

**Untersuchung der natürlichen Dauerhaftigkeit
wirtschaftlich bedeutender Holzarten
bei verschiedener Beanspruchung im Außenbereich**

DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
an der Universität Hamburg
Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften
Department Biologie

vorgelegt von
Ulrike Augusta
aus Meiningen

Hamburg 2007

Genehmigt vom Department Biologie
der Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften
an der Universität Hamburg
auf Antrag von Professor Dr. D. ECKSTEIN
Weiterer Gutachter der Dissertation:
Herr Professor Dr. H. MILITZ
Tag der Disputation: 02. Mai 2007

Hamburg, den 02. April 2007



A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, overlapping loops and lines.

Professor Dr. Reinhard Lieberei
Leiter des Departments Biologie

Dank

Mit Fertigstellung dieser Arbeit danke ich allen, die mir mit Rat und Tat zur Seite standen.

Herrn Prof. Dr. D. Eckstein danke ich für die Bereitstellung des Themas, die gewährte Freiheit bei der inhaltlichen Gestaltung der Arbeit und die hilfreichen Anmerkungen. Bei Herr Prof. Dr. H. Militz bedanke ich mich für die Erstellung des Zweitgutachtens.

Besonderer Dank gilt Herrn Dr. A. Rapp für die kompetente Betreuung, sein stets unmittelbares Interesse am Thema der Arbeit, die zahlreichen konstruktiven Gespräche und seine Lösungsvorschläge zu den aufgetretenen Problemen.

Bei Frau K. Brandt, Frau A. Niemeyer, Frau K. Behrmann, Frau F. Büschelberger und Herrn B. Ziegler bedanke ich mich für die Hilfe und Einsatzbereitschaft bei der Vorbereitung und Durchführung der zahlreichen Untersuchungen.

Für die Unterstützung meiner experimentellen Arbeiten und die hilfreichen Anregungen danke ich Herrn Dr. H. Leithoff und Herrn Prof. Dr. O. Schmidt sowie Herrn Prof. Dr. H. Willeitner, Herrn Prof. Dr. W. Liese und Herrn Prof. Dr. J. Bauch für wertvolle Hinweise.

Mein Dank gilt Frau A. Stilke, Frau Z. Josch und Frau U. Reupke für ihren unermüdlichen Einsatz bei der Literaturbeschaffung und Frau C. Waitkus für die hervorragenden Fotoarbeiten.

Herrn Dr. E. Melcher und Frau Dr. M. Bollhorn danke ich ganz herzlich für die kritische Durchsicht der Arbeit.

Herrn Dr. J. Puttfarken und Herrn Dr. G. Becher danke ich für die Starthilfe bei der statistischen Auswertung der Daten.

Bei allen Mitarbeitern der Arbeitsgruppe Holzschutz und Holzschäden bedanke ich mich für die kollegiale und humorvolle Arbeitsatmosphäre und Zusammenarbeit.

Ich danke Herrn Dr. N. Högberg (SLU Schweden) für die gemeinsame Durchführung von Versuchen, Herrn Prof. Dr. T. Nilsson (SLU Schweden) für die Weitergabe seiner umfangreichen Erfahrungen aus Freilanduntersuchungen und Frau Dr. U. Råberg für die freundschaftliche Zusammenarbeit.

Der Firma Menz Holz aus Reulbach, der FMPA Baden-Württemberg in Stuttgart und der FVA Baden-Württemberg in Freiburg danke ich für die zur Verfügung gestellten Versuchsflächen.

Dank gilt dem Holzabsatzfond für die finanzielle Unterstützung und der DGfH Innovations- und Service GmbH für die Begleitung durch die wissenschaftliche Arbeitsgruppe.

Vor allem möchte ich auch meiner Familie danken für ihre Geduld, ihr Verständnis und die Unterstützung in den alltäglichen Dingen während einer außergewöhnlichen Zeit.

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG	9
2	KENNTNISSTAND ZUR NATÜRLICHEN DAUERHAFTIGKEIT	14
2.1	Begriffsbestimmung	14
2.2	Natürliche Dauerhaftigkeit gegenüber holzzerstörenden Pilzen	15
2.3	Ursachen der natürlichen Dauerhaftigkeit	16
2.4	Variabilität der natürlichen Dauerhaftigkeit	18
2.5	Prüfung der natürlichen Dauerhaftigkeit	19
2.5.1	Prüfmethoden im Freiland.....	19
2.5.2	Prüfmethoden im Labor	22
2.6	Bewertung und Klassifizierung der Dauerhaftigkeit	23
2.7	Zusammenhang zwischen natürlicher Dauerhaftigkeit, biologischer Beanspruchung und Gebrauchsdauer	25
3	MATERIAL UND METHODEN	28
3.1	Holzauswahl und Prüfkörperherstellung	28
3.2	Prüfung der natürlichen Dauerhaftigkeit im Labor	31
3.2.1	Prüfung der Resistenz gegenüber holzabbauenden Basidiomyceten	31
3.2.2	Untersuchungen in Terrestrischen Mikrokosmen	34
3.3	Prüfung der natürlichen Dauerhaftigkeit im Freiland	36
3.3.1	Charakterisierung der Standorte.....	36
3.3.2	Exposition der Prüfkörper	38
3.3.3	Einfluss der Prüfkörperdimension.....	41
3.3.4	Bewertung und Auswertung der Freilanduntersuchungen	42
3.3.5	Bestimmung der Fäuletypen.....	48
3.4	Besiedlung und Abbau von Holz durch <i>Gloeophyllum sepiarium</i>	51
3.4.1	Nachweis von Sporen im Freiland	51
3.4.2	Sporenceimung auf Holz.....	53
3.4.3	Holzabbau durch Pilzmycel	57
3.5	Statistische Auswertung	59

4	ERGEBNISSE.....	62
4.1	Laboruntersuchungen zur natürlichen Dauerhaftigkeit	62
4.1.1	Relativer Masseverlust durch Pilzmonokulturen.....	62
4.1.2	Relative Masseverluste in Terrestrischen Mikrokosmen.....	68
4.1.3	Vergleich der Laborergebnisse	75
4.2	Freilanduntersuchungen zur natürlichen Dauerhaftigkeit	77
4.2.1	Holz in vertikaler Exposition.....	77
4.2.2	Einfluss der Holzherkunft auf den Abbau	77
4.2.3	Einfluss der Holzherkunft auf die Dauerhaftigkeit.....	81
4.2.4	Einfluss des Standorts auf den Holzabbau.....	83
4.2.5	Einfluss der Expositionsart auf den Holzabbau.....	92
4.2.6	Dynamik des Holzabbaus	94
4.2.6.1	Zeitlicher Verlauf des Abbaus von Holz mit und ohne Erdkontakt	94
4.2.6.2	Abbaufortschritt.....	97
4.2.7	Einfluss von Standort und Exposition auf die Dauerhaftigkeit	102
4.2.8	Einfluss der Prüfkörperdimension auf den Holzabbau außerhalb des Erdkontakts .	106
4.3	Besiedlung und Abbau von Holz durch <i>Gloeophyllum sepiarium</i>	112
4.3.1	Nachweis von Sporen im Freiland.....	112
4.3.2	Sporenkeimung auf Holz	114
4.3.3	Holzabbau durch Mycel.....	115
4.4	Vergleich von Labor- und Freilandergebnissen	119
4.4.1	Vergleich der Ergebnisse aus Laboruntersuchungen mit Basidiomyceten- Monokulturen und Freilanduntersuchungen im Doppellagen-Test.....	119
4.4.2	Vergleich der Ergebnisse aus Laboruntersuchungen mit Basidiomyceten- Monokulturen und Freilanduntersuchungen im Erdkontakt.....	120
4.4.3	Vergleich von TMC-Ergebnissen und Freilandergebnissen aus dem Erdkontakt....	121
5	DISKUSSION	122
5.1	Bestimmung der Dauerhaftigkeit im Freiland.....	122
5.1.1	Freilandprüfung von Holz ohne Erdkontakt	122
5.1.2	Bewertung von Freilanduntersuchungen	123

5.1.3	Auswertung der Freilandergebnisse	126
5.2	Dauerhaftigkeit von Holz in Laboruntersuchungen.....	128
5.3	Einfluss der Holzherkunft auf die natürliche Dauerhaftigkeit.....	130
5.4	Einfluss des Standorts auf Abbau und Dauerhaftigkeit von Holz im Freiland	135
5.4.1	Holzabbau und Dauerhaftigkeit im Erdkontakt	135
5.4.2	Holzabbau und Dauerhaftigkeit außerhalb des Erdkontakts.....	137
5.5	Einfluss der Gebrauchsklasse auf Abbau und Dauerhaftigkeit von Holz im Freiland	139
5.5.1	Einfluss der Gebrauchsklasse auf den Holzabbau.....	139
5.5.2	Abbaudynamik in den Gebrauchsklassen	141
5.5.2.1	Abbaubeginn	141
5.5.2.2	Zusammenhang von Abbaufortschritt und Fäuletyp.....	143
5.5.3	Einfluss der Gebrauchsklasse auf die Dauerhaftigkeit.....	145
5.6	Einfluss der Prüfkörperdimension auf den Holzabbau außerhalb des Erdkontakts..	147
5.7	Holzbesiedlung und -abbau durch <i>Gloeophyllum sepiarium</i>.....	149
5.7.1	Zu den Methoden	149
5.7.2	Sporenceimung auf Holz.....	151
5.7.3	Schlussfolgerungen zu Besiedlung und Abbau von Holz ohne Erdkontakt.....	152
5.8	Vergleich von Labor- und Freilandergebnissen.....	155
5.9	Schlussfolgerungen für die Praxis	158
5.9.1	Holzherkunft und Dauerhaftigkeit	158
5.9.2	Standort und Dauerhaftigkeit	159
5.9.3	Gebrauchsklasse und Dauerhaftigkeit.....	159
6	ZUSAMMENFASSUNG	161
7	LITERATUR.....	165
8	ANHANG	185

1 EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG

Die Verwendung von Holz ist eng mit dem Begriff der Dauerhaftigkeit verbunden. Als Bestandteil natürlicher Stoffkreisläufe unterliegt Holz komplexen Umwandlungs- und Zersetzungsprozessen. Dabei kommt vor allem biologischen Abbauvorgängen eine entscheidende Rolle zu. Die natürliche Dauerhaftigkeit, als Widerstandsfähigkeit des Holzes gegenüber holzerstörenden Organismen, ist daher eine entscheidende Materialeigenschaft, die maßgebend die Gebrauchsdauer eines Holzproduktes mitbestimmt.

Ein historischer Rückblick auf die Holzverwendung zeigt, dass die Dauerhaftigkeit stets von besonderem Interesse war. Mit einer Vielzahl von Maßnahmen wurde eine Verbesserung dieser Eigenschaft angestrebt, um die Nutzungsdauer von Holz zu verlängern. Der Schwerpunkt lag dabei vor allem auf dem Einsatz von bioziden Holzschutzmitteln (MOLL 1920, BAVENDAMM 1962).

Ein steigendes Umweltbewusstsein und eine zunehmende Kenntnis der Wirkung dieser Mittel auf Mensch und Natur haben zu einer kritischen Bewertung des chemischen Holzschutzes geführt (WILLEITNER 1973, KUNDE 1980, WILLEITNER 1999). Resultate dieser Diskussion spiegeln z. B. die PENTACHLORPHENOL-VERBOTSVERORDNUNG (1989), die TEERÖL-VERORDNUNG (1991), die CHEMIKALIEN-VERBOTSVERORDNUNG (2003), die TECHNISCHEN REGELN FÜR GEFAHRSTOFFE (1997) und die VERORDNUNG ÜBER DIE ENTSORGUNG VON ALTHOLZ (2002) wider. In jüngster Zeit wurde mit dem BIOZIDGESETZ (2002) und der BIOZIDVERORDNUNG (2002) die RICHTLINIE 98/8/EG (1998) in deutsches Recht umgesetzt. Mit diesen Regelwerken sollen Risiken für Mensch und Umwelt verringert werden, die durch den Einsatz von Bioziden entstehen können. Eine ordnungsgemäße und fachgerechte Verwendung biozider Holzschutzmittel setzt demnach auch eine vorherige Prüfung von Alternativen voraus. Für Entscheidungen über den angemessenen Behandlungszustand eines Holzbauteils in einem bestimmten Verwendungsbereich rückt somit auch die natürliche Dauerhaftigkeit stärker ins Blickfeld.

Das Konzept eines „integrierten Holzschutzes“ bietet Kombinationsmöglichkeiten von Maßnahmen, um den gewünschten Schutzeffekt zu erzielen (WILLEITNER 1999, 2003). Eine wichtige Rolle spielt hierbei auch die Auswahl der Holzart nach dem Kriterium der natürlichen Dauerhaftigkeit.

Diesen Gedanken greift die DIN EN 460 (1994) auf und stellt den Zusammenhang zwischen natürlicher Dauerhaftigkeit und der Gebrauchsklasse her. Im Vergleich zum Erdkontakt (Gebrauchsklasse 4) sind außerhalb des Erdkontakts (Gebrauchsklasse 3) gemäß DIN EN 460 (1994) durchaus Holzarten mit geringeren Dauerhaftigkeitsklassen verwendbar. Damit wird jedoch nichts darüber ausgesagt, ob die gleiche Holzart außerhalb des Erdkontakts eine andere

Dauerhaftigkeit erreichen würde als im Erdkontakt. Weiterhin ist nach der bauaufsichtlich eingeführten DIN 68 800 Teil 3 (1990)¹ für tragende Holzbauteile in Gebrauchsklasse 3 chemischer Holzschutz oder Kernholz der Dauerhaftigkeitsklasse 1 oder 2 (sehr dauerhaft oder dauerhaft) erforderlich.

Diesen Regelwerken liegen die Dauerhaftigkeitsangaben der DIN EN 350-2 (1994) zu Grunde, die überwiegend in Laboruntersuchungen und Freilanduntersuchungen im Erdkontakt bestimmt wurden. Im Gegensatz dazu stehen jedoch folgende Sachverhalte:

- Im Außenbereich wird das meiste Holz ohne Erdkontakt verwendet. Studien von MANTAU und KAISER (2002) zum Schnittholzeinsatz auf dem deutschen Modernisierungsmarkt zeigten, dass ein großer Teil des Schnittholzes in Garten- und Außenanlagen verwendet wurde. Eine weitere Aufgliederung dieser Bereiche (z. B. Zäune, Pergolen, Gartenhäuschen usw.) ergab, dass mehr als 80% des Holzes außerhalb des Erdkontakts verbaut wurde.
- Aus wissenschaftlichen Untersuchungen war abzuleiten, dass die aus Laborversuchen oder im Freiland mit Erdkontakt ermittelten Dauerhaftigkeitswerte nicht ohne weiteres auf bewittertes Holz ohne Erdkontakt zu übertragen sind (RAPP et al. 2000, DERBYSHIRE und CAREY 2001, SAILER 2001).
- Aus der Praxis sind alte Holzbauwerke ohne direkten Erdkontakt aus europäischen Nadelhölzern geringerer Dauerhaftigkeitsklassen bekannt, die sich durch eine lange Gebrauchsdauer auszeichnen. Dazu zählen beispielsweise Brückenbauten in der Schweiz (BLASER 1982) und alte norwegische Stabkirchen (GLAUS und SELL 2000).

Somit wird einerseits Holz im Außenbereich überwiegend ohne Erdkontakt verbaut und es existieren Hinweise aus Wissenschaft und Holzbaupraxis, die auf eine unterschiedliche Dauerhaftigkeit einiger Holzarten in verschiedenen Anwendungsbereichen schließen lassen. Andererseits fließen in die derzeitige Dauerhaftigkeitsklassifizierung neben Erfahrungswerten nur Freiland-ergebnisse aus dem Erdkontakt und Laborergebnisse ein.

Vor diesem Hintergrund wurden für die vorliegende Arbeit die folgenden Schwerpunkte formuliert:

¹ Die DIN 68 800 (1990) wird zur Zeit überarbeitet. Dabei wird der Begriff Gefährdungsklasse durch Gebrauchsklasse ersetzt und daher auch in dieser Arbeit verwendet.

- **Einfluss der Gebrauchsklasse (Holz mit und ohne Erdkontakt) auf die natürliche Dauerhaftigkeit**

Die meisten der derzeit verfügbaren Freilandergebnisse stammen aus Prüfungen zur Bestimmung der Schutzwirkung von Holzschutzmitteln oder Anstrichen und werden gemäß DIN EN 252 (1994), DIN EN 330 (1993) und DIN ENV 12037 (1996) ermittelt. Untersuchungen zum direkten Vergleich der natürlichen Dauerhaftigkeit von Holz im oder außerhalb des Erdkontakts fehlen jedoch bislang.

Dieser Sachverhalt wurde ebenfalls im Forschungsprojekt: „Dauerhaftigkeit der wichtigen heimischen Hölzer bei realitätsnaher Prüfung unter bautypischen Bedingungen“ an der Universität Hamburg in Zusammenarbeit mit der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung und dem Holzabsatzfond untersucht (AUGUSTA 2004). Im Rahmen dieses Projekts wurde ein Vorschlag zur Änderung der DIN EN 350-2 (1994) sowie ein Normvorschlag² zur Prüfung der natürlichen Dauerhaftigkeit außerhalb des Erdkontakts erarbeitet.

- **Einfluss verschiedener Standorte auf die natürliche Dauerhaftigkeit**

Die Beanspruchungen von Holzbauteilen im Außenbereich beruhen nicht nur auf der jeweiligen Einbausituation, sondern auf einer Vielzahl weiterer Standortfaktoren. Aus Freilanduntersuchungen ist bekannt, dass unterschiedliche Boden- (EDLUND 1998) und Klimaverhältnisse (SCHEFFER 1971) den Holzabbau erheblich beeinflussen. Daher wurden in der vorliegenden Arbeit die Dauerhaftigkeitsuntersuchungen an fünf klimatisch verschiedenen Standorten in Deutschland durchgeführt.

- **Einfluss der Herkunft auf die Dauerhaftigkeit des Holzes bei Prüfung unter realitätsnahen Bedingungen**

Die Materialeigenschaft Dauerhaftigkeit unterscheidet sich nicht nur zwischen den Holzarten, sondern variiert auch innerhalb einer Holzart und sogar im gleichen Baum (ANDERSON 1961, SCHEFFER und COWLING 1966). Für einige Holzarten sind auch Dauerhaftigkeitsvariationen verschiedener Herkünfte bekannt. Dabei war das Holz vom Naturstandort dauerhafter als das Holz aus künstlich angelegten Anpflanzungen (CAMPBELL und CLARK 1960, CLARK und SCHEFFER 1983).

² Im Frühjahr 2004 wurde dem deutschen Normenausschuss für Materialprüfung (NMP 412) und dem Comité Européen de Normalisation (CEN TC 38 WG 25 External factors) der Draft Technical Report: “Field test method for determining the natural durability of wood exposed out of ground contact – Horizontal double – layer test” vorgelegt. Der Entwurf erhielt die Dokumentennummer 106.

Ob die im Labor festgestellten Dauerhaftigkeitsunterschiede unter realitätsnahen Prüfbedingungen zu relevanten Differenzierungen der Dauerhaftigkeit geführt hätten, ist nicht bekannt. Dennoch wird auf dem Markt beispielsweise mit einer besonders hohen Qualität und Langlebigkeit für Holz aus Skandinavien geworben. Damit wird dem Verbraucher auch ein Eindruck von einer höheren Dauerhaftigkeit dieser Holzprodukte im Vergleich zu Holz aus anderen Regionen vermittelt. Daher wurden der Abbau und die Dauerhaftigkeit aller in dieser Arbeit verwendeten Holzarten aus je drei verschiedenen Herkünften³ sowohl im Labor als auch im Freiland untersucht.

- **Einfluss verschiedener Prüfkörpervolumen und -querschnittsformen auf den Abbau durch holzerstörende Pilze**

Die Dimensionierung der Bauteile stellt einen wichtigen Aspekt beim Einsatz von Holz dar. In Abhängigkeit von Querschnittsgröße und -form des Bauteils liegen jedoch unterschiedliche Abbauvoraussetzungen vor. Aufgrund starker Feuchtegefälle in Holzbauteilen mit zunehmender Größe und der damit verbundenen Rissbildung kann Niederschlagswasser tiefer ins Holzzinnere vordringen und dort länger verbleiben, wodurch günstigere Abbaubedingungen für holzerstörende Pilze gegeben sein sollen (SELL 1980). Der Abbau unterschiedlich dimensionierter Prüfkörper wurde in einer Freilanduntersuchung außerhalb des Erdkontakts geprüft.

- **Besiedlung und Abbau von Holz durch *Gloeophyllum sepiarium***

Gloeophyllum sepiarium ist ein weltweit häufig auftretender Nadelholzerstörer (BAVENDAMM 1952, HOF 1975, RYVARDEN und GILBERTSON 1993), der an verbautem Holz erhebliche Schäden verursacht (HOF 1975, GROSSER 1985, RAYNER und BODDY 1988, EATON und HALE 1993, HUCKFELDT 2002, SCHMIDT ET AL. 2002). Daher sind Kenntnisse über die Präsenz, das regionale Vorkommen, die Verbreitungswege, die Besiedlung und den Abbau von Holz durch *G. sepiarium* für das Verständnis der Infektionsmechanismen von Holzkonstruktionen außerhalb des Erdkontakts von besonderer Bedeutung.

Im Allgemeinen wird davon ausgegangen, dass die Besiedlung von Holz durch holzabbauende Pilze außerhalb des Erdkontakts überwiegend von Sporen ausgeht (FINDLAY 1966, BANERJEE und LEVY 1971, BAKER ET AL. 1972). Erkenntnisse über die Sporenkeimung von *G. sepiarium* liegen bislang nur aus einzelnen Versuchen mit sehr dünnen Holzsnitten vor (ZELLER 1920,

³ Nach dem 2. Gesetz über forstliches Saat- und Pflanzgut von 1979 steht der Begriff Herkunft für den Ort, an dem sich eine Population befindet. Dabei wird dieser Begriff neben dem Ort auch auf die Bäume selbst, unabhängig von ihrer Autochtonie, angewendet (HATTEMER ET AL. 1993).

MORTON und FRENCH 1966, TOOLE 1971), die jedoch nicht die Keimbedingungen auf größeren Holzoberflächen repräsentieren (BAKER ET AL 1972, SCHMIDT und FRENCH 1979 a). Der Nachweis von *G. sepiarium*-Sporen im Freiland und deren Keimung auf Holz war daher von besonderem wissenschaftlichen Interesse.

- **Vergleich von Labor- und Freilandergebnissen**

Die derzeit aktuelle Dauerhaftigkeitsklassifizierung (DIN EN 350-2 : 1994) resultiert zu einem wesentlichen Teil aus Laborergebnissen. Von Laborergebnissen kann jedoch nicht ohne weiteres auf Freilandergebnisse geschlossen werden (HEDLEY 1993, NILSSON und EDLUND 1995, RAPP und AUGUSTA 2003). Die umfangreichen Freilandergebnisse dieser Arbeit wurden daher mit den parallel gewonnen Laborergebnissen verglichen.

2 KENNTNISSTAND ZUR NATÜRLICHEN DAUERHAFTIGKEIT

Die Untersuchungsschwerpunkte dieser Arbeit verdeutlichen, dass die natürliche Dauerhaftigkeit von Holz in einem komplexen Zusammenhang mit umgebungs- und nutzungsbedingten Einwirkungen steht. Daher soll im Vorfeld der Beschreibung der experimentellen Untersuchungen ein allgemeiner Überblick zu den bisherigen Kenntnissen über die natürliche Dauerhaftigkeit und ihrer Beziehung zu umgebungsbedingten Beanspruchungen gegeben werden.

2.1 Begriffsbestimmung

Der Begriff der Dauerhaftigkeit wird oft mit verschiedenen Bedeutungen verwendet. Eine Trennung der Widerstandsfähigkeit des Holzes gegen mechanische, chemische bzw. biologische Einflüsse erfolgte durch BAVENDAMM (1944). Er definierte die natürliche Dauerhaftigkeit biologisch als „die Widerstandsfähigkeit des Holzes gegen Pilzbefall und Tierfraß“.

Eine ähnliche Definition wird auch in der deutschen Norm zur Bestimmung der natürlichen Dauerhaftigkeit (DIN EN 350-1: 1994) und der europäischen pr EN 1001-2 (2005) verwendet. Hier ist die natürliche Dauerhaftigkeit die Widerstandsfähigkeit des Holzes gegen einen Angriff durch holzerstörende Organismen und wird somit als eine Materialeigenschaft betrachtet.

Im Gegensatz dazu versteht die ISO 15686-1 (2000) die natürliche Dauerhaftigkeit nicht als Materialeigenschaft, sondern als Fähigkeit eines Bauwerks oder seiner Teile, über eine bestimmte Zeit unter den voraussichtlich während des Gebrauchs zu erwartenden Einflüssen die erforderliche Funktion zu erfüllen. Hierdurch wird der Einfluss von Beanspruchungen ausgedrückt, denen das Material in einer bestimmten Gebrauchssituation ausgesetzt ist.

Die unterschiedliche Dauerhaftigkeit der Holzarten bei verschiedenen biologischen Beanspruchungen wird bei der Bestimmung der natürlichen Dauerhaftigkeit gemäß DIN EN 350-2 (1994) bereits berücksichtigt. Diese Norm enthält daher Prüfverfahren und Klassifikationen für die folgenden Organismengruppen:

- Natürliche Dauerhaftigkeit gegen holzerstörende Pilze
- Natürliche Dauerhaftigkeit gegen Larven von Trockenholz zerstörenden Käfern
- Natürliche Dauerhaftigkeit gegen Termiten
- Natürliche Dauerhaftigkeit von Holz gegenüber Holzschädlingen im Meerwasser

Hierdurch wird bereits klar, dass die Dauerhaftigkeit nicht als eine absolute Eigenschaft zu betrachten ist, sondern in Abhängigkeit von den holzabbauenden Organismen eines Verwendungsbereichs variieren kann. So sind mehr Holzarten dauerhafter gegen Pilze als gegen Termiten oder

Meerwasserschädlinge (WILLEITNER und PEEK 1997). Beispielsweise sind nach DIN EN 350-2 (1994) *Swietenia macrophylla* gegenüber Pilzen dauerhaft, gegenüber Termiten jedoch anfällig. *Robinia pseudoacacia* ist gegenüber Pilzen sehr dauerhaft bis dauerhaft, gegenüber *Anobium punctatum* aber anfällig.

Dennoch sind die genannten Definitionen grundsätzlich verschieden, da entweder von einer Eigenschaft oder dem Resultat aus Eigenschaften und einwirkenden Umgebungsbedingungen ausgegangen wird. Diese unterschiedlichen Sichtweisen können leicht zu Missverständnissen führen und die Diskussion um eine einheitliche Dauerhaftigkeitsdefinition ist noch nicht abgeschlossen.

In der vorliegenden Arbeit wurde die natürliche Dauerhaftigkeit einiger wirtschaftlich bedeutenden Holzarten auf Grundlage der DIN EN 350-2 (1994) geprüft und entsprechend als Widerstandsfähigkeit gegen holzerstörende Organismen, das heißt als Materialeigenschaft, betrachtet. In wie weit unterschiedliche Gebrauchsbedingungen (Standort und Exposition) im Freiland die Materialeigenschaft Dauerhaftigkeit beeinflussen, ist Gegenstand dieser Arbeit.

2.2 Natürliche Dauerhaftigkeit gegenüber holzerstörenden Pilzen

In Mittel- und Nordeuropa ist für Holz mit und ohne Erdkontakt im Außenbereich die Gefährdung durch Pilze wesentlich stärker als durch Insekten und Termiten (WILLEITNER 1981 b) und es entstehen große Schäden an verbautem Holz durch Pilze (HUCKFELDT 2003). Daher wird in der folgenden Arbeit der Holzabbau durch Pilze und die daraus resultierende Dauerhaftigkeit in den Mittelpunkt gestellt.

Holzerstörende Pilze werden drei Fäuletypen zugeordnet (NILSSON 1988):

- Braunfäule wird durch Basidiomyceten hervorgerufen und ist durch den Abbau von Cellulose, Pektin und Hemicellulose in der verholzten Zellwand gekennzeichnet, wobei das Lignin weitgehend unverändert zurückbleibt (SCHMIDT 2006). Braunfäulepilze können aber auch Lignin in geringem Umfang abbauen oder verändern (MESSNER und STACHELBERGER 1984, MESSNER ET AL. 1985, HIGHLEY 1987, KIM ET AL. 1990, GOODELL 2003).

Durch die schnelle Depolymerisation der Kohlenhydrate sinkt die Festigkeit stark (v. PECHMANN und SCHAILE 1950). Deshalb kommt es bei geringem Masseverlust bereits zu einem hohen Festigkeitsverlust (LIESE und STAMER 1934, SCHULTZE-DEWITZ 1966, WILCOX 1978) und einer starken Abnahme der Dimensionsstabilität (SEIFERT 1968).

Von Braunfäule werden Nadelhölzer stärker zerstört als Laubhölzer (COWLING 1961, SCHEFFER 1964). Eine Teilaufklärung hierzu lieferte HIGHLEY (1976), wonach Mannan die Produktion der

zellwandabbauenden Carbohydrolasen bei *Poria placenta* am besten anregte. Aufgrund ihres hohen Manangehalts werden möglicherweise Nadelhölzer besser durch Braunfäule abgebaut als durch Weißfäule. Hingegen hat der Ligningehalt und -typ keinen signifikanten Einfluss auf den Holzabbau durch Braunfäulepilze (NILSSON und DANIEL 1987).

- Weißfäule wird ebenfalls meist von Basidiomyceten verursacht. Es sind aber auch einige Ascomyceten bekannt, die Weißfäule an Laubhölzern hervorrufen (ROGERS 1979). Weißfäuleerreger können neben Cellulose, Hemicellulose und Pektin auch Lignin abbauen. Das kann simultan oder sukzessiv erfolgen. Weißfäule greift Laubhölzer stärker an als Nadelhölzer (COWLING 1961, SCHEFFER 1964). Als Ursache für diese Präferenz werden Unterschiede im Ligningehalt und -typ zwischen Laub- und Nadelhölzern als steuernder Faktor vermutet (PETERSON und COWLING 1964). MESSNER ET AL. (2003) schlussfolgern nach dem derzeitigen Stand der Weißfäuleforschung, dass Laubholzlignin schneller abgebaut wird als Nadelholzlignin.
- Moderfäule wird erst seit ca. 50 Jahren als eigener Fäuletyp definiert (SAVORY 1954, FINDLEY und SAVORY 1954, LIESE 1959). Sie wird durch Ascomyceten und Deuteromyceten hervorgerufen, die überwiegend in der verholzten Zellwand parallel zu den Mikrofibrillen wachsen (NILSSON 1974). Dabei werden Cellulose und Hemicellulose abgebaut. Meist werden Laubhölzer stärker durch Moderfäule zerstört als Nadelhölzer (SAVORY 1954, LIESE 1959 und 1961, ESLYN und HIGHLEY 1976), da der Umfang des Holzabbaus auch durch Menge und Typ des Lignins bestimmt wird. Nadelhölzer sind meist ligninreich und haben einen hohen Coniferyl-Anteil im Lignin. Sie erwiesen sich als resistenter gegenüber ligninärmeren Laubhölzern mit Lignin aus Sinapyl-Coniferyl-Bausteinen (BUTCHER und NILSSON 1982, NILSSON ET AL. 1988, ERIKSSON ET AL. 1990). Ausgehend von der Holzoberfläche dringt Moderfäule langsam ins Innere vor. Der intensive Celluloseabbau bewirkt bei geringem Masseverlust eine erhebliche Verringerung der Bruchschlagarbeit, die je nach Moderfäuleerreger unterschiedlich stark sein kann (LIESE und v. PECHMANN 1959). Moderfäulepilze besiedeln Holz auch unter extremen Bedingungen. Sie sind in der Lage, ständig nasses oder wassergesättigtes Holz abzubauen, und befallen vorrangig Holz im Erdkontakt (LIESE 1959).

