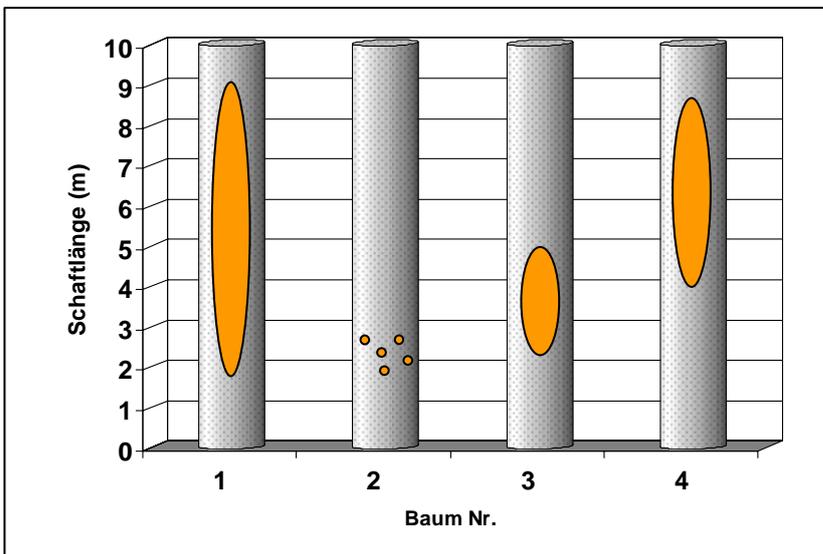


Abb. 32: wie Abb. 31 im FA Olpe (Juli 2002)

3.2 Mikroskopische Symptomatik und Isolierung von Pilzen in Mikronekrosen bei Buchen mittleren Alters

Die ausgewählten 14 Versuchsbäume (Hilchenbach: 9; Olpe: 5) wiesen alle schwachen bis sehr schwachen Buchenwollschildlauspunktbefall auf. In der sozialen Stellung waren in Hilchenbach jeweils 5 Buchen der Kraft'schen Klasse 1 und 2 zuzuordnen und in Olpe waren 3 Buchen vorherrschend und 2 Buchen mitherrschend. In der Einstufung der Kronenschadstufen im winterkahlen Zustand nach ROLOFF (1985) waren 12 Kronen „ohne Schadensmerkmale“ (Schadstufe: 0)

und 2 Buchen in Hilchenbach waren als „schwach geschädigt“ anzusprechen. Die Rindenoberflächen aller 14 Buchen zeigten beginnende Rindenrauhigkeit.

3.2.1 Mikroskopische Symptomatik der Frühstadien von Rindenekrosen (Mikronekrosen)

Die Abbildungen 33 bis 40 zeigen Rindenquerschnitte (Rindenstärke: jeweils 4 mm) durch Mikronekrosen und Detailaufnahmen in unterschiedlichen Vergrößerungen. In Abb. 33 und 34 sind Rindenmikronekrosen (N) mit geschlossenen Peridermien (P) mit unterschiedlicher Entwicklungstiefe abgebildet, die im Gegensatz zu den Abbildungen Nr. 35 und 36 das Kambium nicht erreichen. In den beiden letztgenannten Abbildungen ist bereits das Kambium (K) in kleinen Abschnitten nekrotisch (KN). In Abb. 37, 38 und 40 ist das oben liegende, äußere Rindengewebe nekrotisch (N) und durch ein hier rot angefärbtes Innenperiderm (P) von der noch gesunden, inneren Rinde (R) abgegrenzt. Dies gilt z. T. auch im Bereich der Sklerosebaststrahlen (Abb. 37 S links), die von geschlossenem Innenperiderm unterwandert und nach außen gedrückt werden können (Abb. 38 und 39). In den rechten Bildteilen der Abb. 37 und 40 sind die Peridermien dagegen schwächer ausgebildet oder fehlen ganz. In einem Fall wird das Periderm von einem Sklerosebaststrahl unterbrochen (Abb. 37 S rechts). Nach unten schließen in allen Bildern gesundes, inneres Rindengewebe (teilweise nicht bei Abb. 35 und 36) und weiter unten Kambium (K) und Holz (H) an.

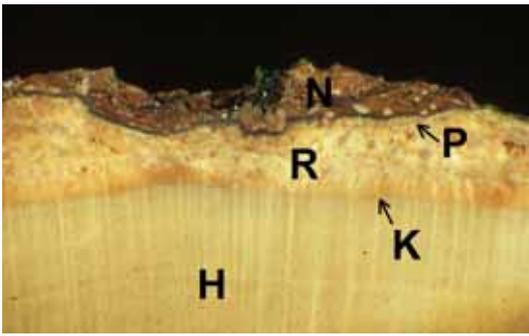


Abb. 33

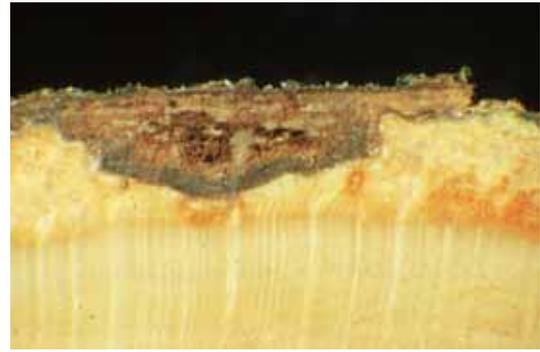


Abb. 34

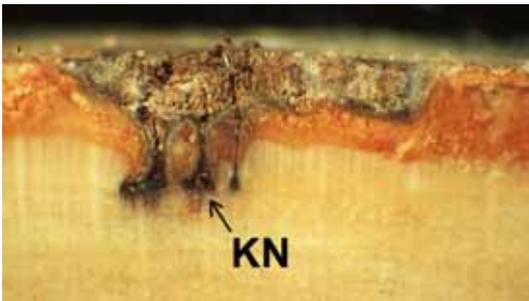


Abb. 35

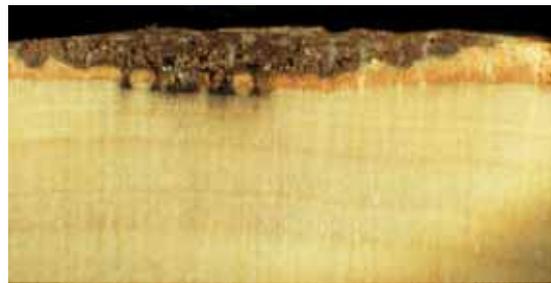


Abb. 36

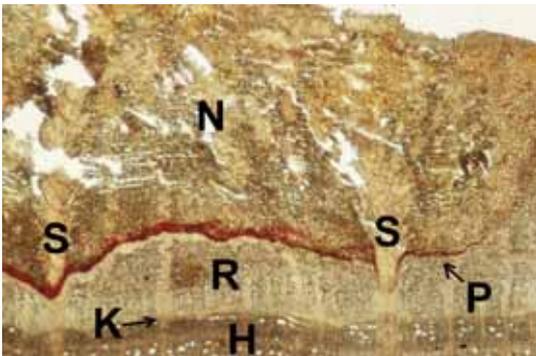


Abb. 37



Abb. 38



Abb. 39



Abb. 40

Abb. 33 bis 40: Mikrotomschnitte durch Rinden- und Kambiumnekrosen;
Erläuterung in Kap. 3.2.1

3.2.2 Isolierung von Pilzen aus Mikronekrosen

Insgesamt wurden aus den beprobten Mikronekrosen in Olpe 29, in Hilchenbach 34 Pilzarten isoliert (Tab. 4 und 5). Davon ließen sich 33-37% der sporulierenden Mycelien als *Cylindrocarpon candidum*, 3-5 % als *Cylindrocarpon album var. majus* und 1-3 % als *Cylindrocarpon willkommii* (Hauptfruchtformen siehe Tab. 6) bestimmen (siehe Abb. 49). Eine besonders hohe Isolierungsrate für *C. candidum* von 61% ergaben dunkelbraune Mikronekrosen in Hilchenbach. Auch bei Kontrollabimpfungen aus symptomloser Rinde ließ sich derselbe Pilz in geringer Rate (4%) isolieren. *Phytophthora sp.* wurde nicht isoliert. Beim Vergleich der Anteile gefundener parasitischer Pilze stiegen diese von 50 % (Hilchenbach) bis 57 % (Olpe) bei hellbraunen Nekrosen auf 77 % (Hilchenbach) bis 78 % (Olpe) bei dunkelbraunen Nekrosen an. Diese lagen überwiegend auf den Nordwest-, Nord- und Nordostseiten der Stämme (siehe Abb. 50) mit Ausnahme einer Buche in Olpe (siehe Diskussionsteil), zwischen Stammfuß und 7 m Höhe, mit Schwerpunkt in 1 bis 4 m Höhe (siehe Abb. 41 und 42).

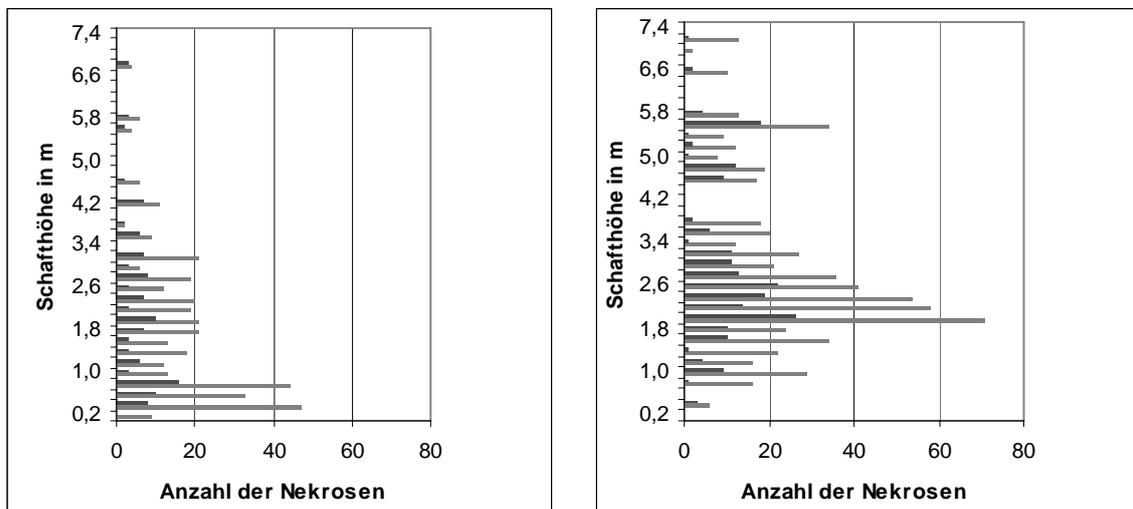
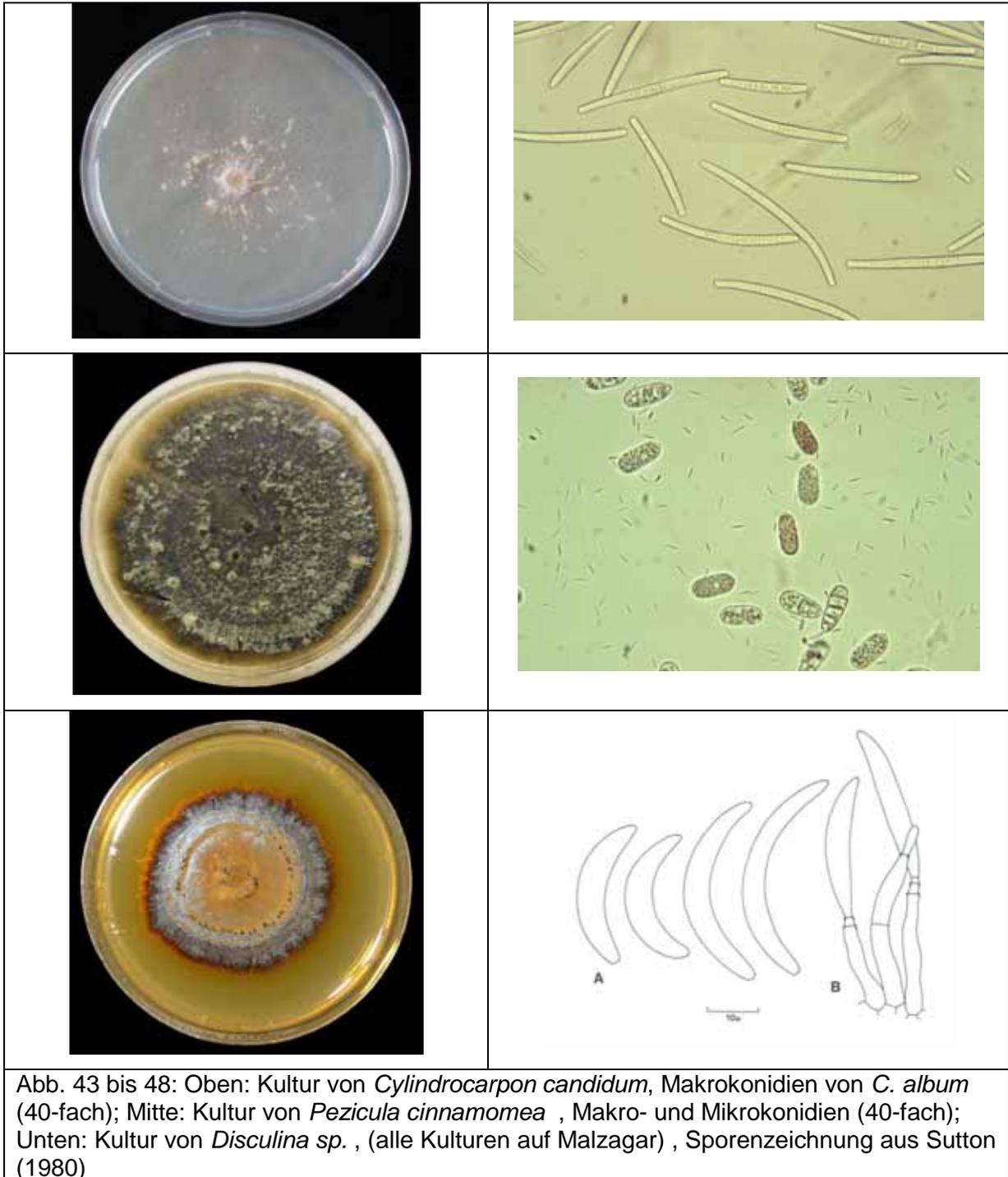


Abb. 41 und 42: Vertikale Lageverteilung aller Mikronekrosen am Stamm
 Links: Olpe: 5 Buchen → 380 Nekrosen; rechts: Hilchenbach: 10 Buchen → 639 Nekrosen
 graue Balken = alle Pilze; schwarze Balken = *Cylindrocarpon candidum*;

Anmerkung: Die Lücken rühren von der Notwendigkeit her, das Probenvolumen auf ein zu bewältigendes Maß zu reduzieren. Insofern wurden einzelne, höher gelegene Buchenrollen nicht beprobt.



Ergebnisse

Alle Isolate	Anzahl	Isolate aus hellbraun gefärbten Mikronekrosen	Anzahl	Isolate aus dunkelbraun gefärbten Mikronekrosen	Anzahl	Kontrolle	Anzahl
Cylindrocarpon candidum	214	Cylindrocarpon candidum	162	Cylindrocarpon candidum	52	Steril	22
Disculina sp.	99	Disculina sp.	92	Disculina sp.	6	Steriles Mycel	13
Steril	43	Steril	42	Cylindrocarpon album	5	Fusarium sp.	7
Steriles Mycel	43	Steriles Mycel	42	Cylindrocarpon willkommii	5	Bakterien	6
Neohendersonia sp.	24	Phoma sp.	24	Neohendersonia sp.	3	Acremonium sp.	5
Phoma sp.	24	Fusarium sp.	20	Acremonium sp.	2	Phoma sp.	5
Cylindrocarpon album	22	Neohendersonia sp.	20	Fusarium sp.	2	Phoma sp. 1	4
Cylindrocarpon willkommii	20	Cylindrocarpon album	17	Penicillium sp.	2	Cylindrocarpon candidum	3
Fusarium sp.	21	Acremonium sp.	15	Aposphaeria sp.1	1	Nodulisporium sp.	3
Acremonium sp.	18	Cylindrocarpon willkommii	15	Bakterien	1	Phialophora sp.	3
Bakterien	14	Bakterien	13	Hefe	1	Penicillium sp.	3
Trichoderma sp.	11	Trichoderma sp.	11	Neohendersonia kickxii	1	Aureobasidion sp.	2
Hefe	10	Hefe	9	Pezicula sp.	1	Chaetomium sp.	2
Aposphaeria sp.2	7	Aureobasidion sp.	7	Phialophora sp.	1	Neohendersonia sp.	1
Penicillium sp.	7	verunreinigt	7	Steril	1	Cladosporium sp.	1
Aureobasidion sp.	6	Aposphaeria sp.2	6	Steriles Mycel	1	Asterosporium asterospermum	1
Cryptosporiopsis sp.	6	Cryptosporiopsis sp.	6	---	--	Cytospora sp.	1
Cladosporium sp.	5	Penicillium sp.	5	---	--	Mucor sp.	1
Phialocephala sp.(c.f.)	5	Phialocephala sp.(c.f.)	5	---	--	Trichoderma sp.	1
Aspergillus sp.	4	Aspergillus sp.	4	---	--	Aspergillus sp.	1
Pezicula sp.	4	Cladosporium sp.	4	<p>Tab 4: aus Mikronekrosen isolierte Pilze (Versuchsbestand Hilchenbach) Farbgebung:  = parasitische Pilze  = Gattung mit parasitischen Pilzen (Einschätzung nach BRANDENBURGER 1985)</p>			
Asterosporium asterospermum	3	Asterosporium asterospermum	3				
Chaetomium sp.	3	Chaetomium sp.	3				
Cytospora sp.	3	Cytospora sp.	3				
Nodulisporium sp.	3	Nodulisporium sp.	3				
Phylosticta sp.	3	Pezicula cinnamomea	3				
Acremoniella sp.	2	Phylosticta sp.	3				
Phialophora sp.	2	Acremoniella sp.	2				
Acremonium sekt. Nectrioidea	1	Acremonium sekt. Nectrioidea	1				
Alternaria alternata	1	Alternaria alternata	1				
Diplodia sp.	1	Diplodina sp.	1				
Libertella faginea	1	Libertella faginea	1				
Pleurophomopsis sp.	1	Phialophora sp.	1				
Ulocladium sp.	1	Pleurophomopsis sp.	1				
Verticillium sp.	1	Ulocladium sp.	1				
verunreinigt	6	Verticillium sp.	1				

Alle Isolate	Anzahl	Isolate aus hellbraun gefärbten Mikronekrosen	Anzahl	Isolate aus dunkelbraun gefärbten Mikronekrosen	Anzahl	Kontrolle	Anzahl
Cylindrocarpon candidum	141	Cylindrocarpon candidum	118	Cylindrocarpon candidum	17	steril	18
Disculina sp.	65	Disculina sp.	65	Pezicula cinnamomea	7	Steriles Mycel	12
Steriles Mycel	33	Steriles Mycel	30	Neohendersonia sp.	5	Acremonium sp.	4
Neohendersonia sp.	29	Neohendersonia sp.	25	Cylindrocarpon album	5	Fusarium sp.	4
Cylindrocarpon album	20	Cylindrocarpon album	21	Disculina sp.	3	Nodulisporium sp.	4
Cryptosporiopsis sp.	16	Cryptospriopsis sp.	12	Steriles Mycel	3	Disculina sp.	3
Pezicula cinnamomea	13	Steril	10	Cryptospriopsis sp. 2	3	Asterosporium asterospermum	2
Steril	10	Pezicula sp.	7	Phialophora sp.	2	Phoma sp.	2
Fusarium sp.	8	Fusarium sp.	6	Pezicula sp.	2	Cladosporium sp.	1
Acremonium sp.	5	Acremonium sp.	5	Fusarium sp.	2	Cryptosporiopsis grisea	1
Cryptosporiopsis grisea	4	Cylindrocarpon willkommii	4	Cryptospriopsis sp.	1	Fusicoccum galericulatum	1
Cylindrocarpon willkommii	4	Cryptospriopsis grisea	4	Phoma sp.	1	Penicillium sp.	1
Penicillium sp.	4	Penicillium sp.	4	Fusicoccum sp.	1	verunreinigt	1
Phoma sp.	4	Phoma sp.	4	---		Xylaria sp.	1
Disculina sp. 2	3	Aureobasidion sp.	3	<p>Tab 5: aus Mikronekrosen isolierte Pilze (Versuchsbestand Olpe) Farbgebung:  = parasitische Pilze  = Gattung mit parasitischen Pilzen (Einschätzung nach BRANDENBURGER 1985)</p>			
Pezicula sp.	3	verunreinigt	2				
Aureobasidion pullulans	2	Xylaria sp.	2				
Phialophora sp.	2	Chaetomella sp.	1				
Verunreinigt	2	Diplodina sp.	1				
Xylaria sp.	2	Fusicoccum galericulatum	1				
Aureobasidion sp.	1	Libertella sp.	1				
Chaetomella sp.	1	Nodulisporium sp.	1				
Diplodina sp.	1	Septoria sp.	1				
Fusicoccum galericulatum	1	---	--				
Fusicoccum sp.	1	---	--				
Libertella sp.	1	---	--				
Neohendersonia kickxii	1	---	--				
Nodulisporium sp.	1	---	--				
Phoma sp. 1	1	---	--				
Septoria sp.	1	---	--				

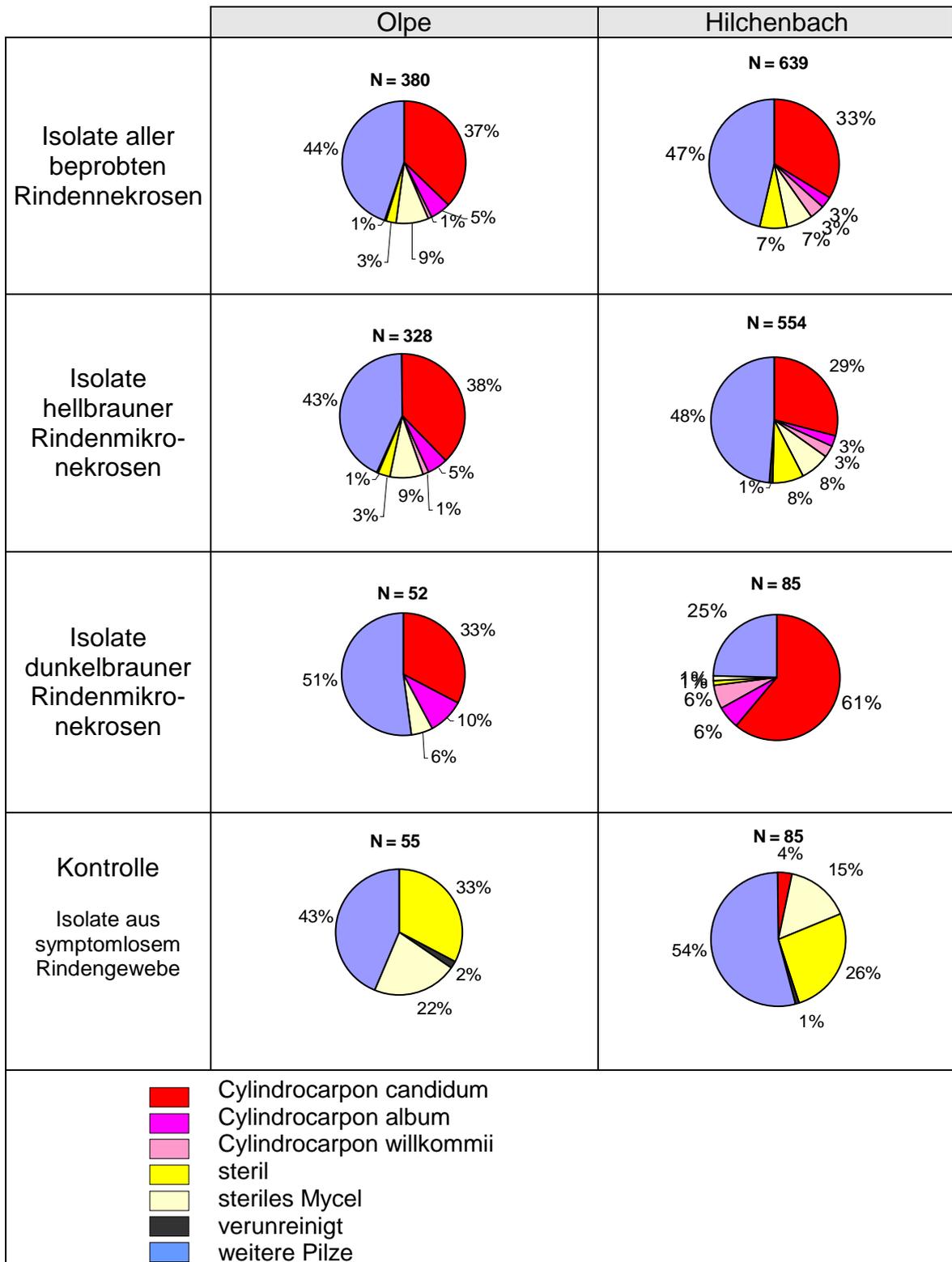


Abb. 49: In Buchenrindenmikronekrosen an 15 Buchen nachgewiesene Pilze

Anmerkung: alle Expositionen; N = Anzahl der Isolate; zusammengefasste Darstellungen der auf MEA - Streptomycin - Nährmedium und WA -Möhre -Nährmedium (vergl. Kap. 2.2.3.2) gefundenen Pilze, da diese einer Grundgesamtheit entstammten

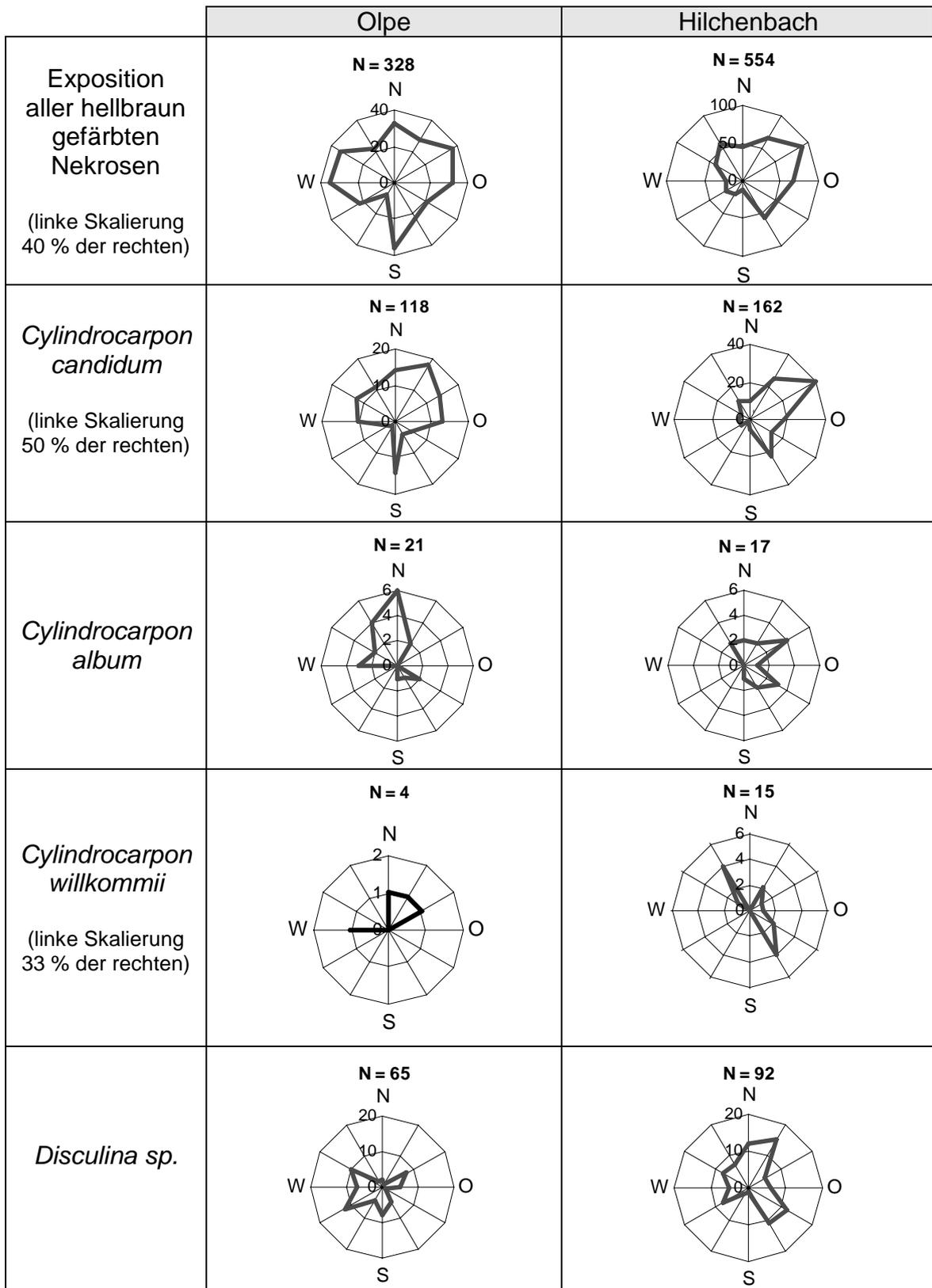


Abb. 50: Exposition der Nekrosen am Stamm; alle Bäume, alle Höhen, nur hellbraun gefärbte Nekrosen; N = Anzahl der Isolate;
Anmerkung: Die einzelnen Rosetten haben, zur besseren Visualisierung, unterschiedliche Skaleneinteilungen (absolute Zahlen) und sind somit nicht unmittelbar optisch miteinander vergleichbar.

