

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	15
2.	Der spröde Baumbruch, verursacht durch <i>Kretzschmaria deusta</i> (Brandkrustenpilz)	26
2.1	Beschreibung, Verbreitung und Wirtsspektrum von <i>K. deusta</i>	26
2.2	Infektionsstrategie und Biologie von <i>K. deusta</i>	31
2.3	Das Holzersetzungsmuster von <i>K. deusta</i>	34
2.4	Auswirkungen der Holzersetzung von <i>K. deusta</i> auf die Biomechanik befallener Bäume	34
2.5	Rechtliche Beurteilung der Baumversprödung durch <i>K. deusta</i>	35
3.	Übersicht von Verfahren und Methoden zur Beurteilung der Stand- und Bruchsicherheit von Bäumen	37
3.1	Geschichtliche Entwicklung der Baumkontrolle	37
3.2	Die Zugversuche	39
3.3	Sicherheitsfaktor bei Bäumen	42
3.4	Nachweis einer Holzersetzung im Baum	48
3.5	Schadsymptome, die mit einer Holzersetzung einhergehen	52
4.	Mikroskopie	71
4.1	Lichtmikroskopie	72
4.1.1	Durchlicht-Hellfeld-Mikroskopie	72
4.1.2	Fluoreszenzmikroskopie	75
4.1.3	Polarisationslicht	75
4.2	UV-Mikroskopie	75
4.3	Elektronenmikroskop	76
4.3.1	Transmissionselektronenmikroskop (TEM)	77
4.3.2	Rasterelektronenmikroskop (REM)	77
5.	Holzstruktur und Ligninkomposition von Laub- und Nadelbäumen	80
5.1	Xylem von Nadelbäumen	87
5.1.1	Tracheiden	87
5.1.2	Hoftüpfel	88
5.1.3	Einseitig behofte Tüpfel	89
5.1.4	Einfache Tüpfel	89
5.1.5	Druckholz	91
5.2	Xylem von Laubbäumen	92
5.2.1	Gefäße	92
5.2.2	Fasertracheiden	93
5.2.3	Libriformfasern	93
5.2.4	Holzstrahlen	97
5.2.5	Längsparenchym	97
5.2.6	Zugholz	98

5.3	Holzstruktur und Wassertransport	103
5.3.1	<i>Die hydrodynamische Gestaltung des Holzes</i>	104
5.3.2	<i>Die Organisationsstufen des Hydrosystems</i>	106
5.4	Ligninkomposition im Holz verschiedener Baumarten und der Einfluss auf Holz zersetzende Pilze	114
5.5	Entwicklungsgeschichtliche Anpassung von Holz zersetzenden Pilzen an das Holzsubstrat	118
6.	Identifikation von Holz zersetzenden Pilzen	120
6.1	Nützliche Merkmale für die Pilzbestimmung	120
6.1.1	<i>Form der Fruchtkörper</i>	120
6.1.2	<i>Hymenium und Hymenophor</i>	122
6.1.3	<i>Trama</i>	123
6.1.4	<i>Lebensdauer der Fruchtkörper</i>	123
6.1.5	<i>Sporen und Sporenabdruck</i>	124
6.1.6	<i>Hyphensystem</i>	126
6.2	Bestimmung von Holz zersetzenden Pilzen in Reinkultur	128
6.3	Molekularbiologische Identifikation von Holz zersetzenden Pilzen	130
6.4	Bestimmungsschlüssel für Porlinge (nach Tröger & Hübsch 1990)	132
6.5	Biologie und Identifikation von <i>Armillaria</i> (Hallimasch)-Arten	158
6.5.1	<i>Verbreitung und Wirtskreis</i>	158
6.5.2	<i>Aussehen der Fruchtkörper und die Funktion von Rhizomorphen</i>	161
6.5.3	<i>Isolation, Identifikation und Differenzierung verschiedener Hallimasch-Arten</i>	166
6.5.4	<i>Kreuzungstests mit Einsporkulturen</i>	166
6.5.5	<i>Faktoren, die die Anfälligkeit des Baumes gegen Hallimasch-Arten erhöhen</i>	166
6.5.6	<i>Einfluss unterschiedlicher Überflutungsperioden auf die Pathogenität</i>	168
6.5.7	<i>Einflüsse auf einer Hallimasch-Infektion und Gegenmaßnahmen</i>	170
7.	Besiedlungsstrategien Holz zersetzender Pilze	172
7.1	Stresstolerante Pilze	172
7.2	Pionierpilze	173
7.3	Endophyten	174
7.4	Combative (kompetitive) Strategien	177
7.5	Eintrittspforten für Holz zersetzende Pilze	178