2.3 Ursachen der natürlichen Dauerhaftigkeit

Die natürliche Dauerhaftigkeit von Holz wird durch eine Reihe verschiedener Faktoren bestimmt. Dabei ist die Widerstandsfähigkeit gegen Mikroorganismen von Holz als Werkstoff grundsätzlich von Vorgängen im lebenden Baum zu unterscheiden.

Lebende Bäume können mit einer Reihe physiologischer Prozesse aktiv auf Verwundungen und damit auf eindringende Mikroorganismen reagieren (MANION 1981, BLANCHETTE und BIGGS 1992, MELCHER ET AL. 2003). Beispielsweise bilden Nadelhölzer bei Verwundung traumatische Harzkanäle (TIPPETT und SHIGO 1981, BLANCHETTE 1982 b, SHIGO 1984, YAMADA 1992) oder blockieren die Tüpfel durch Harzsubstanzen (WONG und BERRYMAN 1977) zum Schutz vor eindringenden Mikroorganismen. Einige Laubbäume entwickeln Thyllen, Häutchen oder Pfropfen zur Abschottung ihres Leitungssystems oder lagern polymere Substanzen in Zellwand bzw. Lumen ein (THOMAS 1934, STRUCKMEYER ET AL. 1954, BECKMAN 1964, BLANCHETTE 1992, SCHMITT und LIESE 1993). Die bei Pilzbefall einsetzende Kompartimentierung in Bäumen wurde von SHIGO (1994) im CODIT-Modell (Compartmentalization of decay in trees) veranschaulicht.

Im Gegensatz dazu resultiert die natürliche Dauerhaftigkeit von Holz aus den Ergebnissen abgeschlossener Lebensprozesse. Dabei kommt vor allem akzessorischen Holzinhaltsstoffen eine wichtige Rolle zu. Das Kernholz vieler Holzarten enthält Substanzen, die einen wirksamen Schutz gegen holzabbauende Organismen bieten. Im Splintholz oder nicht dauerhaften Holzarten ist die Konzentration biozider Inhaltsstoffe dagegen sehr gering. Bis heute wurde eine Vielzahl biozider Substanzen identifiziert. Übersichten zu akzessorischen Bestandteilen resistenter Holzarten finden sich bei SANDERMANN (1960), SANDERMANN und BRUNS (1966), HILLIS (1962), FENGEL und WEGENER (1989) sowie SCHWAGER und LANGE (1998).

Zum Beispiel enthält Kiefern-Kernholz eine Reihe resistenzwirksamer Verbindungen aus den Substanzklassen der Terpenoide, Stilbene und Aldehyde (SCHWAGER und LANGE 1998). Von den Stilbenen identifizierte erstmals ERDTMAN (1939) das Pinosylvin. Die biozide Wirkung dieser Substanz gegen Pilze wurde von RENNERFELT (1943) und gegen Termiten von WOLCOTT (1951, 1955) festgestellt. Die fungizide Wirkung von Kiefernholzextrakten wurde zuletzt durch Untersuchungen von GREF ET AL. (2001) und HARJU ET AL. (2003) bestätigt. GREF ET AL. (2001) folgern weiterhin, dass die biozide Wirkung von Pinosylvin nicht die einzige Ursache für die Dauerhaftigkeit ist. Neben toxischen haben auch wasserabweisende Effekte der Harzsäuren einen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit (EBERHARDT ET AL. 1994). Auf den Zusammenhang zwischen Inhaltsstoffen, Feuchtedynamik und Dauerhaftigkeit weisen auch STIRLING und MORRIS (2006) hin. Dagegen konnten HARJU ET AL. (2002) keinen Zusammenhang zwischen Harzsäurekonzentration und Holzfeuchte in unterschiedlich resistantem Kiefern-Kernholz feststellen.

Lignin als nicht toxischer Bestandteil der Zellwand beeinflusst ebenfalls die Dauerhaftigkeit, da der holzerstörende Organismus in der Lage sein muss, Lignin abzubauen oder die innige Verbindung von Cellulose und Lignin zu lösen (PEW 1957, PEW und WEYNA 1962).

Neben chemischen Verbindungen tragen auch physikalische und anatomische Merkmale des Holzes zur natürlichen Dauerhaftigkeit bei. Eine wichtige Einflussgröße für den Holzabbau und das Wachstum von Pilzen stellt Wasser dar. Einerseits bestehen Pilze selbst größtenteils aus Wasser, andererseits werden nur im Wasser die notwendigen holzabbauenden Enzyme aktiv oder die Nährstoffe und Stoffwechselprodukte transportiert (SCHMIDT 2006). Somit spielt die Geschwindigkeit der Wasseraufnahme und –abgabe des Holzes eine wichtige Rolle für den Abbau durch Pilze. Die Wegsamkeit des Holzes für Wasser ist bei den Holzarten sehr unterschiedlich ausgeprägt. Dabei kommt dem Bau der Zellwand eine entscheidende Rolle zu und es ist davon auszugehen, dass langsam trocknende Hölzer leichter durch Pilze angreifbar sind. Bei Nadelhölzern wird die Wegsamkeit durch einen Tüpfelverschluss beeinflusst (GRIFFIN 1924), wobei in Abhängigkeit von der Tüpfelmembranstruktur die Wegsamkeit unterschiedlich ausfällt (BAUCH 1971). Von einem Einfluss feuchtephysikalischer Holzeigenschaften auf die Dauerhaftigkeit geht auch TRENDELENBURG (1955) aus, da Hölzer mit hoher Fasersättigungsfeuchte und hohem Schwindmaß meist weniger dauerhaft sind.

2.4 Variabilität der natürlichen Dauerhaftigkeit

Die einzelnen Holzarten unterscheiden sich erheblich hinsichtlich ihrer natürlichen Dauerhaftigkeit. Viele tropische Laubhölzer, wie z. B. *Brachylaena hutchinsii* Hutch. oder *Azelia bipindensis* Harms, haben eine hohe Resistenz gegenüber Pilzbefall. Hingegen sind die meisten europäischen Nadelhölzer (z. B. *Pinus sylvestris* oder *Larix decidua*) mit geringeren Anteilen an weniger wirksamen Substanzen ausgestattet (HILLIS 1962, SCHWAGER und LANGE 1998) und haben eine entsprechend niedrigere Dauerhaftigkeit.

Die Konzentration an bioziden Inhaltsstoffen variiert aber auch innerhalb eines Baumes über den Stammquerschnitt und verursacht dadurch unterschiedliche Dauerhaftigkeiten. Ein gut untersuchtes Beispiel hierzu ist *Thuja plicata*. Bei Messungen von GARDNER und BARTON (1958) steigt die Konzentration phenolischer Komponenten von 1,2 % nahe der Markröhre um das 19 - fache auf 22,8 % im äußeren Kernbereich. Einen steigenden Extraktstoffgehalt, vom inneren zum äußeren Kernholz, in alten Bäumen (>200 Jahre) von 11,4 auf 22,8 % und in jungen Bäumen (< 70 Jahre) von 6,2 auf 9,8 % stellte NAULT (1988) fest. Auch CARTWRIGHT (1941) extrahierte zwischen 4,1 und 8,3 % wasserlösliche Substanzen aus dem äußeren Kernholz, vom inneren Kernholz waren es nur 3,2 - 5 %. Entsprechend waren die mittleren prozentualen Masseverluste durch *Polystictus versicolor* am äußeren Kernholz mit 2,2 % geringer als am inneren Kernholz mit 8,5 %. Auch bei Prüfung mit *Poria incrassata* waren am äußeren Kernholz mit 0,9 % die Masseverluste geringer als am inneren Kernholz mit 12,9 %. Eine Dauerhaftigkeitsabnahme kann ebenfalls mit der Stammhöhe

beobachtet werden (SCHEFFER 1957). Diese Dauerhaftigkeitsvariationen innerhalb eines Stammes sind auch für eine Reihe anderer Holzarten bekannt (SHERRARD und KURTH 1933, SCHEFFER und DUNCAN 1947, SCHEFFER und HOPP 1949, SCHEFFER ET AL. 1949 a, GARDNER und BARTON 1960, ANDERSON 1961, SCHEFFER und COWLING 1966, PIIRTO und WILCOX 1981, CLARK und SCHEFFER 1983, HILLIS 1987, VENALAINEN ET AL. 2003).

Die unterschiedliche Dauerhaftigkeit des Holzes von Bäumen der gleichen Art wurde auch im Zusammenhang mit dem Wuchsstandort der Bäume untersucht. CLARK und SCHEFFER (1983) fanden Dauerhaftigkeitsvariationen bei *Sequoia sempervirens* verschiedener Wuchsstandorte und führen dies auf genetische Differenzen zurück. Auch der Effekt der waldbaulichen Behandlung auf die Extraktstoffkonzentration wurde untersucht (SHUPE ET AL. 1996). Dabei ergab sich der höchste Extraktstoffgehalt in *Pinus taeda* von Flächen mit der höchsten Anzahl Bäume pro Hektar. In anderen Untersuchungen wurden die Differenzen in der Pilzresistenz als wenig praktisch relevant interpretiert, da auch innerhalb der Einzelbäume große Dauerhaftigkeitsunterschiede festzustellen waren (CAMPBELL und CLARK 1960, AKHTER und HALE 2002).

Weiterhin gibt es Baumarten, die, ausgelöst durch äußere Einflüsse, einen fakultativen Farbkern bilden (BOSSHARD 1967). Dieser Prozess führt nicht zu einer Dauerhaftigkeitserhöhung des Kernbereichs (SHIGO und HILLIS 1973, BAUCH 1980).

Das Erhitzen während des Trocknungsvorgangs oder Darrens kann eine Dauerhaftigkeitsveränderung hervorrufen. Da ein Teil der biozid wirkenden akzessorischen Bestandteile thermisch instabile Substanzen sind, können diese verdunsten oder sich stark verändern (SEN-SARMA 1963, ENGLUND und NUSSBAUM 2000). Auch SCHEFFER und ESLYN (1961) beschreiben eine Dauerhaftigkeitsreduzierung in Abhängigkeit von Temperatur, Dauer und Feuchtigkeit während der Wärmebehandlung.

Aufgrund von Auswaschungen wasserlöslicher Substanzen durch Regen oder feuchten Boden kann die Dauerhaftigkeit von Holz sinken (SCHEFFER 1957, ARNDT und WILLEITNER 1969).

2.5 Prüfung der natürlichen Dauerhaftigkeit

2.5.1 Prüfmethode im Freiland

Für Dauerhaftigkeitsversuche im Freiland lassen sich weit zurückreichende Beispiele finden (BAVENDAMM 1948, 1959).

Umfangreiche Erfahrungen und Ergebnisse liegen vor allem aus langjährigen Erdkontaktuntersuchungen vor (ANON. 1976, HENNINGSSON 1976, PURSLOW 1976, JOHNSTONE und EATON

1989, JOHNSON und THORNTON 1991, HEDLEY 1993, SMITH und ORSLER 1994, JOHNSON ET AL. 1996, EDLUND 1998).

Bei den meisten Untersuchungen wurde die Wirksamkeit von Holzschutzmitteln unter realitätsnahen Bedingungen geprüft. Auf europäischer Ebene ist heute die DIN EN 252 (1990) die Grundlage für die Freiland-Prüfung der Schutzmittelwirkung im Erdkontakt. Das hierbei verwendete Prüfverfahren wurde auch in die DIN EN 350-1 (1994) zur Bestimmung der natürlichen Dauerhaftigkeit im Freiland übernommen. Dabei werden Prüfkörper ($25 \times 50 \times 500 \text{ mm}^3$) zur Hälfte in den Boden eingegraben und der Abbau in regelmäßigen Abständen bewertet. Der Versuch ist beendet, wenn alle Prüfstäbe ausgefallen sind.

In der Praxis wird jedoch deutlich mehr Holz außerhalb des Erdkontakts verwendet und die Gefährdung von Holz ist außerhalb des Erdkontakts anders als im Erdkontakt (DIN EN 460: 1994). Daher lag es nahe, Prüfmethode speziell für Holz ohne Erdkontakt zu entwickeln.

Hierbei wurden vor allem zweiteilige, L-förmige Prüfkörper mit Zapfenverbindungen eingesetzt (MINIUTTI ET AL. 1961, FEIST und MRAZ 1978, CAREY ET AL. 1981, CAREY 1982). Daraus entstanden L-Joints, die für eine Wirksamkeitsprüfung von Holzschutzmitteln unter Anstrichen in der DIN EN 330 (1993) verwendet werden. Durch die Prüfkörperform, mit der ein Fensterahmenwinkel als typisches Holzbauteil nachgestellt wird, ist der L-Joint-Test eine besonders realitätsnahe Prüfmethode. Zur Bestimmung der natürlichen Dauerhaftigkeit erscheint dieses Testdesign jedoch weniger geeignet, da selbst Kiefern-Splintholz-Prüfkörper mit beschädigtem Anstrich eine mittlere Standdauer von acht und mehr Jahren erreichten (DERBYSHIRE und CAREY 2001). Aufgrund von Mikrorissen in der Oberfläche kann Wasser in den Prüfkörper eindringen. Eine Beschichtung verzögert jedoch die Wasserdampfabgabe. Somit können in beschichteten Prüfkörpern länger Holzfeuchten im Bereich mit erhöhtem pilzlichen Abbaurisiko entstehen als in unbehandeltem Holz (RAPP und PEEK 1999). Daher dürfte ein geringeres Abbaurisiko und eine deutlich längere Standzeit für unbeschichtete L-Joints zu erwarten sein. Dies ist auch aus Untersuchungen von CAREY (2002) zu schließen, in denen erst nach zwei bis drei Jahren an einzelnen L-Joints aus unbehandeltem Kiefern-Splintholz beginnender Abbau sichtbar war.

Ausgehend vom L-Joint-Test entwickelten VAN ACKER und STEVENS (1997) den T-Joint zur Beschleunigung der Prüfung der natürlichen Dauerhaftigkeit ohne Erdkontakt. Dazu fertigten sie ein Element mit Zapfenlöchern, das jeweils zur Hälfte aus den nicht dauerhaften Referenzholzarten Kiefern-Splint und Buche bestand, in das die Testhölzer gesteckt wurden. Die beiden Referenzholzarten wurden gezielt eingesetzt, um gleiche Ausgangssituationen sowohl für den Befall durch Braun- als auch durch Weißfäule zu ermöglichen. Zusätzlich wurde die Holzfeuchte durch Steinwolle erhöht, die um die Verbindungen der Prüfkörperteile gelegt wurde. Dadurch war

ein schneller Abbau möglich. Nachteil dieses Verfahrens ist die hohe, unnatürlich konstante Befeuchtung der Prüfkörper. Unter diesen Bedingungen kann die Leistungsfähigkeit von Holzarten nicht realistisch bestimmt werden, deren Dauerhaftigkeit positiv durch zeitweises Austrocknen beeinflusst wird. Als weiterer Nachteil sind die hohen Kosten zur Herstellung der komplizierten Prüfkörper zu sehen.

Von DE GROOT (1992) wurden 18 verschiedene Prüfkörperformen und Versuchsanordnungen auf ihre Eignung zur Dauerhaftigkeitsbestimmung im Freiland ohne Erdkontakt untersucht. Dabei ergab sich in zwei Versuchsaufbauten sowohl ein schneller Holzabbau als auch eine geringe Variation zwischen den Parallelen. Eine dieser Versuchsanordnungen bestand aus 16 horizontal in einem Block gebündelten Prüfkörpern ($1,9 \times 1,9 \times 45,7 \text{ cm}^3$), die im 45° -Winkel aufgestellt waren. In der anderen Variante wurden zweiteilige Prüfkörper ($5,1 \times 5,1 \times 76,2 \text{ cm}^3$) mit einem sich mittig überlappenden Teil benutzt, die einzeln exponiert wurden. Diese Prüfkörperform stellte den Vorgänger des heute in der ENV 12037 (1996) verwendeten Lap-Joint dar. Mit einigen Ausnahmen (z. B. Lap-Joint) waren die meisten Prüfkörper einfach und billig herzustellen. Ein entscheidender Vorteil von DE GROOT'S (1992) Versuchsanordnungen ist die effektive Ausnutzung von Wasserfällen für einen beschleunigten Abbau. Durch eine kompakte Lagerung und Spalten in oder zwischen den Prüfkörpern wurde die Austrocknung des Holzes meist verzögert und ein günstiges Abbauklima geschaffen.

Zur Prüfung von Holz ohne Erdkontakt steht zur Zeit die Lap-Joint Methode (ENV 12037: 1996) zur Verfügung. Nachteilig erwies sich die Anfertigung der Lap-Joint-Prüfkörper, da diese durch den überlappenden Bereich deutlich aufwendiger und mit höherem Materialverbrauch verbunden war. Oft ist es problematisch, die großen Prüfkörperformate aus den häufig nur schmalen Kiefern-Splintholzbereichen herzustellen (SAILER ET AL. 1999). Weiterhin zeigten Feuchtemessungen von MILITZ und BLOOM (2000), dass unbehandelte Lap-Joint-Prüfkörper schneller austrocknen als unbehandelte Prüfkörper aus Vollholz mit gleichen Abmessungen. Hierdurch sind in Lap-Joints die Zeiten mit günstigen Holzfeuchten für den Abbau geringer und es kann eine längere Untersuchungsdauer entstehen. Daher erscheint zur Prüfung der natürlichen Dauerhaftigkeit die Verwendung von einfachen Prüfkörpern ausreichend. Diese können dann so gelagert werden, dass zusätzlich Wasserfällen entstehen.

Weitere alternative Vorschläge zu Dauerhaftigkeitsprüfungen außerhalb des Erdkontakts und deren Ergebnisse finden sich z. B. bei VIDOVIC (1981), JOHNSON ET AL.(1983), DEON und TRONG (1984), ESLYN ET AL. (1985), EDLUND und HENNINGSSON (1987), ÖQVIST (1988), NILSSON (1993), CAREY und ORSLER (1995), HEDLEY ET AL.(1995), WILLIAMS ET AL. (1995), MILITZ ET AL. (1996), TERZIEV

und EDLUND (2000), RÅBERG ET AL. (2005). Diese fanden jedoch bislang keinen Eingang in eine Prüfnorm.

2.5.2 Prüfmethode im Labor

Dauerhaftigkeitsprüfungen im Freiland sind meist sehr zeitaufwendig. Das Bedürfnis nach aussagefähigen Ergebnissen innerhalb kurzer Zeiträume hat ein gesteigertes Interesse an Laborprüfverfahren hervorgerufen.

Erste Laborversuche zum pilzlichen Holzabbau wurden von NÖRDLINGER (1860) durchgeführt. Er steckte Holz in mit faulenden Stoffen gefüllte Gefäße (den sogenannten Faultopf) und beobachtete dessen Zersetzung. In einem Versuchskeller setzte WEHMER (1913) Mycelreinkulturen von Hauschwamm für Holzabbauuntersuchungen ein und beobachtete die Auswirkungen von Temperatur und Feuchte. Auch HUMPHREY (1915) verwendete Pilzmonokulturen, mit denen er Holz in Glasröhrchen infizierte. Ausgehend von diesen Methoden wurden die Laborverfahren weiterentwickelt, aus denen später eine erste standardisierte Wirksamkeitsprüfung für Holzschutzmittel, die Kolleschalenmethode, hervorging. Alternativ dazu entwickelte LEUTRITZ (1946) die „soil-contact method“, die in die heutige amerikanische Prüfnorm (ASTM D 2017-81, 1992) eingegangen ist.

In Europa basiert heute die Wirksamkeitsprüfung von Holzschutzmitteln gemäß DIN EN 113 (1996) auf der Kolleschalenmethode. Diese bildet leicht modifiziert auch die Grundlage zur Prüfung der natürlichen Dauerhaftigkeit von Vollholz nach DIN EN 350-1 (1994) und DIN CEN/TS 15083-1 (2005). Dabei werden Kolleschalen oder Rundgefäße mit Malzagar als Nährmedium gefüllt, auf dessen Oberfläche Basidiomyceten-Monokulturen geimpft werden. Die sterilisierten Prüfhölzer (50 x 25 x 15 cm³) werden auf Unterlagen einem viermonatigen Pilzangriff bei $22 \pm 1^\circ\text{C}$ und $70 \pm 5\%$ relativer Luftfeuchte ausgesetzt. Danach wird der Holzabbau durch den Masseverlust quantifiziert.

Durch die standardisierten Vorgehensweisen und die konstanten Bedingungen sollen Laboruntersuchungen vergleichbare und reproduzierbare Ergebnisse liefern. Die Ergebnisse können jedoch durch eine Vielzahl weiterer Faktoren beeinflusst werden, wie z. B. Art der Prüfkörpersterilisation (SCHEFFER 1963), Entnahmestelle der Prüfkörper, Prüfkörpergröße, Versuchsdauer, Prüfpilzart (DA COSTA 1979, WILLEITNER 1984, BELLMANN 1988 a) oder Virulenzschwankungen innerhalb eines Prüfpilzstamms (DIROL 1986).

Neben Laboruntersuchungen mit Pilz-Monokulturen werden seit einiger Zeit auch Verfahren mit gemischten Kulturen eingesetzt. Hierzu werden entweder Kombinationen aus Moderfäuleerregern in ein Vermiculit - Medium geimpft oder mikrobiologisch aktive Bodengemische verwendet, in die das Holz eingesteckt wird (DIN ENV 807: 1993, DIN CEN/TS 15083-2 : 2005).

Während die herkömmlichen Prüfmethode bekannte Organismen und für diese günstige Bedingungen verwenden, ist in Terrestrischen Mikrokosmen (TMC) jede beliebige Erde zugelassen. Dabei entwickelt sich in den Holzproben eine vielfältige Organismengemeinschaft mit unterschiedlichen inter- und intraspezifischen Beziehungen (NILSSON und DANIEL 1990, WAKELING 1992). Somit sind diese Prüfanordnungen als eigene Mikroökosysteme zu betrachten (BEYERS und ODUM 1993). Da in TMCs auch mit Böden von Freilandversuchsfeldern gearbeitet werden kann, wird ein direkter Vergleich mit Freilandergebnissen ermöglicht. Nachteilig dabei ist, dass die beeinflussenden Umweltfaktoren, wie Klimaschwankungen, Stoffeinträge und der Zufluss von Mikroorganismen z. B. über Sporen, im TMC-System nicht berücksichtigt werden (NILSSON und EDLUND 1995).

In Abhängigkeit vom Boden treten verschiedene Abbauraten auf (GERSONDE und KERNER 1984, DRYSDALE 1984, EDLUND 1998), die für die Standardisierung des Verfahrens eine Schwierigkeit darstellen. Weiterhin ist zu beachten, dass bei Verwendung gemischter Kulturen zahlreiche Interaktionen zwischen den Pilzarten auftreten (NILSSON und DANIEL 1990, WAKELING 1992), über deren Auswirkungen auf den Holzabbau jedoch wenig bekannt ist. Ein Indiz hierfür zeigen Untersuchungen von VALCKE (1991), da sich die Ergebnisse aus *Chaetomium globosum*-Monokulturen nicht signifikant von denen aus Mischkulturen unterscheiden. Somit erwies sich in Vermiculit unter den eingestellten Untersuchungsbedingungen *Chaetomium globosum* als dominant, was jedoch nicht grundsätzlich auf dessen Konkurrenzstärke schließen lässt.

Aus den genannten Gründen müssen Laborergebnisse grundsätzlich hinsichtlich ihrer Aussagekraft für die Praxis kritisch hinterfragt werden.

2.6 Bewertung und Klassifizierung der Dauerhaftigkeit

Für den Vergleich der zahlreichen Ergebnisse aus Dauerhaftigkeitsuntersuchungen war eine einheitliche Basis notwendig. Hierzu wurde eine Reihe von Vorschlägen erarbeitet, über die TIEDEMANN (1978) und BELLMANN (1988 a) eine Übersicht geben.

Derzeit werden in Europa die Holzarten hinsichtlich ihrer Dauerhaftigkeit gegenüber Pilzen in ein System aus fünf Dauerhaftigkeitsklassen eingeordnet (DIN EN 350-1: 1994):

Dauerhaftigkeitsklasse 1 = sehr dauerhaft

Dauerhaftigkeitsklasse 2 = dauerhaft

Dauerhaftigkeitsklasse 3 = mäßig dauerhaft

Dauerhaftigkeitsklasse 4 = wenig dauerhaft

Dauerhaftigkeitsklasse 5 = nicht dauerhaft

Die DIN EN 350-2 (1994) enthält eine Liste von 21 Nadelhölzern und 107 Laubhölzern, die getrennt nach ihrer Resistenz gegenüber Pilzen und Insekten eingestuft sind.

Da die Dauerhaftigkeit nicht direkt messbar ist, wird sie entsprechend der Prüfmethode nach verschiedenen Kriterien bewertet.

In Laboruntersuchungen mit Basidiomyceten-Monokulturen wird der Masseverlust der Prüfkörper gemessen und als Grundlage für die Dauerhaftigkeitsbestimmung verwendet. Dabei wird mit Hilfe des Masseverlusts selbst (VAN ACKER ET AL. 1998, DIN CEN/TS 15083 - 1: 2005) oder dem Relativwert aus Masseverlust der Prüfholzart und Masseverlust der Referenzholzart (DIN EN 350-1: 1994) eine Dauerhaftigkeitsklasse zugeordnet.

Zur Bestimmung der Resistenz gegen Moderfäule im Labor verweist die DIN EN 350-1 (1994) auf die ENV 807 (1993). Diese sieht während des Untersuchungszeitraums mehrere Messungen des Masseverlustes vor und stellt am Ende den zeitlichen Verlauf des Abbaus nur graphisch dar. Ein direkter Vergleich mit den Dauerhaftigkeitsklassen aus den Basidiomyceten-Untersuchungen ist daher nicht möglich. Bei der Moderfäuleprüfung nach DIN CEN/TS 15083-2 (2005) werden Laubhölzer mit Hilfe der Relativwerte aus Masseverlusten klassifiziert. Für Nadelhölzer bildet dagegen der Elastizitätsmodul die Grundlage der Dauerhaftigkeitsbestimmung. Hierbei wird auf den bekannten Zusammenhang zwischen Masseverlust und Festigkeitsverlust zurückgegriffen (TRENDELENBURG 1940, v. PECHMANN und SCHAILE 1950, HENNINGSSON 1967, WILCOX 1978, RUDDICK 1986), um den Abbau der Prüfkörper zu bestimmen. Die neue Festlegung basiert auf Untersuchungen von SIERRA-ALVAREZ ET AL. (1998), in denen für die verwendeten Nadelhölzer der Elastizitätsmodul sehr gut, der Masseverlust jedoch nicht mit den erwarteten Dauerhaftigkeiten korrelierte. Die Verwendung getrennter Prüfmethode für Laub- und Nadelhölzer ist jedoch in Frage zu stellen, da die Untersuchungsmethodik nicht den Ergebnissen angepasst werden sollte, sondern die Ergebnisse entsprechend interpretiert werden müssen.

Im Gegensatz zu Laboruntersuchungen ist der Masseverlust für die Bewertung von Freilanduntersuchungen nicht geeignet. Eine Reihe abiotischer Einflüsse kann ebenfalls Masseverluste hervorrufen, die nicht zweifelsfrei vom biologisch verursachten Masseverlust getrennt zu messen sind. Hierzu zählen Delignifizierung durch UV-Strahlung (SELL und LEUKENS 1971), Oberflächenerosion (SELL und FEIST 1986) oder Auswaschungsprozesse, die beispielsweise an behandeltem Holz festgestellt wurden (Literaturübersicht bei EDLUND 1994). Daher wird für eine Klassifizierung die mittlere Standdauer der Prüfkörper herangezogen. Als Standdauer wird dabei die Zeit verstanden, nach der die Prüfkörper unter Einwirkung einer einheitlichen Kraft durchbrechen (DIN EN 252: 1990). Im Freiland wird die Dauerhaftigkeitsklasse daher aus einem Relativwert abgeleitet, der sich aus dem Quotient der Standdauer der Prüfholzart und Referenzholzart ergibt (DIN EN 350-

1: 1994). Als modifizierte Freilandprüfungen schlagen MILITZ ET AL. (1996) eine 4-Punkt-Biegeprüfung vor und verwenden dabei den Festigkeitsverlust für die Klassifizierung der Dauerhaftigkeit. Die derzeitige Dauerhaftigkeitsklassifizierung in der DIN EN 350-2 (1994) stellt eine Kombination aus Laborergebnissen, Freilandergebnissen aus Erdkontaktuntersuchungen und Erfahrungswerten dar. Somit flossen auch Praxiskenntnisse zu Dauerhaftigkeitsunterschieden von Holz in verschiedenen Einsatzbereichen in die Klassifizierung ein, die jedoch nicht wissenschaftlich belegt waren.

Durch Angabe mehrerer Dauerhaftigkeitsklassen werden für einige Holzarten bekannte Variationen der Dauerhaftigkeit berücksichtigt. Diese Variationen sind meist auf unterschiedliche biozide Inhaltsstoffkonzentrationen innerhalb der Holzart oder eines Stammes zurück zu führen. Eine Dauerhaftigkeitsdifferenzierung zwischen verschiedenen Gebrauchsklassen erfolgt bislang nicht. Im allgemeinen ist bekannt, dass Holz ohne Erdkontakt länger gebrauchsfähig bleibt als im direkten Erdkontakt. Hieraus ist jedoch nicht auf eine bessere Dauerhaftigkeit zu schließen. Es bleibt die Frage offen, welcher Relativwert sich bei gleichzeitiger Prüfung einer Referenzholzart in Abhängigkeit von den Gebrauchsbedingungen ergibt. Diese Relativwerte sind jedoch nicht bekannt und es kann daher keine Aussage zu einer verwendungsdifferenzierten Dauerhaftigkeit getroffen werden. Zur Zeit wird eine getrennte Klassifizierung der Dauerhaftigkeit im Hinblick auf den Verwendungsbereich diskutiert, die jedoch noch durch parallel geführte Untersuchungen untermauert werden muss. Einen Beitrag hierzu stellt die vorliegende Arbeit dar.