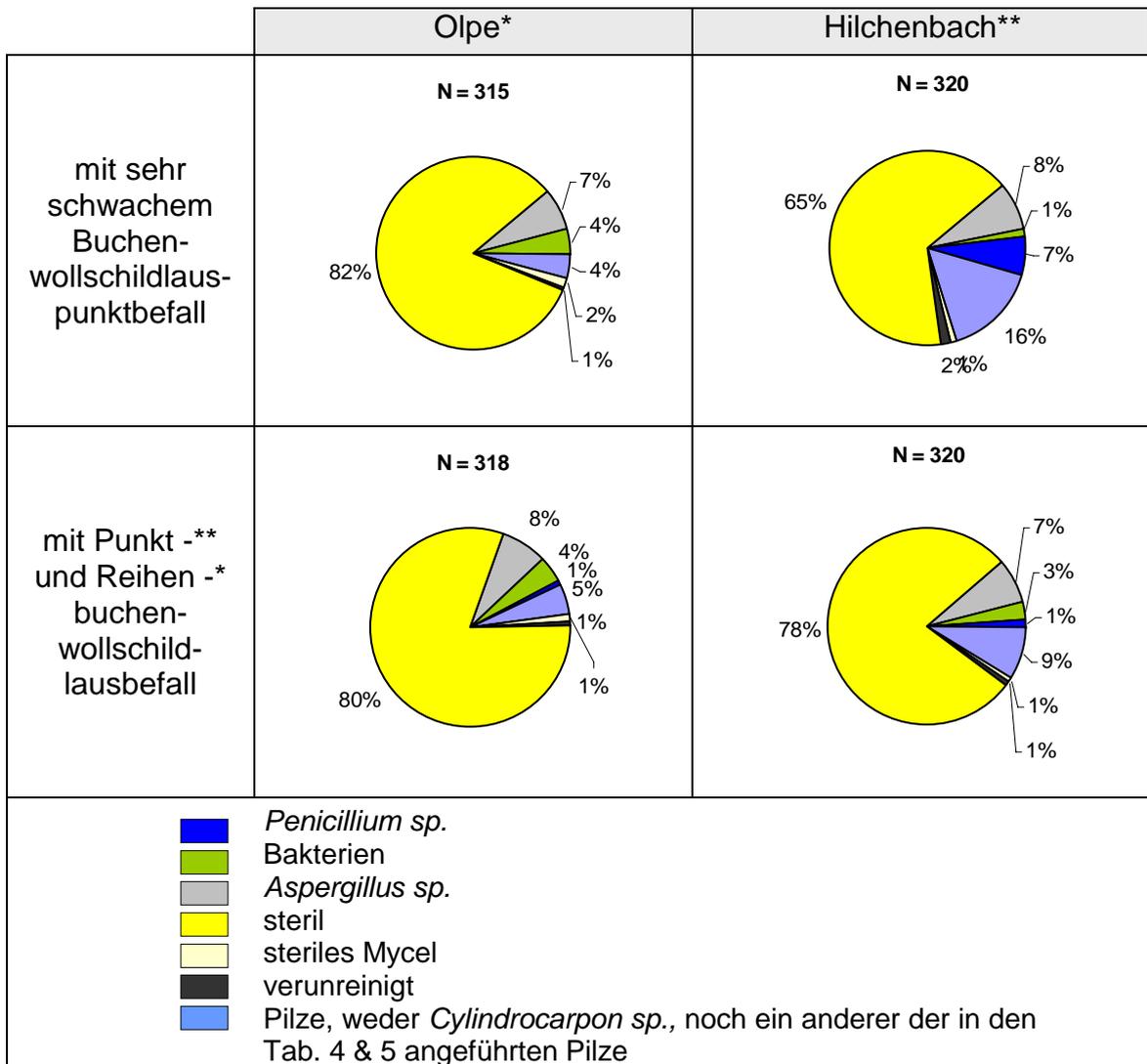


Abb. 51: Ergebnis der Untersuchung endophytisch in Buchenrinde lebender Pilze (alle Expositionen; N = Anzahl der Isolate)

3.2.3 Isolierung von Pilzen aus symptomlosem Gewebe

65 bis 82 % der aus symptomlosem Rindengewebe gewonnenen Isolate waren steril. In 4 bis 16 % der Fälle konnten Pilze nachgewiesen werden. *Cylindrocarpon sp.* war nicht zu isolieren (Abb. 51 und Anhang 10).

3.3 Wachstum und gegenseitiger Antagonismus isolierter Pilze auf Nährsubstrat

Für alle weiteren Untersuchungen wurden die am häufigsten gefundenen 5 Pilzisolat ausgewählt (siehe Tab. 4 und 5). Dieses waren: *Cylindrocarpon album*

(Sacc.) Wollenw. var. *majus*. Wollenw., *Cylindrocarpon candidum* (Link) Wollenw., *Cylindrocarpon willkommii* (Lindau) Wollenw. welche für die Entstehung von Rindenschäden der Buchen verantwortlich gemacht werden (BUTIN 1983, BOOTH 1966, LONSDALE 1980, PERRIN 1983a, EHRLICH 1934), der als Rindenkrebsverursacher (BUTIN 1983) bekannte und ebenso isolierte Pilz *Pezicula cinnamomea* (D.C.) Sacc. und schließlich der sehr häufig isolierte Pilz *Disculina* sp.. Die Hauptfruchtformen der Pilze und die zugewiesenen Kürzel sind Tab. 6 zu entnehmen.

Hauptfruchtform	Nebenfruchtform	Abkürzung
<i>Neonectria punicea</i> var. <i>ilicis</i>	<i>Cylindrocarpon album</i> var. <i>majus</i>	P1
<i>Neonectria coccinea</i>	<i>Cylindrocarpon candidum</i>	P2
<i>Neonectria ditissima</i>	<i>Cylindrocarpon willkommii</i>	P3
<i>Pezicula cinnamomea</i>	<i>Cryptosporiopsis quercina</i> Petrak	P4
<i>Disculina</i> sp.	---	P5

Tab. 6: Für Inokulationsversuche ausgewählte Pilze; Die Hauptfruchtformen der *Cylindrocarpon* spp. sind besser unter den Synonymen *Nectria* spp. bekannt

Bei den *Cylindrocarpon* spp. setzte eine hemmende Wirkung 11 Tage nach der Inokulation und ein Wachstumsstopp nach 14 Tagen ein. Die Wuchshemmung begann beim ersten Aufeinandertreffen der Mycelien. Bei den *Cylindrocarpon* spp. „verschmolzen“ quasi die Mycelien miteinander, wodurch keine okulare Unterscheidung mehr möglich war. Bei *Pezicula cinnamomea* und bei *Disculina* sp. blieben deutliche Trennlinien der Mycelien erhalten.

Um eine Regressionsanalyse und einen Signifikanztest mit SAS Routinen durchführen zu können, wurde als Maß der Pilzwachstumsgeschwindigkeit die Steigung logarithmierter, am Nullpunkt beginnender Wachstumskurven festgelegt (Länge = Parameter (Steigung) x Tag). Die Ergebnistabellen sind in Tab. 7 und Anhang 11 dargestellt. Die errechneten Bestimmtheitsmaße der Steigungskurven lagen zwischen 0,97 bis 0,99. Um den unterschiedlichen Wachstumsgeschwindigkeiten gerecht zu werden, wurden 3 verschiedene, an der Versuchszeit orientierte, ungehemmte Wachstumsverläufe als Kontrollen mit berücksichtigt. Pro Auswertung kamen stets nur die Werte des zuerst genannten Pilzes, im Vergleich zu den jeweiligen Kontrollen, zum Einsatz. Rangfolgen der Hemmwirkung wurden dann angegeben, wenn diese signifikant waren (siehe

Tab. 7). Fehlende Rangfolgen sind als Zeichen sehr hoher oder sehr geringer Wuchskraft zu werten (siehe „P2“ und „P5“). Auf Malzagar ergaben deren Wachstumsgeschwindigkeiten folgende signifikante Rangfolgen: in Einzelkulturen $P2 > P1 > P3 > P4 > P5$, in Dualkulturen $P1 > P2 > P3 > P4 > P5$. Dabei wurde P1 durch P3 und P4, P3 durch P2 und P4, sowie P4 durch P5 am stärksten gehemmt. Bei P2 und P5 waren keine signifikanten Rangfolgen der 4 „Gegenspieler“ zu finden.

3.4 Wachstum und gegenseitiger Antagonismus isolierter Pilze in Buchenrinde

3.4.1 Pilzwachstum in Buchenaststücken mit einer Inokulation

Das mittlere tägliche Nekrosewachstum der 5 ausgewählten Isolate in der Rinde frischer Aststücke bei 3 Temperaturen zeigt Abb. 52. Die statistische Auswertung wurde mit SPSS-Routinen und wegen inhomogener Varianzen mit dem Tamhane-Test durchgeführt. Bei der Variante 15° / 2° C floss der gefundene signifikante Zusammenhang des Aststückgewichts mit dem Nekrosewachstum in Form einer Kovariablen mit in die Berechnung ein. „P2“ zeigte im Vergleich zu allen anderen Pilzen, bei allen Temperaturvarianten, das größte pathogene Potential (siehe Tab. 8). Es ergaben sich folgende Rangfolgen:

bei 5°C : $P2, P4 > P1, P3 > P5, K$ (Kontrolle)

bei 15°C : $P2 > P1, P3, P4 > P5, K$

bei 15°/2° C : $P2, P1, P3, P4 > P5, K$.

Um das Wachstum eines jeden einzelnen Pilzes in Abhängigkeit von den gewählten Temperaturvarianten vergleichen zu können, wurde wegen des bestehenden Zusammenhangs zwischen Astgewicht und Nekrosewachstum der Variante 15° / 2° C, bei allen Pilzen das Astgewicht in Form einer Klassenbildung (2 Klassen: leichte und schwere Äste) berücksichtigt. Das Ergebnis des durchgeführten Tamhane Tests zeigt Tab. 9.

Wie dort zu entnehmen ist, wird das Wachstum von *Disculina sp.* auch bei 15°C nicht signifikant stimuliert. *C. album* kann bei der Variante mit wechselnden Temperaturen den kurzzeitigen Wärmegenuss nicht für ein signifikant höheres Wachstum nutzen, wohingegen dies *C. candidum* und *C. willkommii* können.

Auch *Pezicula cinnamomea* kann anscheinend kurzfristige Wärmegaben effizient nutzen, da keine signifikanten Unterschiede zwischen der 15° / 2° C - Variante und der 15° C Variante bestehen. Einzig und allein im Vergleich der 5°C - mit der 15°C -Variante wächst „P4“ signifikant schneller.

Paarung	Steigung	95 % Konfidenzintervall		Zeitspanne	Sigifikanz zur Kontrolle	Rangfolge der Hemm- wirkungen
		u. Grenze	o. Grenze			
P1 - P3	1,741	1,666	1,817	< 21 Tage	K2	3
P1 - P4	1,807	1,744	1,87	< 21 Tage	K2	3
P1 - P2	1,955	1,899	2,011	< 21 Tage	K2	2
P1 - P5	2,058	2,023	2,094	< 28 Tage	K3	1
P1 - K1	2,101	2,086	2,115	alle Tage		
P1 - K2	2,148	2,131	2,164	< 21 Tage		
P1 - K3	2,156	2,143	2,168	< 28 Tage		
P2 - P4	1,944	1,87	2,018	< 21 Tage	K2	0
P2 - P5	1,965	1,9	2,03	< 31 Tage	K3	
P2 - P3	1,986	1,931	2,04	< 21 Tage	K2	
P2 - P1	2,035	1,977	2,094	< 21 Tage	K2	
P2 - K1	2,201	2,162	2,241	alle Tage		
P2 - K2	2,435	2,384	2,485	< 21 Tage		
P2 - K3	2,332	2,29	2,374	< 31 Tage		
P3 - P2	1,711	1,654	1,769	< 21 Tage	K2	3
P3 - P4	1,727	1,668	1,786	< 21 Tage	K2	3
P3 - P1	1,773	1,705	1,842	< 21 Tage	K2	3
P3 - P5	1,82	1,773	1,868	< 31 Tage	K3	2
P3 - K1	1,951	1,923	1,979	alle Tage		
P3 - K2	1,929	1,869	1,989	< 21 Tage		
P3 - K3	1,963	1,928	1,998	< 31 Tage		
P4 - P5	1,218	1,201	1,235	alle Tage	K1	3
P4 - P2	1,388	1,363	1,414	< 28 Tage	K3	2
P4 - P1	1,496	1,467	1,525	< 24 Tage	n.s.	0
P4 - P3	1,52	1,497	1,554	< 28 Tage	n.s.	
P4 - K1	1,457	1,44	1,474	alle Tage		
P4 - K2	1,432	1,407	1,458	< 24 Tage		
P4 - K3	1,444	1,422	1,467	< 28 Tage		
P5 - P3	0,326	0,316	0,336	alle Tage	K1	0
P5 - P2	0,337	0,33	0,343	< 70 Tage	K3	
P5 - P4	0,347	0,34	0,354	< 70 Tage	K3	
P5 - P1	0,36	0,355	0,365	< 63 Tage	n.s.	
P5 - K1	0,355	0,351	0,358	alle Tage		
P5 - K2	0,366	0,363	0,369	< 63 Tage		
P5 - K3	0,362	0,359	0,365	< 70 Tage		

Tab. 7:
Wachstumsvergleich von
Dualkulturen

0 = keine signifikante
Rangfolge ableitbar
1 = Hemmwirkung signi.
schwächer zu 2
2 = Hemmwirkung signi.
schwächer zu 3
3 = stärkste
Hemmwirkung

Ergebnisse

Varianten	Signifikanz der mittleren täglichen Nekrosewachstumsfläche - SPSS, Tamhane Test - Irrtumswahrscheinlichkeit: 5 %							
	Umfang	N	Pilz	2	3	4	5	6
5°C	18	1	0,015	1,000	0,991	0,000	0,000	0,000
	18	2	-	0,045	0,073	0,000	0,000	0,000
	20	3	-	-	1,000	0,000	0,000	0,000
	20	4	-	-	-	0,000	0,000	0,000
	19	5	-	-	-	-	-	1,000
15°C	14	1	0,001	0,003	0,810	0,000	0,000	0,000
	19	2	-	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
	19	3	-	-	0,944	0,007	0,000	0,000
	17	4	-	-	-	0,002	0,000	0,000
	19	5	-	-	-	-	-	1,000
15°C / 2°C	20	1	0,115	1,000	1,000	0,009	0,009	0,009
	20	2	-	0,204	0,026	0,000	0,000	0,000
	19	3	-	-	0,726	0,000	0,000	0,000
	20	4	-	-	-	0,002	0,002	0,002
	18	5	-	-	-	-	-	1,000

Signifikanz des Wachstums eines Pilzes bei den 3 verwendeten Temperaturbereichen - Tamhane Test mit Klassenbildung - Irrtumswahrscheinlichkeit: 5 %		
Pilz	15°C	(15°C)2°C
P1	15°C	(15°C)2°C
5°C	0,000	0,175
15°C	-	0,012
P2	15°C	(15°C)2°C
5°C	0,000	0,016
15°C	-	0,057
P3	15°C	(15°C)2°C
5°C	0,016	0,004
15°C	-	0,871
P4	15°C	(15°C)2°C
5°C	0,008	0,688
15°C	-	0,090
P5	15°C	(15°C)2°C
5°C	0,760	0,699
15°C	-	0,700

Signifikanz, auf positiven Rängen basierender Wilcoxon-Test
Anzahl der Wertepaare: 6 bis 17;
Oberer Wert = berechneter R-Wert
Mittlerer Wert = Tafelwert
Unterer Wert = N
Irrtumswahrscheinlichkeiten:
5% = *; 2% = **; 1% = ***

Pilz	1	2	3	4
1	7,5 6 N = 11	0*** 5 N = 11	11* 11 N = 12	0*** 1 N = 8
2	-	52,5 35 N = 17	0*** 28 N = 18	0*** 13 N = 14
3	-	-	5 1 N = 7	2 1 N = 6
4	-	-	-	13 6 N = 9

Tab. 8 (oben links), **Tab. 9** (oben rechts):
Ergebnisse von Signifikanztests zum
Nekrosewachstum 5 verschiedener Pilze in der
Rinde von **Buchenaststücken** (je ein Inokulat
pro Knüppel) in Klimakammern bei 5°C, 15°C und
15°C / 2°C

Tab. 10 (links): Ergebnisse von Signifikanztest
zum Wachstum von 4 Pilzen in
Buchenaststücken bei 15°C mit zwei
Pilzinokulaten pro Knüppel (Antagonismustest)

Signifikanz keine Signifikanz

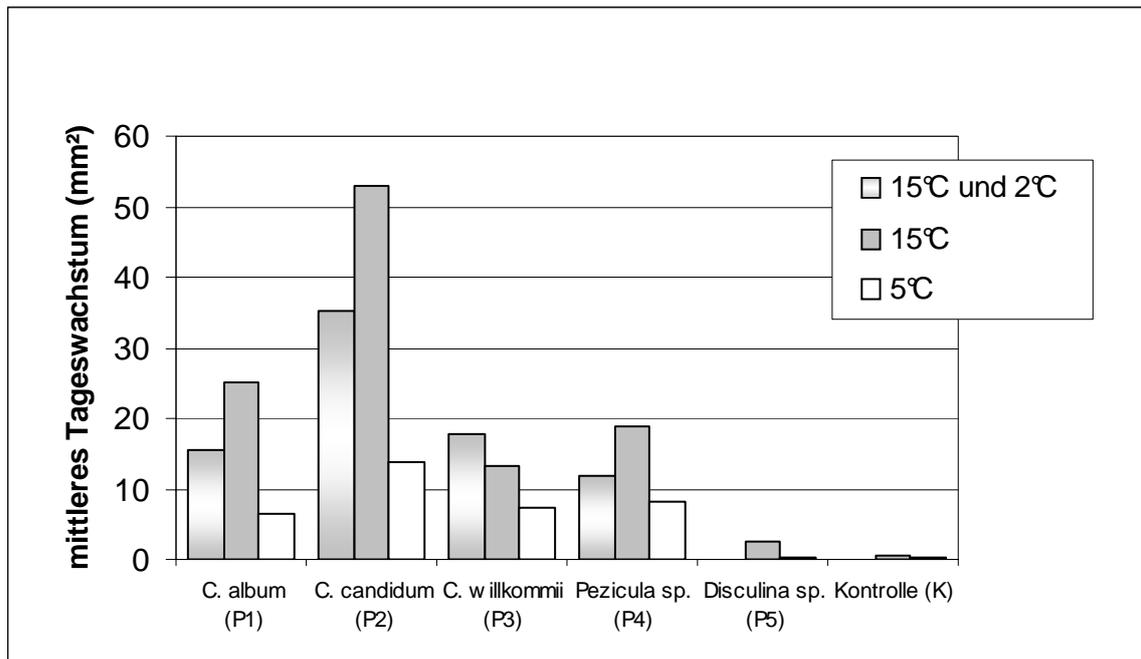


Abb. 52: Mittleres Tageswachstum von 5 Pilzen in Buchenaststücken bei unterschiedlichen Temperaturbedingungen (N=14 bis 20; Konfidenzintervall: 95%); Anmerkung: Die Kovariable „Astgewicht“ ist in dieser Grafik nicht berücksichtigt.

Die Abhängigkeit des „P2“-Wachstums von der Temperatur wurde mit dem F-Test, die Normalverteilung der Daten mit dem Shapiro-Wilk-Test geprüft (LOZAN UND KAUSCH 2004). Dabei ergab sich folgende Beziehung:

$$y = 0,3477 \cdot 0,0561x \quad (B^2 = 0,54).$$

Als Ergebnis der Rückisolierungen musste bei „P5“ (15°C/2°C) ein Buchenaststück wegen des Vorkommens eines nicht inokulierten Pilzes verworfen werden. Die Durchschnittsgewichte, deren Standardabweichung und die der verwendeten Buchenaststücke sind Tab. 11 zu entnehmen. Eine Auswahl des Bilddokumentationsmaterials zeigt Anhang 12.

	P1		P2		P3		P4		P5		K	
	X	Sx										
5°C	150,26	28,53	185,00	31,46	177,30	35,90	169,18	35,73	181,31	30,19	152,05	34,53
15°C / 2°C	147,57	25,91	149,27	33,93	159,16	26,98	161,50	34,27	157,38	32,42	165,79	44,09
15°C	152,06	30,65	160,64	41,58	158,30	24,14	163,27	24,97	165,65	35,90	158,71	34,87

Tab. 11: Mittlere Gewichte (in g) und Standardabweichung der Buchenaststücke P1 bis P5: N = 20 (P5, 15°C/2°C N = 19); K: N = 10

3.4.2 Antagonismus in Buchenaststücken mit zwei Pilzinokulaten

Aufgrund der fehlenden Normalverteilung der Daten wurde zur statistischen Prüfung der Nekroseentwicklung in Buchenaststücken mit 2 inokulierten Pilzen, der bei abhängigen Stichproben einsetzbare Wilcoxon-Test verwandt. Die Nullhypothese $\mu_1 = \mu_2$ ist dabei dann zu verwerfen und die Unterschiede als signifikant anzusehen, wenn der berechnete R-Wert kleiner/gleich der Signifikanzschranke der Wilcoxon Tabelle ist (LOZAN UND KAUSCH 2004, S.118). Das Ergebnis zeigt Tab. 10. Es lässt sich folgende signifikante Rangfolge der Wuchsgeschwindigkeit ableiten: „P2“ > „P1“ > „P3“, „P4“.

Der Versuch wurde nach 64 Tagen aufgrund von Ergebnissen der Probeschälungen beendet, da die „P2“ \leftrightarrow „P2“ Nekrosen komplett zusammengewachsen waren, sich bereits dunkelbraun verfärbt hatten und die akute Gefahr bestand, dass von den Seiten einwandernde Nekrosen die Bonitierbarkeit vereitelt hätten. Antagonistische Wirkungen traten nur mit ungleichen Pilzpartnern und nur dann auf, wenn *Pezicula cinnamomea* der Partner war. Konkret in 2 Fällen mit „P3“ und in einem Fall mit „P2“ (3 von 238 auswertbaren Fällen). *C. candidum* („P2“) war jedoch in der Lage, diese Hemmwirkung zu durchbrechen, die *Pezicula*- Nekrosen zu überwachsen und letztendlich das durch diesen Pilz vorgeschädigte Gewebe zu besiedeln (Abb. 53). Die Reisolierungen zeigten, dass „P2“ 5 % der „P1“- und 64 % der „P3“- Nekrosen überwachsen hatte. Weder „P1“, „P3“ und „P4“ waren hierzu in der Lage. Konnten die inokulierten Pilze bei den Rückisolierungen nicht gefunden werden, wurden diese Wertepaare in der Statistik nicht berücksichtigt (siehe N in Tab. 10). Die Beschreibung der Farbausprägung fusionierter Nekrosen reichte von hellbraun bis dunkelbraun, schwach bis stark marmorierte Nekrosen, ohne oder mit ausweisbarem hellem, mittelbraunem bis dunkelbraunem Rand, ohne erkennbare Demarkationslinien.

Eine Auswahl des Bilddokumentationsmaterials zeigt Anhang 13.

3.4.3 *Neonectria coccinea* - Wachstum in lebenden Buchen im Bestand

Die Kenngrößen der 10 Versuchsbäume zeigt Tabelle 11.