7.6	Voraussetzungen für das Entstehen einer Holzzersetzung im lebenden Baum	180
7.7	Das Holzzersetzungs-dreieck	180
7.7.1	<i>Anfälligkeit der Baumart</i>	181
7.7.2	<i>Umweltbedingungen im Holz</i>	183
7.7.3	<i>Infektionsdruck</i>	183
7.8	Inokulation von Bäumen mit Holz zersetzenden Pilzen zur Beurteilung der Fäuledynamik mittels Schalltomographie	184
7.8.1	<i>Douglasie (Pseudotsuga menziesii)</i>	187
7.8.2	<i>Rotbuche (Fagus sylvatica)</i>	188
7.8.3	<i>Stieleiche (Quercus robur)</i>	189

7.8.4	<i>Bergahorn (Acer pseudoplatanus)</i>	191
7.9	Holzbesiedlung durch Hyphen	193
8.	Arten der Holzzersetzung	199
8.1	Braunfäule	201
8.1.1	<i>Resistenz von Parenchymzellen gegen Braunfäuleerreger</i>	204
8.1.2	<i>Einfluss einer Braunfäule auf die Festigkeitseigenschaften von Holz</i>	207
8.2.1	<i>Selektive Delignifizierung</i>	209
8.2.2	<i>Simultane Weißfäule</i>	212
8.2.3	<i>Einfluss des Ligningehalts in Zellen von Acer pseudoplatanus auf die Holzzersetzung von Armillaria mellea</i>	212
8.2.4	<i>Einfluss einer Weißfäule auf die Festigkeitseigenschaften von Holz</i>	217
8.3	Moderfäule	220
8.3.1	<i>Moderfäule in lebenden Bäumen verursacht durch Kretzschmaria deusta</i>	222
8.3.2	<i>Moderfäule, verursacht durch Holz zersetzenden Basidiomyceten</i>	224
8.3.3	<i>Moderfäule verursacht durch Armillaria-Arten</i>	225
8.3.4	<i>Duale Strategien der Holzzersetzung durch Fistulina hepatica im Holz von Quercus robur</i>	226
8.3.5	<i>Einfluss einer Moderfäule auf die Festigkeitseigenschaften von Holz</i>	232
8.4	Holzzersetzungsmuster und ihre Bedeutung für die Beurteilung der Verkehrssicherheit	232
9.	Wirt-Pilz-Interaktionen im Xylem lebender Bäume	235
9.1	Die mykologische Interpretation der Wände 1–3 des Codit-Modells	239
9.1.1	<i>Das Verhalten guter und schwacher Kompartimentierer und die Bedeutung des Inokulumpotenzials</i>	239
9.1.2	<i>Pilz-Wirt-Interaktionen im Splintholz lebender Bäume</i>	241
9.2	Überwindung von Reaktionszonen durch Holz zersetzende Pilze	244
9.2.1	<i>Inonotus hispidus</i>	245
9.2.2	<i>Kretzschmaria deusta</i>	249
9.2.3	<i>Ganoderma adpersum</i>	249
9.2.4	<i>Fomitopsis pinicola</i>	251
9.3	Vergleich von Baumarten mit starken und schwachen Barrierezonen	253
9.3.1	<i>Ausmaß der Holzverfärbung nach Stammverletzungen</i>	255
9.3.2	<i>Ausdehnung der Barrierezone nach Verletzung mit dem Zuwachsbohrer</i>	258
9.3.3	<i>Ausdehnung der Barrierezone nach Verletzung mit der Motorsäge</i>	259
9.4	Anatomischer Aufbau der Barrierezone in Esche (<i>Fraxinus excelsior</i>) und Linde (<i>Tilia platyphyllos</i>)	259
9.5	Abwehrreaktionen und Pilzinfektionen – eine differenzierte Betrachtung des Codit-Modells nach Stammverletzungen	261
9.5.1	<i>Verletzungsart und Holzsubstrat</i>	263
9.5.2	<i>Abwehrmechanismen nach Verletzungen</i>	264
9.5.3	<i>Faktoren, die die Angriffsfähigkeit Holz zersetzender Pilze bestimmen</i>	267

10.	Ermittlung der Holzzersetzung am lebenden Baum mit Diagnosemethoden	270
10.1	Minderung der Schallgeschwindigkeit in künstlich und natürlich infiziertem Holz mit dem Metriguard-Impulshammer	272
10.2	Bohrwiderstandsmessungen am zersetzten Holz nach sechs und zwölf Wochen Inkubationszeit	276