2.7 Zusammenhang zwischen natürlicher Dauerhaftigkeit, biologischer Beanspruchung und Gebrauchsdauer

Holz im Gebrauch unterliegt einer Vielzahl von Beanspruchungen. Dabei sind Beanspruchungen belastende Einwirkungen, die von den Umgebungsbedingungen oder der Nutzung ausgehen.

Diesen von außen einwirkenden Beanspruchungen hat das Holz seine Materialeigenschaften, d. h. seine Beanspruchbarkeit, entgegenzusetzen. Im Falle einer biologischen Beanspruchung, z. B. dem Befallsdruck durch holzabbauende Pilze, ist somit die natürliche Dauerhaftigkeit ein Maß für die biologische Beanspruchbarkeit von unbehandeltem Holz (EN 1001-2: 2005, DIN EN 350-1: 1994, Kapitel 2.1).

Die umgebungsbedingten Voraussetzungen für einen biologischen Befall stellen die Gefährdung des Holzes dar. Die Gefährdung ist vom Material unabhängig und wird nach Einsatzbereichen abgegrenzt, die in der DIN EN 335-1 (2006) klassifiziert sind (Tab. 1).

Tab. 1: Gebrauchsklassen und allgemeine Gebrauchsbedingungen nach DIN EN 335-1 (2006), sowie Feuchtebedingungen in den Gebrauchsklassen nach DIN EN 335-2 (2006)

Gebrauchs- klasse	Allgemeine Gebrauchsbedingungen	Feuchtebedingungen
1	Innenbereich abgedeckt	trocken max. 20 %
2	Innenbereich oder abgedeckt	gelegentlich > 20 %
3.1	Außenbereich, ohne Erdkontakt, geschützt	gelegentlich > 20 %
3.2	Außenbereich, ohne Erdkontakt, ungeschützt	häufig > 20 %
4.1	Außenbereich, in Kontakt mit Erde und/oder Süßwasser	vorwiegend oder ständig > 20 %
4.2	Außenbereich, in Kontakt mit Erde (hohe Beanspruchung) und/oder Süßwasser	ständig > 20 %
5	im Meerwasserkontakt	ständig > 20 %

Die DIN EN 335-2 (2006) gibt zusätzliche Informationen zur Holzfeuchte in den Gebrauchsklassen. Hiernach wird mit zunehmender Feuchtedauer in den Gebrauchsklassen auch die Gefährdung größer.

Ein Bezug zur Dauerhaftigkeit wird in der DIN EN 460 (1994) hergestellt. Diese Norm empfiehlt den Einsatz von Holz bestimmter Dauerhaftigkeitsklassen (DIN EN 350-2: 1994) in Abhängigkeit von der Gebrauchsklasse (DIN EN 335-1: 2006). Danach kann unter Berücksichtigung der nach biologischer Gefährdung klassifizierten Umgebungsbedingungen zwischen Holzarten mit verschiedenen Dauerhaftigkeitsklassen gewählt werden. Auch die bauaufsichtlich eingeführte DIN 68800 - 3 (1990) leitet aus den Gebrauchsklassen Maßnahmen für den Holzbau ab. Sie legt für konkrete Verwendungen vorbeugende Holzschutzmaßnahmen fest oder schreibt den Einsatz von Holz einer bestimmten Dauerhaftigkeitsklasse vor.

Hierdurch kommt die Wechselwirkung zwischen Dauerhaftigkeit (Beanspruchbarkeit) und verschiedenen Beanspruchungen in den Gebrauchsklassen zum Ausdruck. Das Resultat dieser Wechselwirkung ist die Gebrauchsdauer. Sie ist der Zeitraum, in dem eine Konstruktion oder deren Teile den Leistungsanforderungen entsprechen (ISO 15686-1: 2000).

Die Gebrauchsdauer ist für den Verbraucher von größtem Interesse, da sie die Zeit angibt, in der ein Holzprodukt seine Funktionsfähigkeit behält. In der Praxis wird oft auch die Dauerhaftigkeit fälschlicherweise als absoluter Zeitraum gesehen, wozu sicher auch der Ausdruck Dauer beiträgt. Auch die ISO 15686-1 (2000) definiert die Dauerhaftigkeit als Fähigkeit unter gegebenen

Bedingungen die erforderliche Funktion über eine bestimmte Zeit zu leisten. Somit ist die Dauerhaftigkeit aber auch eine Materialeigenschaft, die in Abhängigkeit von den Gebrauchsbedingungen eine wichtige Kenngröße zur Bestimmung der Gebrauchsdauer darstellt.

Die vielfältigen und komplexen Zusammenhänge zwischen Beanspruchung und Beanspruchbarkeit machen die Vorhersage der Gebrauchsdauer besonders schwierig und für einen Großteil der Verwendungsbereiche bislang nicht ausreichend berechenbar. Aus einem Vergleich von Holzarten hinsichtlich ihrer Dauerhaftigkeit können aber Entscheidungshilfen für eine verwendungsorientierte Materialauswahl abgeleitet werden.

3 MATERIAL UND METHODEN

3.1 Holzauswahl und Prüfkörperherstellung

Für die Untersuchungen wurde das Holz von neun Holzarten aus drei verschiedenen Herkünften verwendet (Tab. 2).

Bei der Materialauswahl wurden folgende Voraussetzungen berücksichtigt:

- Das Holz wurde vor Untersuchungsbeginn bei Temperaturen unter 60 °C getrocknet.
- Es wurde nur Holz verwendet, das weder nach der Fällung noch während der Lagerung und Verarbeitung mit chemischen Schutzmitteln (Insektiziden, Fungiziden) behandelt wurde oder wassergelagert war.

Aus den insgesamt 20 m³ Holz wurden 4217 Prüfkörper für Freilanduntersuchungen und 2220 Prüfkörper für Laboruntersuchungen ausgehobelt (Tab. 2). Die Prüfkörperformate sind in Tab. 3 und Tab. 4 dargestellt.

Von Fichte und Kiefer wurden sowohl Splint- als auch Kernholz-Prüfkörper angefertigt. Der Splint- und Kernbereich von Kiefernholz war durch die Farbkernbildung eindeutig zu identifizieren. Auf die noch nicht abgetrockneten Hirnflächen der Fichtenstammabschnitte wurde Lugol'sche Lösung aufgestrichen und der Bereich mit positivem Stärkenachweis als Splintholz markiert.

Nach Fertigstellung erfüllten die Prüfkörper folgende Kriterien:

- Die Prüfkörper waren aus gesundem Holz und frei von Rissen.
- Die Labor-Prüfkörper und der überwiegende Teil der Freilandprüfkörper waren ast- und harzgallenfrei.
- Die Prüfkörper waren weitestgehend frei von Jugendholz. Aufgrund der Lieferform des Materials und des benötigten hohen Probenumfangs war vor allem bei den Freiland-Prüfkörpern ein Jugendholzanteil nicht auszuschließen. Auch war für einige einzeln gelieferte Bretter die Lage im Stamm nicht immer eindeutig festzustellen.
- Die Labor-Prüfkörper wurden aus möglichst markfernem Holz gefertigt.
- Die Labor- und Freilandprüfkörper stammten möglichst aus den gleichen Brettern.
- Labor-Prüfkörper für die Untersuchungen mit Basidiomyceten-Monokulturen und Terrestrischen Mikrokosmen wurden aus direkt benachbartem Material gewonnen.
- Aufgrund der Materialverfügbarkeit wurde die Jahrringorientierung bei der Herstellung der Freilandprüfkörper nicht berücksichtigt.

Tab. 2: Verwendete Holzarten (Abk = Abkürzung der Bezeichnung), Herkunft der Holzarten (Hkb = Herkunftsbezeichnung) und Anzahl der Prüfkörper in den Laboruntersuchungen mit Basidiomyceten-Monokulturen (Basidio.) und Terrestrischen Mikrokosmen (TMC), sowie in den Freilanduntersuchungen










Holzart	Abk	Hkb	Herkunftsgebiet	Prüfkörperanzahl [Stück]			
				Laboruntersuchung		Freilanduntersuchung	
				mit Basidio.	im TMC	im Erdkontakt	ohne Erdkontakt
Fichten-Splint (<i>Picea abies</i> (L.))	FiS	1	Forstamt Bad Driburg	30	50	50	100
		2	Neugarstedt	30	50	20	100
		3	Skandinavien	30	50	50	100
Fichten-Kern (<i>Picea abies</i> (L.) Karst.)	FiK	1	Forstamt Bad Driburg	30	50	50	100
		2	Neugarstedt	30	50	0	100
		3	Skandinavien	30	50	50	100
Tanne (<i>Abies alba</i> Mill.)	Ta	1	Welzheim/Hagerwald	30	50	50	100
		2	Forstamt Kirchzarten	30	50	50	100
		3	Bad Wildbad	30	50	50	100
Kiefern-Splint (<i>Pinus sylvestris</i> L.)	KiS	1	Forstamt Karstädt	30	50	50	100
		2	Skandinavien	30	50	50	100
		3	Speicher	30	50	50	100
Kiefern-Kern (<i>Pinus sylvestris</i> L.)	KiK	1	Forstamt Karstädt	30	50	50	100
		2	Skandinavien	30	50	50	100
		3	Speicher	30	50	50	100
Douglasien-Kern (<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco)	Dou	1	Rosengarten	30	50	50	100
		2	Müllheim/Baden	30	50	50	100
		3	Oregon	30	50	50	100
Lärchen-Kern (<i>Larix decidua</i> Mill.)	Lä	1	Forstamt Karstädt	30	50	50	100
		3	Forstamt Neumünster	60	50	50	100
<i>Larix japonica</i>		2	Hemdinger Gehege	30	50	50	100
Robinien-Kern (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.)	Rob	1	Saarbrücken	60	50	50	100
		2	Berlin	30	50	50	100
		3	Rumänien	30	50	50	100
Eichen-Kern (<i>Quercus robur</i> L.)	Ei	1	Friedrichsruh	30	50	50	100
		2	Esinger Wald	30	50	50	100
		3	Oberkeil	30	50	50	100
Gesamtanzahl:				870	1350	1270	2700

Tab. 3: Abmessungen der Prüfkörper für Labor- und Freilanduntersuchungen (TMC = Terrestrischer Mikrokosmos)

	Laborversuche				Freilandversuche
	mit Basidio- myceten	im TMC	zur Sporen- keimung	zum Abbau durch <i>Gloeophyllum sepiarium</i>	mit und ohne Erdkontakt
Länge in Faserrichtung [mm]	50	100	25	45	500
Querschnitt [mm ²]	25 x 15	15 x 5	10 x 25	5 x 20	50 x 25

Weiterhin wurde der Einfluss der Prüfkörperdimensionen, der Einschnittart und der Jahrringlage auf den Abbau von Fichten-, Kiefern- und Douglasienholz im Freiland untersucht. Hierfür wurden aus dem Holz mit der Herkunftsbezeichnung 1 (Tab. 2) zusätzlich 247 Prüfkörper angefertigt (Tab. 4).

Tab. 4: Dimensionen und Anzahl der Prüfkörper je Holzart für die Untersuchungen zum Einfluss der Prüfkörperdimension auf den Holzabbau

Dimension [mm]			Volumen [cm ³]	Bezeichnung der Dimension		Zusätzliches Merkmal	Prüfkörper- anzahl [Stück]
Länge	Breite	Höhe					
500	100,0	100,0	5000	1		einstieliger Einschnitt	Dou n = 0 Ki n = 5 Fi n = 8
500	100,0	100,0	5000	2		vierstieliger Einschnitt	8
500	50,0	50,0	1250	3			10
500	35,4	70,6	1250	4			10
500	25,0	100,0	1250	6		liegende Jahrringe	10
500	25,0	100,0	1250	7		stehende Jahrringe	10
500	35,3	35,4	625	5			10
500	25,0	50,0	625	8			10
500	25,0	25,0	313	9			10

3.2 Prüfung der natürlichen Dauerhaftigkeit im Labor

3.2.1 Prüfung der Resistenz gegenüber holzabbauenden Basidiomyceten

Die Resistenz der Holzarten gegenüber holzabbauenden Basidiomyceten wurde im Labor gemäß DIN EN 350-1 (1994) geprüft, unter Verwendung des Verfahrens der DIN EN 113 (1986). In Anlehnung an diese Vorgaben wurden die in Tab. 5 beschriebenen Prüfpilze für die Holzarten- gruppen verwendet. Diese wurden auf einen Nährboden (Tab. 6) in Kolleschalen geimpft, der nach zwei Wochen fast vollständig bewachsen war.

Vor dem Einbau erfolgte eine 20- und 10-minütige Sterilisation der Prüfkörper (50 x 25 x 15 mm³) in strömendem Wasserdampf bei 100 °C. Je zwei Prüfkörper einer Holzart und Herkunft wurden dann auf Fächerscheiben aus V4A-Edelstahl (Größe M16; 3,5 mm hoch) in die bewachsenen Kolleschalen gelegt. Die Untersuchungsgefäße mit den eingebauten Prüfkörpern wurden 16 Wochen in einem dunklen Klimaraum bei 22 ± 1 °C und 70 ± 5 % relativer Luftfeuchte gelagert.

Tab. 5: Charakterisierung der Prüfpilze

Prüfpilz	Charakterisierung	Holzartengruppe
<i>Coniophora puteana</i>	Schum.: Fr.; P.Karsten Ebw. 15 ; BAM 1/1995	Laub- und Nadelholz
<i>Oligoporus placenta</i> var. <i>Monticula</i>	(Fr.) Gilbertson et Ryv. FPRL 280 BAM 8/1997	Nadelholz
<i>Trametes versicolor</i>	(L.:Fr.) Pilat CTB 863A; 1969; Stand: April 2001	Laubholz

Tab. 6: Charakterisierung des Nährmediums

Bestandteile	Charakterisierung
Malzextrakt	40 g Pulver; Firma Merck
Agar-Agar	20-30 g Cero-Agar; Bacto hochrein; Firma Roeper 1999
Demineralisiertes Wasser	1000 ml

Bewertung und Auswertung

Vor Untersuchungsbeginn wurden die Prüfkörper bei 60°C im Umlufttrockenschrank bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. In Anlehnung an DIN 52183 (1977) galt die Gewichtskonstanz als erreicht, wenn sich die Masse eines Prüfkörpers innerhalb von 24 Stunden weniger als 0,1 % änderte. Gleichzeitig wurden Parallelprüfkörper jeder Holzart und Herkunft als Darrkontrollen bei 60 °C mitgetrocknet und anschließend 24 Stunden gedarrt. Aus dem Verhältnis des Darrgewichts

zum Anfangsgewicht wurde ein mittlerer Restfeuchtefaktor für jede Holzart ermittelt. Durch Multiplikation des Restfeuchtefaktors mit dem Anfangsgewicht wurde das theoretische Anfangsdarrgewicht (m_{0A}) aller übrigen Prüfkörper berechnet.

Am Ende der Untersuchung wurden nach vorsichtiger Entfernung des Pilzmycels die Prüfkörper auf 0,05 g genau gewogen (m_{FE}). Nach 18 Stunden Trocknung bei 103 °C im Umlufttrockenschrank wurde das Darrgewicht (m_{0E}) auf 0,01 g bestimmt. Aus diesen Werten wurden die Ausbaufeuchten (u_A) der Prüfkörper berechnet:

Formel 1

$$u_A = \frac{(m_{FE} - m_{0E})}{m_{0E}} * 100$$

u_A	Holzfeuchte zum Zeitpunkt des Ausbaus [%]
m_{0E}	Darrgewicht zu Versuchsende [g]
m_{FE}	Feuchtgewicht zu Versuchsende [g]

Aus den ermittelten Gewichten wurde der Masseverlust jedes Prüfkörpers berechnet:

Formel 2

$$MV = m_{0A} - m_{0E}$$

MV	Masseverlust [g]
m_{0A}	Darrgewicht zu Versuchsbeginn [g]
m_{0E}	Darrgewicht zu Versuchsende [g]

Um Einflüsse auszuschließen, die nicht auf einen pilzlichen Abbau zurückzuführen waren, erfolgte eine Korrektur der Masseverluste um einen Korrekturwert k . Dieser wurde aus dem mittleren Masseverlust von 10 Korrektur-Prüfkörpern jeder Holzart und Herkunft berechnet, die in Kolleschalen mit Nährboden, aber ohne Pilzkultur, eingebaut waren.

Die Auswertung der Laboruntersuchungen und die Dauerhaftigkeitsklassifizierung erfolgte mit dem korrigierten relativen Masseverlust:

Formel 3

$$MV_k \% = \frac{((m_{0A} - m_{0E}) - k)}{m_{0A}} * 100\%$$

$MV_k\%$	korrigierter relativer Masseverlust [%]
m_{0A}	Darrgewicht zu Versuchsbeginn [g]
m_{0E}	Darrgewicht zu Versuchsende [g]
k	Korrekturwert [g]

Aus den Berechnungen der Masseverluste wurden Werte von Prüfkörpern ausgeschlossen, deren Holzfeuchten $< 25\%$.

Die Überprüfung der Virulenz der Pilzstämmen erfolgte anhand des Masseverlustes von Kiefern-Splint- und Buchenholz. Die Untersuchung ist gültig, wenn die Virulenzkontrollproben nach 16 Wochen die folgenden relativen Masseverluste erreichen:

Kiefern-Splint	bei <i>Coniophora puteana</i>	$\geq 20 \%$
	bei <i>Oligoporus placenta</i>	$\geq 20 \%$
Buche	bei <i>Coniophora puteana</i>	$\geq 20 \%$
	bei <i>Trametes versicolor</i>	$\geq 25 \%$

Die Ermittlung der Dauerhaftigkeit im Labor basierte auf dem Relativwert X (DIN EN 350-2: 1994):

Formel 4

$$X = \frac{\overline{PMV_k \%}}{\overline{RMV_k \%}}$$

X	Relativwert zur Bestimmung der Dauerhaftigkeit
$\overline{PMV_k \%}$	mittlerer relativer Masseverlust der Prüfholzart [%]
$\overline{RMV_k \%}$	mittlerer relativer Masseverlust der Referenzholzart [%]

Als Referenzholzarten wurden Kiefern-Splint und Buche verwendet. Zur Bestimmung der Dauerhaftigkeit einer Holzart wurden nur die Ergebnisse der Pilzart berücksichtigt, die den größten mittleren Masseverlust verursachte. In Abhängigkeit von der Höhe des Relativwertes X wurden den Holzarten Dauerhaftigkeitsklassen zugeordnet (Tab. 7).

Tab. 7: Dauerhaftigkeitsklasse (DKL) bei Prüfung von unbehandeltem Holz gegen Basidiomyceten nach DIN EN 350-1 (1994) auf Grundlage von X-Werten und nach DIN EN/TS 15083-1 (2005) auf Grundlage des relativen Masseverlustes (MV)

DKL	Beschreibung	X-Wert	Median des relativen Masseverlusts in %
1	sehr dauerhaft	$X \leq 0,15$	$MV \leq 5$
2	dauerhaft	$0,15 < X \leq 0,30$	$5 < MV \leq 10$
3	mäßig dauerhaft	$0,30 < X \leq 0,60$	$10 < MV \leq 15$
4	wenig dauerhaft	$0,60 < X \leq 0,90$	$15 < MV \leq 30$
5	nicht dauerhaft	$X > 0,90$	$MV > 30$

Zusätzlich wurde die Dauerhaftigkeit der Holzarten nach dem Verfahren der DIN EN/TS 15083-1 (2005) klassifiziert. Hiernach ist eine Untersuchung gültig, wenn die Virulenzkontrollproben nach 16 Wochen die folgenden relativen Masseverluste erreichen:

Kiefern-Splint	bei <i>Coniophora puteana</i>	$\geq 30 \%$
	bei <i>Oligoporus placenta</i>	$\geq 20 \%$
Buche	bei <i>Coniophora puteana</i>	$\geq 30 \%$
	bei <i>Trametes versicolor</i>	$\geq 20 \%$

Die Dauerhaftigkeitsklassen wurden gemäß DIN EN/TS 15083-1 (2005) mit Hilfe von festgelegten Grenzen für den Median des relativen Masseverlustes vorgenommen (Tab. 7). Diese Kriterien gelten nur für die Prüfpilze *Coniophora puteana*, *Oligoporus placenta* und *Trametes versicolor*. Die Klassifizierung einer Holzart erfolgt stets nach dem höchsten erzielten Masseverlust.

3.2.2 Untersuchungen in Terrestrischen Mikrokosmen

Die Laborprüfung der natürlichen Dauerhaftigkeit von Holz mit Erdkontakt wurde in Terrestrischen Mikrokosmen (TMC) durchgeführt.

Bodenentnahme und –aufbereitung

Für die TMCs wurden Böden verwendet, die aus den fünf Erdkontakt-Prüffeldern der Freilanduntersuchungen stammten. An jedem Standort wurden fünf gleichmäßig über das Untersuchungsfeld verteilte Stellen ausgewählt, an denen die Grasnarbe entfernt und bis in eine Tiefe von 25 cm Boden entnommen wurde. Da die Böden zum Zeitpunkt der Entnahme (März und April 2001) zum Teil sehr feucht waren, erfolgte eine Trocknung bei Raumtemperatur im Labor. Anschließend wurden die fünf Bodenproben eines jeden Standortes intensiv miteinander vermischt und gesiebt (Sieb mit 1 cm Maschenabstand). Eine ausführliche Beschreibung der Standorte und Bodeneigenschaften befindet sich in Tab. 10, Kapitel 3.3.1.

Vor Befüllung der Kisten wurde die Bodenfeuchte uB durch Darren der Bodenproben wie folgt bestimmt:

Formel 5

$$uB = \frac{(mB_F - mB_0)}{mB_0} * 100$$

uB	Bodenfeuchte [%]
mB_0	Darrgewicht des Bodens [g]
mB_F	Feuchtgewicht des Bodens vor dem Darren [g]

Bei einer Bodenfeuchte von 20 bis 30 % wurden die Böden in 25 Kunststoffkisten (35 x 43 x 24 cm³) bis zu einer Höhe von 15 ± 2 cm gefüllt und mit einem Deckel verschlossen. Die 25 TMCs wurden dann in einem Prüfraum bei 27 ± 2 °C Lufttemperatur und 70 ± 5 % Luftfeuchte gelagert.

Prüfkörpervorbereitung und -einbau

Vor Beginn der Untersuchung wurden die 1350 TMC-Prüfkörper (100 x 15 x 5 mm³) bei 50 °C im Umlufttrockenschrank bis zur Gewichtskonstanz gemäß DIN 52183 (1977) getrocknet und das Anfangstrockengewicht auf 0,01 g bestimmt. Parallel hierzu wurde aus gleichzeitig getrockneten, aber anschließend gedarrten Prüfkörpern ein theoretisches Darrgewicht für alle anderen Prüfkörper berechnet. Dies erfolgte in gleicher Weise wie bei den Basidiomyceten-Versuchen.

Vor dem Einbau wurde bei jedem Prüfkörper eine Holzfeuchte von 50 ± 5 % eingestellt. Hierzu erfolgte eine Tränkung der Prüfkörper mit demineralisiertem Wasser:

- Fichten-Splint: ca. 6 Stunden getaucht
- Tanne: ca. 5 Stunden getaucht
- Kiefern-Splint: ca. 1 Stunde getaucht
- Kiefern-Kern: 20 Minuten Vakuumtränkung
- Douglasien-Kern: 20 Minuten Vakuumtränkung
- Lärchen-Kern: 20 Minuten Vakuumtränkung
- Robinien-Kern: 30 Minuten Vakuumtränkung
- Eichen-Kern: 30 Minuten Vakuumtränkung
- Fichten-Kern: 30 Minuten Vakuumtränkung

Die Holzfeuchte wurde mit folgender Rechnung ermittelt:

Formel 6

$$u_E = \frac{(m_F - m_0)}{m_0} * 100$$

u_E	Holzfeuchte zu Versuchsbeginn [%]
m_0	theoretisches Darrgewicht [g]
m_F	Feuchtwicht zu Versuchsbeginn [g]



Abb. 1: Prüfkörperanordnung im TMC

Nach Einstellung der Holzfeuchte wurden die Prüfkörper mit Hilfe einer Schablone in Abständen von 20 mm in die vorbereiteten TMCs eingebaut, die Einstecktiefe betrug 80 mm (Abb. 1). Dabei musste der eingesteckte Teil des Prüfkörpers vollständigen Bodenkontakt haben. Die Prüfkörper einer Holzart und Herkunft waren in gleicher Anzahl und in gleicher Position in jedem TMC vertreten. Die Untersuchungsdauer betrug 37 Wochen. Zusätzlich wurden in jedem TMC fünf Kiefern-Splintprüfkörper zur Kontrolle der Holzfeuchte eingebaut. In 14-tägigem Abstand wurden die gleichmäßig im TMC verteilten Feuchtekontrollen entnommen und deren Holzfeuchte

bestimmt (Formel 1). Die Holzfeuchte der Kontrollen sollte zwischen 45 und 85 % liegen, da hier der optimale Bereich für den Abbau durch Pilze zu erwarten war. Bei höheren Holzfeuchten wurden die Deckel der Gefäße geöffnet, um den Feuchtegehalt in den TMCs zu senken. War die Holzfeuchte unter 45 %, wurde die gesamte Bodenoberfläche gleichmäßig mit Wasser besprüht.

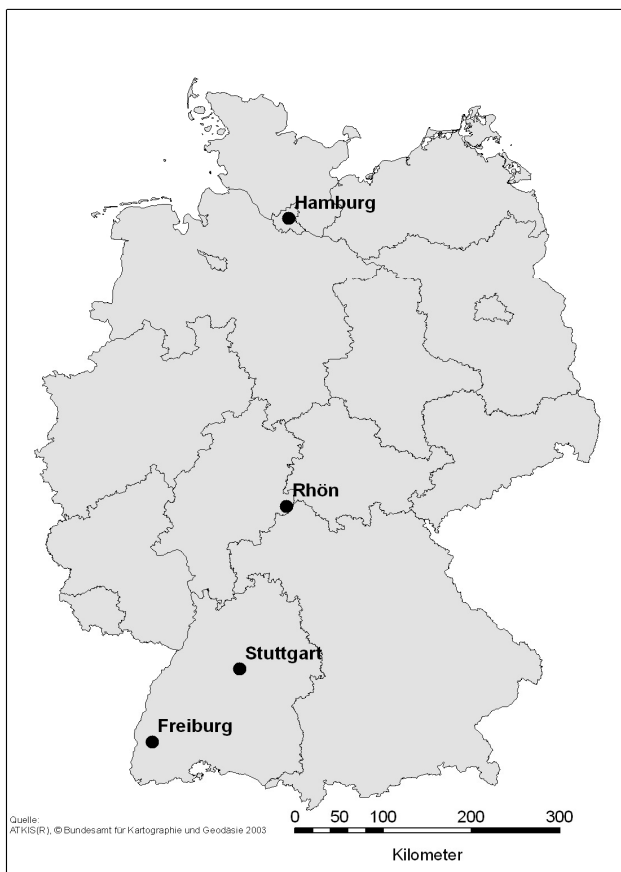
Bewertung und Auswertung

Am Ende der Untersuchung wurden alle Prüfkörper entnommen und von anhaftenden Bodenpartikeln vorsichtig befreit. Anschließend wurden die Prüfkörper auf 0,001g gewogen (m_F), danach 18 Stunden im Umlufttrockenschrank bei 103°C gedarrt und nochmals gewogen (m_{0E}). Aus diesen Daten wurden die Ausbaufeuchte und der relative Masseverlust ohne Korrekturwert nach Formel 1 bis Formel 3 berechnet (Kapitel 3.2.1). Die Dauerhaftigkeitsbestimmung erfolgte analog der in Kapitel 3.2.1 beschriebenen Verfahrensweise. Die Referenzholzart war Kiefern-Splint.

3.3 Prüfung der natürlichen Dauerhaftigkeit im Freiland

3.3.1 Charakterisierung der Standorte

Zur Prüfung der natürlichen Dauerhaftigkeit im Freiland wurden vier Regionen in Deutschland (Abb. 2 und Tab. 8) mit verschiedenen klimatischen Voraussetzungen ausgewählt.



Tab. 8: Geographische Koordinaten der Standorte für Freilanduntersuchungen

Standort	Geographische Lage
Hamburg	nördliche Breite: 53°29' östliche Länge: 10°15' Höhe über NN: 35 m
Rhön	nördliche Breite: 50°30.915' östliche Länge: 9°58.173' Höhe über NN: 620 m
Stuttgart	nördliche Breite: 48°44.308' östliche Länge: 9°05.919' Höhe über NN: 459 m
Freiburg	nördliche Breite: 47°58.503' östliche Länge: 7°50.544' Höhe über NN: 302 m

Abb. 2: Geographische Lage der Standorte für Freilanduntersuchungen

Einen Überblick zu den wichtigsten Klimakennwerten gibt Tab. 9. Während der Untersuchungen wurden die Klimadaten von Wetterstationen ermittelt, die sich möglichst nah der Standorte befanden. Für die Standorte Freiburg und Stuttgart wurden vom Deutschen Wetterdienst Offenbach die täglichen Wetterdaten zur Verfügung gestellt. In Hamburg wurde von der BFH und in der Rhön von der Firma Menz eine Wetterstation in unmittelbarer Nähe der Untersuchungsflächen betrieben, mit denen täglich Daten aufgezeichnet wurden. Die Tageswerte wurden im Anhang 1 und Anhang 2 zu Monatswerten zusammengefasst.

Tab. 9: Mittlere Klimawerte der Periode 1961 bis 1990 von Klimastationen in der Nähe der Standorte (Quelle: Deutscher Wetterdienst)

Klimastation	Höhe über NN [m]	Geographische Lage		Jahresmitteltemperatur [°C]	Jahresniederschlags-summe [mm]	Jahressumme Sonnenscheindauer [Stunden]
		nördliche Breite	östliche Länge			
Rhön Wasserkuppe	921	50°30′	9°57′	4,8	1084	1552
Stuttgart Hohenheim	401	48°43′	9°13′	8,7	679	1685
Freiburg (02311)	269	48°00′	7°51′	10,7	955	1740
Hamburg Fuhlsbüttel	13	53°38′	10°00′	8,6	770	1557

An den Standorten Hamburg Rhön, Stuttgart und Freiburg befanden sich die Untersuchungsflächen auf offenem Gelände. In Freiburg lag diese etwa 10 m von einem Waldrand entfernt, wodurch in Abhängigkeit von Jahres- und Tageszeit die Proben kurzfristig beschattet wurden. Am Standort Hamburg wurde eine zweite Untersuchungsfläche (Hamburg „Baumschatten“) direkt unter Bäumen angelegt. Hiermit sollte zusätzlich der Einfluss einer Beschattung durch Bäume auf den Abbau der Holzarten untersucht werden. Beide hamburger Standorte lagen ca. 150 m voneinander entfernt und unterschieden sich durch ein unterschiedliches Kleinklima, das gesondert erfasst wurde. Hierzu wurden an den Gestellen mit vertikal aufgehängten Prüfkörpern die folgenden Messeinrichtungen installiert:

- Temperaturfühler: Messung der Temperatur in °C als Tagesmittelwert
- Unbeheizter Niederschlagsmesser mit Kipplöffel: Messung der flüssigen Niederschlagsmenge in mm als Tagessumme
- Silizium-PIN-Fotodiode (BPW 34) von Siemens: Messung der Sonnenscheinstunden als Tagessumme
- Conrad-Feuchtesensor: Relative Luftfeuchte in % als Tagesmittelwert

Die Untersuchungen zum Einfluss der Prüfkörperdimension wurden auf der unbeschatteten Freilandversuchsfläche in Hamburg durchgeführt.