Nr.	Bonitur- datum Rinden- nekrosen	Bonitur- datum Kambium- nekrosen	BHD [cm]	Kraft' sche Klasse	BV [%]	Rindenstruktur 0 bis 3 (siehe Kap.: 2.3.4)		Höhe des jeweiligen Inokulationspunktes Nr. 3 (siehe Kap. 2.3.4) [cm]	
						S	N	S	N
1	13.09.06	13.9.06	29,7	2	20	1	1	150	120
2	09.06.06	13.9.06	23,9	2	0	1	1	150	143
3	13.09.06	13.9.06	21,6	2	15	1	1	140	140
4	13.09.06	13.9.06	21,5	2	0	1	1	120	100
5	13.09.06	13.9.06	25,7	2	10	1	1	120	120
6	09.06.06	13.9.06	24,4	2	0	1	1	136	130
7	09.06.06	13.9.06	25,0	2	0	1	1	140	135
8	09.06.06	13.9.06	24,6	2	0	1	1	165	155
9	09.06.06	13.9.06	22,5	2	0	1	1	133	140
10	27.04.07	27.04.07	27,1	2	0	1	1	150	120

Tabelle Nr. 11: Grunddaten der Versuchsbäume (sehr schwacher bis schwacher Buchenwollschilddlausbefall bei allen Buchen)

Aus den Ergebnissen der Dualkulturen und der Buchenastinokulationsversuche ging „P2“ als virulentester Pilz hervor, welcher deswegen für die Freilandinokulationsversuche ausgewählt wurde.

3.4.3.1 Rindennekrosen

Aus den im April 2005 in die Rinde von Freilandbuchen eingesetzten „P2“-Inokulaten entwickelten sich bei keiner Variante Nekrosen. Im Gegensatz dazu ergaben die Anfang Dezember 2005 eingebrachten „P2“-Inokulate bei Auswertungen im Juni 2006, September 2006 und April 2007 jeweils ca. 5 mal größere Rindennekrosen als die Kontrollen (Abb. 54, 55, 56).

Die Größe der mittleren Rindennekroseflächen unterschied sich weder zwischen den Nord- und Südseiten der Stämme noch zwischen den Boniturterminen (9.6.2006, 13.9.2006 und 27.04.2007) signifikant (Abb. 56).



Abb. 53, links: Rindennekrosen in Aststücken, 7 Wochen nach Inokulation (oben: P1↔P1, Mitte: P2↔P4, unten: P2↔P2) (rote Punkte: Inokulationsstellen im Abstand von 3 cm)

Abb. 54, Mitte: durch „P2“ Inokulationen hervorgerufene Rindennekrosen in einem lebendem Buchenstamm mit Saffluss (links) und Kontrollen ohne Saffluss (rechts; Abstand der Inokulationspunkte 10 cm)

Abb. 55, rechts: durch „P2“ Inokulationen hervorgerufene Kambiumnekrosen in einem lebendem Buchenstamm: 2 zusammengewachsene Nekrosen (links oben) und 3 Kontrollen (rechts)

3.4.3.2 Kambiumnekrosen

Bei den Bäumen Nr. 2, 6, 7, 8, 9 (siehe Tab. 12) wurde die Kambiumnekrosebonitur 91 Tage nach der Rindennekrosebonitur durchgeführt. Nur bei diesen Buchen entwickelten sich bei den Kontrollinokulaten messbare Nekroseflächen. Bei den restlichen 5 Buchen, bei denen die Kambiumnekrosen zur gleichen Stunde wie auch die Rindennekrosen gemessen wurden (Buchen Nr. 1, 3, 4, 5 am 13.09.06 und Nr. 10 am 27.04.07), hatten sich auch nach 275 resp. 501 Tagen nach der Inokulation bei den Kontrollen keinerlei Kambiumnekrosen entwickelt (siehe Anhang 14). In Konsequenz dieser Erkenntnisse und mit dem Ziel die Vergleichbarkeit der Messergebnisse zu unterschiedlichen Boniturterminen zu gewährleisten, wurde folgender mittlerer Korrekturfaktor „k“ festgelegt:

$$K = \frac{\text{Kambiumnekrosefläche der Kontrolle} \times 100}{\text{Kambiumnekrosefläche der „P2“ Inokulation}}$$

Für diese Berechnung wurden folgende korrespondierende Wertepaare der Kambiumnekroseflächen herangezogen: für die Inokulationspunkte Nr.1 jeweils die von Nr. 4, für Nr.2 die von Nr. 5 und für Nr.3 die von Nr. 6 (siehe Kap. 2.3.4

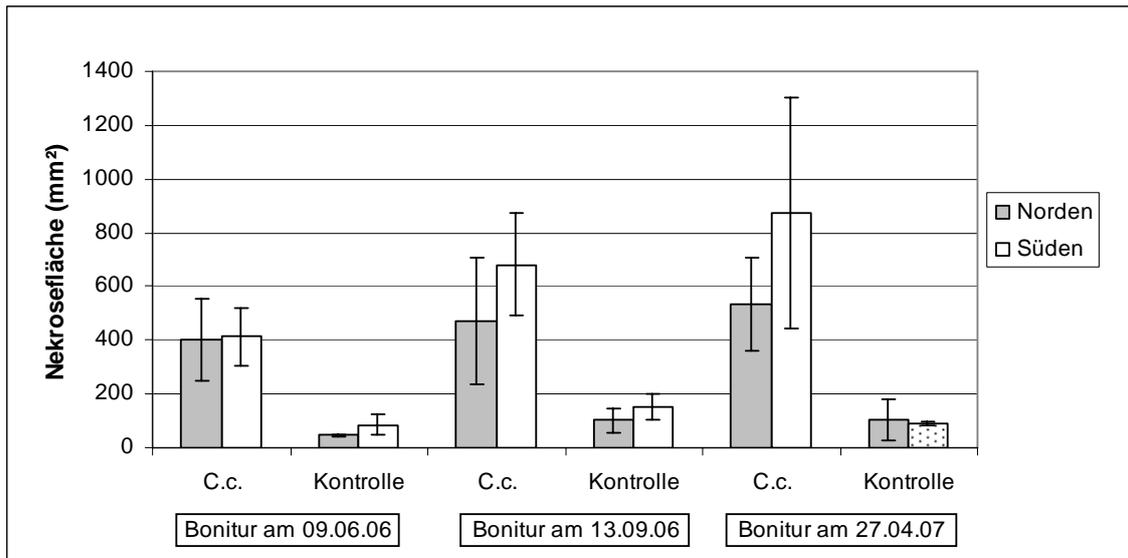


Abb. 56: Mittlere Rindennekroseflächen an stehenden, lebenden Buchen im Versuchsbestand Hilchenbach nach "P2" Inokulationen

Anzahl der bonitierten Buchen: Juni 2006: 5; September 2006: 4; April 2007: 1

Anzahl Inokulationspunkte je Mittelwert: Juni 2006: 15; September 2006: 10 - 12; April 2007: 3

Tage nach der Inokulation: Juni 2006: 179; September 2006: 275; April 2007: 501

Konfidenzintervall: 95 %

Anmerkung: Die Werte der Kontrollabimpfungen der April-2007-Bonitur sind nur nachrichtlich mit angeführt, da diese durch Überwallungen nur bedingt mit den anderen Daten vergleichbar sind.

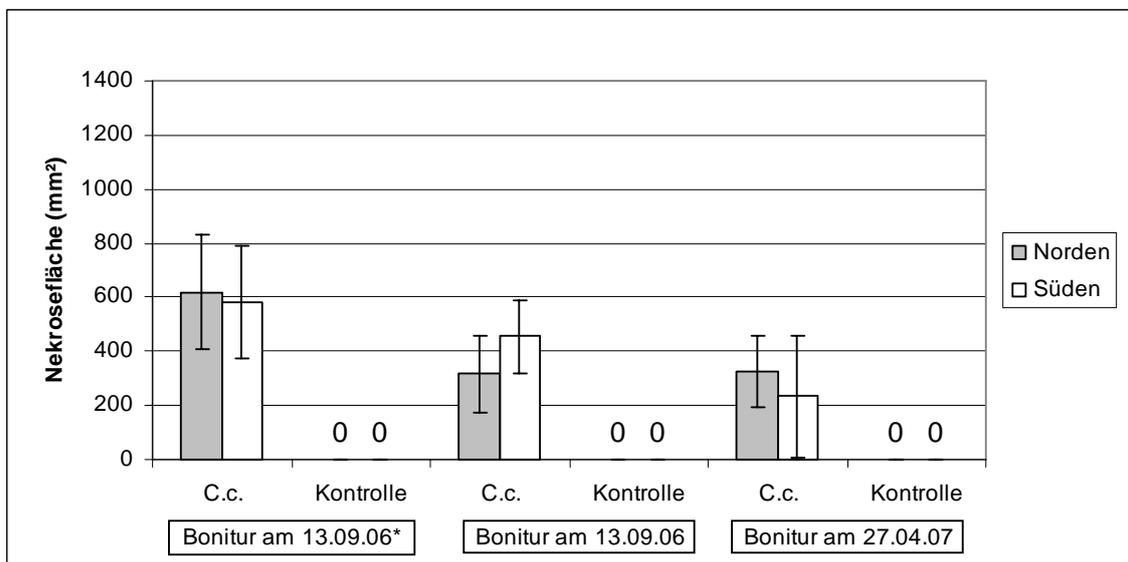


Abb. 57: Kambiumnekroseflächen an stehenden, lebenden Buchen im Versuchsbestand Hilchenbach nach "P2" Inokulationen

Anzahl der bonitierten Buchen: 13.09.2006: 9; 27.04.2007: 1

Anzahl Inokulationspunkte je Mittelwert: 13.09.2006*:15; 13.09.06:10-12; 27.04.2007: 3

Tage nach der Inokulation: 13.09.2006: 275; 27.04.2007: 501

Konfidenzintervall: 95 %

* = Die Bonitur erfolgte 91 Tage nach der am 09.06.06 durchgeführten Rindennekrosenbonitur; die Daten wurden mittels Korrekturfaktoren angepasst

Abb. 15). Für die Nordflanken wurde ein „K-Nord“ von 8,21 % (N=15) und für die Südflanken ein „K-Süd“ von 11,54 % (N=15) ermittelt.

Die Ergebnisse zeigt Abb. 57. In keinem Fall sind signifikante Unterschiede der Nekrosegrößen zwischen Nord- und Südflanken der Buchen erkennbar. Auch konnten keine Unterschiede zwischen den Boniturterminen gefunden werden.

In einem Fall wuchsen zwei Kambiumnekrosen zu einer, im Mittel 2 cm breiten und 16 cm langen Nekrose zusammen (Abb. 55, oben links).

Die Berücksichtigung eines Korrekturfaktors war erforderlich, da davon ausgegangen werden musste, dass durch die Oberflächenperidermentfernung und der damit einerseits einhergehenden Austrocknung des Rindengewebes und andererseits durch die Gewinnung der Rückisolierungsproben, wo weitere Rindenstücke entnommen wurden, die Abwehrkraft der Rinde gegen Nekroseentwicklungen verringert und die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Pilzes beschleunigt worden war. Ein Zusammenhang zwischen dem Nekrosewachstum und dem Astgewicht, als Maß der Austrocknungsgeschwindigkeit, konnte ja anhand der mit Buchenaststücken durchgeführten Versuche nachgewiesen werden (siehe Kap. 3.4.1) und ist aus Rindeninokulationsversuchen mit Pilzisolaten bei Pappelaststücken bekannt (KEHR 2004).

Eine Auswahl des Bilddokumentationsmaterials des Inokulationsversuches an lebenden Buchen zeigt Anhang 15.

3.4.3.3 Rückisolierungen

Bei den Rückisolierungen konnte zu 97 % der inokulierte Pilz „P2“ als Nekroseverursacher nachgewiesen werden. Folgende 2 Inokulationspunkte wurden verworfen: Baum 4 / Süden / Nr.1: *Fusarium sp.*, und Baum 4 / Süden / Nr.2: Bakterien.

3.5 Rindentemperaturmessungen

Von den platzierten 11 Temperaturfühlern [10 Fühler in die Rinde 5 ausgewählter Buchen; alle Kraft'sche Klasse 2, Rindenstruktur: 1 (vergl. Kap. 2.3.4) und ein Fühler für die Außentemperaturmessung] mussten die Messwerte von 7 Fühlern wegen zu hoher Messwerte und wegen Kurzschlüsse (Mäusefraß an den Kabeln) verworfen werden. Von den restlichen 4 Fühlern wurden 2, welche ohne Unterbrechungen zuverlässig funktionierten und an einer Süd- und Nordseite platziert waren, für die Auswertung der vom 01.01.05 bis zum 29.08.05 ermittelten 14.092 Temperaturdaten ausgewählt. Die Ergebnisse zeigen die Abb. 58 und 59. Die im Inneren der Rinde gemessenen Temperaturen, welche zu Tagesmittelwerten zusammengeführt wurden, lagen im Januar auf den von der Krankheit vorwiegend betroffenen Nordseiten der Stämme um 0,02 °C bis 1,08 °C höher, im August dagegen um 3,78°C bis 6,48°C niedriger als auf den Südseiten. Wie die Grafiken zeigen, sind die aus den gemessenen Werten dargestellten Unterschiede zwischen den Süd- und Nordflanken der Buchen in der Zeit vom 13.1. bis 16.1., am 23.1., am 26.1. und im gesamten August signifikant. Eine durchgeführte Korrelationsanalyse ergab keinen Zusammenhang zwischen dem Freilandniederschlag und dem Betrag der Differenz aus der Süd- und Nordflankentemperatur. Wegen fehlender Normalverteilung der Daten (Kolmogoroff-Smirnoff-Test) wurde als Test die Sperman-Rangkorrelation gewählt [($t_{\text{Student-Verteilung}} = 1,6555$ und $t_{\text{berechnet}} = 1,4542$; (LOZAN UND KAUSCH 2004)].

3.6 Zeitpunkt der Rindenschädigung

Der Beginn irreversibler Schädigung von Bast und Kambium wurde anhand der Jahrringe im Bestand Hilchenbach für 4 im Mai 2002 gefällte Buchen auf das Winterhalbjahr 1999/2000, für 7 in Hilchenbach und Olpe im Mai 2004 gefällte Buchen auf Winter 2001/2002 sowie bei einer Buche auf Winter 1999/2000 datiert (siehe Tabelle Nr. 12, Abb. 60 und 61, Anhang: 16). Bei Buche Nr. 9, Hilchenbach, wurde in der Buchenrolle Nr. 27, im Gegensatz zu den Stammrollensegment 4, 7 und 15, als Schadensjahr nicht 1999/2000 sondern 2001/2002 ermittelt.

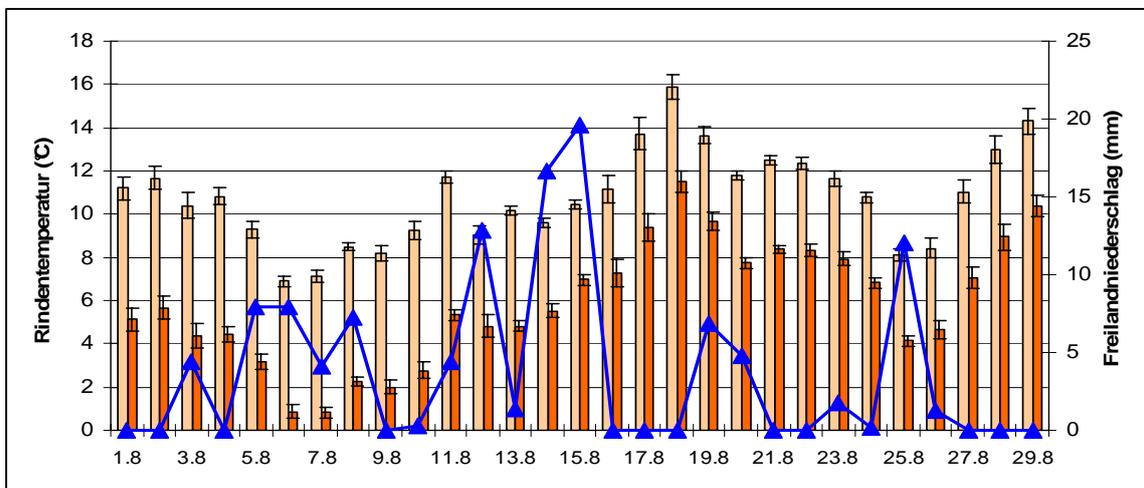
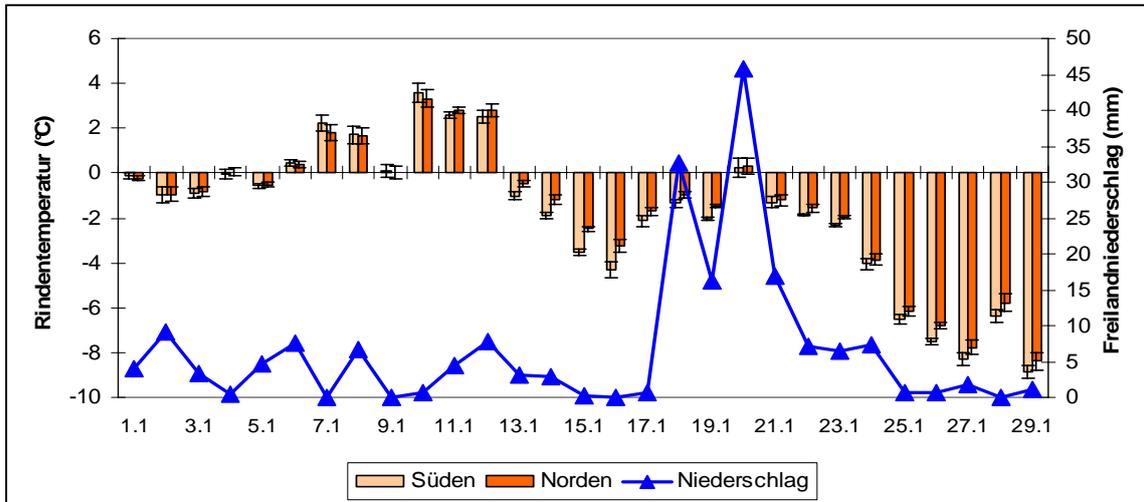


Abb. 58 und 59: Rindentemperaturen an südlichen und nördlichen Buchenflanken im Versuchsbestand Hilchenbach und Freilandniederschlag der LANUF (2007) Messstation Hilchenbach Elberndorf im Januar 2005 (oben) und August 2005 (unten), Signifikanzniveau: 95 %; N je Tagesmittelwert: 48

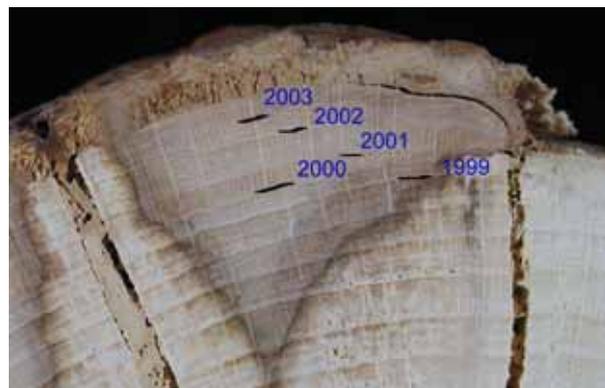


Abb. 60 / 61: Buche Nr. 9 aus Hilchenbach, Stammscheibe aus 3,0 m Höhe; Fällung: Mai 2004; Kambialschaden im Winter 1999/2000; Folgeschaden durch Echten Zunderschwamm mit charakteristischen Demarkationslinien (BUTIN 1989)

Versuchs- Bestand	Fälljahr	Baum Nr.	Rollensegment Nr. **	Auskeilender Jahrring [Ja ←→ Nein]	Schadensjahr (k.S. = kein Schaden)		
Hilichenbach	2002 *	1	---	Nein	1999 / 2000		
		3	---	Ja	1999 / 2000		
		4	---	Nein	1999 / 2000		
		8	---	Nein	1999 / 2000		
	2004	2	6		Nein	k.S.	
			11		Nein	2001 / 2002	
			14		Nein	k.S.	
			18		Nein	k.S.	
			26		Nein	k.S.	
		5	3		Nein	k.S.	
			10		Nein	2001 / 2002	
			23		Ja	2001 / 2002	
			28		Nein	2001 / 2002	
			38		Nein	k.S.	
		9	4		Nein	1999 / 2000	
			7		Nein	1999 / 2000	
			15		Nein	1999 / 2000	
			27		Nein	2001 / 2002	
		10	14		Nein	2001 / 2002	
			18		Ja	2001 / 2002	
			19		Ja	2001 / 2002	
			24		Nein	2001 / 2002	
		Olpe	2004	1	1	Ja	1999 / 2000
					2	Nein	1999 / 2000
	3				Nein	1999 / 2000	
	7				Nein	1999 / 2000	
	2		7		Nein	k.S.	
			15		Nein	2001 / 2002	
22				Nein	2001 / 2002		
36				Nein	2001 / 2002		
45				Nein	2001 / 2002		
4	2			Nein	2001 / 2002		
	6			Nein	2001 / 2002		
	10			Nein	2001 / 2002		
	12			Nein	2001 / 2002		
	14			Nein	k.S.		
5	3			Nein	2001 / 2002		
	6			Nein	2001 / 2002		
	9			Nein	2001 / 2002		
	12			Nein	2001 / 2002		
	18			Nein	2001 / 2002		
	22			Nein	k.S.		

Tab. 13: Ergebnisse untersuchter Stammscheiben zur Bestimmung des Schadensjahres;

* = vergl. Abb. 31;

** = für das Fälljahr 2004 können Rollensegmentnummern angegeben werden → vergl. Anhang 4



Abb. 62 (links): zwei Weißfäulestellen, rechts mit und links ohne Kambiumnekrose, Baum Nr. 5, Olpe, Rollensegment aus 2,20 m Stammhöhe, Scheibendurchmesser: 18 cm

Abb. 63 (rechts): Weißfäulestelle mit Kambiumnekrose in der Vergrößerung

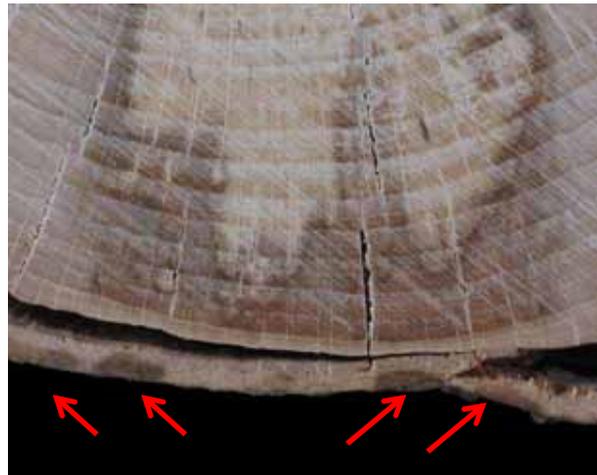


Abb. 64 (links) : von innen nach außen fortschreitende Weißfäulestellen, ohne Kambiumnekrosen und ohne Jahrringausfall, Baum Nr. 5, Olpe, Rollensegment aus 2,40 m Stammhöhe, Scheibendurchmesser: ca. 18 cm

Abb. 65 (rechts): Vergrößerung des Bereiches der punktuellen Rindennekrosen (rote Pfeile)

4. Diskussion

4.1 Beteiligung von Laubnutzholzborkenkäfer am Schädgeschehen

Zu Beginn der aktuellen Buchenschäden führte auffälliger Borkenkäferbefall (*Xyloterus domesticus*) auch an sonst äußerlich symptomlosen Buchen zu der Annahme, es könne sich um eine neue, durch den Käfer primär verursachte Form der Krankheit handeln. An den hier untersuchten, von Käfern befallenen Buchen waren jedoch stets auch Rindennekrosen verschiedener Größe vorhanden. Wären diese durch Käfer verursacht worden, so hätten auch die jüngsten Nekrosen stets schon Befall zeigen müssen. Dies wurde jedoch nicht beobachtet. Auch das in Abb. 2 mit Nadeln markierte Verteilungsmuster des Käferbefalls innerhalb und außerhalb einer älteren, sich ausdehnenden Nekrosezone lässt eher auf sekundäre Besiedlung als auf primäre Verursachung der Nekrose durch die Käfer schließen. Es ist vielmehr anzunehmen, dass die Nekrosen vor dem Käferbefall entstanden sind und anschließend die Tiere, entsprechend bisheriger Kenntnis, durch alkoholische Duftstoffe angelockt wurden (FWF RHEINLAND-PFALZ 2003). HOLIGHAUS UND SCHÜTZ (2006, S. 127) bestätigen dies und führen an, dass z.B. bereits in Weichbastnekrosen solche Lockstoffe gebildet werden. Wie eine Einzelbeobachtung zeigte, können zwar gelegentlich auch Einbohrversuche von Käfern an nekrosefreien Buchen, wahrscheinlich angelockt durch benachbarte nekrotische Bäume, gelegentlich vorkommen; sie blieben im beobachteten Fall jedoch erfolglos und führten nicht zu Nekrosen. Solche „Fehlleitungen“ durch Lockstoffe sind bei Borkenkäfern bekannt (AG WALDSCHUTZ 1993).

Das beobachtete Welken einzelner Starkäste in den Unterkronen von Altbuchen ist als Folge der sich darunter befindlichen Nekrosen zu verstehen. PARKER (1974) schreibt Kambiumnekrosen bei Buchen eine Beeinträchtigung der tracheidalen Wasserleitfähigkeit mit nachfolgender Blattwelke zu. BUTIN (1989) führt die Gelbfärbung der Blätter von Buchenästen, welche von *Nectria ditissima* befallen wurden, auf die durch den Pilz hervorgerufene Behinderung des Wasser- und Nährstofftransportes zurück. In den vorliegenden Fällen traten Blattwelken aber nur dann auf, wenn neben den Nekrosen auch Borkenkäferbefall festzustellen war, welcher stets unterhalb solcher Äste am

Rande von Rindennekrosen vorkam. Inwiefern die bis 5 cm tief ins Holz reichenden Bohrgänge (Abb. 66) ein Kollabieren der Wasserleitgefäße ausgelöst haben, wurde nicht untersucht. Ein Einfluss dieser Bohraktivitäten auf die Blattwelke kann aber aufgrund der Beobachtungen nicht ausgeschlossen werden.

Es muss weiterhin davon ausgegangen werden, dass die Anlage von Borkenkäfergangsystemen (siehe Abb. Nr. 66 und 67) die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Weißfäuleerregern (z.B. Zunderschwamm: *Fomes fomentarius* u.a.) beschleunigte (WULF & PEHL 2005).



Abb. 66 und 67:
ein 5 cm ins Holz reichender Fraßgang von *Xyloterus domesticus* L. (Escherich, 1923)
mit Weißfäule; Baum Nr. 10, Hilchenbach, Rollensegment aus 4,80 m Stammhöhe

Insgesamt sprechen die genannten Befunde, wie auch alle bisherigen Kenntnisse, aber gegen ein primäres Auftreten von *X. domesticus* im Ursachenkomplex der aktuellen Buchenerkrankung. Zu diesem Schluss kommen auch LANGENFELD-HEYSER et al. (2006).