10.3	Minderung der Querbruchfestigkeit von Bohrkernen im Frühstadium einer Holzzersetzung	279
10.4	Möglichkeiten und Grenzen von Diagnosemethoden	284
11.	<i>Ganoderma</i>-Arten an Bäumen – Differenzierung und Aggressivität	287
11.1	Diagnose und Differenzierung	288
11.1.1	<i>Ganoderma lipsiense</i> (Flacher Lackporling)	288
11.1.2	<i>Ganoderma adpersum</i> (Wulstiger Lackporling)	288
11.1.3	<i>Ganoderma resinaceum</i> (Harziger Lackporling)	289
11.1.4	<i>Ganoderma pfeifferi</i>	291
11.2	Prognose der Fäuledynamik	291
11.3	Untersuchungen zur Aggressivität einzelner <i>Ganoderma</i> -Arten	292
11.3.1	Einfluss verletzter und unverletzter Reaktionszonen auf den Abbau pilzwidriger Substanzen durch <i>Ganoderma</i> -Arten	292
11.3.2	Einfluss der Reaktionszone auf Abbauraten durch <i>Ganoderma</i> -Arten	295
11.3.3	Vergleich der histologischen Ergebnisse mit Bohrwiderstandsmessungen	295
11.4	Aggressivität verschiedener Lackporlinge und ihre Bedeutung für die Baumkontrolle	298
12.	Einsatz invasiver Diagnosemethoden und der Einfluss auf den Verlauf einer Holzzersetzung in Bäumen	302
12.1	Holzverfärbungen im Splintholz nach Stammverletzungen	305
12.2	Bohrverletzungen als Eintrittspforten für Holz zersetzende Pilze	307
12.3	Bohrverletzungen als Autobahnen für Holz zersetzende Pilze	309
12.4	Kreuzinfektion von Holz zersetzenden Pilzen über kontaminierte Bohrgeräte	313
12.5	Einfluss von Diagnosegeräten auf die Fäuledynamik im lebenden Baum	313
13.	Nachweis und Interpretation verschiedener Holzzersetzungsarten mit dem Picus®-Schalltomographen	316
13.1	Auswahl pilzinfiltrierter Bäume	318
13.2	Aufteilung der Segmente in Würfel	319
13.2.1	Roh- und Darrdichtebestimmung	319
13.2.2	Farbstufenzuordnung der Würfel	319
13.3	Auswertung und Vergleich der Tomogramme und Stammscheiben	320
13.4	Interpretation der Tomogramme	322
13.4.1	Rotbuche und <i>Ganoderma adpersum</i> (Wulstiger Lackporling)	322
13.4.2	Roskastanie und <i>Pleurotus osteratus</i> (Austernseitling)	323
13.4.3	Spitzahorn und <i>Kretzschmaria deusta</i> (Brandkrustenpilz)	323
13.4.4	Räumliches Ausmaß der Holzzersetzung durch den <i>Kretzschmaria deusta</i> im Spitzahorn	325

13.5	Interpretation der Schalltomogramme	325
13.5.1	Rotbuche und <i>Ganoderma adspersum</i>	325
13.5.2	Roskastanie und <i>Pleurotus osteratus</i> (Austernseitling)	327
13.5.3	Spitzahorn und <i>Kretzschmaria deusta</i>	327
14.	Stammverletzungen – Potenzielle Eintrittspforten für Holz zersetzende Pilze	330
14.1	Auswahl der Versuchsbäume	330
14.1.1	Datenerhebungen am Untersuchungsbaum	332
14.1.2	»Negative« Schalltomogramme	332
14.1.3	»Positive« Schalltomogramme	333
14.1.4	Isolation und Bestimmung der Pilzarten	333
14.2.	Auswertung der Tomogramme	336
14.2.1	Beispiel für eine »positive« Einstufung (<i>Aesculus</i> -Arten)	336
14.2.2	Beispiel für eine »fragliche« Einstufung (<i>Tilia</i> -Arten)	336
14.2.3	Beispiel für eine »negative« Einstufung (<i>Aesculus</i> -Arten)	339
14.2.4	Kategorisierung der Untersuchungsbäume	340
14.2.5	Auswertung der Pilzisolationen	341
14.3	Schalltomographie und ihre Bedeutung für die Beurteilung der Verkehrssicherheit pilzinfiltrierter Bäume	342
14.3.1	Anfälligkeit der Baumarten	347