An jedem Freilandstandort wurde das Holz im Erdkontakt geprüft. Für die Erdkontaktversuchsfelder wurden einige Bodenkennwerte vom Umweltservice der Stiftung Warentest bestimmt (Tab. 10).

Tab. 10: Charakterisierung der Böden an den Standorten

Standort	Bodenart	pH-Wert	C/N-Verhältnis	Humusgehalt in %
Hamburg „freistehend“	schwach lehmiger Sand	6,4	11:1	3,1
Hamburg „Baumschatten“	schwach lehmiger Sand	5,6	10:1	2,9
Rhön	sandiger Lehm	6,2	11:1	4,4
Freiburg	stark lehmiger Sand	5,4	10:1	3,0
Stuttgart	sandiger Lehm	7,1	13:1	3,7

3.3.2 Exposition der Prüfkörper

Im April und Mai 2000 wurden die Prüfkörper der Holzarten getrennt nach Herkünften in den gewählten Expositionen an allen fünf Standorten eingebaut (Tab. 11).

Tab. 11: Expositionen der Prüfkörper

Gebrauchsklasse	Exposition	Prüfanordnung
4 = Erdkontakt	½ Prüfkörperlänge im Boden eingegraben	DIN EN 252 (1990)
3 = frei bewittert ohne Erdkontakt	Horizontale Doppellage (mit Wasserfalle)	Eigene Prüfanordnung
3 = frei bewittert ohne Erdkontakt	Vertikal frei belüftet, nach Norden ausgerichtet	Eigene Prüfanordnung
3 = frei bewittert ohne Erdkontakt	Vertikal frei belüftet mit Dach geschützt, nach Süden ausgerichtet	Eigene Prüfanordnung

Unter allen Prüfkörperanordnungen außerhalb des Erdkontakts war der Boden mit einer für Niederschlag durchlässigen Folie abgedeckt. Hierdurch wurde ein Überwachsen der Proben durch die Bodenvegetation vermieden.

Prüfkörperanordnung im Erdkontakt

Die Prüfung der natürlichen Dauerhaftigkeit für Holz im Erdkontakt wurde nach DIN EN 252 (1990) durchgeführt. Dazu wurden die Prüfkörper in den fünf Freilanduntersuchungsfeldern 25 cm tief mit einem Abstand von 30 cm eingegraben (Abb. 3). An jedem Standort wurden von allen Holzarten je Herkunft 10 Prüfkörper gleichmäßig auf der Versuchsfläche verteilt.



Abb. 3: Prüfkörperanordnung im Erdkontakt am Standort Freiburg

Prüfkörperanordnung außerhalb des Erdkontakts

In Gebrauchsklasse 3 sind gemäß DIN 68 800-3 (1990) frei bewitterte Außenbauteile ohne ständigen Erd- oder Wasserkontakt einzuordnen. Um zwischen verschiedenen konstruktiven Lösungen in diesem Einsatzbereich zu differenzieren, wurde ein Drittel aller Prüfkörper vertikal freihängend an gesondert gefertigten Gestellen angebracht. Die Hälfte dieser Prüfkörper war dabei durch einen Dachvorsprung geschützt, die andere Hälfte blieb ungeschützt (Abb. 4, Abb. 5).



Abb. 4: Vertikale Prüfkörperanordnung



Abb 5: Prüfkörper mit und ohne konstruktiven Hirnholzschutz

Da Freilanduntersuchungen sehr langwierig sind, wurde eine weitere Prüfkörperanordnung gesucht, die sowohl eine geringe Prüfdauer erwarten ließ, als auch einer an Holzbauwerken auftretenden Konstruktion entsprach. Daher wurde das Holz ebenfalls im Doppellagen-Test (RAPP et al. 2001, RAPP und AUGUSTA 2004) geprüft. Hierzu wurden die Prüfkörper in horizontal ausgerichteten Reihen ca. 20 cm über dem Boden auf unbehandelten Fichtenbalken ausgelegt. Jede Reihe bestand aus zwei übereinander liegenden Prüfkörperlagen, die um eine halbe Prüfkörperbreite (25 mm) versetzt angeordnet waren (Abb. 6 bis 8).

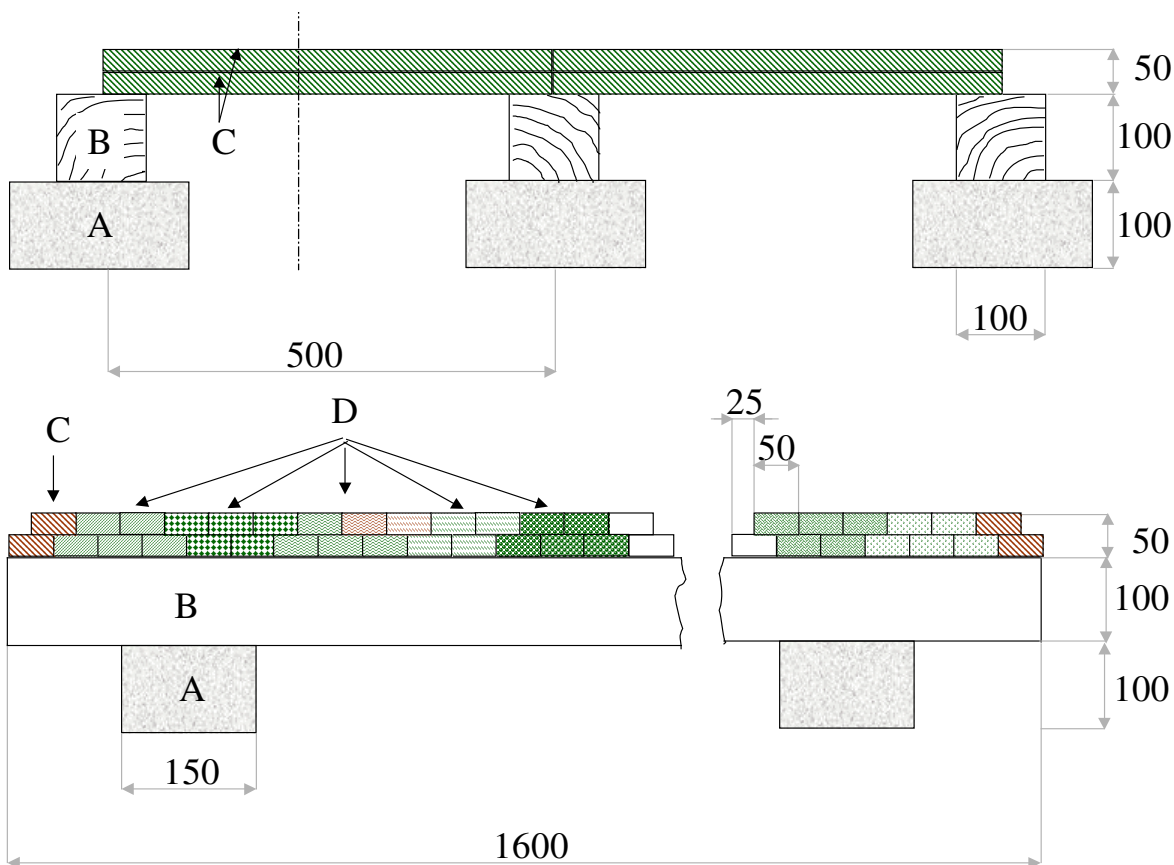


Abb. 6: Schematische Darstellung des Doppellagen-Tests, Querschnitt; A: Betonblöcke, B: unbehandelte Fichtenbalken, C: Randprüfkörper aus Kiefern-Splint, D: Prüfkörper verschiedener Holzarten

Aufgrund der versetzten Prüfkörperanordnung sammelte sich zeitweise Niederschlagswasser zwischen den beiden Lagen und floss nicht direkt nach unten ab. Mit der horizontalen Prüfanordnung wurde eine Wasserfalle nachgestellt, da sich in Bauwerken konstruktiv bedingte lokale Ansammlungen von Regenwasser nicht immer vermeiden lassen. Die sechs aneinander gelegten doppellagigen Reihen bildeten ein geschlossenes Holzdeck. Innerhalb dieses Holzdecks waren die Holzarten und Herkünfte systematisch verteilt. Dabei war die Abfolge der Holzarten in einer Reihe stets gleich, so dass sich nur Hirnflächen gleicher Holzarten berührten. Die Längsseiten des Decks

geschlossen in beiden Lagen mit Randprüfkörpern aus Kiefern-Splintholz ab, die bei der Bewertung nicht berücksichtigt wurden.



Abb. 7: Doppellagen-Test,



Abb 8: Versetzte Prüfkörperanordnung

3.3.3 Einfluss der Prüfkörperdimension

Die Prüfkörper mit unterschiedlichen Dimensionen wurden einzeln in horizontaler Position angeordnet (Abb. 9).



Abb. 9: Anordnung der Prüfkörper mit unterschiedlicher Dimension am Standort Hamburg

Dazu waren die Enden der Prüfkörper auf waagrecht ausgerichteten Fichtenbalken aufgelegt. Im Mittel betrug der Abstand 20 cm über dem Boden. Zwischen den Längsseiten der einzelnen Prüfkörper waren 18 mm breite Kunststoffschellen auf dem Balken befestigt, wodurch ein konstanter Prüfkörperabstand gewährleistet war. Zwei Reihen mit Prüfkörpern gleicher Dimension stießen an einem Hirnende zusammen, das andere Ende der Prüfkörper blieb frei belüftet.

3.3.4 Bewertung und Auswertung der Freilanduntersuchungen

Bewertung der Prüfkörper im Standardformat

Im Frühjahr 2000 wurden die Freilandprüfkörper an den beschriebenen Standorten exponiert.

Die erste Bewertung erfolgte nach einer Expositionszeit von sechs Monaten und alle weiteren Bewertungen wurden dann im jährlichen Abstand (im Herbst) durchgeführt.

Für die Beurteilung des Holzabbaus durch holzerstörende Pilze im Freiland wurden die Bewertungskriterien der Tab. 12 in Anlehnung an DIN EN 252 (1990) angewandt. Hierzu wurde ein scharfes, spitzes Messer benutzt und unter Berücksichtigung der Befallstiefe und -ausdehnung eine Abbaustufe bestimmt.

Tab. 12: Bewertungskriterien für die Prüfung der Dauerhaftigkeit von Holz im Freiland (in Anlehnung an DIN EN 252: 1990)

Abbaustufe	Einstufung	Bewertungskriterium
0	kein Angriff	Keinerlei Veränderungen, mit Ausnahme von Verfärbungen, die jedoch nicht mit einer Erweichung des Holzes verbunden sind.
1	leichter Angriff	Wahrnehmbare Veränderungen, die aber in ihrem Umfang und ihrer Lage oder Verteilung begrenzt sind: -Veränderungen, die äußerlich durch einen oberflächlichen Abbau erkennbar sind; Weichwerden des Holzes bis zu einer Tiefe von etwa 1 mm.
2	mittlerer Angriff	Deutliche Veränderungen mäßigen Umfangs mit folgenden Erscheinungsbildern: - Veränderungen in Form von Weichwerden des Holzes bis zu einer Tiefe von 2 bis 3 mm oder einer Tiefe von 3 bis 5 mm mit einer Ausdehnung von weniger als 20 cm ² pro Prüfkörper.
3	starker Angriff	Starke Veränderungen: - erheblicher Abbau des Holzes bis zu einer Tiefe von 3 bis 5 mm mit einer Ausdehnung von mehr als 20 cm ² oder Abbau des Holzes bis zu einer Tiefe von mehr als 5 mm.
4	Ausfall	Durchbrechen des Holzstabes bei einer 3-Punkt-Biegeprüfung mit 20 % der mittleren Bruchlast von nicht abgebautem, unbehandeltem Kiefernholz.

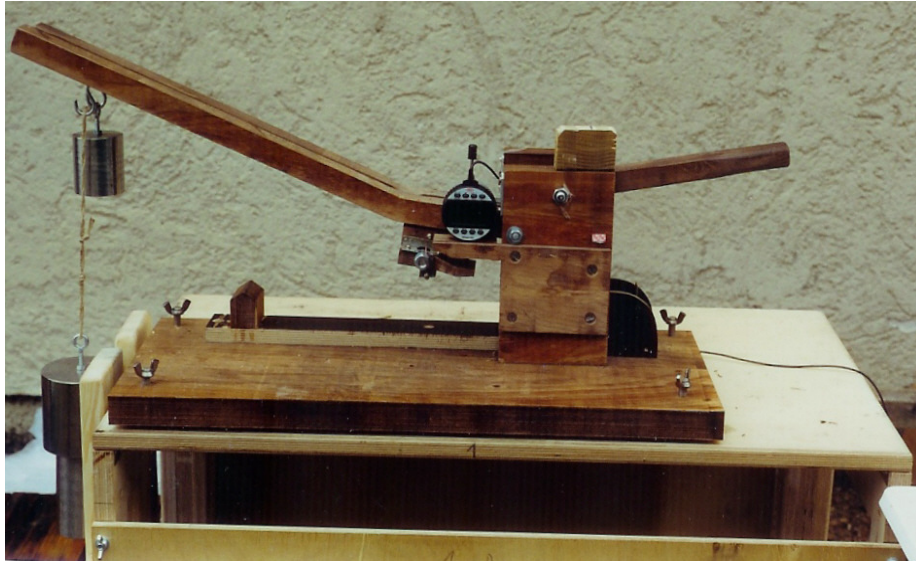


Abb. 10: Transportable Dreipunkt-Biegemaschine zur Ermittlung der Abbaustufe 4

Tab. 13: Fasersättigungsfeuchte nach TRENDELENBURG (1955) und Holzfeuchte nach 6 Tagen Wasserlagerung gemessen mit GANN Hydromette RTU 600 bei 15 °C.

	Robinien-Kern	Eichen-Kern	Lärchen-Kern
Fasersättigungsfeuchte nach TRENDELENBURG (1955) [%]	19,5	24,5	26,1
Holzfeuchte nach 6 Tagen Wasserlagerung [%]	23,7	34,0	26,3
	20,7	38,0	35,0
	20,6	36,0	29,4

Die Wasserlagerung erfolgte für die Standorte Rhön, Stuttgart und Freiburg während der Bewertungen im Herbst 2000 und 2001. In den Folgejahren wurde aufgrund der gesammelten Erfahrungen (Bewertung von ca. 10 000 Prüfkörpern) auf eine Wasserlagerung verzichtet und direkt nach dem Ausbau bewertet. Im Anschluss an die Bewertungen wurden alle Prüfkörper wieder an ihre vorherige Position eingebaut.

Auswertung der Prüfkörper im Standardformat

Die Abbaugeschwindigkeit gibt den Abbaugrad an, mit dem ein Prüfkörper während der gesamten vergangenen Expositionszeit abgebaut wurde. Je höher der Abbaugrad eines Prüfkörpers nach einer bestimmten Zeit ist, desto höher ist auch die Geschwindigkeit mit der er abgebaut wird.

Formel 7

$$A_v = \frac{d}{t_E}$$

A_v	mittlere Abbaugeschwindigkeit [Abbaugrad/Jahr]
d	Abbaugrad nach der vergangenen Expositionszeit [Abbaustufen 0 - 4]
t_E	gesamte vergangene Expositionszeit [Jahr]

Bei der Berechnung der mittleren Abbaugeschwindigkeit einer Holzart wurden die folgenden Besonderheiten berücksichtigt:

- Die Prüfkörper wurden nach dem ersten halben Jahr und dann im jährlichen Abstand bewertet. Da der erste Expositionszeitraum in der Vegetationsperiode lag, wurden die Abbaugrade aus diesem ersten halben Jahr ebenfalls auf einen Bewertungszeitraum von einem Jahr bezogen.⁴
- Im Doppellagen-Test wurden nicht alle Prüfkörper in die Berechnung der Abbaugeschwindigkeiten von Douglasien- und Kiefern-Kernholz einbezogen. Bei dieser Prüfkörperanordnung lagen Douglasien-Kern direkt neben Fichte-Kern und Kiefern-Kern direkt neben Kiefern-Splint. Da die Abbaugeschwindigkeiten der nicht dauerhaften Hölzer Fichte und Kiefern-Splint wesentlich höher waren als die der Farbkernhölzer, erhöhte sich der Befallsdruck von den wenig dauerhaften Nadelhölzern auf die beiden direkt benachbarten Douglasien-Kern- bzw. Kiefern-Kern-Prüfkörper (Anhang 3). Deshalb wurden die Abbauwerte dieser direkt benachbarten Prüfkörper in den Berechnungen nicht berücksichtigt.

Zusätzlich wurde die Dynamik des Abbaus durch den Abbaufortschritt beschrieben. Im Gegensatz zur Abbaugeschwindigkeit (A_v) zeigt der Abbaufortschritt (A_f) an, wie stark das Holz nach dem Abbaubeginn weiter abgebaut wurde (Abb. 11).

Bei der Berechnung des Abbaufortschritts wurde nur die Zeit, nachdem der Abbau aufgetreten war, bis zum Ende der Untersuchung oder Ausfall des Prüfkörpers berücksichtigt. Hiermit wurde gleichzeitig die mittlere Expositionszeit vor Abbaubeginn für jede Holzart ausgedrückt.

Formel 8

$$A_f = \frac{d}{t_E - t_{vA}}$$

A_f	mittlerer Abbaufortschritt [Abbaugrad/Jahr]
d	Abbaugrad nach der vergangenen Expositionszeit [Abbaustufe 1-4]
t_E	gesamte vergangene Expositionszeit [Jahre]
t_{vA}	Expositionszeit vor Abbaubeginn [Jahre]

Um den Abbaufortschritt der Holzarten miteinander zu vergleichen, wurden für die Berechnung nur die Prüfkörper mit einer Abbaudauer von drei Jahren verwendet. Auf diese Weise wurden je Prüf-

⁴ Hierbei wurde davon ausgegangen, dass in den Wintermonaten kein bzw. ein minimaler Abbau stattgefunden hätte, da während dieser Zeit vor allem die Temperatur den Pilzabbau limitiert. Die Abbauaktivität vieler holzerstörender Pilze nimmt mit sinkender Temperatur ab (WÄLCHLI 1977, SCHMIDT 1994). Bei Temperaturen unter 0 °C ist in der Regel kein Mycelwachstum möglich, da kein Wasser für Enzymaktivitäten mehr verfügbar ist. In Abhängigkeit von der Pilzart liegt das Aktivitätsoptimum meistens zwischen 20 und 40°C (SCHMIDT 1994). Daher wurde die halbjährige Exposition als ganzes Jahr betrachtet und die hierfür berechneten Abbaugeschwindigkeiten im Ergebnisteil als Jahreswerte dargestellt.

körper vier aufeinanderfolgende Bewertungen und deren Änderungen berücksichtigt. Auch Prüfkörper, die bereits während dieses Zeitraums ausfielen, wurden in die Berechnung einbezogen.

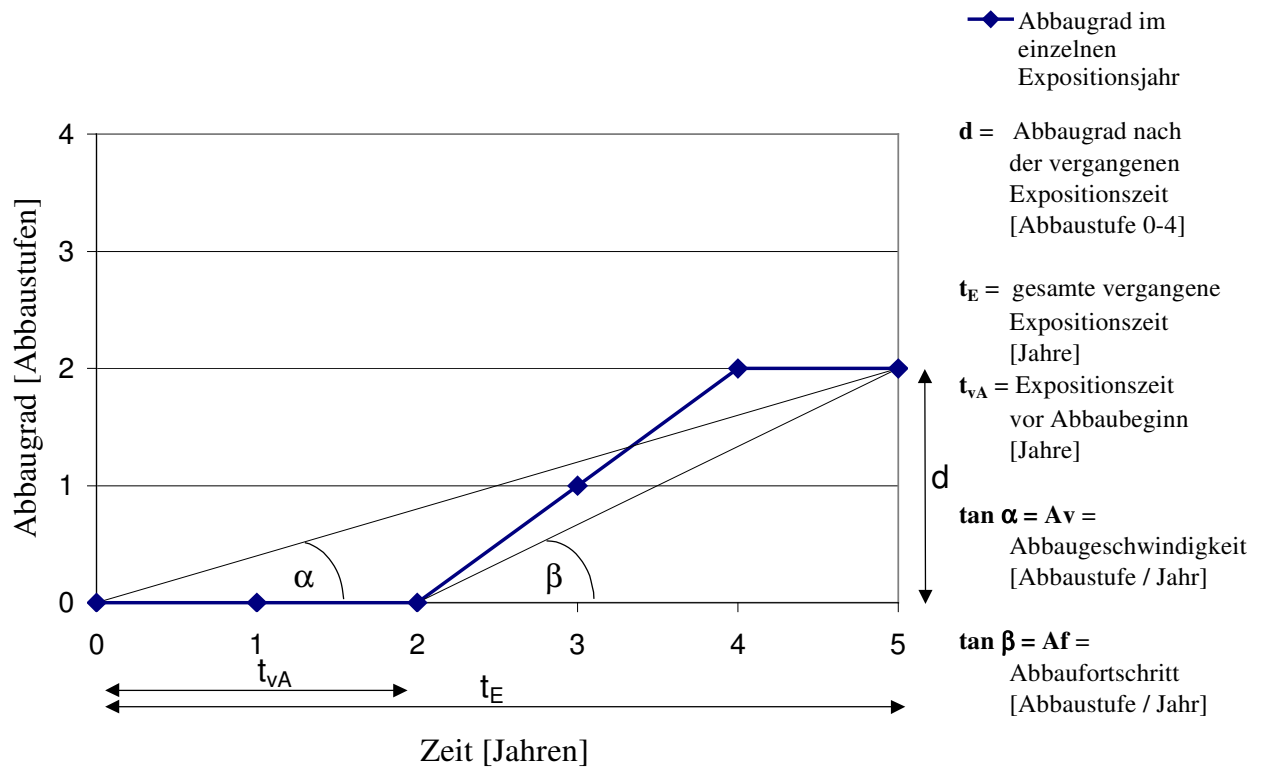


Abb. 11: Schematische Darstellung des Zusammenhangs zwischen Abbaugrad, Expositionszeit, Abbaugeschwindigkeit und Abbaufortschritt

Die Bestimmung der Dauerhaftigkeit nach DIN EN 350-1 (1994) beruht auf der mittleren Standdauer der Prüfstäbe und wird durch einen Relativwert X ausgedrückt:

Formel 10

$$X\text{-Wert} = \frac{mSd_P}{mSd_V}$$

X -Wert Relativwert zur Bestimmung der Dauerhaftigkeitsklasse
 mSd_P mittlere Standdauer der Prüfstäbe [Jahre]
 mSd_V mittlere Standdauer des dauerhaftesten Satzes von Vergleichsstäben [Jahre]

Mit Hilfe dieses X -Wertes werden die Holzarten einer Dauerhaftigkeitsklasse zugeordnet (Tab. 14).

Tab. 14: Dauerhaftigkeitsklassen (DKL) von Holz gegen Pilzbefall auf Grundlage von Freilanduntersuchungen nach DIN EN 350-1 (1994).

Dauerhaftigkeitsklasse	Beschreibung	X - Wert
1	sehr dauerhaft	$X > 5$
2	dauerhaft	$3 < X \leq 5$
3	mäßig dauerhaft	$2 < X \leq 3$
4	wenig dauerhaft	$1,2 < X \leq 2$
5	nicht dauerhaft	$X \leq 1,2$

Die Berechnung der mittleren Standdauer wird jedoch erst möglich, wenn alle Prüfkörper die Abbaustufe 4 erreicht haben. Dafür sind meist sehr lange Zeiträume (> 5 Jahre) notwendig, die im Rahmen dieser Arbeit und in den meisten anderen Untersuchungen nicht realisierbar sind.

Daher wurde, mit Hilfe der Abbaugeschwindigkeiten Dauerhaftigkeitsfaktoren berechnet (Formel 11), mit denen eine vorläufige Einschätzung der Dauerhaftigkeit vorgenommen wurde.

Formel 11

$$f = \frac{mv_R}{mv_{test}}$$

f	Dauerhaftigkeitsfaktor
mv_R	mittlere Abbaugeschwindigkeit der Referenzholzart Kiefern-Splint
mv_{test}	mittlere Abbaugeschwindigkeit des zu prüfenden Materials

Bewertung und Auswertung der Prüfkörper mit unterschiedlichen Dimensionen

Die unterschiedlich dimensionierten Prüfkörper wurden jährlich im Herbst mit der bereits beschriebenen Methode bewertet (Tab. 12). Nach dem vierten Jahr wurden zusätzlich die Prüfkörper aufgesägt und der Abbau unter Berücksichtigung seiner inneren Ausdehnung gemessen.

Dazu wurden alle Prüfkörper in 20 mm Abständen quer zur Faserrichtung in Scheiben aufgetrennt. Auf einer Seite jeder Scheibe wurde die Befallsfläche entlang der makroskopisch sichtbaren Grenzen des befallenen Holzes vermessen. Abgebautes und befallenes Holz war makroskopisch durch zerstörte Holzstrukturen erkennbar. Dabei wurden auch Verfärbungen berücksichtigt, die von abgebauten Bereichen im Holz ausgingen und mit diesen im direkten räumlichen Zusammenhang standen. Durch Bläuepilze hervorgerufene Verfärbungen wurden nicht als Befallsfläche gewertet. Ausgehend von den Hirnenden der Prüfkörper wurde der erste und letzte Wert in einem Abstand

von 20 mm ermittelt. Alle weiteren Messungen wurden jeweils an der darauf folgenden Scheibe, meist nach 23 mm (Scheibenbreite 20 mm und Sägeschnitt 3 mm) durchgeführt.

Da es aufgrund der Dimension und Einschnittart (ein- bzw. vierstielig, liegende bzw. stehende Jahrringe) nicht möglich war, die größeren Kiefernprüfkörper ausschließlich aus Splintholz herzustellen, wurden die Splint- und Kernflächen getrennt vermessen.

Die Messungen der Querschnittsflächen erfolgte manuell mit Gitternetzrastern und mit dem computergestützten Bildauswertungsprogramm „Analysis“. Zum Vergleich beider Methoden wurden 3 bis 4 Prüfkörper jeder Dimension bzw. Prüfkörper mit gleichem Querschnitt zufällig ausgewählt. Somit fand die Überprüfung der Messergebnisse insgesamt an 20 Prüfkörpern (365 Scheiben) statt. Zwischen beiden Methoden wurde eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse festgestellt (Anhang 4). Die manuell vermessenen Flächen waren meist geringfügig größer als die am Bildanalysegerät ermittelten Flächen. Aufgrund der geringen prozentualen Flächenabweichungen wurden die manuellen Messungen für die Auswertung herangezogen.

Für die manuelle Vermessung wurden Folien mit Gitternetzen ($2 \times 2 \text{ mm}^2$, $6 \times 6 \text{ mm}^2$, $8 \times 8 \text{ mm}^2$ und $10 \times 10 \text{ mm}^2$) über die Querschnitte der Scheiben gelegt. Dabei wurden alle Kästchen gezählt, deren Fläche zu mindestens 50 % über befallenen Holz lagen. Aus der Anzahl der ausgezählten Kästchen mit bekanntem Flächeninhalt berechnete sich die anteilige befallene Querschnittsfläche jeder Scheibe.

Formel 12

$$AS = \frac{AS_{Befall}}{AS_{Gesamt}} * 100\%$$

AS	anteilige befallene Querschnittsfläche der Scheibe [%]
AS_{Befall}	befallene Querschnittsfläche der Scheibe [mm^2]
AS_{Gesamt}	gesamte Querschnittsfläche der Scheibe [mm^2]

Die anteilig befallenen Querschnittsflächen der Scheiben eines Prüfkörpers wurden zum Mittelwert des Prüfkörpers und die Werte der Prüfkörper mit gleichen Abmessungen wiederum zu Mittelwerten für eine Prüfkörperdimension zusammengefasst.

Formel 13

$$AP = \frac{\sum_{v=1}^{v=n} AS_v}{n}$$

AP	anteilige mittlere befallene Querschnittsfläche des Prüfkörpers [%]
AS	anteilige befallene Querschnittsflächen der Scheiben [%]
n	Anzahl der gemessenen Scheiben je Prüfkörper [Stück]

Formel 14

$$AD = \frac{\sum_{v=1}^{v=n} AP_v}{n}$$

AD	anteilige mittlere befallene Querschnittsfläche der Dimension [%]
AP	anteilige mittlere befallene Querschnittsflächen der Prüfkörper [%]
n	Anzahl der Prüfkörper mit gleicher Dimension [Stück]

Die Prüfkörper wiesen bereits vor Beginn der Untersuchung, in Abhängigkeit von ihrer Einschnittart und Dimension, unterschiedlich lange Risse in der Oberfläche auf, die sich während der Freilandbewitterung vergrößerten. Da Risse in der Holzoberfläche das Niederschlagswasser schneller ins Prüfkörperinnere weiterleiten, werden höhere Holzfeuchten und günstigere Abbaubedingungen für Mikroorganismen geschaffen. Daher wurde für alle Prüfkörper eine Rissbewertung nach den drei Kategorien aus Tab. 15 vorgenommen.

Tab. 15: Kategorien zur Bewertung der Risse

Kategorie	Beschreibung	Σ Riss-Länge
l	leichte Risse	bis ca. 5 cm
m	mittlere Risse	5 bis 10 cm
s	starke Risse	> 10 cm

3.3.5 Bestimmung der Fäuletypen

Während der jährlichen Bewertung wurden für jeden Prüfkörper die Fäuletypen makroskopisch bestimmt und dokumentiert. Dabei wurde zwischen Weißfäule, Braunfäule und Moderfäule unterschieden. Häufig trat eine Kombination mehrerer Fäuletypen an einem Prüfkörper auf. Zur Auswertung der Ergebnisse wurde nur der dominante Fäuletyp eines Prüfkörpers herangezogen. Als dominant wurde der Fäuletyp betrachtet, der den stärksten Zerstörungsgrad bzw. den Ausfall des Prüfkörpers (Abbaustufe 4) verursacht hatte.

Aus den Daten wurde der prozentuale Anteil des Fäuletyps am Gesamtbefall der Prüfkörper berechnet:

Formel 15

$$FT = \frac{Befall_{FT}}{Befall_{ges}} * 100\%$$

<i>FT</i>	prozentualer Anteil des Fäuletyps am Gesamtbefall [%]
<i>Befall_{FT}</i>	Anzahl der Prüfkörper mit Braun-, Weiß- oder Moderfäule als dominanten Fäuletyp [Stück]
<i>Befall_{ges}</i>	Gesamtanzahl befallener Prüfkörper [Stück]







Makroskopische Bestimmung

An Hand bekannter, typischer Merkmale (RAYNE und BODDY 1988, EATON und HALE 1993, SCHMIDT 2006 zusammengefasst in Tab. 16) wurden die Fäuletypen während der Freilandbewertung makroskopisch bestimmt.