4.2 Regionalität des Auftretens der Buchenrindennekrose und Exposition der Schäden am Stamm

Die Regionalität des Auftretens der Buchenrindennekrose ist von früheren Schadereignissen bekannt. So lagen nach SCHINDLER (1951) die damaligen

Schadgebiete zu 89 % oberhalb 200 m, mit Schwerpunkt zwischen 300 und 400 m Meereshöhe. Auch die typischen Symptome, lange, spindelförmige Nekrosen mit randlichen Wachstumszonen, entsprechen früheren Darstellungen der Krankheit (ZYCHA 1959 & 1960). Die bei den aktuellen Schäden vorwiegend auf der Schattseite der Stämme festgestellte Lage der Nekrosen wurde vor dieser aktuellen Buchenrindenerkrankung noch nicht beschrieben (SCHINDLER 1951, ZYCHA 1959 & 1960, DIMITRI 1967, BRAUN 1977, SCHÜTT & LANG 1980, LUNDERSTÄDT 1990, PETERCORD 1999). VETTER (2002) konnte anhand einer im gleichen Hilchenbacher Versuchsbestand durchgeführten Schadensbonitur eine hohe Abhängigkeit der Rindenschäden von der Exposition, mit deutlicher Dominanz an nördlichen Stammteilen, bestätigen.

4.3 Einfluss von Lufttemperatur und Niederschlag auf das Schädgeschehen

Als prädisponierende und auslösende Faktoren werden in der Literatur vor allem extreme Hitze, Trockenheit oder Frost angenommen (DIMITRI 1967, ECKSTEIN et al. 1984, SCHINDLER 1951, SCHWERTFEGER 1963, RUGE 1950, WOBST 1950, ZYCHA 1960). Eine Prädisposition durch Hitze und Trockenheit ist in den hier untersuchten Beständen jedoch weitgehend auszuschließen, da sie in niederschlagsreichen, höheren Lagen stocken, die Schäden in einer Periode anhaltend kühlfeuchter Jahre entstanden sind und diese nahezu ausschließlich einseitig auf der Schattseite der Stämme liegen. Extreme Spätwinterfröste können zwar an Buchen lange streifenförmige Nekrosen verursachen, die aber vorwiegend auf der Sonnenseite der Stämme liegen (HARTMANN et al. 1995) und damit als Ursache schattseitiger Schäden ausscheiden. Das ausschließliche Vorkommen der aktuellen Schäden in höheren Mittelgebirgslagen und ihr überregional zeitgleiches Auftreten legten auch bei der aktuellen Buchenrindenerkrankung die Annahme von Witterungsereignissen als Auslöser nahe, so z. B. in Belgien die Frühfröste am 22./ 23. November 1998 mit Tagesminima von -10 bis -16°C (HUART u. RONDEUX, 2001). Dies ließ sich jedoch für NRW nicht bestätigen.

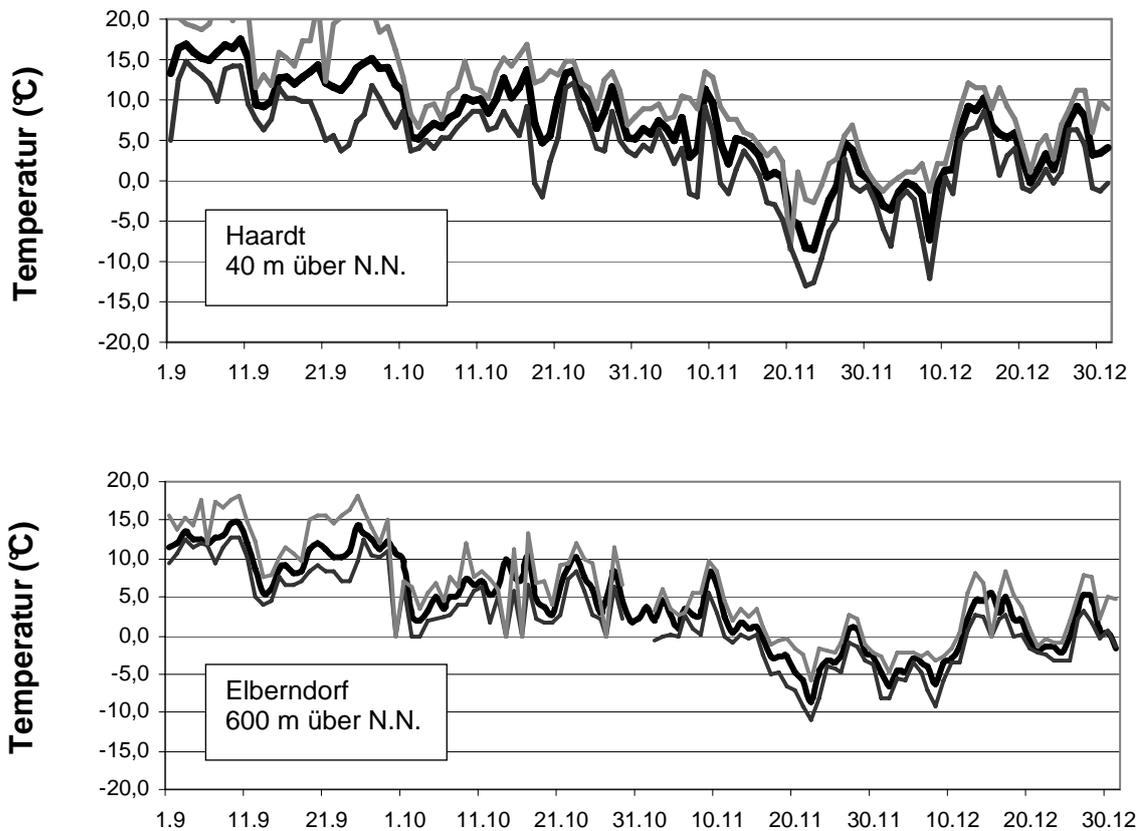


Abb. 68 und 69: Lufttemperaturverlauf in den Waldklimamessstationen Hard und Elberndorf in der Zeit vom 01.09.1998 bis 31.12.1998; Tagesmittel-, -minimum- und -maximumwerte;

Dort zeigt ein Temperaturvergleich für Herbst 1998 zwischen den Waldklimastationen „Haard“ (FA Recklinghausen) und „Elberndorf“ (FA Hilchenbach; Abb. 68 und 69), dass in der ungeschädigten Niederungslage tiefere Minima (bis -13°C) und größere Temperaturdifferenzen auftraten als in der geschädigten Mittelgebirgslage (bis -11°C). Frühfrost als prädisponierender Faktor oder Auslöser wurde auch nach experimenteller Prüfung durch FIEBELKORN (2006) ausgeschlossen. Stattdessen wird für die Schadgebiete in NRW, als ausschlaggebender Witterungseinfluss, anhaltend hohe Feuchtigkeit in milden Wintern angenommen und wie folgt begründet. Bei den untersuchten Buchen wurde als Zeitpunkte primärer Schädigungen die Winterhalbjahre 1999/2000 und 2001/2002 bestimmt (siehe Kap. 3.6). Diese beiden Schadensschübe fallen weitgehend zusammen mit einer regenreichen Periode

von Herbst 1998 bis Herbst 2001. Als Schadensjahr gilt das Jahr, in dem die Jahrringbildung durch eine bis zum Kambium reichende Rindennekrose erstmalig ausgefallen ist (ZYCHA 1960). Kambiumnekrosen sind im Gegensatz zu Rindennekrosen wegen der ausfallenden und/oder der auskeilenden Jahrringe analytisch verifizierbar. Beim ersten Schadereignis wurde im Nekrosebereich nach Abschluss des Jahrrings 1999 kein weiterer Jahrring mehr gebildet. Die bis zum Kambium reichende Nekrose muss also in der Zeit zwischen Vegetationsabschluss 1999 und Vegetationsbeginn 2000, in höheren Lagen etwa Mitte Mai (MENNEKES 2002), entstanden sein.

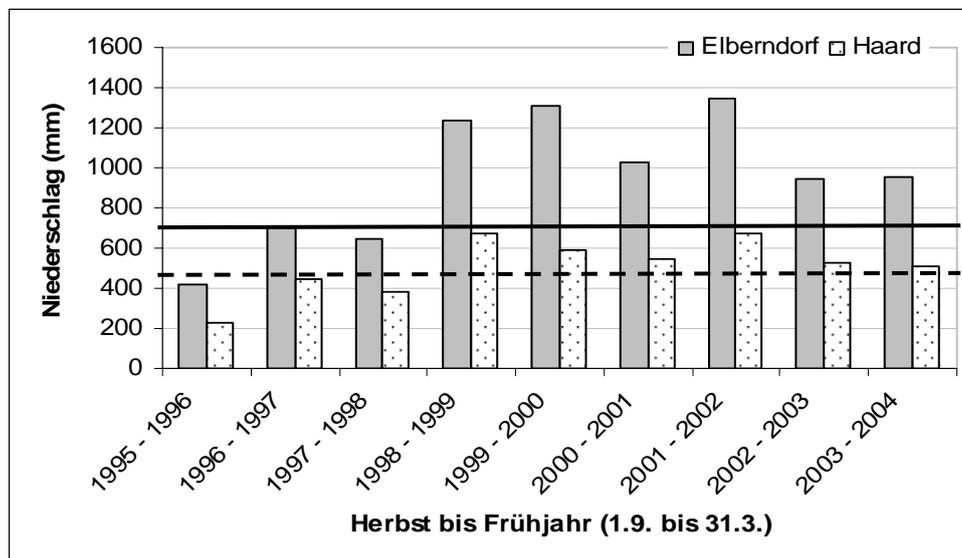


Abb. 70: Niederschlagsverhältnisse außerhalb der Vegetationsperiode in Buchenbeständen bei 40 m über N.N. (Haard) und 600 m über N.N. (Elberndorf) (LANUF 2007)

30 - jähr. Mittel (1.9. bis 31.3.) der Wetterstationen
 — Altastenberg (782 m ü. N.N.)
 Kleve (45 m ü. N.N.) (MURL 1989)

Ein Vergleich der Niederschläge in diesem Zeitraum an den oben angegebenen Waldklimastationen (Abb. 70; LANUV 2007) zeigt für den genannten Zeitraum in der geschädigten Mittelgebirgslage teils um mehr als 100 % höhere Niederschläge als in der schadensfreien Niederung, wo ca. 30 % der nordrhein-westfälischen Buchenbestände wachsen (vergl. Anhang 1) und nahezu die doppelte Niederschlagsmenge im Vergleich zum 30-jährigen Mittel. Außerdem

trocknet die Schattseite der Stämme, auf der die Nekrosen liegen, nach Niederschlagsereignissen deutlich langsamer ab als die Sonnenseite (NIESAR 2001). Daher dürften die Stämme auf der Schattseite in den Winterhalbjahren 1999/2000 und 2001/2002 an der Rindenoberfläche fast durchgehend feucht gewesen sein und dadurch günstige Bedingungen für die Sporenkeimung und das Eindringen eines Pilzes in das Wirtsgewebe geboten haben. Dies gilt allgemein als wichtige Voraussetzung für die Entstehung von Pilzinfektionen (STRASBURGER 1978, S.636), wie sie hier als Ursache der Rindennekrosen angenommen wird.

4.4 Einfluss der Rindentemperatur auf das Schadgeschehen

Die durchgeführten Temperaturmessungen in Buchenrinde (Kap. 3.5) zeigen, dass in der Regel im Sommer die südlichen Buchenflanken signifikant höhere Temperaturen aufwiesen als die Nordflanken. Im Winter hingegen konnten zum überwiegenden Teil keine signifikanten Unterschiede zwischen den Temperaturen der Rindensüd- und Rindennordflanken gemessen werden. Bei Minusgraden waren jedoch an 6 Tagen des Januar 2005 die Tagesmittelwerte der Nordflanken signifikant wärmer als die der Südflanken (siehe Abb. 58). Dies ist nur durch die beim Gefrieren von Wasser freiwerdende Erstarrungswärme (4,2 kJ pro Liter Wasser; EIMERN VAN, & HÄCKEL 1979) dann plausibel erklärbar, wenn die Nordflanken im Gegensatz zu den Südflanken nass waren, wovon ausgegangen werden kann. Dieses bestätigt somit auch indirekt die in Kapitel 4.3 angeführten Untersuchungsergebnisse über das unterschiedliche Abtrocknungsverhalten von nördlich und südlich exponierten Buchenrindenflanken. Es ist nicht auszuschließen, dass sich Temperaturunterschiede auch durch Verdunstungskälte einstellen. Um dies zu belegen, sollten in weiterführenden Untersuchungen zur Klärung dieser Frage auch Rindenoberflächenfeuchtigkeit, Windstärke, Windrichtung und Globalstrahlung erfasst werden.

Wie auch die Klimakammerversuche mit Buchenaststücken zeigten (Kap. 3.4.1), hat die Temperatur einen wichtigen Einfluss auf das Pilzwachstum. Da

das parasitische Myzelwachstum des Erregers in der Rinde auf die Ruhezeit beschränkt ist, in der die Abwehrmechanismen des Wirtsgewebes inaktiv sind und die Temperaturen oft nur wenig über dem Minimum für das Myzelwachstum liegen, könnte die Temperatur im Inneren der Rinde darüber hinaus als Minimumfaktor für das Nekrosewachstum wirken. Ein derartiger Zusammenhang wurde für Phomopsis-Nekrosen in Douglasienrinde belegt (HARTMANN 1976). Da die gefundenen höheren Rindentemperaturen der nördlich exponierten Rinde jedoch ausschließlich bei Minustemperaturen im Winter, wo Pilzwachstum nicht möglich ist, gefunden wurde, können die festgestellten Rindentemperaturunterschiede die nördliche Dominanz der Schäden nicht erklären.

4.5 Die Rolle von Endophyten am Schadgeschehen

Wie in Abb. 49, rechts unten dargestellt, wurde in symptomlosem Rindengewebe in geringem Umfang *C. candidum* isoliert. Dies nährte den Verdacht, dass *N. coccinea* endophytisch im Rindengewebe als endogener Antagonist gegen Buchenwollschilddlausbefall auftreten könnte. Solche symbiontischen Verhaltensmuster sind z.B. bei Ahorn und dem Blattpilz *Diplodina acerina* zur Abwehr der Ahorn-Fenstergallmücke (WULF 1990), aber auch bei Eichen-, Linden- und Buchenblättern bekannt (PEHL 1999). Die Ergebnisse (Abb. 51) konnten diesen Verdacht nicht erhärten. Dies deckt sich mit den Veröffentlichungen von KOWALSKI & KEHR (1992) und DANTI et al. (2002) die *N. coccinea* ebenso nicht in symptomlosem Buchenrindengewebe fanden.

4.6 Der Einfluss von Weißfäuleerregern auf das Schadgeschehen

Weißfäule hervorrufende Pilze gelangen im Bereich von Kambiumnekrosen über Rindenrisse in das Holz (ZYCHA 1960, S. 4) und sind in der Lage austrocknendes Holz zu besiedeln. Wie aus den Abb. 62, 64 und 65 zu entnehmen ist, kann sich aber eine im Stamm etablierte Weißfäule, unabhängig von einer auf gleicher Höhe bestehenden Kambiumnekrose, im Stamminnern nicht nur horizontal sondern auch vertikal in Bereiche ohne Kambiumnekrosen hinein ausbreiten. Im Stamminnern müssen augenscheinlich weniger

Abwehrmechanismen zur Verhinderung des Pilzwachstums zur Verfügung stehen als im physiologisch aktiven, noch ungeschädigten kambiumnahen Bereich und/oder die geringeren Feuchtigkeitsverhältnisse des Stamminnern (KNIGGE UND SCHULZ 1966, S. 129) entsprechen mehr den ökologischen Wachstumsansprüchen von Weißfäuleerregern. Die Abbildungen zeigen aber auch eine von innen nach außen gerichtete Ausbreitungstendenz der Fäule, welche den Schluss nahe legt, dass dies eine Erweiterung einer Kambiumnekrose über ggf. mehrere Jahre hinaus bewirken könnte. Dieser Effekt wurde bei Baum Nr. 9, Rollensegment 27, Hilchenbach gefunden (siehe Tab. 13), wo die Kambiumschädigung im Vergleich zu den restlichen Rollensegmenten ein Jahr später datiert werden konnte.

4.7 Die Rolle von *Neonectria coccinea* am Schadgeschehen

Als biotischer Ursachenfaktor der Buchenrindennekrose gilt der Ascomycet *Nectria coccinea* (Pers. ex Fr.) Fries., in der neueren Literatur als *Neonectria coccinea* (Pers. Ex Fr.) Fries bezeichnet (CASTLEBURY et al. 2006), im Zusammenwirken mit der Buchenwollschildlaus (LONSDALE 1980, PERRIN 1980, PARKER 1974, 1975). Auch in der vorliegenden Untersuchung wurde dieser Pilz als häufigster und am stärksten pathogener Besiedler von Frühstadien der Buchenrindennekrose ermittelt (siehe Tabellen 4 & 5 und Abb. 49). Dabei stieg der Anteil von *C. candidum* (Nebenfruchtform von *Neonectria coccinea*) von 29% in jüngeren, auf 61 % in älteren Mikronekrosen im Versuchsbestand Hilchenbach an. Die Ergebnisse von LYR (1967), welcher bei untersuchten Mikronekrosen in 52 % der Fälle *N. coccinea* nachweisen konnte, bestätigen grundsätzlich die Werte. Wie die Ergebnisse des Antagonismusversuches mit Buchenaststücken (Kap. 3.4.2) anhand der durchgeführten Reisolierungen belegen (siehe auch Abb. 53, Mitte), war *N. coccinea* als einziger der geprüften Pilze in der Lage, durch andere pathogene Pilze vorgeschädigtes Gewebe erfolgreich zu besiedeln. Da die ursprünglichen Pilze nicht mehr nachzuweisen waren, kann davon ausgegangen werden, dass *N. coccinea* über erhebliche antagonistische Fähigkeiten verfügt, welche den Anstieg des Anteils in älteren Mikronekrosen erklärt.

Weitere *Nectria* [*Neonectria*]-Arten (*N. punicea*, *N. ditissima*) wurden aus den Mikronekrosen sehr viel seltener isoliert und zeigten geringere Pathogenität als *N. coccinea*. Ihnen wird daher keine Bedeutung als Ursachenfaktoren der Buchenrindennekrose beigemessen. Dem Pilz *N. ditissima* kommt jedoch im Zusammenhang mit der auch in NRW in höheren Lagen verbreiteten Rauhborigkeit der Buchen Bedeutung zu (vergl. GRÜNER U. METZLER 2006). Diese in den beiden Versuchsbeständen auf die Stammfüße beschränkte Erscheinung ist deutlich zu unterscheiden von der weiter oben am Stamm auftretenden Buchenrindennekrose. In älteren Beständen, wo die Rauhborigkeit an feuchten Stammfüßen mehrere Meter hoch reichen kann, kommt es jedoch bisweilen auch zu Überlagerungen mit Buchenrindennekrose.

4.7.1 Schlussfolgerungen aus den Inokulationsversuchen an lebenden

Buchen

Die Infektionsversuche an lebenden Buchen im Freiland haben wesentliche jahreszeitliche Unterschiede in der Entwicklung der Nekrosen ergeben. *N. coccinea*-Inokulationen im Frühjahr 2005 haben in keinem Fall, im Spätherbst dagegen zu 100% zur Entwicklung von Rindennekrosen geführt. Letztere haben sich in der anschließenden Vegetationszeit, zwischen zwei Aufnahmen im Juni und September 2006 und auch innerhalb des Winters 2006/2007, nicht mehr signifikant vergrößert (siehe Abb. 56). Die *N. coccinea*-Nekrosen konnten also offenbar in der lebenden Rinde nur während der unmittelbar an die Infektion anschließenden Winterruhe wachsen und erreichten innerhalb dieser Zeit ihre maximale Ausdehnung, was sich mit den Erkenntnissen von ZYCHA (1960) deckt. Erfolgt eine Infektion während der Vegetationsperiode, können Buchen Rindennekrosen durch die Anlage von Innenperidermien abgrenzen, wie dies die durchgeführten Rindengewebeschnitte auch für Mikronekrosen belegen (siehe Abb. 33 und 34) und wie BRAUN (1977) dies aufzeigte. Wie in Abb. 39 zu sehen ist, sind Buchen ferner in der Lage Sklerosebaststrahlen zu unterwandern, diese nach außen abzudrängen, dort geschlossene Peridermien zu bilden und somit tiefreichende, sich zu Kambiumnekrosen ausweitende Rindennekrosen erfolgreich zu verhindern. Diese Fähigkeiten sind auf die

Vegetationszeit beschränkt. Nur wenn ein Periderm komplett den nekrotischen Bereich umschließt, ist die Ausdehnung des Pilzes einzudämmen. Erfolgen die Infektionen im Herbst, können solche Abschlußgewebe zwar begonnen, aber ggf. nicht mehr ganz geschlossen werden, wie die Abbildungen 37 und 40 belegen. Von dort aus kann der Pilz weiteres Gewebe besiedeln, da, genau wie auch bei Winterinfektionen, Buchen erst wieder im darauf folgenden Frühjahr Abwehrmaßnahmen beginnen können. Eine bevorzugte Entwicklung von *Nectria*-Nekrosen in Buchenrinde während der Winterruhe haben auch ZYCHA (1960), PARKER (1975) und Perrin (1980) beobachtet. Solche jahreszeitlichen Anfälligkeitsunterschiede lebender Baumrinde für Pilzinfektionen sind auch für weitere, sehr verschiedenartige Wirt-Parasit-Kombinationen, z. B. Douglasie *Phomopsis pseudotsugae*, *Citrus limon* *Phytophthora citrophthora* (HARTMANN 2007; HARTMANN & NIENHAUS 1974), bekannt und daher von allgemeiner Bedeutung. Wie jedoch an Buche Nr. 9 (siehe Tab. 13) gezeigt werden konnte, kann sich anscheinend eine Kambiumnekrose über eine Zeitspanne von mehr als einem Winter hinaus vergrößern, wenn sich im Stamminnern bereits Weißfäule ausgebreitet hat (siehe Abb. 64 und 65). Dabei führt die Weißfäule, oft vom Stamminnern heraus, zum Absterben des Kambiums. AREND et al. (2006, S. 15) geben bei geschädigte Buchen eine Nekrosewachstumszeit von bis zu 4 Jahren an.

Die Infektionsversuche des Versuchswinters 2005/2006 zeigten keine signifikanten Unterschiede in der Nekrosenflächenausdehnung zwischen nördlicher und südlicher Exposition (Kap. 3.4.3.1 und Abb. 56 und 57). Dies deutet darauf hin, dass im Versuchswinter andere ökologische Rahmenbedingungen herrschten als in den Schadenswintern 1999/2000 und 2001/2002 mit dominierenden nördlichen Schadensausprägungen. Tatsächlich lagen einerseits die Temperaturen des Versuchswinters unter denen der Schadensjahre (siehe Anhang 17) und andererseits fielen im Versuchswinter vergleichsweise mit 957 mm nur ca. 70 % des Niederschlags der Schadensjahre (vergl. Abb. 70). Auch kamen an die Versuchsbuchen nur geringe Buchenwollschildlausdichten vor (siehe Tab. 12, vergl. Kap. 4.7.4).

4.7.2 Einfluss der Rindenkonstitution

Die Dominanz der nördlichen Expositionen der aktuellen Schäden lässt die Vermutung zu, dass für die Ausdehnung der Nekrosen im Inneren der Rinde auf der Schattseite der Stämme offenbar günstigere Bedingungen herrschen als auf der Sonnenseite. Es kann daher angenommen werden, dass ggf. die schattseitige Rinde nicht nur äußerlich günstige Keimbedingungen bietet, sondern auch eine besondere Prädisposition für die Ausbreitung des *Nectria*-Myzels im Inneren aufweisen oder diese auf andere Weise begünstigen könnte. STIEFEL (1996) beschreibt, dass Buchenwollschildläuse in der Latenz, wegen des Schutzes vor Verwehung, Austrocknung und Abwaschung, bevorzugt an Nord- bzw. Nordostseiten der Stämme zu finden sind. Aus einer Einzelbeobachtung im Versuchsbestand Olpe ist dafür eine Bestätigung abzuleiten. Dort war die Dichte am unteren Stamm im Norden höher und erreicht in 2 m Höhe eine expositionsneutralere, gleichmäßigere Verteilung. Anscheinend beginnt der Dichteanstieg am nördlichen, unteren Stammabschnitt und breitet sich von dort nach oben und in alle Himmelsrichtung aus (siehe Anhang 18). Wie PETERCORD (1999) anführt, können geringe Lausdichten aber weder Kambiumnekrosen verursachen, noch bewirken sie eine Förderung des Pilzwachstums, da geringe Dichten in der Buchenrinde die Produktion fungizider, das Pilzwachstum behindernder Stoffe (Taxifolinderivate) hervorruft. Schwingt sich jedoch die Lauspopulation zu höheren Dichten auf, kann ein Befallslevel erreicht werden, welcher diese Situation umkehrt und eine massive Wachstumsförderung von *N. coccinea* bewirkt (siehe Kap. 4.7.3, PERRIN 1983b). PETERCORD (1999, S.165) führt weiterhin an, dass es bei Buchen mit starkem, ggf. das Wachstum von *N. coccinea* förderndem (siehe oben) Befall kein Zusammenhang zwischen dem Befall und der Stammexposition gibt. Der Lausbefall alleine kann somit die nördlich dominierte Schadensausprägung der aktuellen Buchenerkrankung nicht erklären.

4.7.3 Infektionsverlauf

Die aus toter Rinde hervorbrechenden Perithezien von *Neonectria coccinea* entlassen bei Befeuchtung ganzjährig Ascosporen, die in Wassertröpfchen suspendiert im Bestand verdriftet werden (PARKER 1974, BUTIN 1983). Zur anschließenden Keimung und Infektion ist länger anhaltende Befeuchtung der Rinde nötig. Diese ist vorwiegend auf der Schattseite der Buchenstämme gegeben, wo auch über 90% der Nekrosen liegen (vergl. Abb. 50). Vereinzelt auf anderen Stammseiten im Versuchsbestand Olpe gefundene Nekrosen waren z. B. durch südlich vorgelagerte Fichten vollständig beschattet und dadurch ebenso feucht (siehe Kap. 3.2.2). Außerdem benötigt *N. coccinea* zur Infektion „Eintrittspforten“ im Außenperiderm der Buchen. Diese können kleine Wunden oder aufgrund des Dickenwachstums entstandene stecknadelkopfkleine Mikrorisse (PERRIN 1979, 1980) oder Lentizellen (LANGENFELD-HEYSER et al. 2006, GRÜNER U. METZLER 2006) sein. Nach LANGENFELD-HEYSER et al. (2004) und FIEBELKORN (2006) gehen frühe Stadien von Rindennekrosen bei Buchen in den meisten Fällen von Lentizellen aus. Die von EHRLICH (1934) postulierte, infektionsfördernde Wirkung von Wollausbefall (*Cryptococcus fagisuga*), dürfte weniger in der Schaffung von Eintrittspforten (durch Wollausbefall entstehen Schrumpfungen der Rinde mit nachfolgender Rissbildung) bestehen, sondern viel mehr die anschließende Ausbreitung des Pilzmyzels im Inneren der Rinde, im Sinne einer Prädisposition, erleichtern.