14.3.2	Infektionsfördernde Umweltbedingungen (z.B. exponiertes Kern- oder Reifholz)	348
14.3.3	Inokulum Potential, d.h. ausreichende Menge an Pilzsporen	349
15.	Einsatz von Pilzen als Nützlinge	351
15.1.	Biologische Kontrolle von Holz zersetzenden Pilzen – In-Vitro-Screening von <i>Trichoderma</i> -Arten für die Wundbehandlung von Bäumen	355
15.1.1	Wachstums- und Keimungsraten unter unterschiedlichen Bedingungen	358
15.1.2	Einfluss von flüchtigen organischen Verbindungen	359
15.1.3	Dualkultur-Tests	360
15.1.4	Interaktion-Tests im Holz	362
15.2	Feldstudien mit <i>Trichoderma</i> -Arten zur Beurteilung des antagonistischen Potentials nach Schnittmassnahmen an Bäumen	366
15.2.1	Re-Isolation von Astwunden und Analyse	367
15.2.2	Morphologische und molekularbiologische Identifikation	369
15.3	Einsatz von <i>Trichoderma</i> -Arten gegen den wurzelbürtigen Schaderreger <i>Phellinus noxius</i>	379
15.3.1	Mikromorphologische und molekularbiologische Identifizierung	381
15.3.2	Wachstumsraten unter unterschiedlichen ökologischen Bedingungen	382
15.3.3	Wachstumshemmung von <i>P. noxius</i> mittels Bildung von flüchtigen organischen Verbindungen durch <i>Trichoderma</i> -Isolate	382
15.3.4	Dualkultur-Tests	382
15.3.5	Bewertung des antagonistischen Potenzials im Holz	385
15.3.6	Vergleich der Wachstumsraten von <i>Trichoderma</i> -Isolaten	386
15.3.7	Einfluss flüchtiger organischer Verbindungen, produziert durch <i>Trichoderma</i> -Isolate, auf das Wachstum von <i>Phellinus noxius</i>	389

15.3.8	<i>Antagonistisches Potential von Trichoderma-Isolaten in Dualkultur</i>	390
15.3.9	<i>Bestimmung des antagonistischen Potenzials im Holz</i>	391
15.4	Einsatz von <i>Trichoderma</i> -Arten und ihre Bedeutung für die Baumpflege	394
15.4.1	<i>Applikation von Trichoderma-Arten nach Schnittmassnahmen</i>	394
15.4.2	<i>Applikation von Trichoderma-Arten im Wurzelbereich</i>	396
15.5	Der Einsatz von Braunfäuleerregern zum Nachweis von Jahrringen im Holz	401
15.6	Erhöhung der Tränkbarkeit von Nadelholz mit <i>Physisporinus vitreus</i>	403
15.6.1	<i>Holzzerstörung in Kühltürmen durch Physisporinus vitreus</i>	406
15.7	Einsatz von Holz zersetzenden Pilzen zur Beschleunigung der Sargholz-verrottung	408
15.7.1	<i>Anfälligkeit der Holzart gegen Holz zersetzende Pilze</i>	409
15.7.2	<i>Infektionsfördernde Umweltbedingungen (z.B. geeignete Holzfeuchte für die Initialbesiedlung durch Holz zersetzende Pilze)</i>	410
15.7.3	<i>Menge an infektiösem Material</i>	411
15.7.4	<i>Labor- und Freilandstudien mit »Starter-Kits«</i>	414
15.8	Hochwertiges Klangholz für Geigen durch die Behandlung mit Pilzen	417
15.8.1	<i>Geigendecke</i>	417
15.8.2	<i>Geigenboden</i>	418
15.8.3	<i>Stradivarius: Mythos oder Realität?</i>	419
15.8.4	<i>Holz zersetzende Pilze als Ersatz für kaltes Klima</i>	422
15.8.5	<i>Veränderungen der akustischen Eigenschaften im zersetztem Holz</i>	425
15.8.6	<i>Veränderungen der mechanischen Eigenschaften im zersetztem Holz</i>	432
15.8.7	<i>Beurteilung der Klangqualität</i>	433
15.8.8	<i>Klingt eine Stradivari überhaupt besser als zeitgenössische Geigen?</i>	435
Literaturverzeichnis		438
Anhang		461
Sachverzeichnis		464