Zusätzlich wurden die folgenden Punkte berücksichtigt:

- Die Verfärbungen allein stellten kein sicheres Bestimmungsmerkmal dar und wurden stets im Zusammenhang mit anderen Strukturmerkmalen betrachtet.
- In Abhängigkeit von der Holzfeuchte entsprachen die Bruchbilder nicht immer eindeutig der gegebenen Beschreibung. Dann wurden Prüfkörper mit eindeutig bestimmten Fäuletypen zum Vergleich herangezogen.
- Vorhandene Fruchtkörper wurden für die Bestimmung des Fäuletyps identifiziert (FERGUS 1960, JAHN 1979, GERHARDT 1995).

Tab. 16: Typische makroskopische Merkmale der Fäuletypen

Fäuletyp	Verfärbung	Bruchbild	Besonderheiten
Braunfäule	braun	<ul style="list-style-type: none"> • Würfelbruch 	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensionsstabilität stark vermindert, sichtbar an verformten, eingefallenen Oberflächen 
Weißfäule	hell, ausgebleichen	<ul style="list-style-type: none"> • Faserig, schwammige Holztextur  <ul style="list-style-type: none"> • langfaseriger, ausgefranster Bruch 	<ul style="list-style-type: none"> • meist sehr hohe Feuchte im befallenen Holz • teilweise dunkle Demarkationslinien sichtbar
Moderfäule	grau	<ul style="list-style-type: none"> • Oberfläche: <ul style="list-style-type: none"> a) im feuchten Zustand modrig weich b) im trockenen Zustand feinrissig, holzkohleähnlich  <ul style="list-style-type: none"> • kurzfasriger, stumpfer Bruch 	<ul style="list-style-type: none"> • meist in Holz mit ständig hoher Feuchte • Befall von der Oberfläche ausgehend

3.4 Besiedlung und Abbau von Holz durch *Gloeophyllum sepiarium*

3.4.1 Nachweis von Sporen im Freiland

In Kooperation mit dem Department of Forest Mycology & Pathology of the Swedish University of Agricultural Sciences Uppsala wurde die Eignung von Sporenfallen aus monokaryontem Mycel erstmals für *G. sepiarium* geprüft.

Kultivierung von monokaryontem Mycel

Zur Kultivierung von monokaryontem Mycel wurden Sporen aus Fruchtkörpern von *G. sepiarium* verwendet. Diese wurden auf dem Gelände des Departments of Forest Mycology & Pathology in Uppsala gesammelt und in sterilen Einwegpetrischalen bei Raumtemperatur aufbewahrt. Innerhalb von 24 Stunden waren bereits große Mengen Sporen aus den Fruchtkörpern ausgefallen und deutlich auf dem Boden der Petrischalen sichtbar.

Die Sporen wurden mit Wasser vermischt und jeweils ein Tropfen davon auf steril hergestellten Agarplatten gleichmäßig verteilt. Der Agar (HAGEM-Agar) wurde nach folgendem Rezept zubereitet: 5 g Glukose; 0,5 g NH_4NO_3 ; 0,5 g KH_2PO_4 ; 0,5 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 5 g Malzextrakt; 20 g Agar; 1000 ml Wasser. Die Petrischalen mit den aufgetragenen Sporen wurden in Plastiktüten verpackt und bei 23 °C gelagert.

Bereits 24 Stunden später begannen die Sporen auf dem Agar zu keimen und die Keimschläuche waren deutlich bei 100-facher Vergrößerung im Durchlichtmikroskop zu erkennen. Am darauf folgenden Tag wurden die ausgekeimten Sporen auf neue Agarplatten übertragen. Hierbei musste darauf geachtet werden, dass nur einzelne Sporen isoliert wurden, um eine spätere Bildung von dikaryontem Mycel zu vermeiden. Im Klimaraum bei 23 °C hatte sich nach einigen Tagen Mycel entwickelt, was intensiv auf Schnallenbildung untersucht wurde. Waren keine Schnallen im Mycel vorhanden, lag ein monokaryontes Mycel vor und das Isolat wurde weiter aufbewahrt. Auf diese Weise wurden 13 monokaryonte Mycelien von *G. sepiarium* hergestellt.

Herstellung und Exposition der Sporenfallen

Für die Sporenfallen wurde das monokaryonte Mycel ausgewählt, das in der dikaryonten Phase häufig gut sichtbare Schnallen bildete. Hierzu wurde alle 13 Monokaryonten untereinander gekreuzt (91 Kombinationen). Aus der Zone, in der die Mycelien zusammen gewachsen waren, wurde ein Zupfpräparat entnommen und mikroskopisch die Schnallenbildung untersucht.

Das ausgewählte monokaryonte Mycel wurde auf HAGEM-Agar in Einwegpetrischalen (Ø 9 cm) geimpft und bei 27 °C zwei bis drei Wochen gelagert. Gleichzeitig wurden Fichtenklötzchen mit den Maßen 20 x 20 x 5 mm³ hergestellt und 3 x 30 min bei 120 °C autoklaviert. Das sterilisierte Holz wurde direkt auf die zu 2/3 mit Mycel bewachsenen Agarplatten aufgelegt. Nach weiteren 4-6

Wochen bei 27 °C waren alle Holzstücke komplett mit monokaryontem Mycel überwachsen und wurden als Sporenfallen im Freiland exponiert.

Während der Freilandexposition wurden die Sporenfallen auf ein Kunststoffgitter gelegt. Dieses war über einem wassergefüllten Behälter befestigt, um die Sporenfallen vor einer Austrocknung zu schützen. Im oberen Drittel der Behälterwände befanden sich Öffnungen, die bei starken Regenfällen überschüssiges Wasser ableiteten und somit eine Flutung der Sporenfallen verhinderten. Über die gesamte Konstruktion (Abb. 12) war ein Netz gespannt, damit die Sporenfallen bei starkem Wind nicht weggeweht wurden.

Die Sporenfallen wurden an zwei unterschiedlichen Standorten exponiert:

- auf dem Gelände des Departments of Forest Mycology & Pathology in Uppsala, Schweden und
- auf dem Gelände der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft in Hamburg, Deutschland.

Diese Standorte waren geeignet, die Funktion der Sporenfallen zu prüfen, da an beiden Standorten Fruchtkörper von *G. sepiarium* auftraten. Die Sporenfallen wurden auf einer freien Fläche in ca. 40 cm über dem Boden aufgestellt.

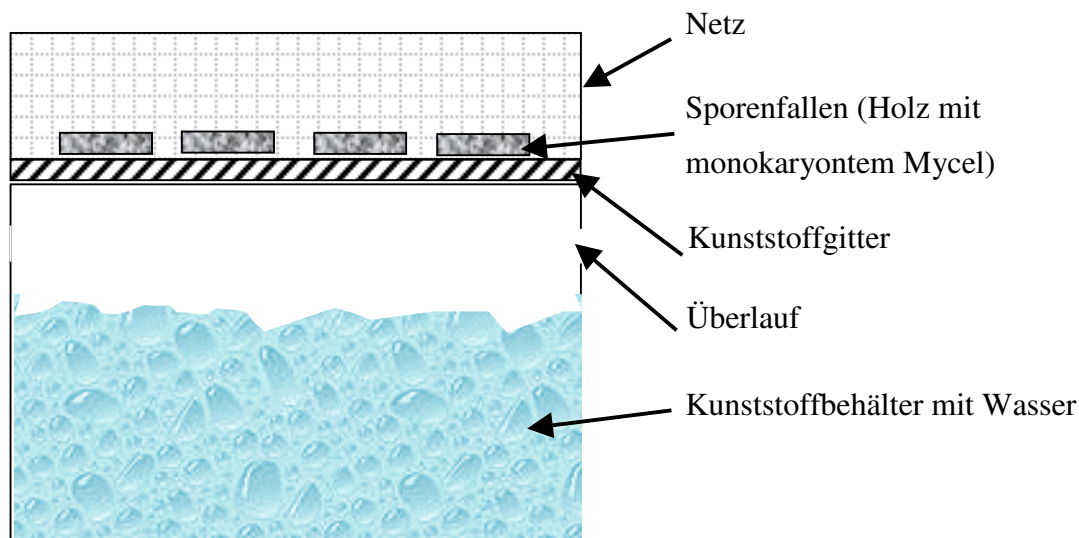


Abb. 12: Gestell mit Sporenfallen für Freilanduntersuchungen

Bewertung der Sporenfallen

Nach der Freilandexposition wurde der Mycelbewuchs auf den Holzstücken (Sporenfallen) visuell begutachtet. Anschließend wurde jede Sporenfalle, unter Zugabe einiger Tropfen sterilisierten Wassers, in eine sterile Petrischale gelegt und mit Parafilm abgedichtet. Da die eingefangenen Sporen einige Zeit benötigen, um auszukeimen und anschließend mit dem monokaryonten Mycel

der Sporenfalle zu verschmelzen, wurden die Petrischalen acht bis zehn Wochen bei Raumtemperatur (ca. 18 – 22 °C) gelagert.

Im Anschluss wurden vom Mycel jeder Sporenfalle Teile auf Agar geimpft sowie Zupfpräparate hergestellt und mikroskopisch auf Schnallenbildung untersucht. Da Schnallen ein Merkmal von dikaryontem Mycel sind, musste eine Verschmelzung des monokaryonten Mycels der Sporenfalle mit einem monokaryonten Mycel einer auskeimenden Spore erfolgt sein. Durch dikaryontes Mycel wäre somit die Anwesenheit von *G. sepiarium* Sporen an dem entsprechenden Standort zu beweisen.

3.4.2 Sporenkeimung auf Holz

Gewinnung von Sporen im Labor

Voraussetzung für Untersuchungen zur Sporenkeimung auf Holz war, die Sporen ohne Verunreinigungen zu gewinnen. Hierzu wurde auf eine von BJURMAN (1985) beschriebene Methode zurückgegriffen, mit der Mycel von *G. sepiarium* unter sterilen Laborbedingungen zur Hymeniumbildung und Sporenproduktion angeregt wird.

Für die Untersuchung der Sporenkeimung auf Holz wurde das Mycel von *G. sepiarium* mit der Isolatnummer 198 aus der Sammlung der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft in Hamburg ausgewählt. Dieses Mycel ist von SCHMIDT ET AL. (2002) aus Fichtenpalisaden isoliert und sequenziert worden (Datenbank Zugriffsnummer AJ344141).

Vom kultivierten Mycel des *G. sepiarium* 198 wurden 1 cm² Stücke auf ein Spezialnährmedium (Tab. 17) in Einwegpetrischalen (Ø 90 mm) geimpft. Diese wurden mit Parafilm verschlossen und anschließend zehn Tage bei 23 °C ohne Licht gelagert. Danach wurden die Petrischalen bei 15 °C unter Schwarzlicht (Philips UV-TL'D18W/08) mit einer maximalen Wellenlänge von 365 nm aufgestellt. Der Abstand zur Lichtquelle betrug 30 cm und es wurde eine wechselnde Photoperiode von 12 Stunden Licht und 12 Stunden Dunkelheit gewählt. Nach 35 - 40 Tagen waren Sporen mit bloßem Auge gut sichtbar. Während der gesamten Zeit standen die Petrischalen mit dem Deckel nach unten. Auf diese Weise fielen die gebildeten Sporen direkt in den leeren Deckel. Dieser wurde nach Erscheinen der Sporen alle 24 bis 48 Stunden unter sterilen Bedingungen gewechselt. Die trocken gewonnenen Sporen blieben bei Lagerung bei 4 °C mehrere Wochen keimfähig.

Tab. 17: Spezialnährmedium zur Gewinnung von *Gloeophyllum sepiarium* Basidiosporen aus kultiviertem Mycel

Bestandteile	Menge
D-Glucose	20,0 g
NH ₄ -Tartrat	9,0 g
KH ₂ PO ₄	7,0 g
MgSO ₄ * 7 H ₂ O	2,5g
Eisen (III) –citrat (1 % Lösung)	0,5 ml
MnSO ₄ * 4 H ₂ O	0,02 g / 0,01516 g
ZnSO ₄ * 7 H ₂ O	0,02 g
NaCl	0,1 g
CaCl ₂	0,1 g
Thiamin-Hydrochlorid (steril gefiltert)	50 µg
Difco Bacto (Agar)	15,0 g
Leitungswasser	1000 ml

Untersuchungen zur Sporenkeimung auf Holz

Die Untersuchungen zur Sporenkeimung wurden parallel auf bewittertem und unbewittertem Holz durchgeführt. Das bewitterte Holz wurde Freilandprüfkörpern entnommen, die vier Jahre vertikal unter Dach (3.3.2) am Standort Freiburg exponiert waren und keine makroskopisch sichtbaren Abbauerscheinungen aufwiesen. Die Laborprüfkörper mit der Größe von 10 x 25 x 25 mm³, wurden so aus den Freilandprüfkörpern geschnitten, dass die spätere Untersuchungsfläche der direkt bewitterten Prüfkörperoberfläche entsprach (Abb.14, S. 57).

Die unbewitterten Prüfkörper wurden aus Rückstellproben hergestellt, die dem Bereich, aus dem die Freilandprüfkörper stammten, möglichst nahe lagen. Für die Untersuchung wurden je Holzart sechs Prüfkörper, insgesamt 108 Prüfkörper verwendet. Jede Holzart war durch drei Herkünfte repräsentiert, nicht jedoch Fichten-Kernholz, da kein Material der Herkunft 2 mehr zur Verfügung stand.

Zur Beobachtung der Sporenkeimung auf der Oberfläche größerer Holzproben wurde von SCHMIDT und FRENCH (1977) die „Contact-Agar-Block“-Methode entwickelt. In Anlehnung daran wurde die Untersuchung zur Keimung von *Gloeophyllum sepiarium* Sporen auf unbewittertem und bewittertem Holz durchgeführt.

Um Einflüsse von Fremdinfektionen auf die Sporenkeimung zu vermeiden, wurden die Prüfkörper vor Beginn der Untersuchung sterilisiert. Hierzu wurden einige Prüfkörper (Holzfeuchte ca. 8-12 %) eine Stunde bei 121 °C trocken autoklaviert bzw. 24 Stunden bei -80 °C eingefroren. Nach Einfrieren erwies sich jedoch das bereits bewitterte Holz nicht immer als ausreichend steril. Daher wurden alle übrigen Prüfkörper vor Beginn der Untersuchung eine Stunde bei 121 °C trocken autoklaviert.

Nach der Sterilisation folgte eine 1-stündige Vakuumtränkung der Prüfkörper mit sterilisiertem Wasser, wobei die zugegebene Wassermenge dem Gewicht des Prüfkörpers entsprach.

Gleichzeitig wurden die Inkubationsgefäße vorbereitet. Hierzu dienten runde Gläser mit Schraubverschluss, auf deren Boden ein mit 50 ml Wasser gefülltes Aluschälchen (Ø 96 mm) stand. Über das Aluschälchen war ein 52 x 76 mm² großer Objektträger gelegt. Die Inkubationsgefäße wurden 30 Minuten bei 121 °C autoklaviert. Danach wurden auf jeden der Objektträger zwei sterile Prüfkörper einer Holzart positioniert (Abb. 13), wobei die Prüfkörperoberfläche nochmals, durch zwei Sekunden tauchen in siedendes Wasser, sterilisiert wurde. Anschließend wurde ein Wasser-Agarblock von ca. 15 x 15 x 2 mm³ auf die Prüfkörper gelegt. Vorversuche hatten gezeigt, dass die Sporen auf 4 %igem Malz-Agar sehr gut, jedoch auf Wasser-Agar nicht keimten. Somit war, bei Verwendung von Wasser-Agar auf Holz, die Sporenkeimung ausschließlich auf den Einfluss des Holzes zurückzuführen. Die geschlossenen Inkubationsgefäße wurden dann 24 Stunden bei 27 °C aufbewahrt. Diese Zeit ermöglichte Diffusionsprozesse vom nassen Holz in den direkt aufliegenden Wasser-Agarblock.

Nach Ablauf der 24 Stunden erfolgte die Impfung der Prüfkörper mit Sporen. Dazu wurde aus den in Reinkultur im Labor erzeugten Sporen (*G. sepiarium* 198) und steril filtriertem Leitungswasser eine Sporensuspension mit 500000 - 850000 Sporen / ml hergestellt. Die Anzahl der Sporen wurde mit Hilfe der Thomakammer⁵ bestimmt (DREWS 1976). Aus Untersuchungen ist bekannt, dass die Sporendichte keinen nennenswerten Einfluss auf das Keimprozent der Sporen hat (MORTON und FRENCH 1966). Daher wurde eine relativ hohe Sporenkonzentration gewählt, um für die Auswertung möglichst viele Sporen auf der gesamten Agarfläche zur Verfügung zu haben. Sofort nach Herstellung wurden 20 µl der Sporensuspension auf den Agarblock eines jeden Prüfkörpers

⁵ Die Thomakammer besteht aus einem plangeschliffenen Objektträger, in dessen Oberfläche ein Gitternetz aus 400 Kleinquadraten (0,05 mm x 0,05 mm) eingeätzt ist. Durch Abdecken der Kammer mit einem speziellen Deckglas entsteht über jedem Großquadrat aus 16 Kleinquadraten ein Hohlraum von 0,004 mm³. Nach Befüllen der Kammer wurden die Sporen mit Hilfe des Gitternetzes in 4 diagonal liegenden Großquadraten gezählt. Die Anzahl N der Sporen pro ml Suspension ist dann wie folgt zu berechnen:
$$N = (\text{Anzahl der Sporen je Großquadrat} * 10^6)/4.$$

pipettiert. Gleichzeitig erfolgten Impfungen von Petrischalen mit 4 %igem Malz-Agar (Referenzmedium) und Wasseragar mit der gleichen Sporensuspensionsmenge.



Abb. 13: Inkubationsgefäß zur Durchführung der Sporenkeimuntersuchungen auf Holz

Die dicht verschlossenen Inkubationsgefäße wurden mit Parafilm gesichert und 18 bis 20 Stunden bei 27 °C im Dunkeln gelagert. Vorversuche hatten gezeigt, dass die Keimschläuche nach dieser Zeit bereits sehr deutlich sichtbar und gekeimte von nichtgekeimten Sporen gut zu unterscheiden waren. Bei einer Keimzeit von mehr als 24 Stunden hatten die Keimschläuche bereits ein verzweigtes Mycelnetz bildet, was die Zählung gekeimter bzw. ungekeimter Sporen stark erschwerte bzw. teilweise unmöglich machte.

Deshalb wurden die Prüfkörper spätestens nach 21 Stunden aus den Inkubationsgefäßen entnommen. Die Agarblöcke wurden vorsichtig von der Holzoberfläche abgezogen, auf einen Objektträger gelegt, mit Methyleneblau angefärbt (KREMER 2002) und unter Zugabe von Glycerin mit einem Deckglas abgedeckt. Unter einem Durchlichtmikroskop (BH-2 von Olympus) bei 200- bis 400-facher Vergrößerung wurden im Mittel 200 Sporen pro Agarblock gezählt und die Anzahl der gekeimten und ungekeimten Sporen erfasst. Die Auswahl von mindestens fünf Zählstellen erfolgte zufällig über den gesamten Agarblock verteilt. Gleichzeitig wurde die Anzahl gekeimter und ungekeimter Sporen auf dem parallel beimpften 4 %igen Malz-Agar ohne Holzkontakt bestimmt. Die präparierten Agarblöcke wurden während und nach der Auswertung bei 4 °C im Kühlschrank aufbewahrt.

Aus der Anzahl der Sporen wurde die prozentuale Sporenkeimrate auf Holz mit direkt aufliegendem Wasser-Agar wie folgt bestimmt:

Formel 16

$$Sk_H = \frac{S_{keim}}{S_{ges}} * 100\%$$

Sk_H prozentuale Sporenkeimrate auf Holz mit Wasseragar [%]

S_{keim} Anzahl der gekeimten Sporen [Stück]

S_{ges} Gesamtanzahl der gezählten Sporen [Stück]

Der für die Untersuchungen notwendige Arbeitsaufwand machte es erforderlich, die Impfung der Prüfkörper zeitlich versetzt durchzuführen. Die Sporensuspensionen wurden kurz vor der Impfung angefertigt, da sie nicht lagerfähig sind. Die Keimfähigkeit der zu unterschiedlichen Zeiten hergestellten Sporensuspensionen war in einem Fall geringer. Deshalb wurden die Ergebnisse durch Sporenkeimfaktoren ausgedrückt. Dieser Faktor stellt das Verhältnis zwischen dem Sporenkeimprozent auf Holz und dem Referenzmedium (4 %iger Malz-Agar) dar. Dadurch wurde der Einfluss einer unterschiedlichen Keimfähigkeit der Sporensuspensionen rechnerisch ausgeschlossen.

Formel 17

$$SKF = \frac{Sk_H}{Sk_M}$$

SKF Sporenkeimfaktor

Sk_H prozentuale Sporenkeimrate auf Holz mit Wasser-Agar [%]

Sk_M prozentuale Sporenkeimrate auf 4%igen Malz-Agar [%]

3.4.3 Holzabbau durch Pilzmycel

Parallel zu den Sporenkeimuntersuchungen wurde der Holzabbau durch *G. sepiarium* am gleichen Material geprüft (3.4.2). Für beide Untersuchungen erfolgte die Herstellung der Prüfkörper aus direkt benachbarten Bereichen im Holz (Abb. 14).

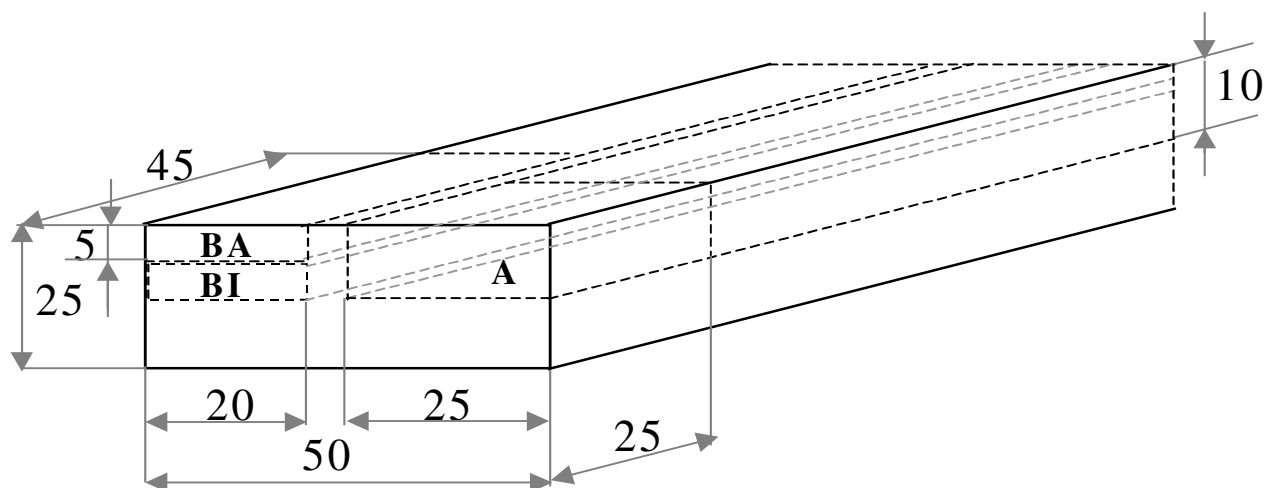


Abb. 14: Entnahmestellen der Laborprüfkörper aus den bewitterten Freilandprüfkörpern, - - - = Sägeschnitt,

— = Kanten des Freilandprüfkörpers, A = Prüfkörper für Sporenkeimuntersuchungen, BA = Prüfkörper mit direkt bewitterter Außenfläche, BI = Prüfkörper aus dem Inneren des bewitterten Prüfkörpers

Aus den bewitterten Freilandprüfkörpern wurden die Laborprüfkörper für Untersuchungen mit Mycel einerseits direkt von der Oberfläche andererseits aus dem inneren Bereich angefertigt. Die Untersuchung schloss somit drei Bewitterungszustände des Holzes ein:

- unbewittertes Holz (U)
- bewittertes Holz von der Außenfläche eines Freilandprüfkörpers (BA)
- bewittertes Holz aus dem Innenbereich eines Freilandprüfkörpers (BI)

Die Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Untersuchungen folgten weitgehend der unter 3.2.1 beschriebenen Verfahrensweise gemäß DIN EN 113 (1986) mit einzelnen Änderungen:

- Es wurden Prüfkörper mit den Abmessungen 45 x 20 x 5 mm³ verwendet, die somit nur ¼ des Volumens, aber das gleiche Hirnholzoberflächen-Volumen-Verhältnis wie Standardprüfkörper hatten. Aufgrund der kleineren Formate war es möglich, die drei unterschiedlich bewitterten Prüfkörper einer Holzart gleichzeitig in einer Kolleschale zu positionieren. Für diese Prüfkörper war ein ähnlicher relativer Masseverlust zu erwarten wie bei Standardprüfkörpern. Untersuchungen von KLEIST (2000) haben gezeigt, dass der relative Masseverlust durch die Reduktion des Volumens auf ¼ kaum, jedoch durch ein unterschiedliches Hirnholzoberflächen – Volumen – Verhältnis bei einigen Holzarten stark beeinflusst wurde.
- Neben den üblicherweise im Labor verwendeten Prüfpilzen wurde zusätzlich das Mycel der Freilandisolation, *G. sepiarium* 198, in die Untersuchungen einbezogen (Tab. 18), mit dem auch die Sporenkeimung auf Holz geprüft wurde.

Tab. 18: Charakterisierung der Prüfpilze

Prüfpilz	Charakterisierung
<i>Gloeophyllum sepiarium</i>	198; Freilandisolation aus Fichtepalisaden, Karlsruhe 1994, Datenbank-Zugriffsnummer AJ344141 (SCHMIDT ET AL 2002)
<i>Gloeophyllum sepiarium</i>	Wulfen; Fr.; P.Karsten, Stamm FPRL 10E
<i>Coniophora puteana</i>	Schum.:Fr.; P.Karsten Ebw. 15; BAM 1/1995

Für die Untersuchungen wurden je Holzart, Bewitterungszustand und Prüfpilz 9 Prüfkörper verwendet. Daraus ergab sich insgesamt eine Anzahl von 936 Prüfkörpern. Die Prüfung mit *Coniophora puteana* erfolgte nur mit einigen ausgewählten unbewitterten Holzarten, um festzustellen, ob die verkürzte Prüfdauer von zwölf Wochen im Vergleich zu Untersuchungen mit Prüfkörpern im Standardformat ähnliche Masseverluste lieferte.

In jede Kolleschale wurden drei Prüfkörper einer Holzart und Herkunft mit unterschiedlichem Bewitterungszustand gelegt (Abb. 15). Die Positionen der Prüfkörper innerhalb der Kolleschalen wechselten systematisch. Somit waren die Prüfkörper der drei Bewitterungszustände gleichmäßig auf die drei Prüfkörperpositionen innerhalb der Kolleschalen verteilt.

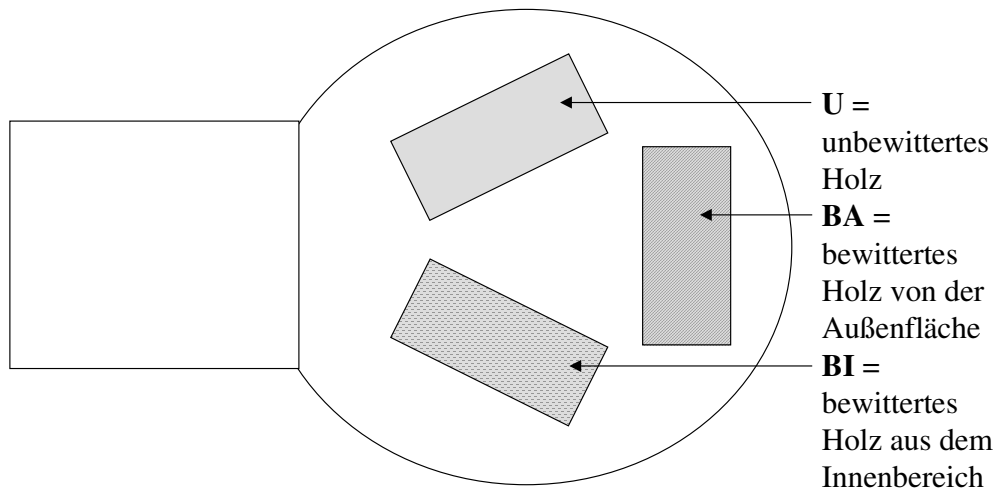
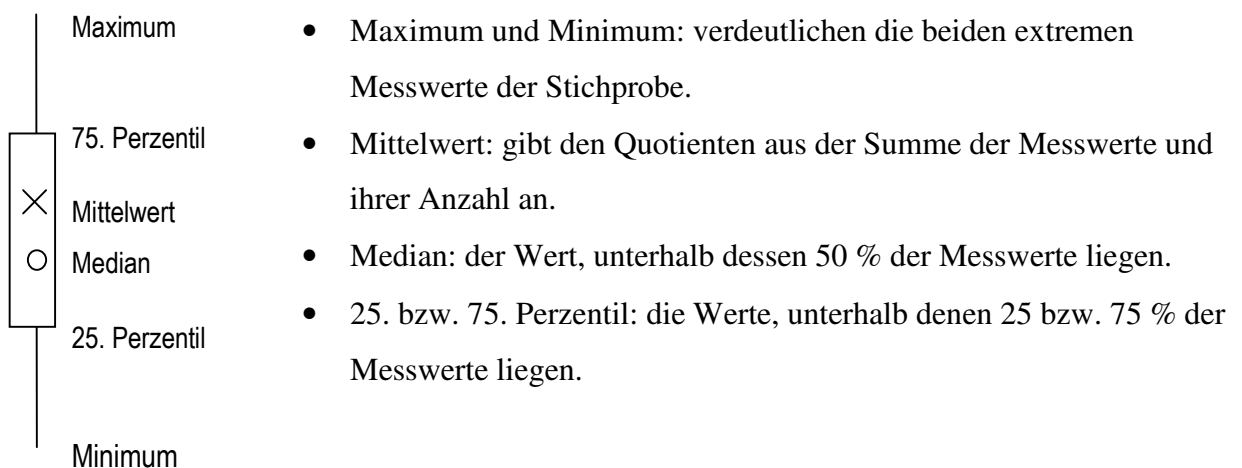


Abb. 15: Anordnung der Prüfkörper mit $\frac{1}{4}$ des Standardvolumens in den Kolleschalen

3.5 Statistische Auswertung

Die Labor- und einige Freilandergebnisse wurden in Form von Box-and-Whisker-Plots dargestellt:



Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit der Software von SAS (Statistical Analysis System). Zur Analyse der Untersuchungsergebnisse wurden die Prozeduren für die Testverfahren von Kruskal-Wallis und Wilcoxon angewendet. Beide Testmethoden ermöglichen den statistischen Vergleich von unverbundenen Stichproben, die nicht aus normalverteilten Grundgesamtheiten stammen müssen.