4.7.4 Ablauf der Erkrankung

Unter Berücksichtigung der sommerlichen Wachstumshemmung der Rindennekrosen ergibt sich aus den vorliegenden Befunden und der Literatur folgendes Bild von der Größenentwicklung der Nekrosen im Jahresablauf der Befallsjahre: Nach erfolgreicher Infektion der durchgehend feuchten Nordflanken im Herbst 1999 hatte der Pilz bis zum Einsetzen der Abwehrreaktionen der Rinde im nächsten Frühjahr Zeit, die zunächst entstandenen Mikronekrosen in Abhängigkeit von Temperatur, Feuchtigkeit und Rindenkonstitution (PERRIN 1980) zu vergrößern. Dabei können anfangs oft kleinere Nekrosen zu größeren zusammenwachsen (Abb. 55), wobei *N.*

coccinea nicht nur sehr effizient auch geringe Temperaturanstiege (wie in Kap. 3.4.1 belegt) sondern auch von anderen Pilzen vorgeschädigtes Gewebe (wie in Kap. 3.4.2 nachgewiesen), zur Ausbreitung nutzen kann. Meterlange Nekrosen entstehen in der Zeit von Anfang September bis etwa 20. Mai, in der Kambium und Abwehr nicht aktiv (ESCHRICH 1955) und die Entwicklungsbedingungen für den Pilz optimal sind. Für diese 263 Tage wurden, unter Zugrundelegung der Wintertemperaturdaten 1999/2000, theoretisch erreichbare Nekroselängen von 12,5 - 21,6 cm errechnet. Die Werte ergeben sich durch Einsetzen der Tagesminima und -maxima der Temperatur in die in Kap. 3.4.1 aus den Klimakammerversuchen mit Buchenaststücken ermittelte Gleichung für die Temperatur/ Wachstumsbeziehung. Die 2002 im Freiland vorgefundenen Nekrosen erreichten aber Längen von bis zu 3 - 7 Meter. Mehrere Gründe sprechen dafür, dass die in Labor und Klimakammern unter künstlichen Bedingungen erreichten Nekrosegrößen nur die Untergrenze der im Freiland möglichen Größen sind. Die im Laborversuch verwendeten Aststücke entstammten der Krone einer Altbuche. Die Pathogenität von *N. coccinea* ist aber in der Rinde von Buchenästen, wegen des geringeren Ca^{2+} -Gehaltes als in Stammrinde und der damit verbundenen schwächeren Pektinase-Aktivität, geringer als in der Rinde von Stämmen (PERRIN 1983a). Die Aststücke waren außerdem frei von Wollausbefall und daher für *N. c.* schwerer zu besiedeln als Wirtsgewebe, das durch Enzyme im Speichel der Läuse prädisponiert worden wäre (PERRIN 1983b). *N. coccinea*-Nekrosen in Buchenrinde werden bei Anwesenheit dichter Wollauskolonien 10 bis über 20-mal größer als ohne Lausbefall (PERRIN 1980). Für die verwendeten, wollausfreien Aststücke wären daher bei Wollausbesatz 10-20-fach größere Nekrosen von 1,25 m bis 4,32 m anzunehmen. Diese Korrektur ist zulässig, wenn die Freilandbuchen 1999 und davor (BRAUN 1977) dichten Buchenwollschildlausbefall aufgewiesen haben. Für den Versuchsbestand Hilchenbach und die Jahre 1998-2001 fehlen zwar Befallsdaten, aber für die Jahre 2002 und 2004 ist ein sehr hoher Anteil befallener Buchen der Befallsklassen 1 und 2, vereinzelt auch 3 bis 5, sowie das Fehlen völlig befallsfreier Stämme im Zuge der Versuchsbaumauswahl festgestellt worden.

Es kann daher angenommen werden, dass die in 2002 untersuchten Buchen auch 1998/99 von Wollläusen befallen waren (PETERCORD 1999, S. 93). Eine weitere Schwächung der Abwehrkraft der Buchen dürfte durch ihr starkes Fruktifizieren im Jahr 2000 (MENNEKES 2002) eingetreten sein. Nach LUNDERSTÄDT (1992) stehen nämlich bei starker Fruktifikation oder bei Stimulation des Wachstums in Folge von Durchforstungen weniger Stoffwechselprodukte für Abwehrreaktionen gegen Schadorganismen zur Verfügung. HANS und KOOPMANN (2006) vermuten, dass auch erhöhte Stickstoffeinträge die Abwehrkraft der Buchenrinde, durch ein Umschalten des Biosyntheseweges von abwehrrelevanten zu proteingebundenen Phenolen, schwächt. Da in den untersuchten Schadensgebieten Nordrhein-Westfalens der „Critical Load“ für Stickstoffeinträge mit 10 – 20 kg pro ha und Jahr überschritten wird (GEHRMANN UND BECKER 2001), ist ein solcher, auf das Schädgeschehen verstärkender Einfluss, nicht auszuschließen. Insgesamt sprechen die genannten Gründe dafür, dass die Ausdehnungsgeschwindigkeit der *N. coccinea*- Nekrosen im Freiland wesentlich größer war als die aufgrund der Laboruntersuchungen errechnete. Abb. 71 zeigt ein mögliches Schema zum Ablauf der aktuellen Buchenrindenerkrankung in Nordrhein-Westfalen.

4.8 Erkrankungen anderer Baumarten

Wenn die dargestellten Zusammenhänge zutreffend sind, müssten ggf. auch bei anderen Baumarten auffällige pilzliche Erkrankungen in der niederschlagsreichen Periode von Winter 1998/1999 bis zum Winter 2001/2002 aufgetreten sein. Dies kann für Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*) bestätigt werden. GOSSENAUER-MAROHN (2000) berichtete, dass 1999 im Bereich des Vogelsbergs, mit Schwerpunkten oberhalb 500 m über N.N., Bergahornbestände erheblich unter stammumfassendem Befall durch *Nectria cinnabarina* und Laubnutzholzborkenkäfer litten. BAIER (2000) hat solche Schäden (*Nectria* sp.) im gleichen Jahr für Thüringen, Forstamt Sonneberg, Revier Röthengrund beschrieben. Nach Mitteilung von FISCHER (2007) lagen die Hauptschäden hier in 550 m über N.N., wobei vor allem nordwestliche Stammflanken betroffen waren. FEEMERS & BLASCHKE (2000) berichteten von

solchen Schäden an Bergahorn in Mittelgebirgslagen im bayerischen Oberfranken. NIESAR et al. (2003) fanden 2002 solche Schäden an Bergahorn auf 280 m über N.N. im städtischen Forstamt Remscheid (Bergisches Land, NRW). Aus den Niederungen der betroffenen Bundesländer wurden keine Schäden bekannt. Wie der Krankheitsverlauf bei Bergahorn verlief ist noch ungeklärt. Es ist jedoch wahrscheinlich, dass die o.a. ökologischen abiotischen Rahmenbedingungen, welche als Auslöser der aktuellen Buchenrindennekrose angesehen werden müssen, auch in den Bergahornbeständen von wichtiger Bedeutung waren. Dies gilt es zu prüfen.

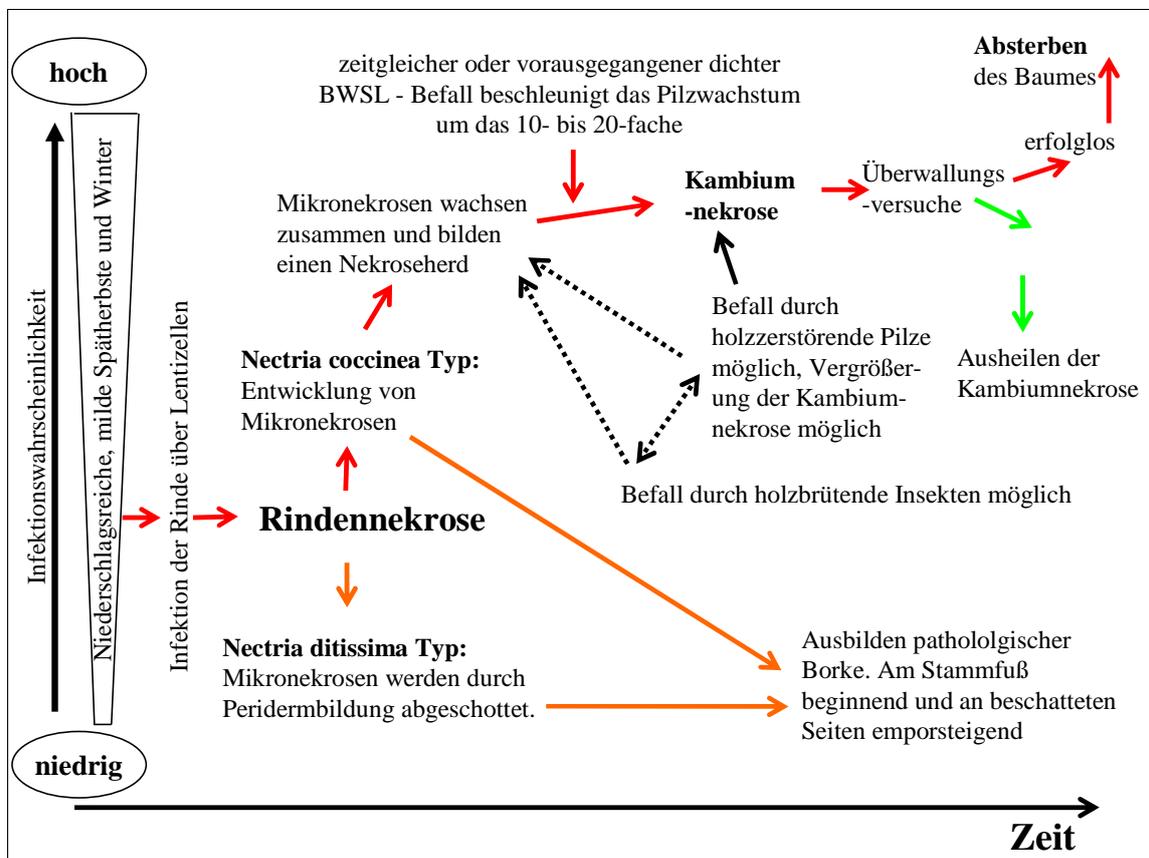


Abb. 71: Schematische Darstellung zum möglichen Ablauf der aktuellen Buchenrindenerkrankung in Nordrhein-Westfalen (vergl. Anhang 19)

4.9 Untersuchungen anderer Buchenschadensereignisse

Die Übertragbarkeit der hier abgeleiteten Zusammenhänge auf die in der Einleitung angeführten, außerhalb NRW's gelegenen aktuellen Schadgebiete

sollte geprüft werden. Nach SCHINDLER (1951) sind auch die starken Buchenschäden der Jahre 1939 bis 1942 nicht auf die strengen Winter ab 1939 zurückzuführen, da bereits erste Schäden im Frühjahr und Sommer 1939, also vor dem harten Winter 1939/40 (mitteleuropäische Durchschnittstemperatur: minus 4,2 °C) auftraten. Der Winter zuvor, 1938/1939 war jedoch relativ mild, bei mitteleuropäischen Durchschnittstemperaturen von + 1,1 °C (SCHLAAK 2002). Insofern erscheint auch eine Prüfung der Übertragbarkeit der in Abb. 71 dargestellten Zusammenhänge auf weiter zurückliegende Buchenschadensereignisse interessant.

4.10 Gegenmaßnahmen und Konsequenzen

Wesentliche Voraussetzungen für die Entstehung der Buchenrindennekrose in den höheren Mittelgebirgslagen von NRW sind hohe Niederschlagssummen, hohe Feuchtigkeit, milde Winter und vorheriger bis zeitgleicher dichter Befall durch die Buchenwollschildlaus, die zusammen die Infektion und das Wachstum des eigentlichen Verursachers, des Pilzes *Neonectria coccinea* ermöglichen. Nach den Klimaprognosen des Potsdamer Instituts für Klimafolgenforschung (BADECK 2004) für Mitteleuropa werden die Winter zunehmend wärmer, die Niederschläge nehmen zwischen dem 50. und 60. Breitengrad in Mitteleuropa um bis zu 60 % zu und sommerliche Extremtemperaturen werden häufiger. Dies sind günstige Bedingungen für die Entwicklung der Buchenwollschildlaus im Sommer und von *Neonectria coccinea* im Winter.

Vorläufige Beobachtungen sprechen dafür, dass in Mischung mit Buchen wachsende Fichten die Entstehung der Buchenrindennekrose begünstigen. Neben dem Beschattungseffekt tragen Fichten besonders im Winter, wegen ihrer hohen Evapotranspiration, erheblich zum Anstieg der Luftfeuchtigkeit (ELLENBERG 1986) und Luftruhe bei. Falls sich diese vorläufigen Beobachtungen durch weitere Untersuchungen bestätigen lassen, wäre einzelstamm- bis truppweise Mischung der Buche mit Fichte in den höheren Mittelgebirgslagen kritisch zu sehen und ggf. durch horst- bis bestandesweise Mischung zu ersetzen. Außerdem könnte mittels geeigneter Durchforstung versucht werden, die Luftfeuchtigkeit in Beständen gefährdeter Lagen zu senken und damit die

Infektionsbedingungen für *N. coccinea* zu verschlechtern. Für die gefährdeten, in höheren Lagen vorkommenden Schattenhänge mit häufiger, anhaltend hoher Luftfeuchte wäre auch zu prüfen, ob Buchen nur noch als ökologisch funktionelle Beimischung z.B. zur Fichte vorzusehen sind. Da die stärksten Schäden mit bestandesauflösender Wirkung in Altbeständen auftraten, scheint auch eine Herabsetzung der Umtriebszeit zur Risikominimierung empfehlenswert. Weiterhin lassen Ergebnisse von LANGENFELD-HEYSER et al. (2006) vermuten, dass Buchenrinde mit höheren Anteilen von Festigungsgewebe (Sklerenchym) resistenter gegen tiefreichende Rindennekrosen ist (vergl. auch SCHIMITSCHECK 1980) und Buchen mit geringerem Lentizellenanteil (Eintrittspforten für *Neonectria* spp.) der Rindenerkrankung gegenüber weniger empfindlich sind. Diese Faktoren könnten sich bei zunehmender Wahrscheinlichkeit von Buchenrindennekrose langfristig als positive Selektionsfaktoren erweisen. Inwiefern in die Mittelgebirgslagen eingebrachte Tieflagenherkünfte der Buche die Wahrscheinlichkeit einer Erkrankung senken könnten, wird derzeit diskutiert (ZIEGENHAGEN 2007). Die genannten Gesichtspunkte könnten, trotz ihres z. T. noch vorläufigen Charakters, bereits für die Baumartenwahl bei den aktuell anstehenden Wiederaufforstungen der durch den Orkan „Kyrill“ am 18./19. Januar 2007 verwüsteten Flächen von Bedeutung sein.

5. Zusammenfassung

1880 (HARTIG) wurden im Gebiet des heutigen Nordrhein-Westfalens erstmalig Buchenrindenerkrankungen beschrieben. Im 20. Jahrhundert sind vier regional begrenzte Hauptbefallsperioden in den Jahren 1910-14, 1939-43, 1947-51 und 1959-66 bekannt. Seit 1999 treten solche Schäden erneut im Sauerland, im Bergischen Land, in der Eifel und im Eggegebirge auf, wobei örtlich erste starke Schäden an Altbuchen auffielen. Diese zeigten äußerlich partiell welkende Kronen, einseitige, streifenförmige, bis zu 7 m lange Rindennekrosen am Stamm und Befall durch Laubnutzholzborkenkäfer. Ab 2000 kam Befall durch diese Käfer in ca. 60-jährigen, äußerlich gesund erscheinenden Buchenbeständen hinzu.

Das bevorzugte Vorkommen der Erkrankung in Höhenlagen über 250 m, mit Schwerpunkt oberhalb 400 m, die bisher nicht beschriebene dominante nördliche Lage der typischen, meterlangen, spindelförmigen Rindennekrosen am Stamm und der Befall anscheinend gesunder Buchen durch den Laubnutzholzborkenkäfer warf folgende Fragen auf: Handelt es sich bei den Schäden um die klassische Buchenrindennekrose oder um eine neue Erkrankung der Buche? Warum kommt die Erkrankung besonders in höheren Mittelgebirgslagen vor und welches sind die wesentlichen biotischen und abiotischen Ursachenfaktoren? Als Beitrag zur Klärung dieser Fragen wurden die bisher wenig untersuchte Pilzflora in den kleinen, inselartigen Frühstadien der Rindennekrosen („Mikronekrosen“) sowie die mögliche Beteiligung von Witterungseinflüssen am Ursachenkomplex untersucht.

Das anfangs vermutete „primäre“ Auftreten des Laubnutzholzborkenkäfers (*Xyloterus domesticus*) ließ sich bei genauerer Betrachtung nicht bestätigen. Es konnte gezeigt werden, dass bei den von Käfern befallenen Buchen stets auch Rindennekrosen verschiedener Größe vorhanden waren. Wären diese durch Käfer verursacht worden, so hätten auch die jüngsten Nekrosen stets schon Befall zeigen müssen, was so nicht beobachtet werden konnte.

Aus den frühesten Nekrotestadien, welche hauptsächlich in nördlichen Expositionen der Versuchsbäume zu finden waren, wurden im FA Olpe 29 und

im FA Hilchenbach 34 Pilzarten isoliert. Als häufigster und am stärksten pathogener Pilz wurde der Ascomycet *Neonectria coccinea* bestimmt, der als eigentlicher Auslöser des Schadenskomplexes gesehen wird. Seine Pathogenität wurde durch Infektionsversuche unter kontrollierten Bedingungen in Klimakammern, bei unterschiedlichen Temperaturen, an abgetrennten Buchenästen, im Vergleich mit 4 ebenso isolierten Pilzen untersucht. Sowohl in diesen Laborversuchen als auch in einem weiteren Infektionsversuch an gesunden, gering mit Buchenwollschilddlaus (*Cryptococcus fagisuga*) befallenen, 60-jährigen Buchen im Freiland wurde dessen Pathogenität bestätigt. Anhand der im Gelände durchgeführten Frühjahrs- und Herbstinokulationen und der über zwei Winter dauernden Versuchszeitspanne wurde auch deutlich, dass in den untersuchten Fällen die Entwicklung der Nekrosen auf das unmittelbar an die Infektion anschließende Winterhalbjahr beschränkt blieb. Ferner war zu erkennen, dass sich die Nekrosen ausschließlich im Winter ausbreiten konnten, wo die Abwehrmechanismen der Buchenrinde offensichtlich weniger aktiv sind. Einzelbeobachtungen ließen aber auch den Schluss zu, dass Kambiumnekrosen ggf. über mehrere Jahre wachsen können, wenn sich im Holz Weißfäuleerreger etabliert haben. Dabei führt die Weißfäule oft vom Stamminnern heraus zum Absterben des Kambiums. In Dualkulturen und bei weiteren Inokulationsversuchen mit Buchenaststücken ging im Vergleich zu den o.a. Pilzen *N. coccinea* als der Pilz mit dem höchsten antagonistischen Potential hervor. Es konnte nachgewiesen werden, dass er sogar die Fähigkeit besitzt, von anderen Pilzen vorgeschädigtes Gewebe erfolgreich zu besiedeln und den ursprünglichen Pilz zu überwachsen. Die Infektionsversuche unter kontrollierten Bedingungen machten überdies deutlich, dass einerseits *N. coccinea* in der Lage ist auch kurzzeitige Temperaturanstiege für das Wachstum effizient zu nutzen. Andererseits können sich *N. coccinea*-Nekrosen in Buchenrinde auch ohne Prädisposition durch die Buchenwollschilddlaus entwickeln, allerdings wesentlich langsamer als nach vorherigem oder zeitgleichem Wollausbefall [PERRIN (1980)]. Des weiteren konnte im Zuge der Inokulationsversuche, sowohl bei Buchenaststücken in Klimakammern als auch im Freiland, nachgewiesen werden, dass einzelne *N. coccinea*-Mikronekrosen zu homogenen

Nekroseherden zusammenwachsen, welche offensichtlich auch Ausgangspunkte für meterlange Nekrosen sein können.

Mittels Gewebeschnitte war zu belegen, dass Buchen bei Spätherbstinfektionen nicht mehr in der Lage sind Peridermien komplett zu schließen und sich deshalb *N. coccinea*-Nekrosen bis zum nächsten Frühjahr in der Rinde ausbreiten können, wie aus den Ergebnissen der Inokulationsversuche im Freiland abgeleitet werden konnte.

Anhand von Jahrringanalysen wurde der Beginn irreversibler Schädigungen von Bast und Kambium auf die Winterhalbjahre 1999/2000 und 2001/2002 datiert. Zudem ist deutlich geworden, dass der als Ursache der Buchenrindenerkrankung diskutierte starke Temperatursturz im November 1998 das ausschließliche Vorkommen der Schäden in den höheren Mittelgebirgslagen nicht erklären kann, da in den schadensfreien Niederungen größere Temperaturdifferenzen und tiefere Temperaturen auftraten. Der Ausbruch und die Dauer der Krankheit fielen in den Mittelgebirgslagen jedoch mit einer Periode besonders regenreicher, milder Winter in den Jahren 1998-2001 zusammen. Aufgrund der skizzierten Umstände des Auftretens, der stets schattseitigen Lage der Nekrosen und der Biologie des Erregers kann angenommen werden, dass in den höheren Lagen NRW's Starkniederschläge und anhaltend hohe Feuchte in milden Wintern die bisher ungeklärten, entscheidenden klimatischen Faktoren im Ursachenkomplex des aktuellen Ausbruchs der Krankheit waren. Die möglichen Zusammenhänge wurden in einem Ablaufschema der Erkrankung visualisiert.

Die sich bereits abzeichnende Klimaveränderung, mit zunehmend milderem und regenreicheren Wintern und extrem warmen Sommern, lässt eine Zunahme von Erkrankungswellen der Buche durch Buchenrindennekrose erwarten. Es sollte daher rechtzeitig geprüft werden, inwieweit diesem Risiko durch die vorgeschlagenen und durch weitere waldbauliche Maßnahmen vorgebeugt werden kann.

6. Literaturverzeichnis

- AG DAUERBEOBACHTUNGSFLÄCHEN** (1997): Waldbäume, Bilderserien zur Einschätzung von Kronenverlichtungen bei Waldbäumen, 160 S. Verlag: M. Faste Kassel
- AG WALDSCHUTZ** (1993): Merkblatt Borkenkäfer überwachen und bekämpfen, aid infodienst e.V. Friedrich Ebert Str. 3, 53177 Bonn.
- ALTENKIRCH, W., MAJUNKE, C., OHNESORGE, B.** (2002): Waldschutz auf ökologischer Grundlage; 434 S. Ulmer Verlag-Stuttgart
- AREND, J.-P., EISENBARTH, E. UND PETERCORD, R.** (2006): Buchenkomplexkrankheit in Luxemburg und Rheinland-Pfalz, Schadsymptome, Ausmaß und Entwicklung der Schäden, in Strategien zur Sicherung von Buchenwäldern; Mitteilung der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pflaz, Nr. 59/06, S. 11-22.
- BADECK, F-W.** (2004): Wirkungen des Klimawandels; Vortrag bei der „Fachtagung Wald und Klima“ im Schloß Bad Berleburg am 10.09.2004.
- BAIER, U.** (2000): Waldschutzsituation 1999/2000 in Thüringen; AFZ der Wald, Nr. 7 S. 348-349
- BOOTH, C.** (1966): The Genius *Cylindrocarpon*. Mycological Papers, No. 104; Commonwealth Mycological Institute Kew, Surrey, England.
- BOOTH, C.** (1977): *Fusarium*; Laboratory Guide to the Identification of the Major Species; Commonwealth Mycological Institute Kew, Surrey, England.
- BRANDENBURGER, W.** (1985): Parasitische Pilze an Gefäßpflanzen in Europa; Gustav Fischer Verlag, 1248 S.
- BRAUN, H.J.** (1977): Das Rindensterben der Buche, *Fagus sylvatica* verursacht durch die Buchenwollschildlaus *Cryptococcus fagi* Bär. II.. Ablauf der Krankheit; Eur. J.For.Path. 7, S.76-93, Verlag Paul Parey.
- BUTIN, H.** (1983): Krankheiten der Wald- und Parkbäume . Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 216 S.
- DWD (2002)**: Deutsches Meteorologisches Jahrbuch 1999; Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main.
- DANTI, R., SIEBER, T. AND SANGUINETI, G.** (2002): Endophytic mycobiota in bark of European beech (*Fagus sylvatica*) in the Apennines, MYCOL. RES. 106; P. 1343-1348.
- DIMITRI, L.** (1967): Untersuchungen über die Äthiologie des „Rindensterbens“ der Buche, Sonderdruck aus Forstw. Cbl. 86, S.257-276.
- ECKSTEIN, D., RICHTER, K., ANIOL, R.W., QUIEHL, F.** (1984): Dendroklimatologische Untersuchungen zum Buchensterben im südlichen Vogelsberg; Forstw. Cbl. 103, S.274-290.
- EIMERN, VAN, J. & HÄCKEL, H.** (1979): Wetter- und Klimakunde, Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, 269 S.