Kruskal-Wallis-Test

Der Kruskal-Wallis-Test ermöglicht den Vergleich von mehr als zwei unverbundenen Stichproben (LORENZ 1988, ZÖFEL 1992).

Ausgehend vom größten Messwert wird allen Werten ein Rangplatz zugewiesen und aus der Summe der Rangplätze einer jeden Stichprobe die Prüfgröße H berechnet:

Formel 18

$$H = \frac{12}{n * (n + 1)} * \sum_{i=1}^k \frac{T_i^2}{n_i} - 3 * (n + 1)$$

H	Prüfgröße H
k	Anzahl der Stichproben
n_i	Stichprobenumfänge mit $i = 1, \dots, k$
T_i	Rangsummen der Stichproben mit $i = 1, \dots, k$

Treten Messwerte mehrfach auf, müssen geteilte Rangplätze vergeben werden. In einem solchen Fall wird die Prüfgröße H wie folgt korrigiert:

Formel 19

$$H_{korr} = \frac{H}{1 - \frac{\sum_{j=1}^m (t_j^3 - t_j)}{n^3 - n}}$$

H_{korr}	korrigierte Prüfgröße H
t	Häufigkeit mit der der j-te mehrfach auftretende Messwert vorkommt
m	Anzahl der mehrfach auftretenden Messwerte

Die Prüfgrößen H und H_{korr} werden mit einem Grenzwert verglichen, der sich in Abhängigkeit vom Freiheitsgrad ($df = k-1$) ergibt. Je nach Signifikanzniveau wird die Nullhypothese bestätigt oder abgelehnt (Tab. 19).

Mit diesem Test ist jedoch nur eine Aussage zur Gesamtheit der Stichproben zu treffen. Welche der Stichproben sich im einzelnen voneinander unterscheiden, ist nicht festzustellen.

Wilcoxon-Test für unverbundene Stichproben

Der Wilcoxon-Test für unverbundene Stichproben, auch bezeichnet als U-Test von Mann und Whitney, dient dem Vergleich von zwei Stichproben, deren Stichprobenumfang nicht gleich sein muss (LORENZ 1988, ZÖFEL 1992).

Auch bei diesem Test werden allen Daten, entsprechend ihrem Wert, Rangplätze zugeordnet. Die Summe der Rangplätze einer Stichprobe wird dann in die Prüfgröße U umgerechnet. Diese ist die Differenz aus der Rangsumme und dem halbierten Produkt aus Stichprobenumfang und

Stichprobenumfang plus 1 (Formel 20). Für mehrfach auftretende Messwerte wird ein mittlerer Rangplatz vergeben. Dieser ergibt sich aus der Summe der Rangplätze gleicher Messwerte im Verhältnis zur Anzahl gleicher Messwerte.

Formel 20

$$U_1 = R_1 - \frac{n_1 * (n_1 + 1)}{2}$$

U_1	Prüfgröße U der Stichprobe 1
R_1	Rangsumme der Stichprobe 1
n_1	Stichprobenumfang der Stichprobe 1

Analog erfolgt die Berechnung für die zweite Stichprobe. Der kleinere der beiden U-Werte gilt als Prüfgröße. Ist er kleiner oder gleich einem vom Stichprobenumfang abhängigen kritischen Wert, ist die Nullhypothese abzulehnen. Damit liegt ein statistischer Unterschied zwischen den Stichproben auf dem gewählten Signifikanzniveau (Tab. 19) vor.

Tab. 19: Signifikanzniveaus und daraus resultierende Bedeutungen

Irrtumswahrscheinlichkeit	Signifikanzniveau	Ergebnis der SAS-Analyse S-Mean	Darstellung
> 5%	nicht signifikant	> 0,05	ns
≤ 5%	signifikant	≤ 0,05	*
≤ 1%	hoch signifikant	≤ 0,01	**
≤ 0,1%	höchst signifikant	≤ 0,001	***

4 ERGEBNISSE

4.1 Laboruntersuchungen zur natürlichen Dauerhaftigkeit

4.1.1 Relativer Masseverlust durch Pilzmonokulturen

Nach 16 Wochen waren die meisten Prüfkörper vollständig vom Pilzmycel überwachsen, alle jedoch zu mehr als 50 %.

Die Untersuchung ist gültig, da die relativen Masseverluste der Virulenzkontrollproben die vorgeschriebenen Masseverluste überschritten (Tab. 20).

Bei einigen Robinien- und Kiefern-Kernprüfkörpern wurden geringfügige Massezunahmen festgestellt, die bei *Coniophora puteana* maximal 0,7 % und bei *Trametes versicolor* maximal 1,5 % betragen. Obwohl noch kein Holzabbau erfolgte, waren die Prüfkörper meist vollständig mit Pilzmycel bewachsen, so dass möglicherweise verbleibende Mycelreste im Holzinneren zu einer Massezunahme geführt hatten. Da diese sehr gering waren, gingen sie mit dem Wert Null in die Mittelwertberechnung ein.

Tab. 20: Untergrenzen für den relativen mittleren Masseverlust gemäß DIN EN 113 (1986) und den Median des relativen Masseverlustes gemäß DIN EN/TS 15083-1 (2005), sowie der relative mittlere korrigierte Masseverlust und Median (in Klammern) der Virulenzkontrollproben nach 16 Wochen Prüfdauer

	Prüfpilz	Kiefern-Splint	Buche
Untergrenze für den relativen mittleren Masseverlust gemäß DIN EN 113 (1986) für die Gültigkeit der Untersuchung	<i>Coniophora puteana</i>	≥ 20 %	≥ 20 %
	<i>Oligoporus placenta</i>	≥ 20 %	---
	<i>Trametes versicolor</i>	---	≥ 25 %
Untergrenze für den Median des relativen Masseverlustes gemäß DIN EN/TS 15083-1 (2005) für die Gültigkeit der Untersuchung	<i>Coniophora puteana</i>	≥ 30 %	≥ 30 %
	<i>Oligoporus placenta</i>	≥ 20 %	---
	<i>Trametes versicolor</i>	---	≥ 20 %
relativer mittlerer korrigierter Masseverlust und (Median) nach 16 Wochen Prüfdauer	<i>Coniophora puteana</i>	55 % (55 %)	52 % (52 %)
	<i>Oligoporus placenta</i>	29 % (30 %)	---
	<i>Trametes versicolor</i>	---	25 % (24 %)

Masseverluste durch *Coniophora puteana*

Coniophora puteana verursachte bei Kiefern-Splint, Fichten-Splint, Fichten-Kern, Tanne und Buche relative Masseverluste überwiegend zwischen 50 und 60 % (Abb. 16). Gegenüber diesen Holzarten waren Douglasien-, Lärchen-, Kiefern-, Robinien- und Eichen-Kern höchst signifikant geringer abgebaut ($|S\text{-Mean}| < 0,0001$). Die mittleren Masseverluste der beiden Laubhölzer lagen zum Teil sogar unter 3 %.

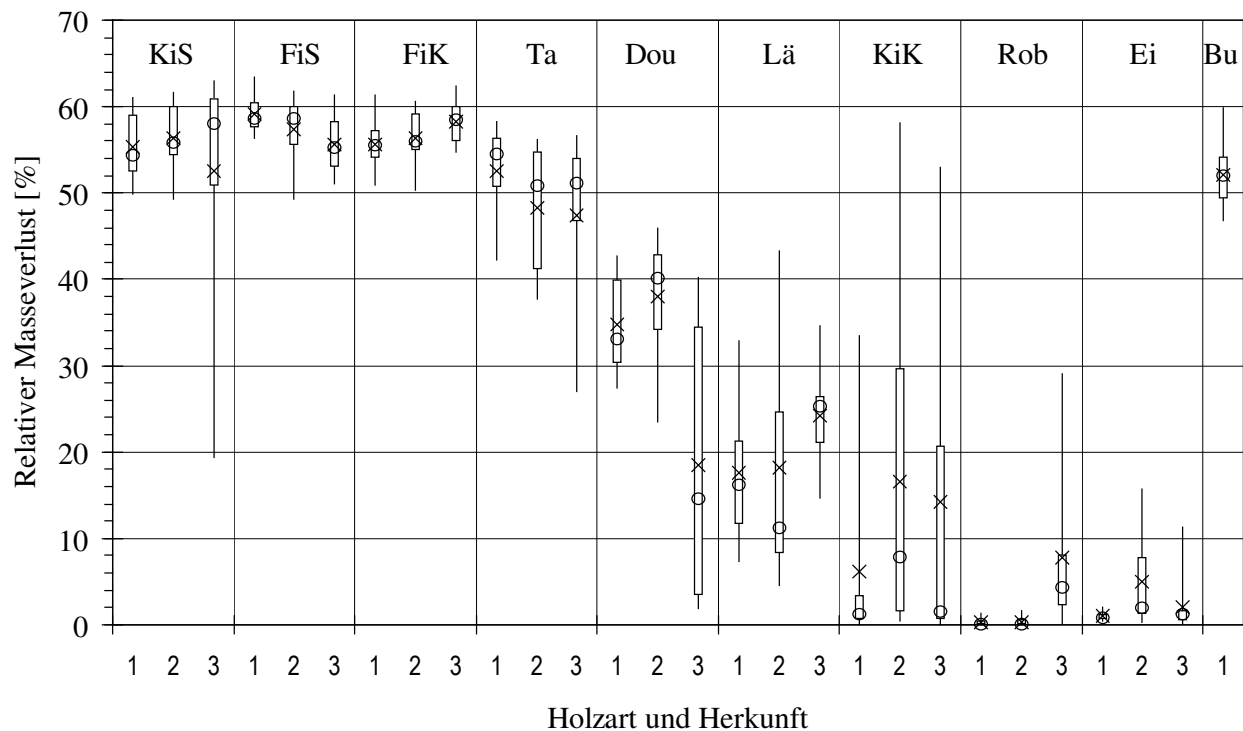


Abb. 16: Relativer mittlerer korrigierter Masseverlust der Holzarten von drei Herkünften (n=10) nach Prüfung mit *Coniophora puteana*

Zwischen den Herkünften einer Holzart wurden keine signifikant unterschiedlichen relativen Masseverluste bei Kiefer, Fichte, Tanne und Lärche festgestellt (Abb. 16, Tab. 21).

Abweichend davon wies die Douglasie der Herkunft 2 einen signifikant größeren Masseverlust gegenüber Douglasie der Herkunft 3 auf.

Auch hatte Robinienholz aus Rumänien (Herkunft 3) einen hoch signifikant größeren relativen Masseverlust als das deutsche Robinienholz (Herkunft 1 und 2). An 11 von 20 Robinien-Prüfkörpern der Herkünfte 1 und 2 hatte nach 16 Wochen noch kein Abbau stattgefunden. Insgesamt beruhten die Unterschiede zwischen den Herkünften nur auf sehr geringen Masseverlustwerten und sollten nicht überinterpretiert werden.

Das gleiche galt für Eichenholz, wo sich für Herkunft 2 ein signifikant höherer Masseverlust gegenüber Eichenholz der Herkunft 1 ergab.

Tab. 21: Statistischer Vergleich der relativen Masseverluste zwischen den Herkünften (HK) einer Holzart nach Prüfung mit *Coniophora puteana*, angegeben sind die Werte IS-MeanI und das Signifikanzniveau (Tab. 19) bei einem Stichprobenumfang von n = 10

HK	KiS	FiS	FiK	Ta	KiK	Lä	HK	Dou	Rob	Ei
1-2-3:	0,858	0,1222	0,1935	0,2422	0,3553	0,1117	1-2:	0,3566	0,7366	0,038*
							1-3:	0,069	0,0023**	0,6822
							2-3:	0,0147*	0,0023**	0,1568

Masseverluste durch *Oligoporus placenta*

Oligoporus placenta wurde ausschließlich für die Nadelhölzer verwendet. Er verursachte bei Kiefern-Splint, Fichten-Splint, Fichten-Kern, Tanne, Douglasie und Lärche einen geringeren mittleren Masseverlust als *Coniophora puteana* (Abb. 16, Abb. 17). Für Kiefern-Kern wurden höhere mittlere Masseverluste im Vergleich zum Abbau durch *Coniophora puteana* festgestellt, die allerdings nur für Herkunft 1 signifikant höher waren.

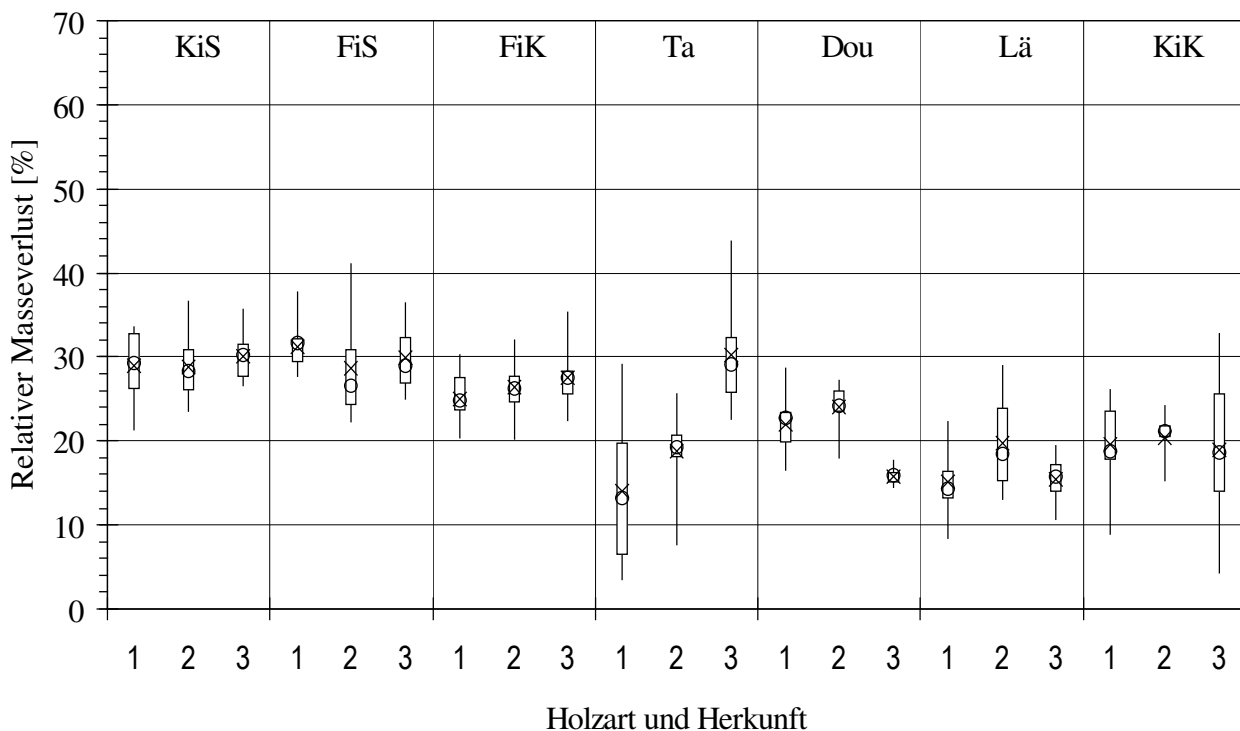


Abb. 17: Relativer mittlerer korrigierter Masseverlust von Nadelhölzern von drei Herkünften (n=10) nach Prüfung mit *Oligoporus placenta*

Auch bei *Oligoporus placenta* ergaben sich meist keine signifikanten Unterschiede zwischen den relativen Masseverlusten der Herkünfte einer Holzart (Abb. 17, Tab. 22).

Dagegen wurde für Douglasie der Herkunft 3 (Naturstandort) ein hoch signifikant geringerer Masseverlust festgestellt als bei den anderen Douglasienherkünften. Im Gegensatz zu *Coniophora puteana* wurde Tanne der Herkunft 3 durch *Oligoporus placenta* hoch signifikant stärker abgebaut als die anderen Tannenherkünfte (Tab. 22).

Tab. 22: Statistischer Vergleich der relativen Masseverluste zwischen den Herkünften (HK) einer Holzart nach Prüfung mit *Oligoporus placenta*, angegeben sind die Werte IS-MeanI und das Signifikanzniveau (Tab. 19) bei einem Stichprobenumfang von n = 10

HK	KiS	FiS	FiK	Lä	KiK	HK	Ta	Dou
1-2-3:	0,6404	0,1709	0,3476	0,0911	0,7597	1-2:	0,1863	0,1206
						1-3:	0,007**	0,0039**
						2-3:	0,0027**	0,0027**

Masseverluste durch *Trametes versicolor*

Der Weißfäuleerreger *Trametes versicolor* wurde als zweiter Prüfpilz für die Laubhölzer eingesetzt. Die mittleren relativen Masseverluste von Robinien- und Eichen-Kern waren geringer als 5 % (Abb. 18). Hingegen wies die Buche als Referenzholzart einen Masseverlust um 24 % auf.

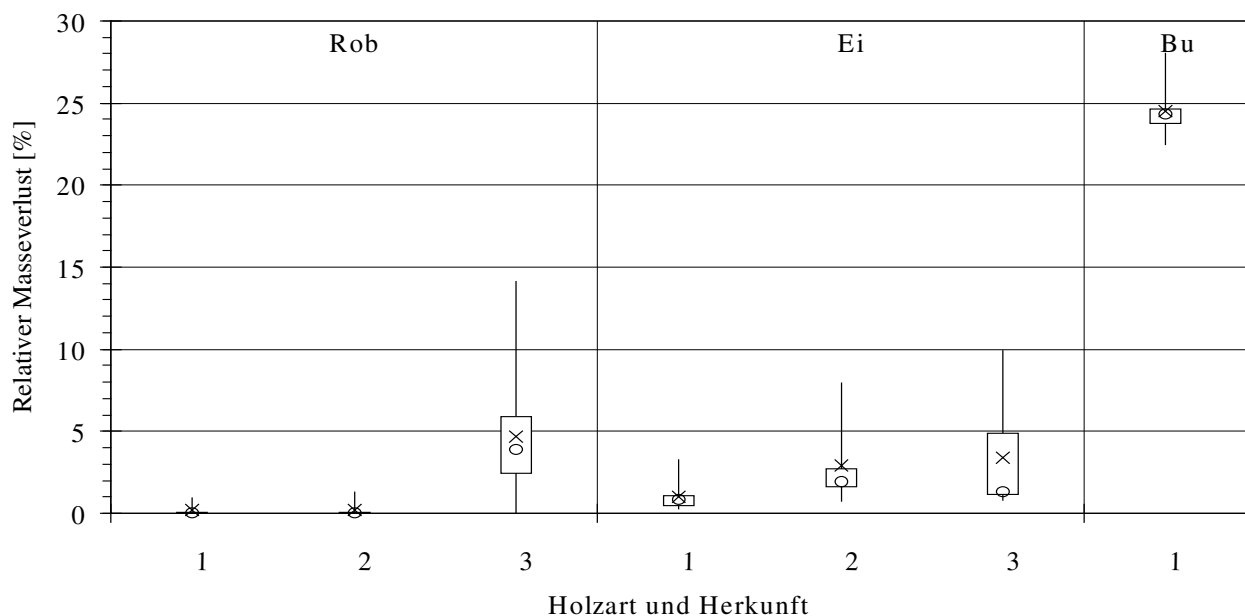


Abb. 18: Relativer mittlerer korrigierter Masseverlust von Robinien-Kern (Rob) und Eichen-Kern (Ei) von drei Herkünften (n=10) nach Prüfung mit *Trametes versicolor*

Trametes versicolor verursachte bei Robinie der Herkunft 3 einen hoch signifikant stärkeren Masseverlust im Vergleich zu den beiden anderen Herkünften. Hingegen wurde die Eiche der Herkunft 1, gegenüber dem anderen Eichenholz signifikant geringer abgebaut (Tab. 23).

Tab. 23: Statistischer Vergleich der relativen Masseverluste zwischen den Herkünften (HK) einer Holzart nach Prüfung mit *Trametes versicolor*, angegeben sind die Werte IS-MeanI und das Signifikanzniveau (Tab. 19) bei einem Stichprobenumfang von n = 10

	Rob	Ei
HK 1-2:	0,7319	0,0173*
HK 1-3:	0,0023**	0,0443*
HK 2-3:	0,0018**	0,6822

Dauerhaftigkeitsklassifizierung

Auf Grundlage der relativen Masseverluste wurde sowohl der Relativwert X als auch der Median (siehe Tab. 7, S. 33) berechnet. Dabei wurden die Ergebnisse des Prüfpilzes verwendet, der den höchsten Masseverluste verursacht hat.

Zwischen den Herkünften der meisten Holzarten ergaben sich keine unterschiedlichen Dauerhaftigkeitsklassen (Tab. 24). Ausnahmen davon bildeten:

- Douglasienholz vom Naturstandort (Herkunft 3) war nach beiden Bewertungsmethoden eine Dauerhaftigkeitsklasse besser einzustufen als die in Deutschland gewachsenen Douglasien (Herkünfte 1 und 2).
- Für Lärchen-Kernholz der Herkunft 2 wurde nach Prüfung mit Basidiomyceten-Monokulturen eine Dauerhaftigkeitsklasse 4, für die beiden anderen Lärchenherkünfte die Dauerhaftigkeitsklasse 3 ermittelt. Diese Klassifizierungsunterschiede zwischen den Herkünften traten bei Verwendung der Medianmethode nicht auf.

Klassifizierungsunterschiede zwischen den Bewertungsmethoden zeigten sich bei Tanne, Douglasie und Lärche. Die Verwendung des Medians des relativen Masseverlustes führte bei diesen Holzarten meist zu einer um eine Klasse schlechtere Dauerhaftigkeitseinstufung.

Der Unterschied in der Klassifizierung zwischen den beiden Methoden erschien für Tannenholz weniger relevant. Da der ermittelte X-Wert von 0,9 bereits den oberen Grenzwert der Dauerhaftigkeitsklasse 4 darstellte und auch die einzelnen Tannenherkünfte diesem Wert sehr nahe lagen, war das Tannenholz insgesamt eher der Dauerhaftigkeitsklasse 5 zuzuordnen.

Tab. 24: Dauerhaftigkeitsklassen (DKL) der Holzarten und deren Herkünfte (HK): Klassifiziert nach X-Werten berechnet aus mittleren relativen Masseverlusten (mMV%) gemäß DIN EN 350-1 (1994) und nach dem Median des relativen Masseverlustes (MMV%) gemäß DIN EN/TS 15083-1 (2005) nach Prüfung mit *Coniophora puteana* (Cp), *Oligoporus placenta* (Op) und *Trametes versicolor* (Tv)

Holzart	HK	Prüf- pilz	mMV %	X-Wert	DKL aus X-Wert	MMV %	DKL aus MV%	X-Wert	DKL aus X-Wert	MMV %	DKL aus MV%
Kiefern- Splint	1-3	Cp	55	1,00	5	55	5	1,00	5	55	5
	1-3	Op	29	1,00	5	30					
Fichten- Splint	1	Cp	59	1,08	5	59	5	1,05	5	58	5
	2		57	1,05	5	59	5				
	3		56	1,01	5	55	5				
Fichten- Kern	1	Cp	56	1,01	5	56	5	1,04	5	56	5
	2		56	1,03	5	56	5				
	3		58	1,06	5	58	5				
Tanne	1	Cp	53	0,96	5	55	5	0,90	4	53	5
	2		48	0,88	4	51	5				
	3		47	0,86	4	51	5				
Douglasien- Kern	1	Cp	35	0,63	4	33	5	0,56	3	33 (Cp)	5
	2		38	0,69	4	40	5				
	3		19	0,34	3	16 (Op)	4 (Op)				
Lärchen- Kern	1	Cp	18	0,32	3	16	4	0,37 (Cp)	3	21 (Cp)	4
	2	Op	20	0,67	4	18	4				
	3	Cp	24	0,44	3	25	4				
Kiefern- Kern	1	Op	20	0,67	4	19	4	0,67	4	20	4
	2		20	0,70	4	21	4				
	3		19	0,65	4	18	4				
Robinien- Kern	1	Cp	0,06	0,01	1	0,1	1	0,05	1	0,3	1
	2		0,04	0,01	1	0	1				
	3		8	0,15	1	4	1				
Eichen- Kern	1	Tv	1	0,04	1	1	1	0,05 (Cp)	1	1,3 (Cp)	1
	2	Cp	5	0,10	1	2	1				
	3	Tv	3	0,14	1	1	1				
Buche	1	Cp	52	1,00	5	52	5	1,00	5	52	5
	1	Tv	25	1,00	5	24					

4.1.2 Relative Masseverluste in Terrestrischen Mikrokosmen

Für die TMC-Untersuchungen wurden die Böden der Freilandstandorte mit ihrem natürlichen Infektionspotential eingesetzt. An den Holzarten wurden relative Masseverluste überwiegend zwischen 5 und 15 % hervorgerufen. Mit Boden des Standorts Rhön erreichte Kiefern-Splint sogar mittlere relative Masseverluste von 32 %. In diesen TMCs hatte sich ein starker Mycelbewuchs mit Fruchtkörperbildung auf den Prüfkörpern und der Erdoberfläche ausgebildet. Mikroskopische Untersuchungen an den Prüfkörpern zeigten typische Abbaubilder der Weiß- und Moderfäule. In allen übrigen Böden verursachte ausschließlich Moderfäule den Holzabbau.

Die Ausbaufeuchten der Prüfkörper jeder Holzart wiesen sowohl innerhalb eines TMCs als auch zwischen den TMCs zum Teil große Schwankungen auf. Dennoch war bei keiner der Holzarten der Abbau durch hohe Ausbaufeuchten eingeschränkt, da der Holzabbau überwiegend durch feuchte-tolerante Moderfäule verursacht wurde. Tendenziell trat sogar mit steigender Ausbaufeuchte ein höherer relativer Masseverlust auf (Anhang 6 bis 8). Daher wurden auch die Ergebnisse der Prüfkörper mit sehr hohen Holzfeuchten in die Berechnungen der mittleren relativen Masseverluste einbezogen.

Einfluss der Holzherkunft auf den relativen Masseverlust in Terrestrischen Mikrokosmen

Ein Vergleich der relativen Masseverluste ergab in den fünf Böden zwischen den Herkünften innerhalb der Holzarten Kiefern-Splint, Fichten-Kern, Tanne und Kiefern-Kern überwiegend keinen signifikanten Unterschied (Tab. 25).

Tab. 25: Statistischer Vergleich der relativen Masseverluste zwischen den Herkünften (HK) von Kiefern-Splint, Fichten-Kern, Tanne und Kiefern-Kern nach TMC-Prüfung mit Böden der Freilandstandorte, angegeben sind die Werte IS-MeanI und das Signifikanzniveau (Tab. 19) bei einem Stichprobenumfang von n = 10

	Rhön	Stuttgart	Freiburg	Hamburg	Hamburg „Baumschatten“
KiS	HK 1-2-3: 0,258	HK 1-2: 0,012* HK 1-3: 0,143 HK 2-3: 0,481	HK 1-2-3: 0,224	HK 1-2-3: 0,276	HK 1-2-3: 0,929
FiK	HK 1-2-3: 0,940	HK 1-2: 0,052 HK 1-3: 0,579 HK 2-3: 0,043*	HK 1-2-3: 0,686	HK 1-2-3: 0,150	HK 1-2-3: 0,623
Ta	HK 1-2-3: 0,756	HK 1-2-3: 0,244	HK 1-2-3: 0,307	HK 1-2-3: 0,385	HK 1-2: 0,0001**** HK 1-3: 0,143 HK 2-3: 0,012*
KiK	HK 1-2-3: 0,147	HK 1-2-3: 0,708	HK 1-2-3: 0,252	HK 1-2-3: 0,087	HK 1-2-3: 0,141

Fichten-Splint der Herkunft 1 wurde in den meisten Böden signifikant stärker angegriffen als das andere Fichten-Splintholz. Die Unterschiede traten besonders in den Böden aus Hamburg und Hamburg „Baumschatten“ deutlich auf (Tab. 26) .

Tab. 26: Statistischer Vergleich der relativen Masseverluste zwischen den Herkünften (HK) von Fichten-Splint nach TMC-Prüfung mit Böden der Freilandstandorte, angegeben sind die Werte IS-MeanI und das Signifikanzniveau (Tab. 19) bei einem Stichprobenumfang von n = 10

	Rhön	Stuttgart	Freiburg	Hamburg	Hamburg „Baumschatten“
FiS	HK 1-2-3: 0,136	HK 1-2: 0,023* HK 1-3: 0,052 HK 2-3: 0,631	HK 1-2: 0,075 HK 1-3: 0,001*** HK 2-3: 0,190	HK 1-2: 0,029* HK 1-3: 0,0001*** HK 2-3: 0,123	HK 1-2: 0,019* HK 1-3: 0,0001*** HK 2-3: 0,739

Anders als nach Prüfung mit Basidiomyceten-Monokulturen hatte in den TMCs das Douglasienholz vom Naturstandort (Herkunft 3) keine geringeren Masseverluste als das in Deutschland gewachsene Douglasienholz. Die Douglasie aus Oregon (Herkunft 3) wurde sogar in den Böden aus Stuttgart und Freiburg signifikant stärker abgebaut (Abb. 19, Tab. 27).

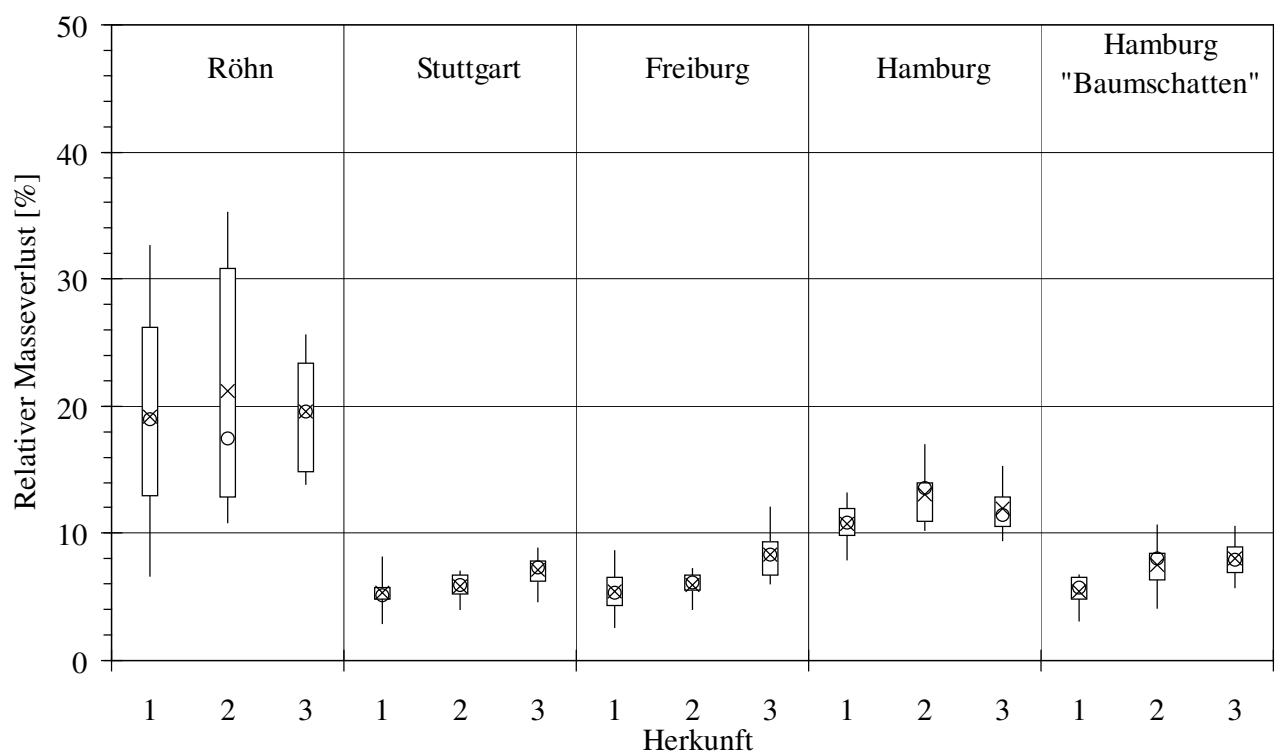


Abb. 19: Relativer Masseverlust von drei Douglasienherkünften (n = 10) in TMCs mit Böden der fünf Freilandstandorte

Für Lärchenholz der Herkunft 1 wurden in den Böden aus Stuttgart, Freiburg und Hamburg signifikant größere Masseverluste gegenüber Lärche der Herkunft 3 festgestellt (Abb. 20, Tab. 27). Zwischen japanischer Lärche (Herkunft 2) und europäischer Lärche (Herkunft 1 und 3) trat meist kein Unterschied des Holzabbaus auf.

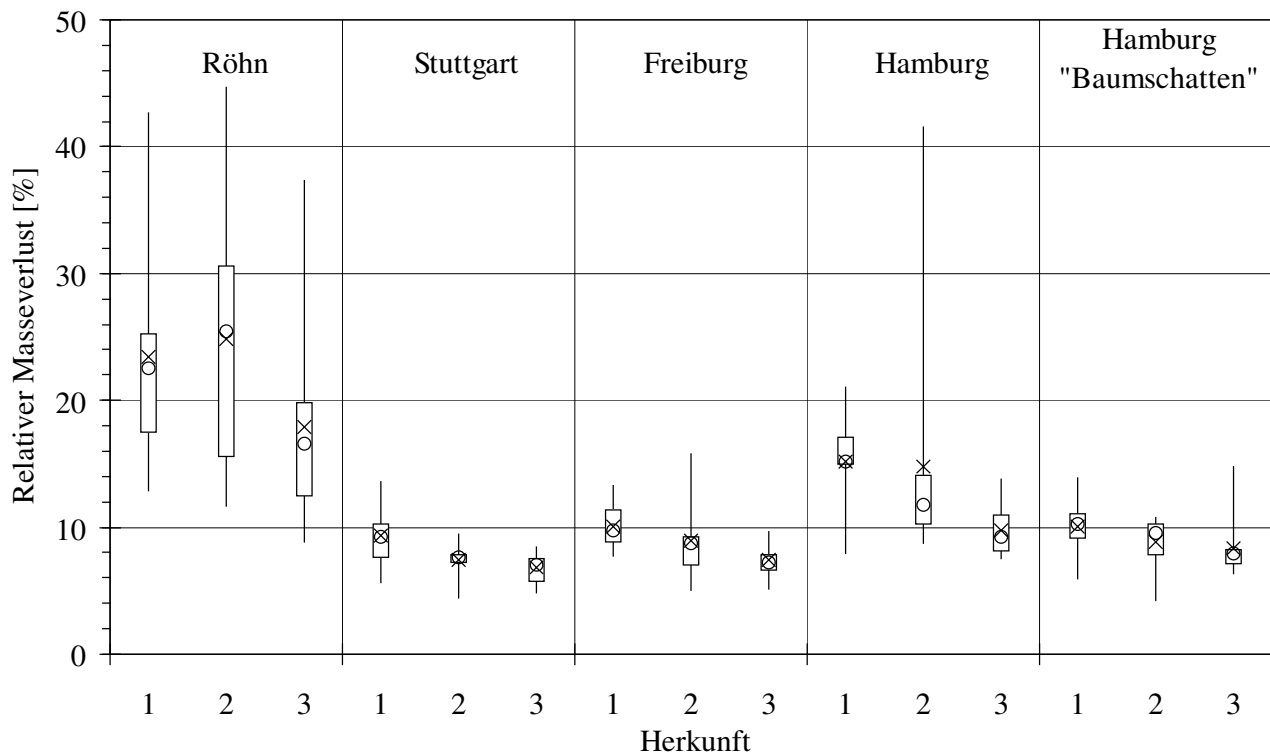


Abb. 20: Relativer Masseverlust von drei Lärchenherkünften (n = 10) in TMCs mit Böden der fünf Freilandstandorte

Robinien-Kernholz der Herkunft 2 wies, außer im Boden aus Hamburg „Baumschatten“, signifikant geringere relative Masseverluste auf als das übrige Robinienholz (Abb. 21, Tab. 27).

In allen Böden wurde die feinringige Eiche der Herkunft 3 signifikant stärker abgebaut, außer im TMC mit Boden aus Freiburg; hier war der relative Masseverlust der Eichenhölzer nicht statistisch zu unterscheiden (Abb. 22, Tab. 27).

Insgesamt zeigte sich, dass bei verstärktem Abbau durch Weißfäule im Boden der Rhön die Masseverluste zwischen den Herkunftstypen der Nadelhölzer nicht mehr signifikant zu unterscheiden waren. Hingegen traten bei den Laubhölzern auch bei Masseverlusten, die von Weißfäule verursacht wurden, noch signifikante Unterschiede zwischen den Herkunftstypen auf.

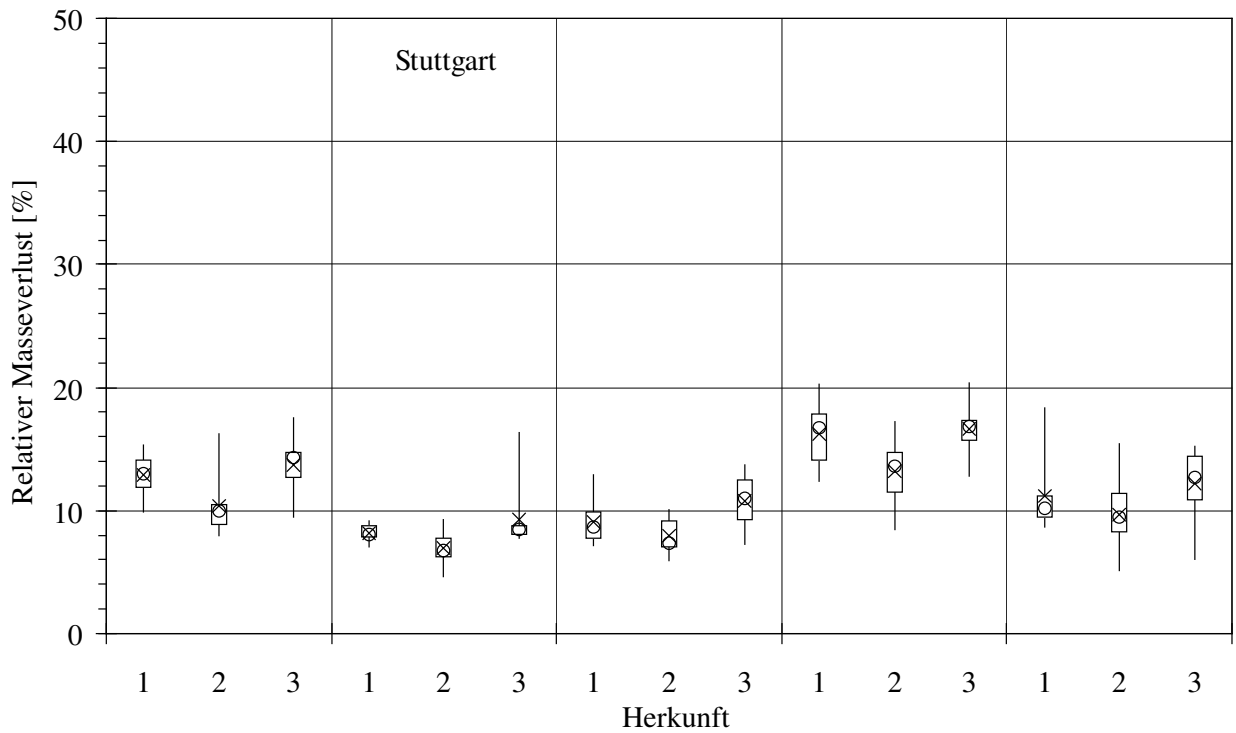


Abb. 21: Relativer Masseverlust von drei Robinienherkünften (n = 10) in TMCs mit Böden der fünf Freilandstandorte

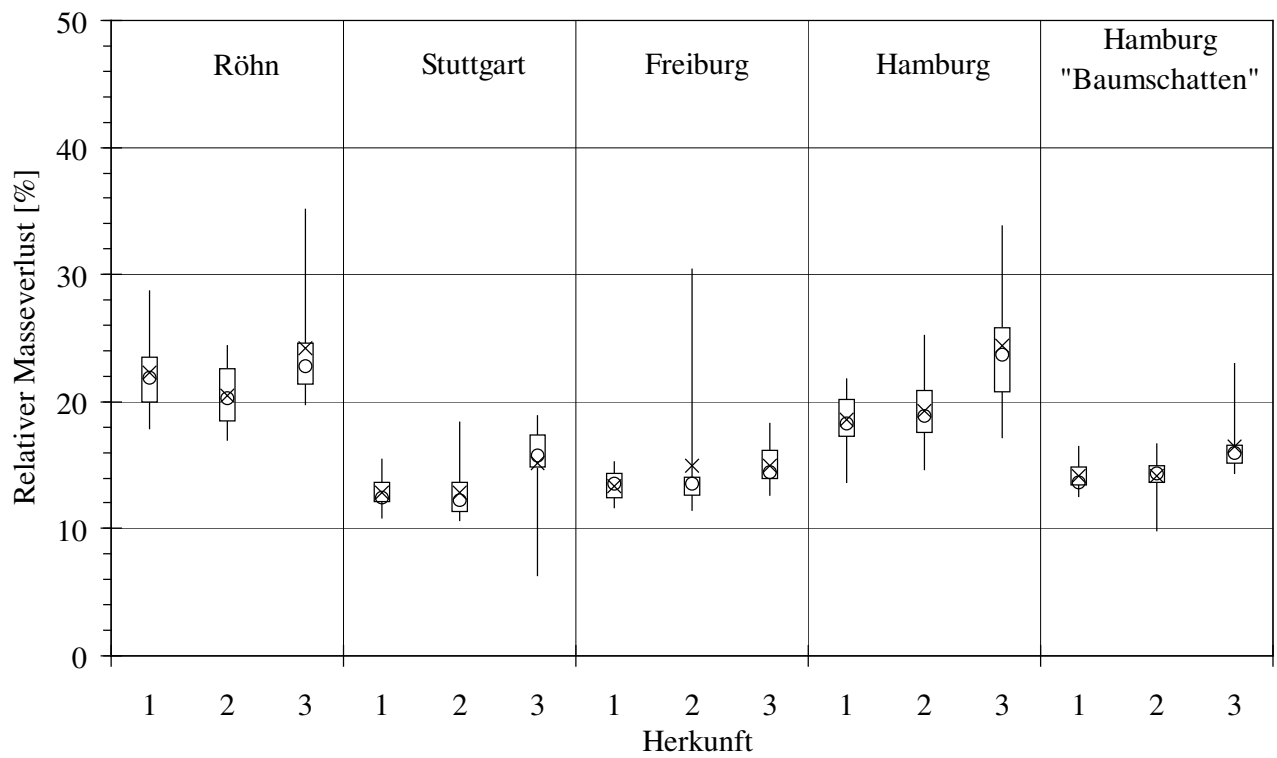


Abb. 22: Relativer Masseverlust von drei Eichenherkünften (n = 10) in TMCs mit Böden der fünf Freilandstandorte

Tab. 27: Statistischer Vergleich der relativen Masseverluste zwischen den Herkünften (HK) von Douglasie, Lärche, Robinie und Eiche nach TMC-Prüfung mit Böden der Freilandstandorte, angegeben sind die Werte IS-MeanI und das Signifikanzniveau (Tab. 19) bei einem Stichprobenumfang von n = 10

	Rhön	Stuttgart	Freiburg	Hamburg	Hamburg „Baumschatten“
Dou	HK 1-2-3: 0,991	HK 1-2: 0,280 HK 1-3: 0,019* HK 2-3: 0,052	HK 1-2: 0,357 HK 1-3: 0,0052** HK 2-3: 0,007**	HK 1-2-3: 0,082	HK 1-2: 0,012** HK 1-3: 0,0001*** HK 2-3: 1,000
Lä	HK 1-2-3: 0,264	HK 1-2: 0,075 HK 1-3: 0,009** HK 2-3: 0,248	HK 1-2: 0,218 HK 1-3: 0,002** HK 2-3: 0,353	HK 1-2: 0,211 HK 1-3: 0,008** HK 2-3: 0,036*	HK 1-2-3: 0,096
Rob	HK 1-2: 0,015* HK 1-3: 0,436** HK 2-3: 0,015*	HK 1-2: 0,019* HK 1-3: 0,315 HK 2-3: 0,0001***	HK 1-2: 0,105 HK 1-3: 0,089** HK 2-3: 0,003*	HK 1-2: 0,036* HK 1-3: 0,912 HK 2-3: 0,004*	HK 1-2-3: 0,114
Ei	HK 1-2: 0,315 HK 1-3: 0,3930 HK 2-3: 0,036*	HK 1-2: 0,631 HK 1-3: 0,009** HK 2-3: 0,0288*	HK 1-2-3: 0,089	HK 1-2: 0,796 HK 1-3: 0,005** HK 2-3: 0,015*	HK 1-2: 0,631 HK 1-3: 0,005** HK 2-3: 0,023*

Einfluss des Bodens auf den relativen Masseverlust

Zur Betrachtung der Wirkung verschiedener Böden auf den relativen Masseverlust wurden die drei Herkünfte einer Holzart zusammengefasst. Dadurch wurden auch die innerhalb der Holzart auftretenden Resistenzschwankungen berücksichtigt. Der Vergleich des Holzabbaus in den fünf Böden zeigte unter konstanten Laborbedingungen im Boden des Standortes Rhön die signifikant höchsten relativen Masseverluste. Auch die relativen Masseverluste in den anderen Böden unterschieden sich meist signifikant voneinander. Trotzdem ergaben sich in allen Böden meist ähnliche Rangfolgen der Holzarten zueinander:

Mit Ausnahme des stuttgarter Bodens unterschied sich der relative Masseverlust von Fichten-Splint und Fichten-Kern in keinem der anderen Böden signifikant (Abb. 23, Tab. 28).

- Lärchen-Kern wurde in allen Böden meist signifikant stärker abgebaut als Douglasien- und Kiefern-Kern (Abb. 24, Tab. 28).
- In allen Böden wurde Eichen-Kern höchst signifikant stärker abgebaut als Robinien-Kern (Abb. 25, Tab. 28). Aber auch verglichen mit den Nadelhölzern ergab die TMC-Prüfung für Eiche ähnliche oder sogar höhere relative Masseverluste. Vor allem in Böden (Hamburg, Hamburg „Baumschatten“ und Freiburg), in denen im Labor nur Moderfäule auftrat, war Eiche am stärksten von allen Holzarten abgebaut. Hier waren auch die Ausbaufeuchten von Eiche höher als von den anderen Holzarten.

Tab. 28: Statistischer Vergleich der relativen Masseverluste zwischen Holzarten nach TMC-Prüfung mit Böden der Freilandstandorte, angegeben sind die Werte IZI und das Signifikanzniveau (Tab. 19) bei einem Stichprobenumfang von $n = 30$

	Rhön	Stuttgart	Freiburg	Hamburg	Hamburg „Baumschatten“
FiS / FiK	0,3403	0,0484*	0,0679	0,8650	0,1120
Lä / Dou	0,4643	0,0004***	0,0003***	1,0000	0,0006***
Lä / KiK	0,0364*	<0,0001***	0,0150*	0,9456	0,1023
Ei / Rob	<0,0001***	<0,0001***	<0,0001***	<0,0001***	<0,0001***

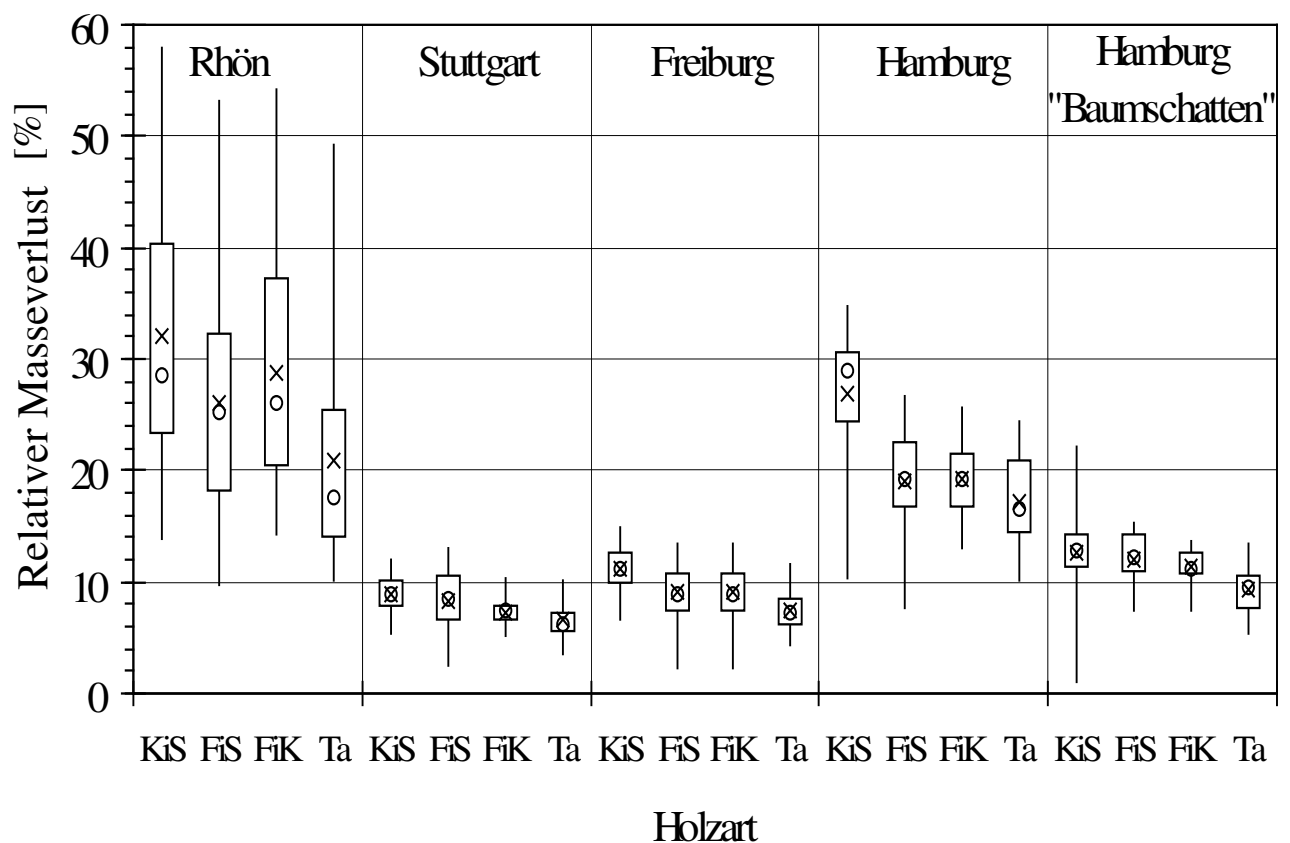


Abb. 23: Relativer Masseverlust der Nadelhölzer ohne Farbkern in TMCs mit Böden der fünf Freilandstandorte, $n = 30$

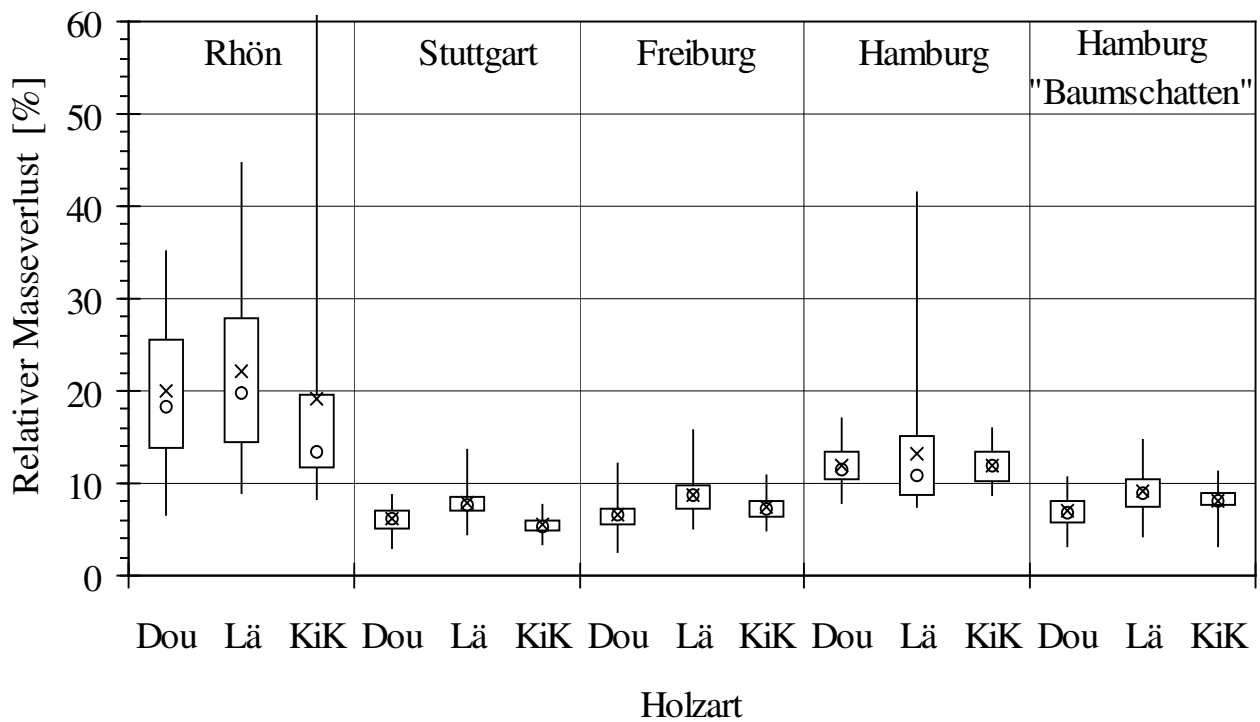


Abb. 24: Relativer Masseverlust der Farbkern-Nadelhölzer in TMCs mit Böden der fünf Freilandstandorte, n = 30

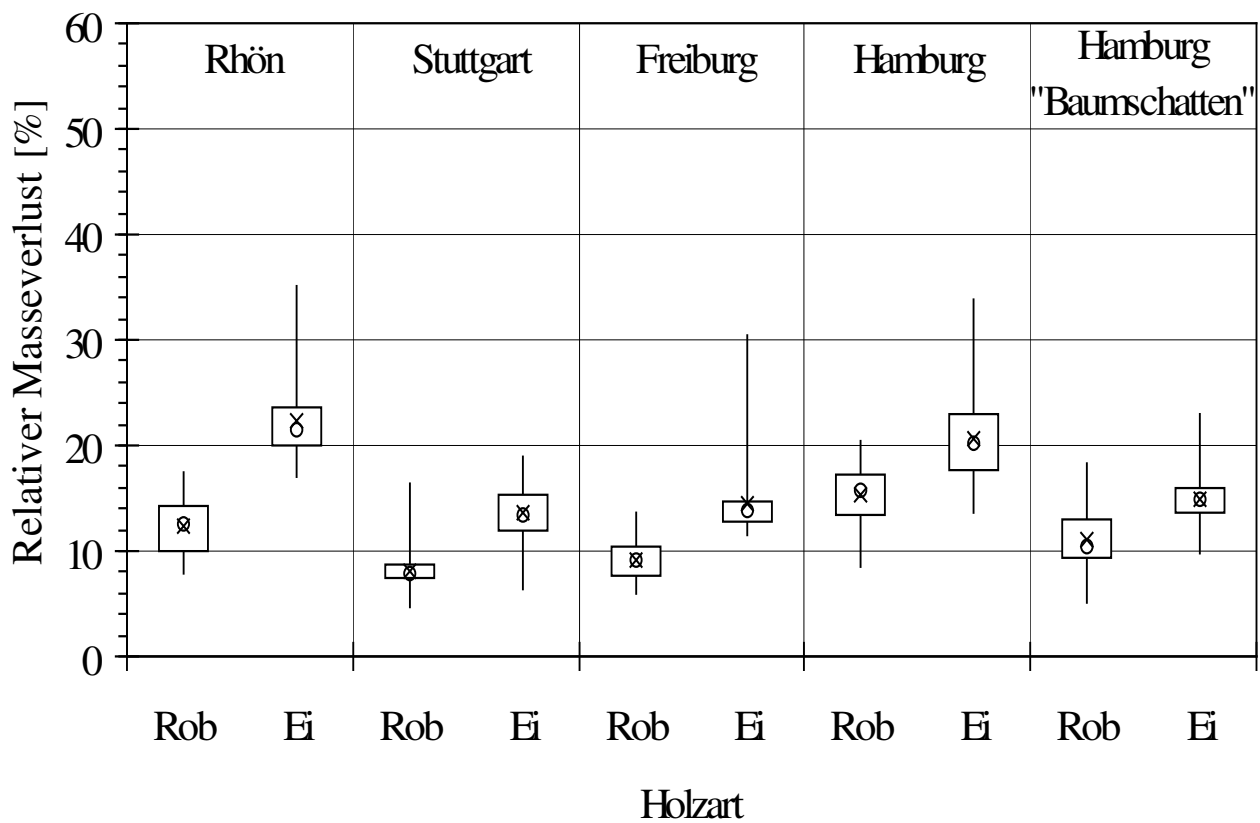


Abb. 25: Relativer Masseverlust der Laubhölzer in TMCs mit Böden der fünf Freilandstandorte, n = 30

4.1.3 Vergleich der Laborergebnisse

Dauerhaftigkeitsklassifizierung

Der Vergleich der Ergebnisse aus Basidiomyceten- und TMC-Untersuchungen basiert auf den Dauerhaftigkeitsklassen. Für die Klassifizierung wurden für die TMC-Untersuchungen, wie auch nach Prüfung mit Basidiomyceten-Monokulturen, die X-Werte aus den relativen Masseverlusten berechnet.

Aufgrund der teilweise sehr geringen Masseverluste waren die TMC-Ergebnisse schwer zu interpretieren. Da die Dauerhaftigkeitsklassifizierungen nach Prüfung in verschiedenen Böden jedoch häufig zu ähnlichen Einstufungen führten, wurden sie für eine vergleichende Betrachtung herangezogen.

Aus den Ergebnissen beider Laboruntersuchungen (Basidiomyceten und TMC) waren hinsichtlich der Dauerhaftigkeit der Holzarten folgende Schlüsse ziehen (Tab. 29):

- Sowohl nach Untersuchungen im TMC als auch mit Basidiomyceten-Monokulturen wurden Fichten-Splint, Fichten-Kern und Tanne überwiegend als nicht dauerhaft klassifiziert.
- Auch Kiefern-Kernholz erreichte in allen Laboruntersuchungen die Dauerhaftigkeitsklasse 4.
- Die Dauerhaftigkeit von Douglasien-Kernholz nach TMC-Untersuchungen ergab eine Dauerhaftigkeitsklasse 4. Abweichend davon wurde nach Untersuchungen mit Basidiomyceten eine Dauerhaftigkeitsklasse 3 und 5 ermittelt.
- Lärchen-Kernholz wurde im Labor mit Erdkontakt (TMC) als nicht dauerhaft und somit schlechter eingestuft als nach Prüfung mit Basidiomyceten-Monokulturen.
- Beide Klassifizierungsmethoden nach Prüfung mit Basidiomyceten ergaben für Robinien- und Eichen-Kernholz die Bewertung sehr dauerhaft. Dagegen wurde im Erdkontakt Eiche als nicht dauerhaft und Robinie als mäßig dauerhaft klassifiziert.
- Insgesamt zeigte sich, dass die verwendeten Farbkern-Nadelhölzer und Laubhölzer nach Prüfung mit Basidiomyceten-Monokulturen häufig bessere Dauerhaftigkeiten erreichten als nach Laborprüfung mit Böden aus dem Freiland.

Die relativen Masseverluste der Holzarten nach den TMC-Untersuchungen sowie die daraus berechneten X-Werte als Grundlage der Dauerhaftigkeitsklassifizierung sind im Anhang 9 tabellarisch dargestellt.

Tab. 29: Vergleich der Dauerhaftigkeitsklassen (DKL) der Holzarten nach Untersuchungen mit Basidiomyceten-Monokulturen bzw. TMCs mit Böden der Freilandstandorte (R=Rhön, S=Stuttgart, FB=Freiburg, HH=Hamburg, HH"BS"=Hamburg „Baumschatten“)

Holzart und Herkunft	DKL nach Untersuchungen mit Basidiomyceten aus		DKL nach TMC-Untersuchungen aus X-Wert					DKL nach Untersuchungen mit Basidiomyceten aus		DKL nach TMC	
	X-Wert	Median MV%	R	S	FB	HH	HH"BS"	X-Wert	Median MV%		
Fichten-Splint	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	2	5	5	5	5	5	5	5			
	3	5	5	5	5	4	5	5			
Fichten-Kern	1	5	5	5	4	4	5	5	5	5	5
	2	5	5	5	5	5	5	5			
	3	5	5	5	5	5	5	5			
Tanne	1	5	5	5	5	4	5	5	4	5	5
	2	4	5	5	4	4	5	4			
	3	5	5	5	4	5	5	5			
Douglasien-Kern	1	4	5	4	4	4	4	3	3	5	4
	2	4	5	5	4	4	4	4			
	3	3	4	4	5	5	4	4			
Lärchen-Kern	1	3	4	5	5	5	4	5	3	4	5
	2	4	4	5	5	5	4	4			
	3	3	4	4	4	4	3	4			
Kiefern-Kern	1	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4
	2	4	4	4	4	5	4	4			
	3	4	4	4	4	4	4	4			
Robinien-Kern	1	1	1	3	5	5	5	5	1	1	4
	2	1	1	3	4	4	4	5			
	3	1	1	4	5	5	5	5			
Eichen-Kern	1	1	1	5	5	5	5	5	1	1	5
	2	1	1	5	5	5	5	5			
	3	1	1	5	5	5	5	5			

4.2 Freilanduntersuchungen zur natürlichen Dauerhaftigkeit

4.2.1 Holz in vertikaler Exposition

Nach fünf Jahren Freilandexposition wurde nur ein geringer Holzabbau an Prüfkörpern in vertikaler Exposition festgestellt. Die Daten waren für diese Exposition noch nicht statistisch auswertbar und wurden daher im folgenden nur qualitativ dargestellt. Der übrige Ergebnisteil bezieht sich dann nur noch auf Untersuchungen im Erdkontakt und außerhalb des Erdkontakts in horizontaler Exposition (Doppellagen-Test).