- EISENBARTH, E.** (2001): Statusbericht zur Buchenkomplexkrankheit in der Eifel; in «Wissenschaftliches Symposium zur Buchenkomplexkrankheit in der Eifel», Struktur- u. Genehmigungsbehörde Süd, Neustadt, WeinStr. .
- ELLENBERG, H.** (1986): Vegetations Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht; Eugen Ulmer Verlag, 989 S.;
- ELLIS, M.B.** (1971): Dematiaceous Hyphomycetes; Commonwealth Mycological Institute Kew, Surrey, England.
- EMSCHEMANN, F. & NIESAR, M.** (2000): Jahresbericht 1999/00 der Pflanzenschutzdienste der Direktoren der Landwirtschaftskammern Rheinland und Westfalen Lippe, über das Auftreten von Schäden, Krankheiten und Schädlingen im Wald des Landes Nordrhein-Westfalen.
- EMSCHEMANN, F. & NIESAR, M.** (2001): Jahresbericht 2000/01 der Pflanzenschutzdienste der Direktoren der Landwirtschaftskammern Rheinland und Westfalen Lippe, über das Auftreten von Schäden, Krankheiten und Schädlingen im Wald des Landes Nordrhein-Westfalen.
- ESCHERICH, K.** (1923): Die Forstinsekten Mitteleuropas, Verlagsbuchhandlung Paul Parey, Berlin, 663 S.
- ESCHRICH, W.** (1995): Funktionelle Pflanzenanatomie, Springer Verlag ; 393 S.
- FEEMERS, M. & BLASCHKE, M.** (2000): Waldschutzsituation 1999/2000 in Bayern; AFZ der Wald, Nr. 7 S. 340-314.
- FIEBELKORN, G.** (2006): Untersuchungen zum anatomischen, physiologischen und molekularbiologischen Abwehrverhalten an gesunden und geschädigten Buchen (*Fagus sylvatica* L.) mit der Symptomatik „Buchenkomplexkrankheit“; Diss. Mathem.-Naturw. Fakultäten der Georg-August-Universität Göttingen.
- FISCHER, M.** (2007): (Revierleiter des Revieres Röthengrund), mündliche Mitteilung.
- FWF** (2003), FORSCHUNGSANSTALT FÜR WALDÖKOLOGIE UND FORSTWIRTSCHAFT RHEINLAND-PFALZ, ADMINISTRATION DES EAUX ET FORETS LUXEMBOURG: Projekt „Entwicklung von Strategien zur Sicherung von Buchenwäldern“; Jahresbericht 2003; S. 30.
- GRÜNE, S.** (1979): Handbuch zur Bestimmung der europ. Borkenkäfer, Verlag Schaper Hannover, 182 S.
- GEHRMANN, J. UND BECKER R.** (2001): Bewertung der atmosphärischen Stoffeinträge anhand von Critical Loads, im 1. Bericht über den ökologischen Zustand des Waldes in NRW, Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW, S. 24-28.
- GERHARD** (1942): Das Buchensterben, Deutsche Forstzeitung 11, S. 306 bis 308.
- GOSSENAUER-MAROHN, H.** (2000): Waldschutzsituation 1999/2000 in Hessen; AFZ der Wald, Nr. 7 S. 344-346.
- GRÜNER, J. UND METZLER, B.** (2006): Nectria-Arten an Buchenrinde mit Phloemnekrosen; in Strategien zur Sicherung von Buchenwäldern; Mitteilung

der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pflaz, Nr. 59/06, S. 129-138.

- HANS, F. und KOOPMANN, R.** (2006): Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen der Buchenkomplexkrankheit und den Absterberaten epiphytischer Moose im Luxemburger Oesling; in Strategien zur Sicherung von Buchenwäldern; Mitteilung der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pflaz, Nr. 59/06, S. 23-29.
- HARTIG, R.** (1880): Die Buchen-Wollaus (*Cermes fagi*). In: Untersuchungen aus dem Forstbotanischen Institut zu München I, Springer Verlag, Berlin: S. 156-162.
- HARTMANN, G.** (2007a): Mündliche Mitteilung unveröffentlichter Ergebnisse zur Untersuchung des Schadensjahres von Buchen, welche durch Buchenrindennekrose in den Jahren 2000 bis 2004 im Solling geschädigt wurden.
- HARTMANN, G.** (2007b): Mündliche Mitteilung unveröffentlichter Ergebnisse eines 3-jährigen *Phomopsis pseudotsugae* Rindeninfektionsversuch an Douglasie in den Jahren 1970 bis 1973.
- HARTMANN, G. UND NIENHAUS, F.** (1974): Gummose-Erreger *Phytophthora citrophthora* (Smith und Smith) Leonian und *Hendersonula toruloidea* Natrass an *Citrus limon* in Libanon; II. Jahreszeitliche Einflüsse; Z.Pflanzenkrankheiten 8/74; S.433-457.
- HOLIGHAU, G., SCHÜTZ, S.** (2006): Strategie der olfaktorischen Wirtsfindung von *Typodendron domesticum* L., in Strategien zur Sicherung von Buchenwäldern; Mitteilung der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pflaz, Nr. 59/06, S. 119-128.
- HUART, O., RONDEAUX, J.** (2001): Genèse, Évolution et multiples Facettes d'une maladie inhabituelle affectant le hêtre en région Wallone. Fôret Wallone N°52, S. 8-19.
- KOWALSKI, T. UND KEHR, R.D.** (1992): Endophytic fungal colonization of branch bases in several forest tree species, Sonderdruck aus Sydowia – Band 44/1992.
- KEHR, R.D.** (2004): Mündliche Mitteilung zum Wuchsverhalten von Pilzen in der Rinde von Pappelaststücken in Abhängigkeit vom Austrocknungsgrad der Aststücke.
- KNIGGE, W. UND SCHULZ, H.** (1966): Grundriss der Forstbenutzung, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin 578 S.
- KRÖBER, H.** (1985): Erfahrungen mit *Phytophthora* de Bary und *Phytium* Pringsheim (Experiences with *Phytophthora* de Bary und *Phytium* Pringsheim) Mitt. Biol. Bundesanstalt Land. Forstwirtschaft. Berl Dahlem 225. 175pp.
- LANUF** (2007): Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, Recklinghausen, Klimadaten der Jahre 1995 bis 2005, Messstation FA Hilchenbach, Elberndorf.

- LANGENFELD-HEYSER, R., Lang, C., Fritz, E., Petercord, R., Polle, A.** (2006): Stehendbefall von *Fagus sylvatica* L. mit *Typodendron* -anatomische Untersuchungen; in Strategien zur Sicherung von Buchenwäldern; Mitteilung der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pflaz, Nr. 59/06, S. 79-94.
- LONSDALE, D.** (1980): *Nectria coccinea* infection of beech bark; variations in disease in relation to predisposing factors. Ann. Sci. forest. 37; p.307-317.
- LONSDALE, D.** (1983): Fungal associations in the build-up and decline of *Cryptococcus fagisuga* populations. Proceedings IUFRO Beech Bark Disease Working Party Conference Hamden, Connecticut Sept.26 bis Oct. 8, 1982, p: 99 – 104.
- LONSDALE, D. AND SHERRIFF C.** (1983): Some Aspects of the ecology of *Nectria* on Beech, Proceedings IUFRO Beech Bark Disease Working Party Conference Hamden, Connecticut Sept.26 bis Oct. 8, 1982, p: 59 – 79.
- LÖBF,** (1998): Ergebnisse der Landeswaldinventur Nordrhein-Westfalen; Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten, Recklinghausen, .
- LÖSCHE, M.** (2004): Untersuchungen zur Rolle von *Phytophthora cambivora* im Zusammenhang mit dem Erlensterben im Europareservat Riddagshausen; Diplomarbeit; Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg im Breisgau, Professur für Forstbotanik.
- LUNDERSTÄDT, J.** (1990): Untersuchungen zur Abhängigkeit der Buchen-Rindennekrose von der Stärke des Befalls durch die *Cryptococcus fagisuga* in Buchen- (*Fagus sylvatica*-) Wirtschaftswäldern, Eur. J.For. Path. Nr. 20 S65-76.
- LUNDERSTÄDT, J.** (1992): Stand der Ursachenforschung zum Buchensterben; Forstarchiv, 63, S.21-24.
- LOZAN, L.J. UND KAUSCH, H.** (2004): Angewandte Statistik für Naturwissenschaftler; Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg; S.300.
- LYR, H.** (1967): Über die Ursachen der Buchenrindennekrose (Beech bark disease) Arch. Forstwes., Berlin, Bd. 16, S. 803-807.
- MENNEKES, M.** (2002): mündliche Mitteilung, Revierleiter FBB Elberndorf des Forstamtes Hilchenbach.
- MÖLLER, H.** (1960): Buchenschleimfluss – ein aktuelles Problem in Westfalen. Der Forst- und Holzwirt 15: S.198-199.
- MURL (1998):** Klima-Atlas von Nordrhein-Westfalen; Der Minister für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf
- NIESAR, C.M.** (2001): Buchenerkrankung in NRW, in «Wissenschaftliches Symposium zur Buchenkomplexkrankheit in der Eifel», Struktur- u. Genehmigungsbehörde Süd, Neustadt, Weinstrasse., incl. Vortrag am 16.08.2001 in Prüm.

- NIESAR, C.M., GEISTHOFF, N., STROTHBÄUMER, H.W.** (2004): Forstschutzsituation 2003/2004 in NRW ; AFZ-Der Wald, 7/2004 ; S.371-372.
- NIESAR, C.M., GEISTHOFF, N., STROTHBÄUMER, H.W.** (2003): Forstschutzsituation 2002 in NRW ; AFZ-Der Wald, 7/2003, S.340-342.
- PANKERT, C.** (2001): Stand der Buchenkrankheit in der wallonischen Region; in «Wissenschaftliches Symposium zur Buchenkomplexkrankheit in der Eifel», Struktur- u. Genehmigungsbehörde Süd, Neustadt, WeinStr. .
- PARKER, E.J.** (1974): Beech Bark Disease, University of Surrey, November 1974.
- PARKER, E.J.** (1975): Some investigations with Beech Bark Disease in southern England, Eur.J.For.Path. 5 : p.118-124.
- PARINI, C., PETERCORD, R.** (2005): Der Laubnutzholzborkenkäfer *Typodendron domesticum* L. als Schädling der Rotbuche, in Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz, Administration des Eaux et Forêts Luxembourg, Projekt „ Entwicklung von Strategien zur Sicherung von Buchenwäldern“; Abschlußbericht; S. 9.
- PEHL, L.** (1999): Gallinsekten als Auslöser pilzbedingter Blattkrankheiten, AFZ Der Wald, Heft 15, S. 775-778.
- PERRIN, R.** (1979): Contribution à la connaissance de l' étiologie de la maladie de l' écore du hêtre. I – Etat sanitaire des hêtraies francaises Rôle de *Nectria coccinea* (Pers ex Fries) Fries, Eur. J.For.Path. 9, 148-166.
- PERRIN, R.** (1980): Contribution à la connaissance de l' étiologie de la maladie de l' écore du hêtre. II - Etude experimentale de l' association *Cryptococcus fagisuga* - *Nectria coccinea*, Rôle respectif des deux organismes. Ann. Sci. Forest, 37, 319-331.
- PERRIN, R.** (1983a): Specificity of *Chrytococcus fagisuga* and *Nectria coccinea* Association in Beech Bark Disease in Europe; Proceedings IUFRO Beech Bark Disease Working Party Conference Hamden, Connecticut Sept.26 bis Oct. 8, 1982, p: 50 – 53.
- PERRIN, R.** (1983b): Pectinase activity *Nectria coccinea* (Pers ex Fries) Fries in relation to beech bark disease; Proceedings IUFRO Beech Bark Disease Working Party Conference Hamden, Connecticut Sept.26 bis Oct. 8, 1982, p: 54 – 58.
- 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, S.277 pp.
- PETERCORD, R.** (2006): Die Buchenwollschildlaus als Auslöser der Buchenrindennekrose, in Strategien zur Sicherung von Buchenwäldern; Mitteilung der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz, Nr. 59/06, S. 53-62.
- PETERS, S., DRAEGER, S., AUST, H.-J., SCHULZ, B.** (1998): Interactions in dual cultures of endophytic fungi with host and nonhost plant calli; Mycologia 90(3), pp. 360-367.

- RUGE, U.** (1950): Über die möglichen Ursachen des Buchensterbens, Allg. Forstzeitschr. 19, S. 217-219.
- RHUMBLER, L.** (1914): Zur Biologie der Buchenrinden-Wollaus (*Cryptococcus fagi*). Deutsche Forst-Ztg. 29; S. 265-273.
- ROLOFF, A.** (1985): Schadstufen bei der Buche, Vorschlag für eine bundeseinheitliche Einordnung der Buche in 4 Schadstufen bei terrestrischen Aufnahmen, Der Forst- und Holzwirt, S. 131-134.
- SCHIMITSCHEK, E.** (1980): *Cryptococcus fagi* Bärensp. und die Buchen-Rindennekrose, Anz. Schädlingsskde. Pflanzenschutz, Umweltschutz 53, S. 97-98.
- SCHINDLER, U.** (1951): Das Buchensterben; bisherige Veröffentlichungen und Auswertungen der staatlichen Unterlagen, Forstarchiv, 22, Heft 7/8, S. 109-119.
- SCHINDLER, U.** (1960): Einige Ergebnisse mehrjähriger Beobachtungen über Buchensterben und Buchenwollaus (*Cryptococcus fagi*), Der Forst- und Holzwirt 15,; S. 196-198.
- SCHLAAK, P.** (2002): Das Wetter in Berlin von 1933 bis 1945; Berlinische Monatsschrift, aus www.berlin-chronik.de
- SCHÜTT, P. & LANG, K.J.** (1980): Buchen-Rindennekrose, Waldschutzmerkblatt Nr. 1, Verlag Paul Parey Hamburg und Berlin, 6 S.
- SCHWENKE, W.** (1974): Die Forstschädlinge Europas; Zweiter Band: Käfer, Paul Parey Verlag Hamburg und Berlin, S. 334 ff
- SCHWERTFEGER, F.** (1963): Eine wetterbedingte Baumkrankheit; Die Umschau in Wissenschaft und Technik, Frankfurt a.M. Heft 15, S. 476-478.
- SKATULLA, U.** (2001): Leihgabe eines Mikroprozessors mit angeschlossenen Temperaturfühlern, Feuchtefühler, incl. Solarmodul zur Stromerzeugung, Leitungen, einschließlich Datenerfassungs- und Datentransformationsprogramme.
- STRASBURGER, E.** (1978): Lehrbuch der Botanik, Gustav Fischer Verlag, S.1078.
- STIEFEL, S.** (1996): Vergleichende Untersuchungen zum Auftreten der Buchenwollschildlaus (*Cryptococcus fagisuga* LIND.) und ihrer Folgesymptome in unterschiedliche strukturierten Buchenbeständen (*Fagus sylvatica*) im Waldgebiet Hainich in Thüringen. Dipl. Fak. Bau-, Wasser- und Forstwesen TU Dresden. 120 S.
- SUMPF, D. UND MOLL, D.** (2004): Einführung in die Biometrie, Band 2; Schätzen eines Parameters und Vergleich von bis zu zwei Parametern; Senat der Bundesforschungsanstalten des BMELF
- SUTTON, BRIAN. C.** (1980): The Coelomycetes; Fungi Imperfecti with Pycnidia Acervuli and Stromata; Commonwealth Mycological Institute Kew, Surrey, England.

- THEISEN, F.** (2001): Buchensterben in Luxemburg; in «Wissenschaftliches Symposium zur Buchenkomplexkrankheit in der Eifel», Struktur- u. Genehmigungsbehörde Süd, Neustadt, WeinStr. .
- VETTER, G.** (2002): Untersuchungen zum Buchensterben im Staatlichen Forstamt Hilchenbach; Diplomarbeit im Studiengang Forstwirtschaft der Fachhochschule Hildesheim/Holzminde/Göttingen SS 2002, 56 S.
- 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: S.146-149.
- WOBST, W.** (1950): Dürreschäden an Buche, *Allg. Forstzeitschr.*, 5, S.143-144.
- WULF, A.** (1990): Über die Bedeutung von *Diplodina acerina* (Pass.) Sutton und anderen Blattpilzen als Antagonisten der Fenstergallmücke *Dasineura vitrina* Kffr. an Bergahorn (*Acer pseudoplatanus* L.) *Nachrichtenblatt Deut. Pflanzenschutzd.* 42 (7), S. 97-102.
- WULF, A. & PEHL, L.** (2005): Waldschutzsituation 2004 in der Bundesrepublik Deutschland – Übersicht und Ausblick; *Forst und Holz* Nr. 4, S. 145-149.
- ZIEGEHAGEN, B.** (2007): mündlichen Mitteilung; Philipps-Universität Marburg Fachbereich Biologie - Naturschutzbiologie.
- ZYCHA, H.** (1959): Stand unserer Kenntnisse vom Rindensterben der Buche, Sonderdruck aus *AFZ* Nr. 45, 4 S.
- ZYCHA, H.** (1960): Die kranken Buchen; Ursachen und Folgerungen; Sonderdruck aus dem *Holz-Zentralblatt* Nr. 146 vom 6.12.1960; S.8.

7. Anhang

Verzeichnis des Anhangs

- Anhang 1: Übersicht der Buchenanteile der NRW-Forstämter
- Anhang 2: Formblatt zur Erfassung von Makrosymptomen an Altbuchen
- Anhang 3: Formblatt zur Erfassung der Lage von Laubnutzholzborkenkäferbefall am Beispiel der Buche Nr. 8, Versuchsbestand Hilchenbach
- Anhang 4: Formblatt zur Dokumentation der im Gelände entnommenen Stammsegmente incl. Kraft'sche Klasse und Feinreisigbonitur nach Roloff am Beispiel des Baumes Nr. 10, Versuchsbestand Hilchenbach
- Anhang 5: Formblatt Abimpfprotokoll
- Anhang 6: Wiegezeitenplan: Buchenaststücke
- Anhang 7: Aufnahmeformblatt: Buchenaststücken Pathogenitätstest und Wachstumsgeschwindigkeit
- Anhang 8: Aufnahmeformblatt Buchenaststücke Antagonismus
- Anhang 9: Aufnahmeformblatt zu Erfassung von Nekrosen nach Inokulationen in lebenden Buchen
- Anhang 10: Tabelle: Endophytenuntersuchung: Ergebnis der aus symptomloser Rinde isolierten Pilze
- Anhang 11: Tabelle: Dualkulturversuch; Ergebnisse der statistischen Auswertung logarithmierter Steigungskurven
- Anhang 12: Bilddokumentation des Inokulationsversuches in Buchenaststücken mit je einem Inokulat
- Anhang 13: Bilddokumentation des Antagonismus-, Fusionsversuches mit je zwei Inokulaten in Buchenaststücken
- Anhang 14: Grafik: Kambiumnekroseflächen an stehenden lebenden Buchen im Versuchsbestand Hilchenbach nach "P2" Inokulationen
- Anhang 15: Bilddokumentation durch „P2“-Inokulationen in lebender Rinde induzierte Rindennekrosen
- Anhang 16: Auskeilender Jahrring bei Baum Nr. 10, Rollensegment Nr. 18, Versuchsbestand Hilchenbach
- Anhang 17: Vergleich des Temperaturverlaufs der Winter 99/00, 01/02 und 05/06
- Anhang 18: Exposition von Buchenwollschildlausbefall am Stamm einer Buche
- Anhang 19: Bisherige schematische Darstellung des Ablaufes der Buchenrindennekrose

Anhang Nr. 1: Buchenanteile in den 35 Forstämtern NRW's (Orga.-Stand: 2006)
rote Markierungen = FÄ mit aktuellen Buchenschäden
Quelle: LÖBF 1998, verändert

Höhenstufe	Forstämter	Buchenanteilsfläche [%]	Mittleres Alter im Hauptbestand	absolute BU-Fläche [ha]	FA Gesamtwaldfläche [ha]
planar (< 150 m ü. N.N.)	Kleve	12,9	51	2.167	16.800
	Wesel	8,3	49	1.843	22.200
	Mönchengladbach	5	70	835	16.700
	Esweiler	3,8	73	718	18.900
	Bergisch Gladbach	16,1	67	3.687	22.900
	Bonn	12,6	57	2.646	21.000
	Schwerte	15	76	3.195	21.300
	Recklinghausen	7,7	61	1.948	25.300
	Borken	8,1	79	1.847	22.800
	Münster	16,9	92	3.853	22.800
	Steinfurt	14,3	71	3.475	24.300
	Warendorf	7,3	66	1.110	15.200
	Bielefeld	13,7	92	2.562	18.700
	Minden	26,2	61	4.244	16.200
planar bis kollin (< 150 bis bis 300 m)	Mettmann	20,6	64	5.356	26.000
	Rüthen	12,7	73	3.543	27.900
	Gevelsberg	24,6	86	3.321	13.500
	Paderborn	32,6	69	11.475	35.200
	Bad Driburg	43,7	64	14.814	33.900
	Lage	36,3	65	13.358	36.800
kollin bis submontan (150 - 450 m)	Hürtgenwald	12,3	61	3.813	31.000
	Wipperfürth	9,9	78	1.634	16.500
	Eitorf	15,4	78	4.235	27.500
	Waldbröl	6,8	56	1.476	21.700
	Siegen	8,7	60	1.792	20.600
	Attendorn	8,3	65	2.299	27.700
	Lüdenscheid	11,1	86	4.018	36.200
	Arnsberg	18,1	69	4.181	23.100
	Meschede	15,7	83	2.889	18.400
	Olsberg	24,6	72	7.282	29.600
kollin bis montan (150 - 600 m)	Schleiden	15,1	63	4.666	30.900
	Bad Münstereifel	14,4	63	2.088	14.500
	Hilchenbach	14,8	68	8.007	54.100
	Schmallenberg	23	69	8.510	37.000
	Olpe	5,1	73	1.591	31.200
Gesamtwald NRW		16,5	69	144.936	878.400

Anhang Nr. 3: Formblatt zur Erfassung der Lage von Laubnutzholzborkenkäferbefall am Beispiel der Buche Nr. 8, Versuchsbestand Hilchenbach

FA: Hilchenbach, Baum Nr. 8										
Schafthöhe in m	0,50 bis 1	1,01 bis 2	2,01 bis 3	3,01 bis 4	4,01 bis 5	5,01 bis 6	6,01 bis 7	7,01 bis 8	8,01 bis 9	9,01 bis 10
Umfang (cm)		85	94	90	88	88	85			
Breite in cm			10	12	11	13	6			
Nekrosenband	2,90 - 7,40 m									
Beginn und Ende										
Exposition	N									
LNB	Innerhalb des Nekrosebandes	0	0	72	84	82	47	0	0	0
	Ausserhalb des Nekrosebandes	0	0	5	6	5	7	0	0	0
	Einbohrversuche	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Hylecoetus	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstiges	---									

Anhang Nr. 4: Formblatt zur Dokumentation der im Gelände entnommenen Stammsegmente incl. Kraft'sche Klasse und Feinreisigbonitur nach Roloff am Beispiel des Baumes Nr. 10, Versuchsbestand Hilchenbach

Baum Nr:	10	Datum						
Ort:	Hi	Verborkungsgrad:			+++	++	+	0
Kraft'sche Klasse		Feinreisigbonitur (Roloff)						
Die Stammrollensegmente sind jeweils auf der Oberseite beschriftet !!								
Segment Nr.	von [cm]	bis [cm]		Segment Nr.	von [cm]	bis [cm]		
101	0	20		131	600	620		
102	20	40		132	620	640		
103	40	60		133	640	660		
104	60	80		134	660	680		
105	80	100		135	680	700		
106	100	120		136	700	720		
107	120	140		137	720	740		
108	140	160		138	740	760		
109	160	180		139	760	780		
110	180	200		140	780	800		
111	200	220		141	800	820		
112	220	240		142	820	840		
113	240	260		143	840	860		
114	260	280		144	860	880		
115	280	300		145	880	900		
116	300	320		146	900	920		
117	320	340		147	920	940		
118	340	360		148	940	960		
119	360	380		149	960	980		
120	380	400		150	980	1000		
121	400	420		151	1000	1020		
122	420	440		152	1020	1040		
123	440	460		153	1040	1060		
124	460	480		154	1060	1080		
125	480	500		155	1080	1100		
126	500	520		156	1100	1120		
127	520	540		157	1120	1140		
128	540	560		158	1140	1160		
129	560	580		159	1160	1180		
130	580	600		160	1180	1200		

	= Die beim Baum Nr. 10 ausgewählten Stammsegmente
--	---

Anhang Nr. 6:

Wiegezeitenplan: Buchenaststücke unter Berücksichtigung des Beimpungszeitpunktes einschließlich Wechselzeiten der Temperaturmischvariante

Codierung	Datum													
	21.09.04	05.10.04	19.10.04	02.11.04	16.11.04	30.11.04	14.12.04	--	--	--	--	--	--	--
Ni/5 °C/6/1-10	21.09.04	05.10.04	19.10.04	02.11.04	16.11.04	30.11.04	14.12.04	--	--	--	--	--	--	--
Ni/5 °C/1/1-20	21.09.04	05.10.04	19.10.04	02.11.04	16.11.04	30.11.04	14.12.04	--	--	--	--	--	--	--
Ni/15 °C/6/1-10	14.09.04	21.09.04	28.09.04	05.10.04	12.10.04	19.10.04	26.10.04	02.11.04	09.11.04	16.11.04	23.11.04	30.11.04	30.11.04	30.11.04
Ni/15 °C/1/1-20	14.09.04	21.09.04	28.09.04	05.10.04	12.10.04	19.10.04	26.10.04	02.11.04	09.11.04	16.11.04	23.11.04	30.11.04	30.11.04	30.11.04
Ni/2 °C/6/1-10	14.09.04	21.09.04	28.09.04	05.10.04	12.10.04	19.10.04	26.10.04	02.11.04	09.11.04	16.11.04	23.11.04	30.11.04	30.11.04	30.11.04
Ni/2 °C/1/1-20	14.09.04	21.09.04	28.09.04	05.10.04	12.10.04	19.10.04	26.10.04	02.11.04	09.11.04	16.11.04	23.11.04	30.11.04	30.11.04	30.11.04
Ni/2 °C/2/1-20	15.09.04	22.09.04	29.09.04	06.10.04	13.10.04	20.10.04	27.10.04	03.11.04	10.11.04	17.11.04	24.11.04	01.12.04	01.12.04	01.12.04
Ni/2 °C/3/1-20	15.09.04	22.09.04	29.09.04	06.10.04	13.10.04	20.10.04	27.10.04	03.11.04	10.11.04	17.11.04	24.11.04	01.12.04	01.12.04	01.12.04
Ni/15 °C/2/1-20	15.09.04	22.09.04	29.09.04	06.10.04	13.10.04	20.10.04	27.10.04	03.11.04	10.11.04	17.11.04	24.11.04	01.12.04	01.12.04	01.12.04
Ni/5 °C/2/1-20	23.09.04	07.10.04	21.10.04	04.11.04	18.11.04	02.12.04	16.12.04	--	--	--	--	--	--	--
Ni/5 °C/3/1-20	23.09.04	07.10.04	21.10.04	04.11.04	18.11.04	02.12.04	16.12.04	--	--	--	--	--	--	--
Ni/5 °C/5/1-20	23.09.04	07.10.04	21.10.04	04.11.04	18.11.04	02.12.04	16.12.04	--	--	--	--	--	--	--
Ni/15 °C/3/1-20	16.09.04	23.09.04	30.09.04	07.10.04	14.10.04	21.10.04	28.10.04	04.11.04	11.11.04	18.11.04	25.11.04	02.12.04	02.12.04	02.12.04
Ni/15 °C/4/1-20	16.09.04	23.09.04	30.09.04	07.10.04	14.10.04	21.10.04	28.10.04	04.11.04	11.11.04	18.11.04	25.11.04	02.12.04	02.12.04	02.12.04
Ni/15 °C/5/1-20	16.09.04	23.09.04	30.09.04	07.10.04	14.10.04	21.10.04	28.10.04	04.11.04	11.11.04	18.11.04	25.11.04	02.12.04	02.12.04	02.12.04
Ni/5 °C/4/1-20	24.09.04	08.10.04	22.10.04	05.11.04	19.11.04	03.12.04	17.12.04	--	--	--	--	--	--	--
Ni/2 °C/4/1-20	17.09.04	24.09.04	01.10.04	08.10.04	15.10.04	22.10.04	29.10.04	05.11.04	12.11.04	19.11.04	26.11.04	03.12.04	03.12.04	03.12.04
Ni/2 °C/5/1-20	17.09.04	24.09.04	01.10.04	08.10.04	15.10.04	22.10.04	29.10.04	05.11.04	12.11.04	19.11.04	26.11.04	03.12.04	03.12.04	03.12.04
Wechsel der Mischvariante von 15 °C auf 2 °C am														
Ni/2 °C/6/1-10	10.09.04	17.09.04	24.09.04	01.10.04	08.10.04	15.10.04	22.10.04	29.10.04	05.11.04	12.11.04	19.11.04	26.11.04	26.11.04	26.11.04
Ni/2 °C/1/1-20	10.09.04	17.09.04	24.09.04	01.10.04	08.10.04	15.10.04	22.10.04	29.10.04	05.11.04	12.11.04	19.11.04	26.11.04	26.11.04	26.11.04
Ni/2 °C/2/1-20	10.09.04	17.09.04	24.09.04	01.10.04	08.10.04	15.10.04	22.10.04	29.10.04	05.11.04	12.11.04	19.11.04	26.11.04	26.11.04	26.11.04
Ni/2 °C/3/1-20	10.09.04	17.09.04	24.09.04	01.10.04	08.10.04	15.10.04	22.10.04	29.10.04	05.11.04	12.11.04	19.11.04	26.11.04	26.11.04	26.11.04
Ni/2 °C/4/1-20	15.09.04	20.09.04	27.09.04	04.10.04	11.10.04	18.10.04	25.10.04	01.11.04	08.11.04	15.11.04	22.11.04	29.11.04	29.11.04	29.11.04
Ni/2 °C/5/1-20	15.09.04	20.09.04	27.09.04	04.10.04	11.10.04	18.10.04	25.10.04	01.11.04	08.11.04	15.11.04	22.11.04	29.11.04	29.11.04	29.11.04
Wechsel der Mischvariante von 2 °C auf 15 °C am														
Ni/2 °C/6/1-10	14.09.04	20.09.04	27.09.04	04.10.04	11.10.04	18.10.04	25.10.04	01.11.04	08.11.04	15.11.04	22.11.04	29.11.04	29.11.04	29.11.04
Ni/2 °C/1/1-20	14.09.04	20.09.04	27.09.04	04.10.04	11.10.04	18.10.04	25.10.04	01.11.04	08.11.04	15.11.04	22.11.04	29.11.04	29.11.04	29.11.04
Ni/2 °C/2/1-20	15.09.04	20.09.04	27.09.04	04.10.04	11.10.04	18.10.04	25.10.04	01.11.04	08.11.04	15.11.04	22.11.04	29.11.04	29.11.04	29.11.04
Ni/2 °C/3/1-20	15.09.04	20.09.04	27.09.04	04.10.04	11.10.04	18.10.04	25.10.04	01.11.04	08.11.04	15.11.04	22.11.04	29.11.04	29.11.04	29.11.04
Ni/2 °C/4/1-20	17.09.04	24.09.04	01.10.04	08.10.04	15.10.04	22.10.04	29.10.04	05.11.04	12.11.04	19.11.04	26.11.04	03.12.04	03.12.04	03.12.04
Ni/2 °C/5/1-20	17.09.04	24.09.04	01.10.04	08.10.04	15.10.04	22.10.04	29.10.04	05.11.04	12.11.04	19.11.04	26.11.04	03.12.04	03.12.04	03.12.04

Anhang Nr. 9:

Aufnahmeformblatt: Nekrosen nach Inokulationen in lebenden Buchen

Datum:	Kr. Kl.:	BHD:	Baum Nr.:				
Kronenbeschreibung:							
Rindenbeschreibung:							
Lage der Inokulate:		Ende:	Ende:				
Süden							
Norden							
Probencode	Rinden-Nekrosen				Kambium-Nekrosen		Reisolierung
	Form 1 = Kreis 2 = Ellipse 3 = Rechteck	Inokulations- punkt [mm]	Nekrose [mm]		Bemerkung	Bemerkung	
	Länge	Breite	Länge	Breite	Länge [mm]	Breite [mm]	
N1							
N2							
N3							
N4							
N5							
N6							
S1							
S2							
S3							
S4							
S5							
S6							

1,2,3 = "P2" 4,5,6 = "K"

Anhang Nr. 10:

Endophytenuntersuchung: Ergebnis der aus symptomloser Rinde isolierten Pilze

Olpe				Hilchenbach			
Buchen mir sehr schwachem BWL-Befall	Anzahl	Buchen mir stärkerem BWL-Befall**	Anzahl	Buchen mir sehr schwachem BWL-Befall	Anzahl	Buchen mir stärkerem BWL-Befall*	Anzahl
Steril	260	steril	257	steril	212	steril	252
Aspergillus	23	Aspergillus	24	Pilze ***	36	Pilze ***	25
Bakterien	13	Pilze ***	16	Aspergillus	25	Aspergillus	23
Pilze ***	12	Bakterien	13	Penicillium sp.	21	Bakterien	9
steriles Mycel	5	steriles Mycel	4	Disculina sp.	11	Penicillium sp.	4
verunreinigt	2	Penicillium sp.	2	Bakterien	4	steriles Mycel	2
---	--	verunreinigt	2	steriles Mycel	3	Chetomium	2
---	--	---	--	verunreinigt	5	verunreinigt	2
---	--	---	--	Cladosporium sp.	1	Disculina sp.	1
---	--	---	--	Neohendersonia sp.	1	---	--
---	--	---	--	Xylaria sp.	1	---	--
Summe Pilze:	40	Summe Pilze:	46	Summe Pilze:	99	Summe Pilze:	57

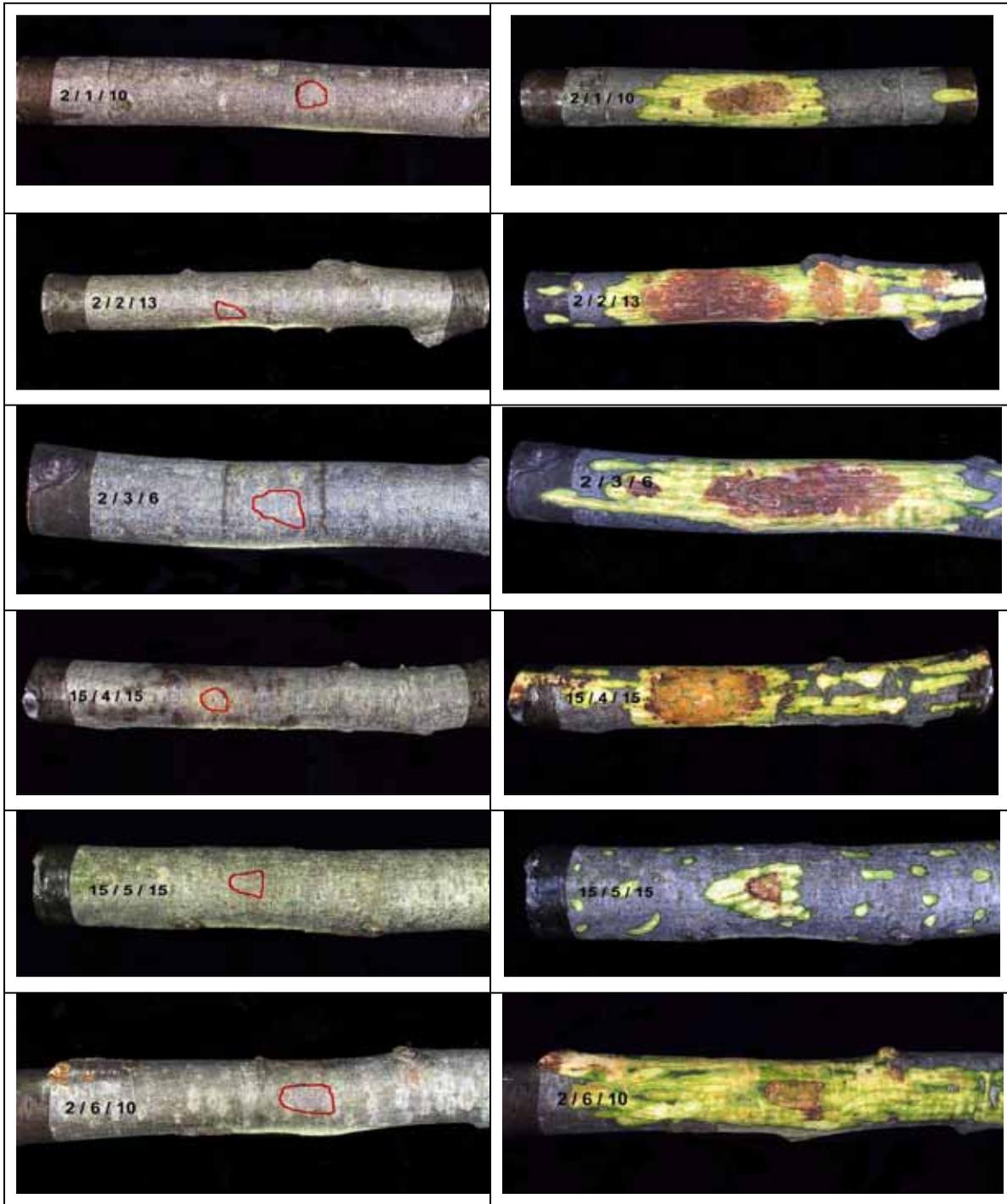
Sortierung nach der Häufigkeit des Vorkommens

* = Punktbefall
 ** = Reihenbefall
 *** = Pilze, weder *Cylindrocarpon* sp. noch ein anderer der in den Tab. 4 & 5 angeführten Pilze

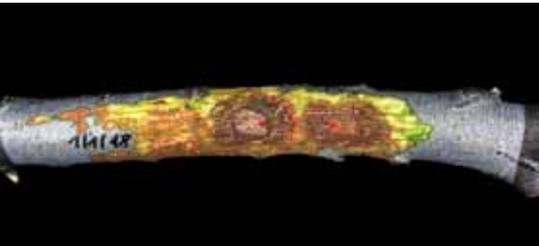
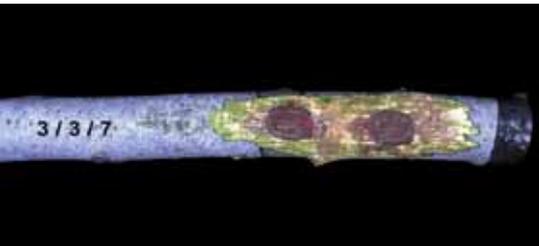
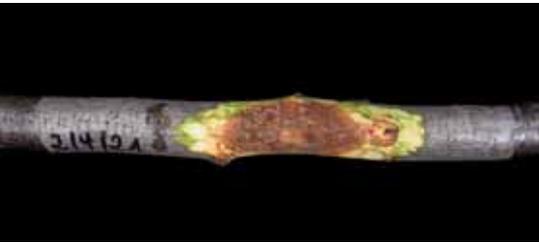
**Anhang Nr. 11: Dualkulturversuch Ergebnisse der statistischen Auswertung
logarithmierter Steigungskurven**

Sortierkriterium: Steigung (aufsteigend); Steigung, als Ausdruck der Wuchsgeschwindigkeit Wachstum bei konstant 25°C und 70 % Luftfeuchtigkeit Länge = Parameter (Steigung) x Tag					
Pilzpaare	Steigung	95 % Konfidenzintervall des Parameters		B° (Bestimm- heitsmass)	Wuchs- zeitraum
		untere Grenze	obere Grenze		
P5 - P3	0,326	0,316	0,336	0,9735	alle Tage
P5 - P2	0,337	0,33	0,343	0,9900	< 70 Tage
P5 - P4	0,347	0,34	0,354	0,9879	< 70 Tage
P5 - K1	0,355	0,351	0,358	0,9979	alle Tage
P5 - P1	0,36	0,355	0,365	0,9958	< 63 Tage
P5 - K3	0,362	0,359	0,365	0,9981	< 70 Tage
P5 - K2	0,366	0,363	0,369	0,9982	< 63 Tage
P4 - P5	1,218	1,201	1,235	0,9941	alle Tage
P4 - P2	1,388	1,363	1,414	0,9925	< 28 Tage
P4 - K2	1,432	1,407	1,458	0,9944	< 24 Tage
P4 - K3	1,444	1,422	1,467	0,9951	< 28 Tage
P4 - K1	1,457	1,44	1,474	0,9961	alle Tage
P4 - P1	1,496	1,467	1,525	0,9945	< 24 Tage
P4 - P3	1,52	1,497	1,554	0,9951	< 28 Tage
P3 - P2	1,711	1,654	1,769	0,9888	< 21 Tage
P3 - P4	1,727	1,668	1,786	0,9884	< 21 Tage
P1 - P3	1,741	1,666	1,817		< 21 Tage
P3 - P1	1,773	1,705	1,842	0,9853	< 21 Tage
P1 - P4	1,807	1,744	1,87		< 21 Tage
P3 - P5	1,82	1,773	1,868	0,9911	< 31 Tage
P3 - K2	1,929	1,869	1,989	0,9904	< 21 Tage
P2 - P4	1,944	1,87	2,018	0,9746	< 21 Tage
P3 - K1	1,951	1,923	1,979	0,9969	alle Tage
P1 - P2	1,955	1,899	2,011		< 21 Tage
P3 - K3	1,963	1,928	1,998	0,9959	< 31 Tage
P2 - P5	1,965	1,9	2,03	0,9742	< 31 Tage
P2 - P3	1,986	1,931	2,04	0,9868	< 21 Tage
P2 - P1	2,035	1,977	2,094	0,9854	< 21 Tage
P1 - P5	2,058	2,023	2,094		< 28 Tage
P1 - K1	2,101	2,086	2,115		alle Tage
P1 - K2	2,148	2,131	2,164		< 21 Tage
P1 - K3	2,156	2,143	2,168		< 28 Tage
P2 - K1	2,201	2,162	2,241	0,9903	alle Tage
P2 - K3	2,332	2,29	2,374	0,9924	< 31 Tage
P2 - K2	2,435	2,384	2,485	0,9924	< 21 Tage

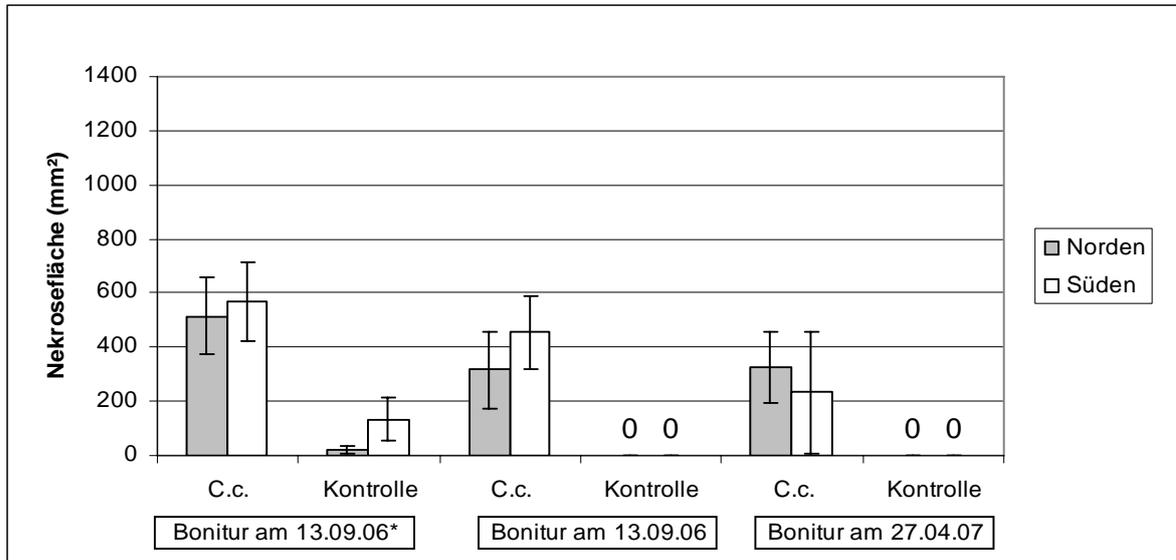
Anhang Nr. 12: Bilddokumentation des Inokulationswachstumsversuches mit Buchenaststücken Beispiele für die verwandten Pilze Nr. 1 bis 5 incl. der Kontrolle (Nr. 6); Erläuterung der digital eingearbeiteten Nummerierung siehe Kap. 2.2.6.1; Linke Reihe: vor dem Entfernen des Oberflächenperiderms mit digital markierter Inokulationslasche ; Rechte Reihe: die nach der Entfernung des Oberflächenperiderms sichtbar werdenden Rindennekrosen; Länge der Aststücke: 20 cm;



Anhang Nr. 13: Bilddokumentation des Antagonismus- und Pilzusionsversuches mit Buchenaststücken, bei welchen das Oberflächenperiderm partiell entfernt wurde
 Bild 1 bis 4: Beispiele für Inokulationen mit jeweils den gleichen Pilzen
 Bild 5 bis 7: Beispiele für Kombinationspartner des Pilzes Nr. 2

	
<p>Nr . 1: Pilz 1 ↔ Pilz 1</p>	<p>Nr . 2: Pilz 2 ↔ Pilz 2</p>
	
<p>Nr . 3: Pilz 3 ↔ Pilz 3</p>	<p>Nr . 4: Pilz 4 ↔ Pilz 4</p>
	
<p>Nr . 5: Pilz 1 ↔ Pilz 2</p>	<p>Nr . 6: Pilz 2 ↔ Pilz 3</p>
	<p>Erläuterung der teilweise digital eingearbeiteten Nummerierung siehe Abb. Nr. 13 Abstand zwischen den roten Punkten (jeweiliges Laschenende) = 3 cm;</p>
<p>Nr . 7: Pilz 2 ↔ Pilz 4</p>	

Anhang 14: Kambiumnekroseflächen (**unbereinigte Daten**) an stehenden lebenden Buchen im Versuchsbestand Hilchenbach nach "P2" Inokulationen



Anzahl: der Buchen: 10;
 Anzahl der „P2“ - Inokulationspunkte: 60
 Konfidenzintervall: 95 %

* = Bonitur erfolgte 91 Tage nach der am 09.06.06 durchgeführten Rindennekrosenbonitur

Anhang Nr. 15: Bilddokumentation des Inokulationsversuches an lebenden Buchen im Freiland

	
<p>(1) Beispiel: Frühjahrsinokulation (2005) und Boniturdatum: 16.08.2005</p> <p>Ohne Nekroseentwicklung; links: „P2“ – Inokulationsstelle; rechts: „Kontrolle“</p>	<p>(2) Beispiel: Herbstinokulation (2005) und Boniturdatum: 09.06.2006</p> <p>Mit durch „P2-Inokulat“ hervorgerufener Rindennekrose; links: „P2“ – Inokulationsstelle; rechts: „Kontrolle“</p>
	
<p>(3) Beispiel: Herbstinokulation (2005) und Boniturdatum: 13.09.2006</p> <p>Mit durch „P2-Inokulat“ hervorgerufener Rindennekrose mit Exsudat; links: „P2“ – Inokulationsstelle; rechts: „Kontrolle“ ohne Exsudat;</p>	<p>(4) Beispiel: Herbstinokulation (2005) und Boniturdatum: 13.09.2006</p> <p>Mit durch „P2-Inokulat“ hervorgerufener Kambiumnekrose; links: „P2“ – Inokulationsstelle; rechts: „Kontrolle“</p>



(5) Beispiel: Herbstinokulation (2005) und Boniturdatum: 27.04.2007

Mit durch „P2-Inokulat“ hervorgerufener Rindennekrose;
links: „P2“ – Inokulationsstelle;
rechts: „Kontrolle“



(6) Beispiel: Herbstinokulation (2005) und Boniturdatum: 27.04.2007

Mit durch „P2-Inokulat“ hervorgerufener Kambiumnekrose;
links: „P2“ – Inokulationsstelle;
rechts: „Kontrolle“



(7) Beispiel: Herbstinokulation (2005) und Boniturdatum: 27.04.2007

Mit durch „P2-Inokulat“ (Inokulationsstelle Nr. 1) hervorgerufener Rindennekrose mit beginnender Wundüberwallung;
unten und links Ausstichpunkte für Rückisolationen;



(8) Beispiel: Herbstinokulation (2005) und Boniturdatum: 27.04.2007

Inokulationsstelle „Kontrolle“ (Inokulationsstelle Nr. 3) mit deutlicher Wundüberwallung

Anhang Nr. 16: Bild 1 und 2: auskeilender Jahrring bei Baum Nr. 10, Rollensegment Nr. 18, Versuchsbestand Hilchenbach; Jahr der Fällung: 2004; Schadensjahr: 2001/2002

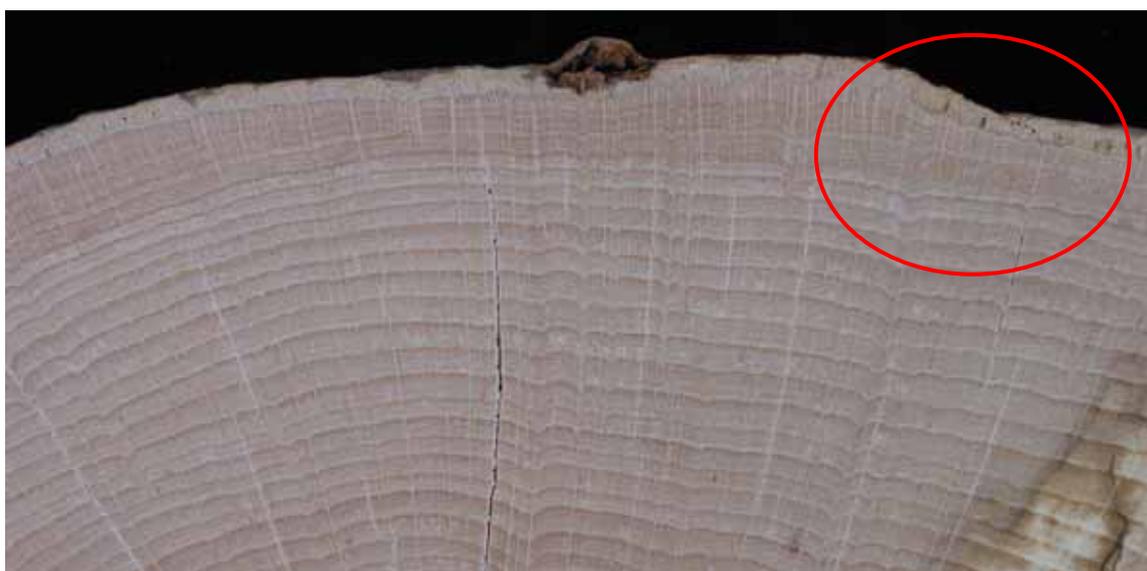
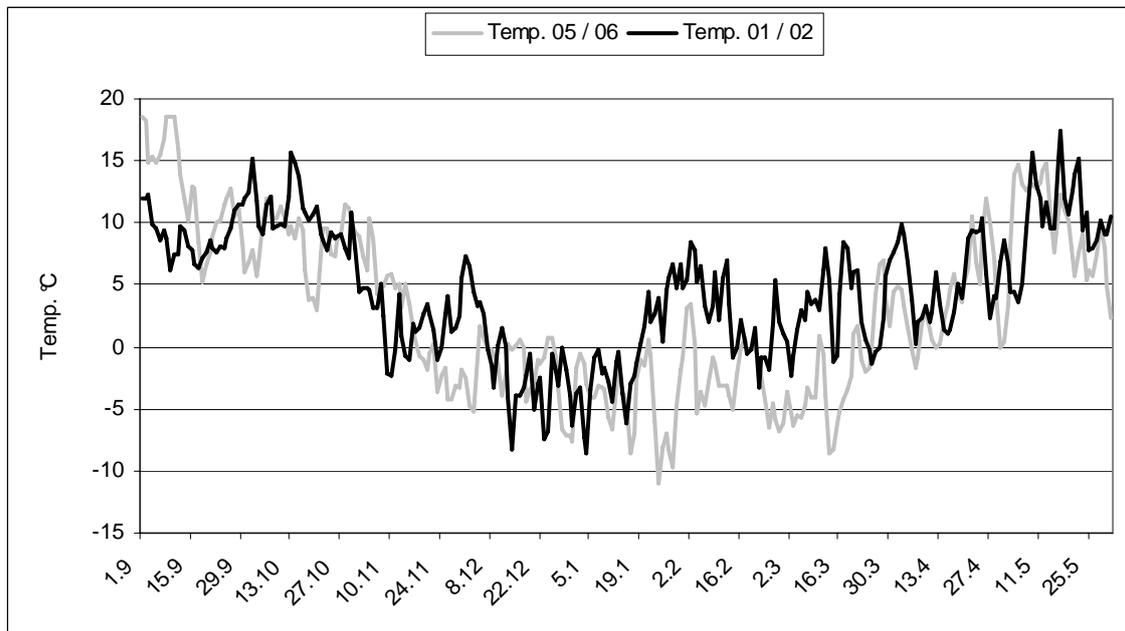
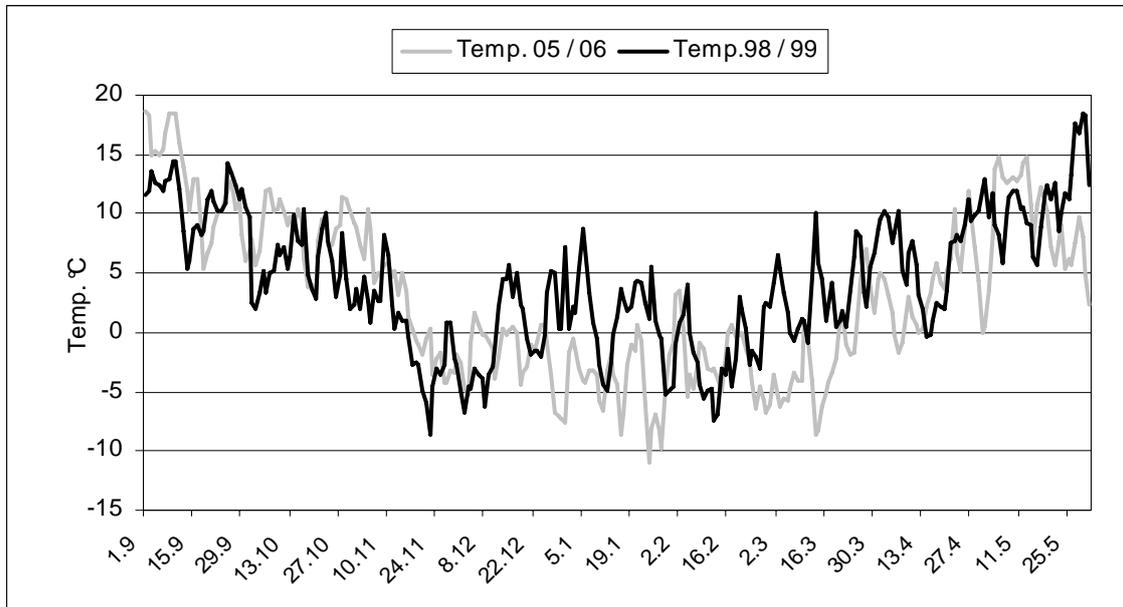
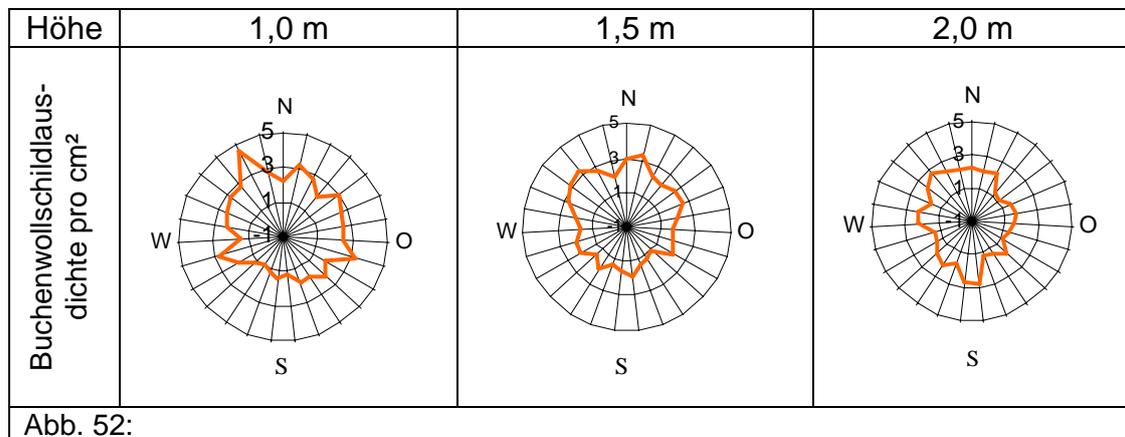


Bild 3 und 4: auskeilender Jahrring bei Baum Nr. 3,
Versuchsbestand Hilchenbach; Jahr der Fällung: 2002; Schadensjahr: 1999/2000

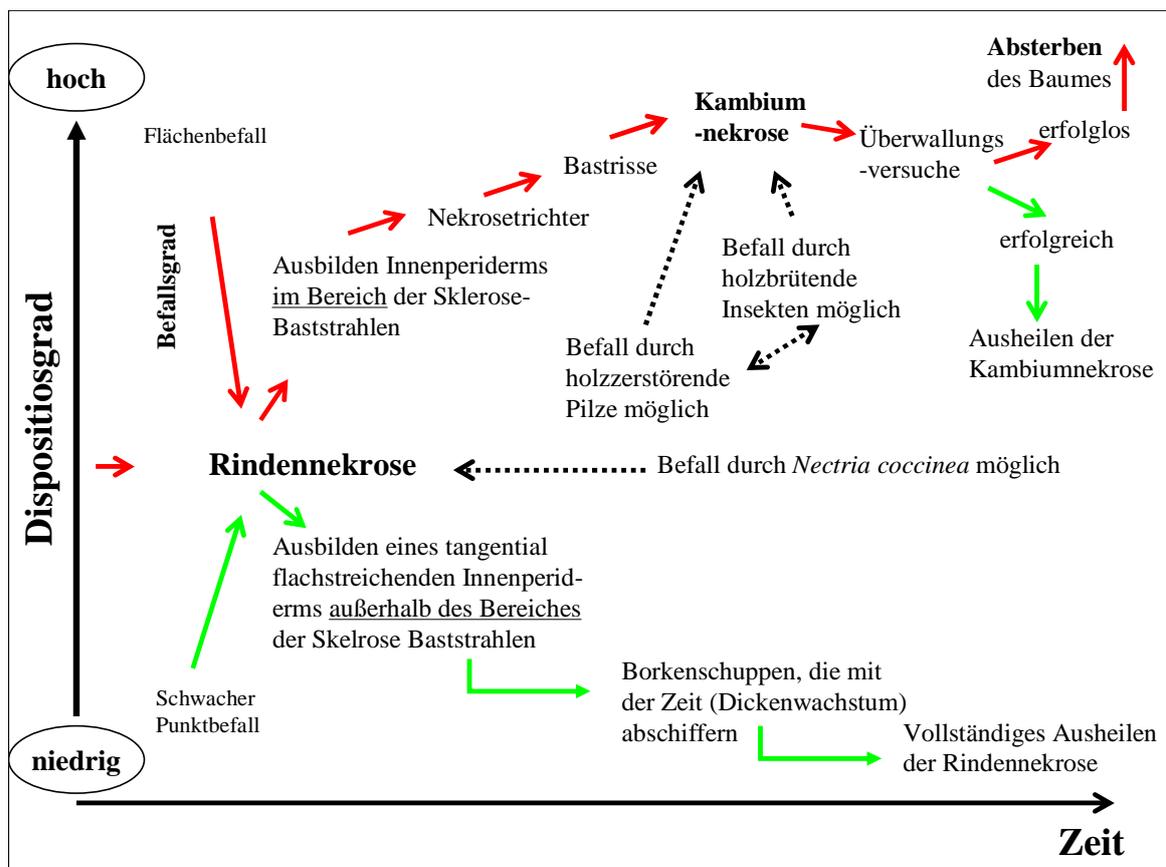


Anhang Nr. 17: Vergleich des Temperaturverlaufs der Winter 1999/2000, 2001/2002 und 2005/2006

Anhang 18 : Exposition von Buchenwollschildlausbefall am Stamm einer Buche (Versuchsbestand Olpe)



Anhang Nr. 19: Schematische Darstellung zum Ablauf von Buchenrindenerkrankungen (nach PETERCORD 2006)



Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

- Abb. 1: Übersichtskarte: In den Jahren 1999 bis 2004 von der Buchenrindennekrose betroffene Forstämter
- Abb. 2: Bild einer Rindennekrose mit markierten (Nadeln) Borkenkäferbohrlöchern
- Abb. 3: Übersichtskarte: Versuchsfläche im Forstamt Olpe, in der Nähe der Ortschaft Oberveischede
- Abb. 4: Übersichtskarte: Versuchsfläche im Forstamt Hilchenbach, in der Nähe der Ortschaft Lützel
- Abb. 5: Detailkarte: Versuchsfläche Olpe
- Abb. 6: Detailkarte: Versuchsfläche Hilchenbach
- Abb. 7: Bild: Probenbaum mit markierter Nordseite
- Abb. 8: Bild: Gewinnung von Buchenrollen im Bestand
- Abb. 9: Bild: Nach Entfernen des Oberflächenperiderms werden Mikronekrosen sichtbar, ältere mit dunkelbrauner und frische mit hellbrauner Färbung
- Abb. 10: Schema: Probenkennzeichnung
- Abb. 11: Bild: Buche mit flächigem Buchenwollschilddausbefall
- Abb. 12: Bild: unbehandeltes, gesäubertes, mit Wachs an den Enden versiegeltes, inokuliertes und im Bereiche der Inokulationsstelle mit Parafilm umwickeltes Buchenaststück
- Abb. 13: Schema zur Vermessung fusionierter Nekrosen in Buchenaststücken
- Abb. 14: Bild: durch locker angeheftete Textilbandstreifen gegen Vogelfraß gesicherte Inokulatreihen
- Abb. 15: Bild: unmittelbar nach Entfernen der Textilbänder, hier mit digital eingetragenen Nummerierungen der Inokulationspunkte: 1 bis 3 = „P2“ und 4 bis 6 = Kontrollen; Abstand zwischen den Punkten und zwischen den Reihen jeweils 10 cm;
- Abb. 16: Bild: Durchmesserbestimmung mittels Schiebelehre nach erfolgter Oberflächenperidermentfernung
- Abb. 17: Bild: Gewinnen einer Rückisolierungsprobe mit einem Korkbohrer
- Abb. 18: Schematische Darstellung der Herleitung des Schadensjahres
- Abb. 19 bis 21: Bilder: Mikroprozessor zum Messen der Rindentemperaturen
- Abb. 22 bis 24: Bilder: Temperaturmessfühler in der Rinde und Stromversorgung über ein Solarmodul

- Abb. 25 bis 28: Grafiken: BHD Verteilung, Verteilung der Kraft'schen Klassen, Blattverlustprozente und Symptomanalyse der 112 im Hauptschadensgebiet in den Forstämtern Olpe und Hilchenbach untersuchten Altbuchen; Bonitur: August 2001
- Abb. 29: Grafik: Laubnutzholzborkenkäferbefall an Altbuchen (N=48) und ca. 60-jährigen Buchen (N=7) jeweils in den FÄ Olpe und Hilchenbach
- Abb. 30: Grafik: Befall durch Laubnutzholzborkenkäfer im Bereich von Rindennekrosen und außerhalb davon (Buche Nr. 1; Versuchsbestand Olpe)
- Abb. 31: Grafik: schematische Darstellung der Lage von punkt- bis bandförmigen Rindennekrosen an von Laubnutzholzborkenkäfern befallenen Buchenstammsegmenten im FA Hilchenbach (Juli 2002)
- Abb. 32: Grafik: wie Abb. 31, im FA Olpe (Juli 2002)
- Abb. 33 bis 40: Bilder: Mikrotomschnitte durch Rinden- und Kambiumnekrosen
- Abb. 41 und 42: Grafiken: Vertikale Lageverteilung aller Mikronekrosen am Stamm
- Abb. 43 bis 48: Bilder: 3 Pilzkulturen auf Malzagarnährmedium einschl. Makro- und Mikrokonidien
- Abb. 49: Grafik: In Buchenrindenmikronekrosen an 15 Buchen nachgewiesene Pilze
- Abb. 50: Grafik: Exposition der Nekrosen am Stamm; alle Bäume, alle Höhen, nur hellbraun gefärbte Nekrosen
- Abb. 51: Grafik: Ergebnis der Untersuchung endophytisch in Buchenrinde lebender Pilze
- Abb. 52: Grafik: Mittleres Tageswachstum von 5 Pilzen in Buchenaststücken bei unterschiedlichen Temperaturbedingungen
- Abb. 53: Bild: Rindennekrosen in Buchenaststücken
- Abb. 54: Bild: durch „P2“ Inokulationen hervorgerufene Rindennekrosen in einem lebendem Buchenstamm
- Abb. 55: Bild: durch „P2“ Inokulationen hervorgerufene Kambiumnekrosen in einem lebendem Buchenstamm
- Abb. 56: Grafik: mittlere Rindennekroseflächen an stehenden, lebenden Buchen im Versuchsbestand Hilchenbach nach "P2" Inokulationen
- Abb. 57: Grafik: mittlere Kambiumnekroseflächen an stehenden, lebenden Buchen im Versuchsbestand Hilchenbach nach "P2" Inokulationen

- Abb. 58 und 59: Grafiken: Rindentemperaturen an südlichen und nördlichen Buchenflanken im Versuchsbestand Hilchenbach und Freilandniederschlag
- Abb. 60 und 61: Bilder: Stammscheibe aus 3,0 m Höhe; Buche Nr. 9 aus Hilchenbach
- Abb. 62 und 63: Bilder: Zwei Weißfäulestellen, rechts mit und links ohne Kambiumnekrose, Baum Nr. 5, Olpe, Rollensegment aus 2,20 m Stammhöhe, Scheibendurchmesser: 18 cm
- Abb. 64 und 65: Bilder: Von innen nach außen fortschreitende Weißfäulestellen, ohne Kambiumnekrosen, mit flachstreichenden Rindennekrosen Baum Nr. 5, Olpe, Rollensegment aus 2,40 m Stammhöhe, Scheibendurchmesser: ca. 18 cm
- Abb. 66 und 67: Bilder: Stammscheibe Buche Nr. 10 aus Hilchenbach mit *Xyloterus domesticus* Fraßgang
- Abb. 68 und 69: Grafiken: Lufttemperaturverlauf in den Waldklimamessstationen Hard und Elberndorf in der Zeit vom 01.09.1998 bis 31.12.1998; Tagesmittel-, -minimum- und -maximumwerte
- Abb. 70: Grafik: Niederschlagsverhältnisse außerhalb der Vegetationsperiode in Buchenbeständen bei 40 m über N.N. (Haard) und 600 m über N.N. (Elberndorf)
- Abb. 71: Schematische Darstellung zum möglichen Ablauf der aktuellen Buchenrindenerkrankung in Nordrhein-Westfalen

Tabellen

- Tab. 1: Bestandesdaten der beiden Versuchsbestände in 54- bis 62-jähriger Buche laut Forsteinrichtung
- Tab. 2: Probenumfang der Mikronekrosenabimpfungen
- Tab. 3: Platzierung der Inokulate in den Petrischalen (links: Kreis mit 2 Quadraten) und die Versuchsmatrix
- Tab. 4: Aus Mikronekrosen isolierte Pilze (Versuchsbestand Hilchenbach)
- Tab. 5: Aus Mikronekrosen isolierte Pilze (Versuchsbestand Olpe)
- Tab. 6: Für Inokulationsversuche ausgewählte Pilze
- Tab. 7: Wachstumsvergleich von Dualkulturen
- Tab. 8 und 9: Ergebnisse von Signifikanztest zum Nekrosewachstum 5 verschiedener Pilze in der Rinde von Buchenaststücken

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

- Tab. 10: Ergebnisse von Signifikanztest zum Wachstum von 4 Pilzen in Buchenaststücken bei 15°C mit zwei Pilzinokulaten pro Knüppel (Antagonismus)
- Tab. 11: Mittlere Gewichte (in g) und Standardabweichung der Buchenaststücke
- Tab. 12: Grunddaten der Versuchsbäume des Inokulationsversuches in lebenden Buchen
- Tab. 13: Ergebnisse untersuchter Stammscheiben zur Bestimmung des Schadensjahres

Danksagung

Prof. Dir. Dr. Alfred Wulf danke ich für die Überlassung des Themas, für die Betreuung dieser Arbeit und für die Durchsicht des Manuskriptes. Einen besonderen und herzlichen Dank für die im Institut für Pflanzenschutz im Forst der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft großzügig eingeräumten Rahmenbedingungen und für die freundschaftliche Aufnahme im Team, welches für mich für viele Monate eine zweite Heimat wurde. Nur so war der enorme Probenumfang zu meistern. Prof. Dr. Stefan Schütz danke ich für die Übernahme des Korreferats. Dr. Günter Hartmann, forstpathologisches Labor Hardeggen, danke ich herzlich für die vielen richtungsweisenden Diskussionen vor Ort, im Labor und Zuhause und für die hilfreichen kritischen Anmerkungen. Prof. Dr. Rolf Kehr, Fachhochschule Göttingen, danke ich für die Ermutigung dieses Thema wissenschaftlich zu bearbeiten und für die vielen Diskussionen und die gezeigten Tricks bei der Probenaufbereitung und beim Bestimmen der Pilze. Dr. Leo Pehl danke ich für die Mithilfe beim Bestimmen der Pilze, für die Durchsicht des Manuskriptes, für die vielen helfenden Gespräche, welche die Fertigstellung der Arbeit erheblich beschleunigte und Dr. Jörg Schumacher für die geführten Diskussionen. Prof. Dr. Dr. Ulrich Skatulla, LWF Freising, danke ich für die kostenlose Überlassung einer kompletten Rindentemperaturmessanlage einschließlich der erforderlichen Software und der Mithilfe beim Einrichten der Anlage vor Ort und Philipp Lemke für das Auslesen der Temperaturdaten. Mein besonderer Dank gilt den Mitarbeitern des Instituts Jutta Martens, Marion Krenz, Dagmar Trautmann, Uta Scheidemann, Rheinhold Trautmann, Henning Thiele, Kerstin Könnecke und Mark Lösche für die unermüdliche Mithilfe bei der Probengewinnung und bei der Probenaufbereitung und Dagmar Trautmann für die Anfertigung von Mikrotomschnitten. Dr. Eckhard Moll, Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Berlin Kleinmachnow und Uwe Wunn, Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Trippstadt, danke ich für die Beratung bei statistischen Problemen und für die notwendige zur Verfügungstellung von Computerhardware und der erforderlichen statistischen Software. Den Forstkollegen Mathias Menekes, Forstamt Hilchenbach, Revier Elberndorf und Jörg Ahlemeier, Forstamt Olpe, Revier Einsiedelei und ihren

Mitarbeitern danke ich ganz besonders für die Mithilfe vor Ort und für ihre Geduld beim Belassen kranker Buchen. Dr. Joachim Gehrman, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW und seinen Mitarbeitern danke ich für die Überlassung der Wetterdaten und den Mitarbeitern der Abteilungen III und IV des Landesbetriebes Wald und Holz, allen voran Norbert Geisthoff für die Mithilfe bei Außenaufnahmen, Stammscheibenaufbereitungen und bei Bonituren. Dr. Joachim Block, Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz, Dr. Ralf Petercord, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg und Dr. Gerlind Fiebelkorn danke ich für die hilfreichen Telefonate. Bernhard Fachtner und Susanne Enseroth danke ich für die Übersetzung der französischen Artikel und meinen Dienstherrn, anfänglich die Landwirtschaftskammer des Landes Nordrhein-Westfalen und derzeit der Landesbetrieb Wald und Holz NRW für die Zustimmung diese Arbeit als genehmigte Nebentätigkeit durchführen zu können.

Mein ganz besonderer Dank geht an Gabi, Franziska und Maximilian.
Ihnen ist diese Arbeit gewidmet.

Name: Christoph Mathias Niesar
Geburtstag: 15.12.1957
Geburtsort: Rodalben/Pfalz
Eltern: Adalbert Niesar, Kaufmann, verst. 1960
Anni Niesar, geb. Reber, Kauffrau, verst. 2004
Staatsangehörigkeit: deutsch
Konfession: römisch katholisch
Familienstand: seit 08.06.1984 verheiratet mit Gabriele Niesar, Apothekerin
Tochter Franziska, geb. am 04.01.1987
Sohn Maximilian, geb. am 08.10.1990
Schulen 1964-1978: Mozartschule (Grundschule) in Rodalben und Otfried v.
Weißenburg Gymnasium in Dahn, bei gleichzeitigem Eintritt
in das katholische Internat St.Pirmin in Dahn; Abschluss:
Allgemeine Hochschulreife
Bundeswehr und
Gesellenbrief: Juli 1978 - Juni 1980: Ausbildung zum Unteroffizier,
Reserveoffizier und in der Abendschule zum KFZ-
Mechanikergesellen
Hochschulstudium: November 1981 - August 1987; Studium der
Forstwissenschaft an der Ludwig-Maximilians-Universität,
München, Abschluss: Diplom Forstwirt
Berufstätigkeit:
01.09.87 - 31.05.89: Leiter einer Arbeitsgruppe als wissenschaftlicher Angestellter
der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz
01.06.89 - 24.05.91: Referendar in den NRW Forstämtern Wipperfürth und Brilon
01.07.91 - 31.10.91: Organisationsleiter des ersten Briloner Waldsymposiums
01.11.91 - 29.02.92: Fachjournalistische Tätigkeiten
03.03.92 - 30.09.95: Stellvertretender Amtsleiter des Forstamtes Waldbröl
01.10.95 - 31.10.96: Dezernatsleiter für Förderung und Privatwaldbetreuung im
FA Waldbröl
01.11.96 - 31.12.03: Fachbereichsleiter der LWK Rheinland in Bonn für die
Bereiche Pflanzenschutz im Forst, in Baumschulen, in
Weihnachtsbaumkulturen und im öffentlichen Grün;
Internetleitung
01.01.04 - 28.02.05: Fachbereichsleiter der LWK NRW für das gleiche
Aufgabengebiet
01.03.05: Versetzung zum Landesbetrieb Wald und Holz, NRW
01.04.05 - 26.10.05: Kommissarische Leitung des Referates Wald- und
Forstschutz, Pflanzenschutzdienst des Landesbetriebes
Wald und Holz, NRW
seit 27.10.05: Leitung des angeführten Referates

Aktuelle Mitarbeit in Arbeitsgruppen

- Mitglied der Bundesarbeitsgruppen Waldschutz und Schmetterlingssexuallockstoffe
- Leitung des Arbeitskreises Lückenindikation, **UnterArbeitsKreis** Forst der Länder
- Berufenes Mitglied des Forstschutzbeirates des Julius Kühn Institutes, Braunschweig
- Mitarbeit in der Arbeitsgruppe Umweltmonitoring des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW

Jahresberichte

Emschermann, F., Niesar, M. (1998, 1999, 2000, 2001, 2002): Jahresberichte der jeweiligen Jahre der Pflanzenschutzdienste der Direktoren der Landwirtschaftskammern Rheinland und Westfalen Lippe, über das Auftreten von Schäden, Krankheiten und Schädlingen im Wald des Landes Nordrhein-Westfalen.

Niesar, M. et al (2003): Waldschutzsituation 02/03 in NRW; AFZ-Der Wald 7/03 S. 340-342.

Niesar, M. et al (2004): Forstschutzsituation 03/04 in NRW; AFZ-Der Wald 7/04 S. 371-372.

Niesar, M. et al (2005): Waldschutzsituation 04/05 in NRW; AFZ-Der Wald 7/05 S. 366-368.

Niesar, M. et al (2006): Waldschutzsituation 04/05 in NRW; AFZ-Der Wald 7/06 S. 371-372.

Niesar, M., Geisthoff, N. (2007): Waldschutzsituation 06/07 in NRW; AFZ-Der Wald 7/2007 S. 354-355.

Aufsätze in Fachzeitschriften und Fachbüchern

Genßler, L., Niesar, M. (2004): Bewertung sichtbarer Ozonsymptome im August 2003, in Bericht über den ökologischen Zustand des Waldes in Nordrhein-Westfalen, LÖBF, S. 20-22.

Niesar, M. (1998): Untersuchungen des Pflanzenschutzamtes Bonn zum Themenkomplex „Eichensterben“ in „Die Situation der Eiche in Nordrhein-Westfalen und angrenzenden Gebieten“ Statusbericht zu einem Workshop am 19.5.1998 in Arnsberg, LÖBF 1998, S.31-33.

Niesar, M. (2001): Einsatz von Pflanzenschutzmittel im Forst – Änderungen seit 1.7.01; AFZ 56, S.861-862.

Niesar, M. (2002): Genehmigungsproblematik bei Weihnachtsbaumkulturen - sind diese standortgerecht und autochton ? Das TASPO Magazin 7-2002; S. 6 f.

Niesar, M. (2003): Dem Buchenleiden auf der Spur (Artikel zur Hochlagenerkrankung der Buche); Landwirtschaftliches Wochenblatt, Westfalen-Lippe (weiterhin als Landw. W.-blatt W-L abgekürzt) 22/2003 S. 50 f.

Niesar, M. (2003): Maßnahmen zur Befallsreduzierung der Rosskastanienminiermotte (*Cameraria ohridella*) im öffentlichen Grün der Stadt Bonn; Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. 55.2003, S. 235-236.

Niesar, M. (2003): Nur wenig Bekämpfungslücken für Weihnachtsbaumkulturen; Das TASPO Magazin 7-2003; S. 47 f.

Niesar, M. (2003): Pilzliche und tierische Organismen und deren Auswirkungen auf die Vitalität der Waldbäume; in der Waldzustand in Nordrhein-Westfalen, LÖBF, S. 15-17.

Niesar, M. (2004): Käfer jetzt bekämpfen; Landw. Landw. W.-blatt W-L, 25/2004 S.38f.

Niesar, M. (2004): Gefürchtete „Spinner“ (Eichenprozessionsspinner); Landw. W.-blatt W-L, 35/2004 S.35 f.

Niesar, M. (2004): Herr der Rinde, (Anm.: Artikel zur Borkenkäferproblematik); Landw. W.-blatt W-L, 7/2004 S. 62 f.

Niesar, M. (2004): Die Eiche aus der Sicht des Wald-/Forstschutzes in Nordrhein-Westfalen; in LÖBF NRW Sonderheft Eichentagung 2004, S. 19 f.

Niesar, M. (2004): Die Folgen des heißen Sommers 2003 aus der Sicht des Forstschutzes, in Bericht über den ökologischen Zustand des Waldes in Nordrhein-Westfalen, LÖBF, S. 28-31.

Niesar, M. (2006): Bäume unter Trockenstress, Landw. W.-blatt W-L,32/06, S.43-44.

Niesar, M. (2007): Borkenkäferstehendbefall gezielt verhindern, Landw. W.-blatt W-L 13/07, S. 58-59.

Niesar, M. et al (2006): Rückblick auf Forstschäden, Landw. W.-blatt W-L, 20/2006, S. 52-53.

Niesar, M., Geisthoff, N. (1998): Anbau von Weihnachtsbäumen; Informationsblatt der LWK-Rhld. Pflanzenschutzamt; Mai 1998.

Niesar, M., Geisthoff N. (2007): Wärme hat Borkenkäfer mobilisiert, Landw. W.-blatt W-L, 20/2007 S. 42.

Niesar, M., Geisthoff N. (2007): Die braune Gefahr für Fichte und Co., Landw. W.-blatt W-L, 20/2007 S. 45-46.

Niesar, M., Schulte, A. (2003): Baumschäden und Baumschutz; in „Wald in Nordrhein-Westfalen“; Aschendorf Verlag; S.617 – 640.

Posterpräsentationen

Niesar, M. (2000): Energieholz und Waldschutz, am Beispiel der Fichte; Energieholzkongress Forstwirtschaft nach Kyoto, vom 20.-22.11.2003 im Siemens Nixdorf Museum, Paderborn.

Niesar, M., Geisthoff, N., Iskandarani, J. (2003): Maßnahmen zur Befallsreduzierung der Roßkastanienminiermotte (*Cameraria ohridella*) im öffentlichen Grün der Stadt Bonn; 2. International Symposium on Plant Health in Urban Horticulture, 27 - 29 August 2003 in Berlin.

Niesar, M., Heupel, M. (2000): *Rhicoctonia solani* an *Picea abies*, 52. Deutsche Pflanzenschutztagung in Freising-Weihenstephan.

Wissenschaftliche Artikel

Block, A., Niesar, M.: (1989): Waldbodenversauerung durch Luftverunreinigungen, AFZ 35-36, S. 954-956.

Niesar, M., Geisthoff N. (1999): Bekämpfung des Riesenbärenklaus mittels Glyphosaten; AFZ/Der Wald 22/1999, S. 1173-1175.

Niesar, M., Hartmann, G., Kehr, R., Pehl, L., Wulf, A. (2007): Symptome und Ursachen der aktuellen Buchenrindenerkrankung in höheren Lagen von Nordrhein-Westfalen, Forstarchiv, 78, S.107-116.

Morsbach, den 17.02.2008