Ab dem dritten Jahr wurde an einzelnen Prüfkörpern der vertikalen Exposition Holzabbau durch Mikroorganismen beobachtet. Dabei waren ausschließlich Prüfkörper betroffen, deren Hirnflächen nicht durch ein Dach geschützt waren.

In dieser vertikal ungeschützten Exposition wurden vor allem Kiefern-Splint, Fichten-Splint und Tanne und nur vereinzelt Fichten-Kern, Kiefern-Kern und Eiche angegriffen (Tab. 30). Der Abbau der vertikalen Prüfkörper trat überwiegend im oberen Zehntel der Prüfkörper auf. Starker Abbau wurde durch Braunfäule verursacht und war kleinflächig, aber tiefgehend ausgebildet. Dies führte zu hohen Abbaubewertungen, da gemäß Tab. 12 immer die Stelle des stärksten Befalls bewertet wurde. An Eiche, Robinie, Kiefern-Kern und Fichten-Kern (mit Ausnahme eines Prüfkörpers) wurde der geringfügige Holzabbau ausschließlich durch Moderfäule verursacht.

Tab. 30: Mittlere Abbaugeschwindigkeit der Holzarten in vertikaler Exposition ohne Dach

Jahr	KiS	FiS	FiK	Ta	Dou	Lä	KiK	Rob	Ei
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,03	0,06	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,08	0,15	0,01	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02

4.2.2 Einfluss der Holzherkunft auf den Abbau

An allen fünf Standorten wurden gleichzeitig drei Herkünfte jeder Holzart geprüft. Um den Einfluss der Herkunft auf den Abbau und die Dauerhaftigkeit zu betrachten, werden im folgenden Abschnitt die Prüfkörper einer Herkunft über alle Standorte zusammengefasst.

Abbau im Erdkontakt

Nach fünf Jahren im Erdkontakt unterschieden sich die Abbaugeschwindigkeiten der Herkünfte einer Holzart, mit Ausnahme von Douglasie und Robinie, nicht signifikant (Abb. 26, Tab. 31).

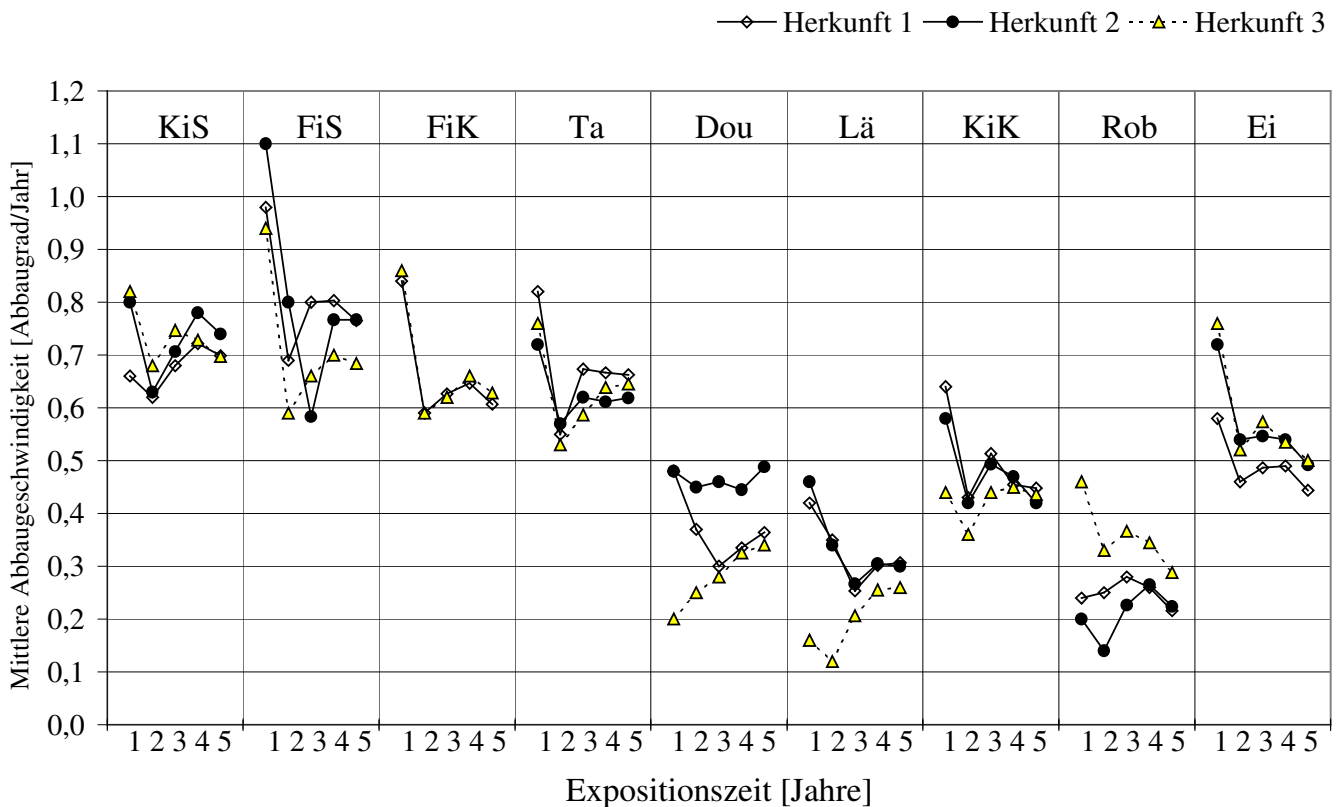


Abb. 26: Mittlere Abbaugeschwindigkeiten der Holzarten von drei Herkünften bei Prüfung im Erdkontakt, je Datenpunkt sind fünf Standorte mit $n = 50$ Prüfkörpern zusammengefasst

Das in Deutschland gewachsene Douglasienholz (Herkünfte 1 und 2) wurde sofort nach Beginn der Untersuchungen mit einer hohen Geschwindigkeit abgebaut. Im Gegensatz zur Douglasie aus Norddeutschland (Herkunft 1) blieb der Abbau des süddeutschen Douglasienholzes (Herkunft 2) in der folgenden Expositionszeit auf diesem hohen Niveau. Damit war die Abbaugeschwindigkeit der Douglasienherkunft 2 ab dem dritten Jahr im Erdkontakt signifikant höher als die der anderen Douglasienherkünfte. Die Douglasie vom Naturstandort in Oregon (Herkunft 3) wurde anfangs signifikant langsamer abgebaut als Douglasien aus Deutschland. Jedoch schon ab dem dritten Jahr unterschied sich ihr Abbau nicht mehr von dem der Douglasie aus Norddeutschland.

Bereits ab dem zweiten Jahr wurden erste Ausfälle (Bewertungsstufe 4) einzelner Prüfkörper der Douglasienherkunft 2 festgestellt und nach fünf Jahren waren zehn Prüfkörper ausgefallen (Bewertungsstufe 4). Aufgrund ihrer Entnahmestellen aus dem Stamm war bei fünf Prüfkörpern nachzuvollziehen, dass sie aus juvenilem Holz bestanden. Das traf auch für sechs der elf stark

abgebauten Prüfkörper in Bewertungsstufe 3 zu. Würden die Prüfkörper aus juvenilem Holz der Herkunft 2 unberücksichtigt bleiben, ergäbe sich eine ähnliche Verteilung der Prüfkörperanzahl in den Abbaustufen wie für die anderen Herkünfte (Tab. 32). Die hohe Abbaugeschwindigkeit der Herkunft 2 war somit auf den hohen Anteil an juvenilem Holz zurückzuführen.

Tab. 31: Statistischer Vergleich der Abbaugeschwindigkeiten von drei Herkünften (HK) einer Holzart nach fünf Jahren Freilandprüfung im Erdkontakt bzw. im Doppellagen-Test, fünf Freilandstandorte zusammengefasst, angegeben sind die Werte IS-MeanI und das Signifikanzniveau (Tab. 19) bei einem Stichprobenumfang von n = 50 (reduzierter Stichprobenumfang im Erdkontakt FiS 2 n = 20, FiK 2 wurde im Freiland nicht geprüft; im Doppellagen-Test Dou 1,2,3 n=30, KiK 1,2,3 n=35)

Holzart	Erdkontakt	Doppellagen-Test
KiS	HK 1-2-3: 0,794	HK 1-2: 0,004** HK 1-3: 0,67 HK 2-3: 0,046*
FiS	HK 1-2-3: 0,386	HK 1-2-3: 0,554
FiK	HK 1-3: 0,553	HK 1-2-3: 0,461
Ta	HK 1-2-3: 0,575	HK 1-2-3: 0,603
Dou	HK 1-2: 0,046* HK 1-3: 0,759 HK 2-3: 0,021*	HK 1-2-3: 0,537
Lä	HK 1-2-3: 0,575	HK 1-2-3: 0,625
KiK	HK 1-2-3: 0,723	HK 1-2: 0,678 HK 1-3: 0,033* HK 2-3: 0,011*
Rob	HK 1-2: 0,756 HK 1-3: 0,001*** HK 2-3: 0,002**	HK 1-2-3: 0,137
Ei	HK 1-2-3: 0,235	HK 1-2-3: 0,78

Tab. 32: Anzahl der Douglasien-Prüfkörper in den Bewertungsstufen nach fünf Jahren Erdkontaktprüfung

Bewertungsstufe	0	1	2	3	4 (Ausfall)
Herkunft 1	2	24	13	5	6
Herkunft 2	1	17	11	11	10
Herkunft 3	4	22	13	8	3

Zu allen Bewertungszeitpunkten, außer im zweiten Jahr, wurde für Robinie der Herkunft 3 eine signifikant höhere Abbaugeschwindigkeit festgestellt. Auch im zweiten Jahr hatte Robinienherkunft 3, im Vergleich zu Robinie der Herkünfte 1 und 2, im Erdkontakt immer noch eine wesentlich höhere Abbaugeschwindigkeit. Aufgrund der Lieferform des Robinienholzes (Brettabschnitte) war die Lage der Prüfkörper im Stamm nicht mehr festzustellen.

Abbau außerhalb des Erdkontakts

Die Abbaugeschwindigkeiten der Herkünfte einer Holzart waren, außer bei Kiefernholz, innerhalb von fünf Jahren statistisch nicht zu unterscheiden (Tab. 31).

Kiefern-Splint der Herkunft 2 wurde seit der dritten Bewertungsperiode signifikant schneller abgebaut als das andere Kiefernholz (Abb. 27). Ein Vergleich der Abbaugeschwindigkeiten der drei Kiefern-Splintherkünfte an den verschiedenen Standorten ergab jedoch nur in der Rhön und in Hamburg einen signifikanten Unterschied.

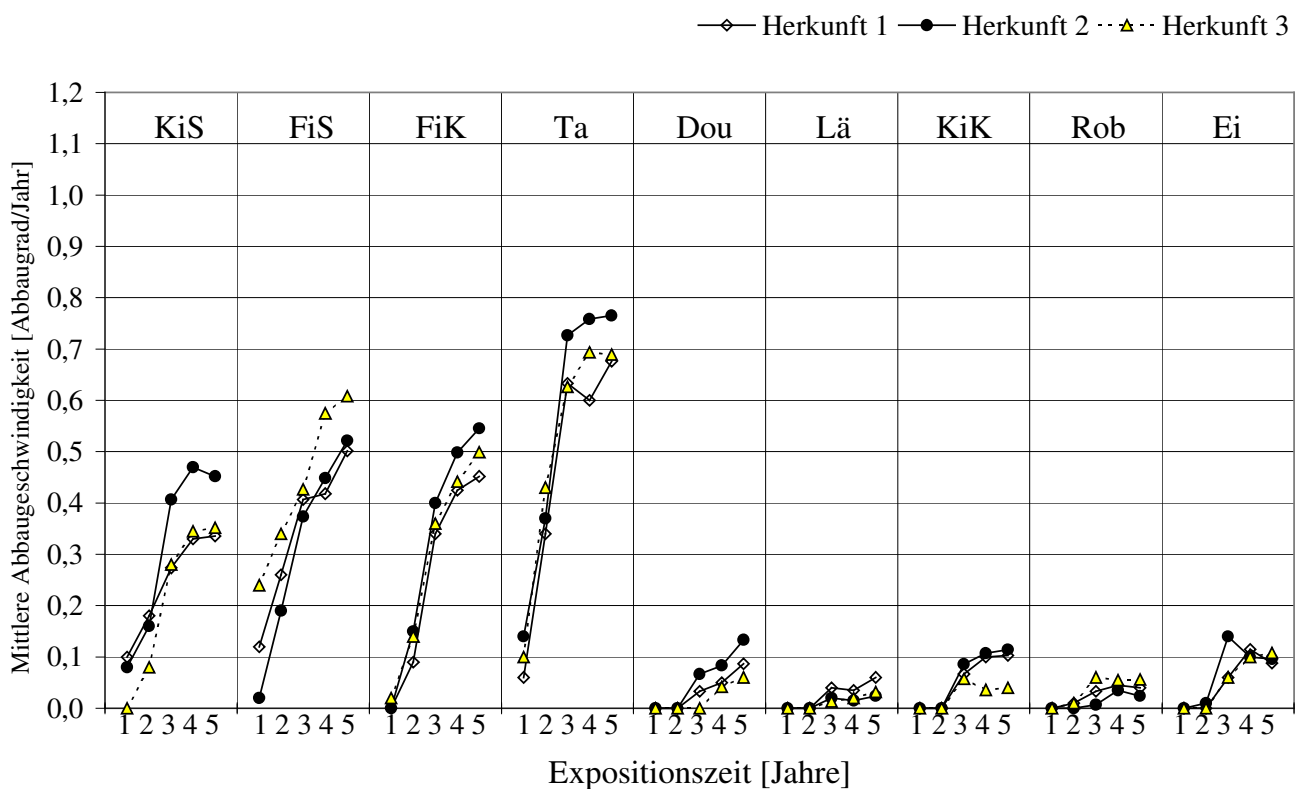


Abb. 27: Mittlere Abbaugeschwindigkeit der Holzarten von drei Herkünften bei Prüfung außerhalb des Erdkontakts, je Datenpunkt sind fünf Standorte mit $n = 50$ Prüfkörpern, Dou $n = 30$ und KiK $n = 35$ zusammengefasst

Im Erdkontakt traten nach fünf Jahren keine Unterschiede zwischen den Abbaugeschwindigkeiten von Kiefern-Kernholz unterschiedlicher Herkünfte auf. Außerhalb des Erdkontakts waren für Kiefern-Splint und -Kernholz nur an einzelnen Standorten Abbauunterschiede zwischen den Herkünften nachweisbar. Daher wurden für die folgenden Betrachtungen die Werte der Herkünfte einer Holzart zusammengefasst.

In Übereinstimmung mit den Ergebnissen aus dem Erdkontakt wies das skandinavische Kiefern- (Herkunft 2) und Fichtenholz (Herkunft 3) keine geringere Abbaugeschwindigkeit auf als das aus Deutschland stammende Fichten- und Kiefernholz (Fichte Herkünfte 1 und 2, Kiefer Herkünfte 1 und 3) (Abb. 27).

Auch außerhalb des Erdkontakts (im Doppellagen-Test) hatten Douglasie der Herkunft 2 und Robinie der Herkunft 3 höhere Abbaugeschwindigkeiten als Holz der gleichen Art (Abb. 27). Allerdings waren die Unterschiede im Doppellagen-Test nicht statistisch zu unterscheiden.

Die jährlich erhobenen Daten wurden für jede Holzart zu mittleren Abbaugraden zusammengefasst, die in Anhang 10 bis 13 dargestellt sind.

4.2.3 Einfluss der Holzherkunft auf die Dauerhaftigkeit

Nach fünf Jahren traten, sowohl im Erdkontakt als auch im Doppellagen-Test (außerhalb des Erdkontakts), nur geringfügige Schwankungen der Dauerhaftigkeitsfaktoren zwischen den Herkünften einer Holzart auf (Abb. 28, Abb. 29). Somit bestanden zwischen den Herkünften der meisten Holzarten keine wesentlichen Dauerhaftigkeitsunterschiede.

Auch Fichten- und Kiefernholz aus Skandinavien (Fi 3 und Ki 2) war in keiner der Expositionen dauerhafter als das in Deutschland gewachsene Fichten- und Kiefernholz (Fi 1 und 2, Ki 1 und 3).

Stärkere Differenzen zwischen den Dauerhaftigkeitsfaktoren in Abb. 28 und 29 waren festzustellen bei:

- Douglasie: Im Doppellagen-Test und im Erdkontakt spiegelten sich die höheren Abbaugeschwindigkeiten von Douglasie der Herkunft 2 (Pfeil) in kleineren Dauerhaftigkeitsfaktoren wider. Da ein Teil der stark abgebauten und ausgefallenen Prüfkörper der Herkunft 2 aus juvenilem Holz bestanden, kann nicht grundsätzlich eine geringere Dauerhaftigkeit dieser Herkunft angenommen werden.
- Robinie: Im Erdkontakt erreichte die Robinie (Herkunft 3) mit der signifikant höheren Abbaugeschwindigkeit auch die geringste Dauerhaftigkeit (Pfeil) des verwendeten Robinienholzes. Außerhalb des Erdkontakts war der Abbau an Robinie während der 5-jährigen Prüfzeit sehr gering, woraus sehr hohe Dauerhaftigkeitsfaktoren resultierten. Daher waren mögliche Unterschiede zwischen den Herkünften nach fünf Jahren nicht quantifizierbar.
- Kiefern-Kern: Die geringere Abbaugeschwindigkeit von Kiefern-Kern der Herkunft 3 im Doppellagen-Test ergab einen höheren Dauerhaftigkeitsfaktor (Pfeil) im Vergleich zu den anderen geprüften Kiefern-Kernholzherkünften. Hingegen war die Dauerhaftigkeit der Kiefernherkünfte im Erdkontakt nicht zu unterscheiden.

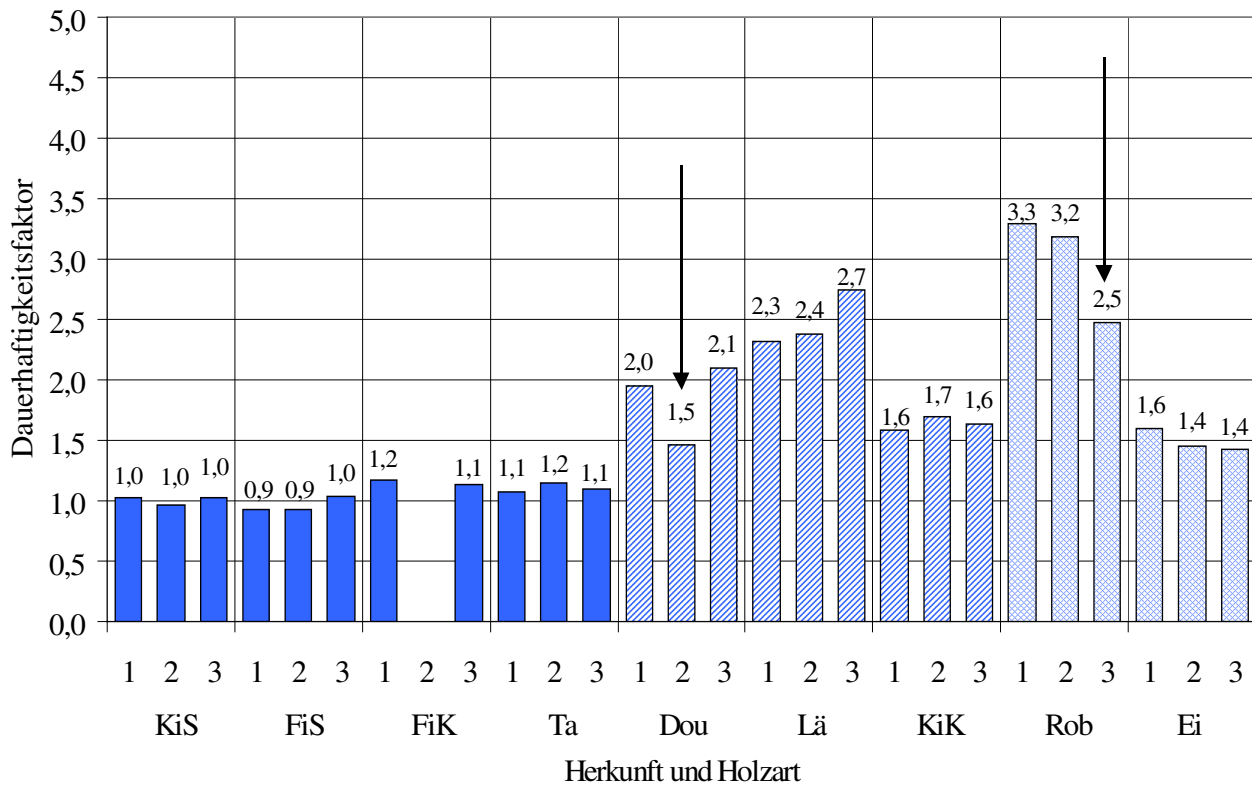


Abb. 28: Dauerhaftigkeitsfaktoren der Herkünfte der Holzarten nach fünf Jahren im Erdkontakt; je Säule wurden fünf Standorte zusammengefasst $n = 50$, FiS 2 = 20, FiK 2 nicht geprüft

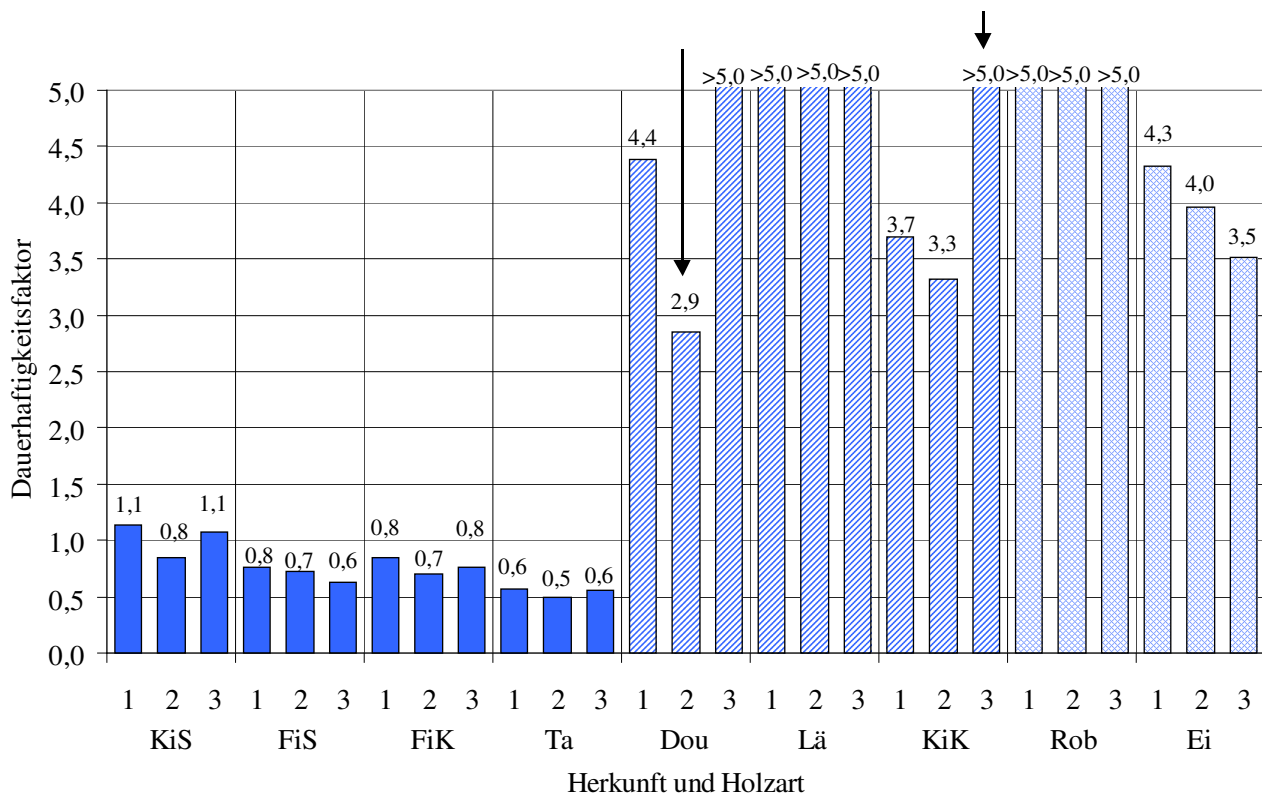


Abb. 29: Dauerhaftigkeitsfaktoren der Herkünfte der Holzarten nach fünf Jahren im Doppellagen-Test (außerhalb des Erdkontakts); je Säule wurden fünf Standorte zusammengefasst; $n = 50$, Dou = 30, KiK = 35

Für alle weiteren Betrachtungen wurden die Herkünfte einer Holzart zusammengefasst. Einerseits wiesen die meisten Herkünfte keine signifikanten Unterschiede in den Abbaugeschwindigkeiten auf. Andererseits wurde dadurch die natürliche Schwankungsbreite der Dauerhaftigkeit, die innerhalb einzelner Holzarten auftrat, in allen weiteren Aussagen berücksichtigt.

4.2.4 Einfluss des Standorts auf den Holzabbau

In Abhängigkeit vom Standort wurden alle geprüften Holzarten, sowohl im als auch außerhalb des Erdkontakts, unterschiedlich schnell abgebaut. Der Standorteinfluss auf den Holzabbau war stets in direktem Zusammenhang mit den Umgebungsbedingungen zu betrachten, die durch unterschiedliche Klimate, Bodeneigenschaften und Organismensozietäten charakterisiert waren. Eng verbunden mit den charakteristischen Umgebungsbedingungen prägten spezifische Kombinationen von Braun-, Weiß- und Moderfäule den Holzabbau. Im Folgenden werden daher die Abbaugeschwindigkeiten der Holzarten an den Standorten im Zusammenhang mit den abbauverursachenden Fäuletypen betrachtet.

Standorteinfluss auf den Holzabbau im Erdkontakt

Insgesamt war an allen Standorten der Abbau im Erdkontakt Weiß- und Moderfäule dominant (Tab. 33, Tab. 34). Dabei waren sogar die Nadelhölzer stark durch Weißfäule abgebaut, obwohl sie üblicherweise als weniger weißfäuleanfällig gelten. Auch die Ausfälle von Prüfkörpern (Abbaustufe 4) wurden an allen Standorten überwiegend durch Weißfäulepilze verursacht. Dennoch wurden für einige Holzarten sehr unterschiedliche Abbaugeschwindigkeiten an den fünf Standorten festgestellt (Abb. 30).

Der Standort Rhön war, gegenüber den anderen Standorten, durch höchst signifikant geringere Abbaugeschwindigkeiten aller Holzarten gekennzeichnet (Abb. 30, Tab. 35). Bei der Interpretation der Ergebnisse war zu berücksichtigen, dass der Standort nahe eines Bachlaufs lag, was mit ständig hohen Bodenfeuchten und zeitweiser Staunässe verbunden war. Unter diesen Bedingungen waren die Prüfkörper aller Holzarten fast ausschließlich von Moderfäulepilzen befallen (Tab. 33). Moderfäule, die auch im wassergesättigten Holz weiterwachsen kann, baute das Holz langsam von außen nach innen ab. So waren nach fünf Jahren die meisten Prüfkörper nur leicht angegriffen und nur vereinzelt ausgefallen (Anhang 14).

Im Vergleich zum Standort Rhön waren an allen anderen Standorten Weißfäuleerreger wesentlich aktiver. Am Standort Stuttgart wurden die Eichen-Prüfkörper zu einem hohen Anteil durch Weißfäule abgebaut (Tab. 33) und hatten signifikant höhere Abbaugeschwindigkeiten als an den meisten anderen Standorten (Tab. 35).

Tab. 33: Anzahl der Prüfkörper in Stück (PK [St]) und prozentuale Anteile der dominanten Fäuletypen Braunfäule (BF), Weißfäule (WF) und Moderfäule (MF) an der Anzahl befallener Prüfkörper (BePK) der Holzarten (HA) nach fünf Jahren Erdkontakt an den Standorten Rhön, Stuttgart und Freiburg

HA	Erdkontakt Rhön					Erdkontakt Stuttgart					Erdkontakt Freiburg				
	PK [St]	Be PK [St]	BF [%]	WF [%]	MF [%]	PK [St]	Be PK [St]	BF [%]	WF [%]	MF [%]	PK [St]	Be PK [St]	BF [%]	WF [%]	MF [%]
KiS	30	30	0	0	100	30	30	0	63	37	30	30	0	67	33
FiS	20	20	0	5	95	20	20	0	45	55	20	20	0	90	10
FiK	20	20	0	10	90	20	18	6	28	66	20	20	10	75	15
Ta	30	29	0	7	93	30	30	0	60	40	30	30	13	57	30
Dou	30	24	0	0	100	30	30	0	23	77	30	30	0	97	3
Lä	30	14	0	0	100	30	30	0	37	63	30	30	0	57	43
KiK	30	28	0	0	100	30	30	0	47	53	30	30	0	77	23
Rob	30	29	0	7	93	30	30	0	13	87	30	30	0	23	77
Ei	30	30	0	17	83	30	30	0	60	40	30	30	0	63	37

Tab. 34: Anzahl der Prüfkörper in Stück (PK) und prozentuale Anteile der dominanten Fäuletypen Braunfäule (BF), Weißfäule (WF) und Moderfäule (MF) an der Anzahl befallener Prüfkörper (BePK) der Holzarten (HA) nach fünf Jahren im Erdkontakt an den Standorten Hamburg und Hamburg „Baumschatten“

HA	Erdkontakt Hamburg					Erdkontakt Hamburg „Baumschatten“				
	PK [Stück]	BePK [Stück]	BF [%]	WF [%]	MF [%]	PK [Stück]	Be PK [Stück]	BF [%]	WF [%]	MF [%]
KiS	30	30	0	57	43	30	30	0	73	27
FiS	30	30	3	67	30	30	30	7	86	7
FiK	20	20	5	70	25	20	20	10	80	10
Ta	30	30	3	60	37	30	30	10	77	13
Dou	30	29	0	66	34	30	30	7	66	27
Lä	30	28	0	57	43	30	30	0	80	20
KiK	30	30	0	53	47	30	30	0	77	23
Rob	30	30	0	33	67	30	30	0	50	50
Ei	30	30	0	37	63	30	30	0	53	47

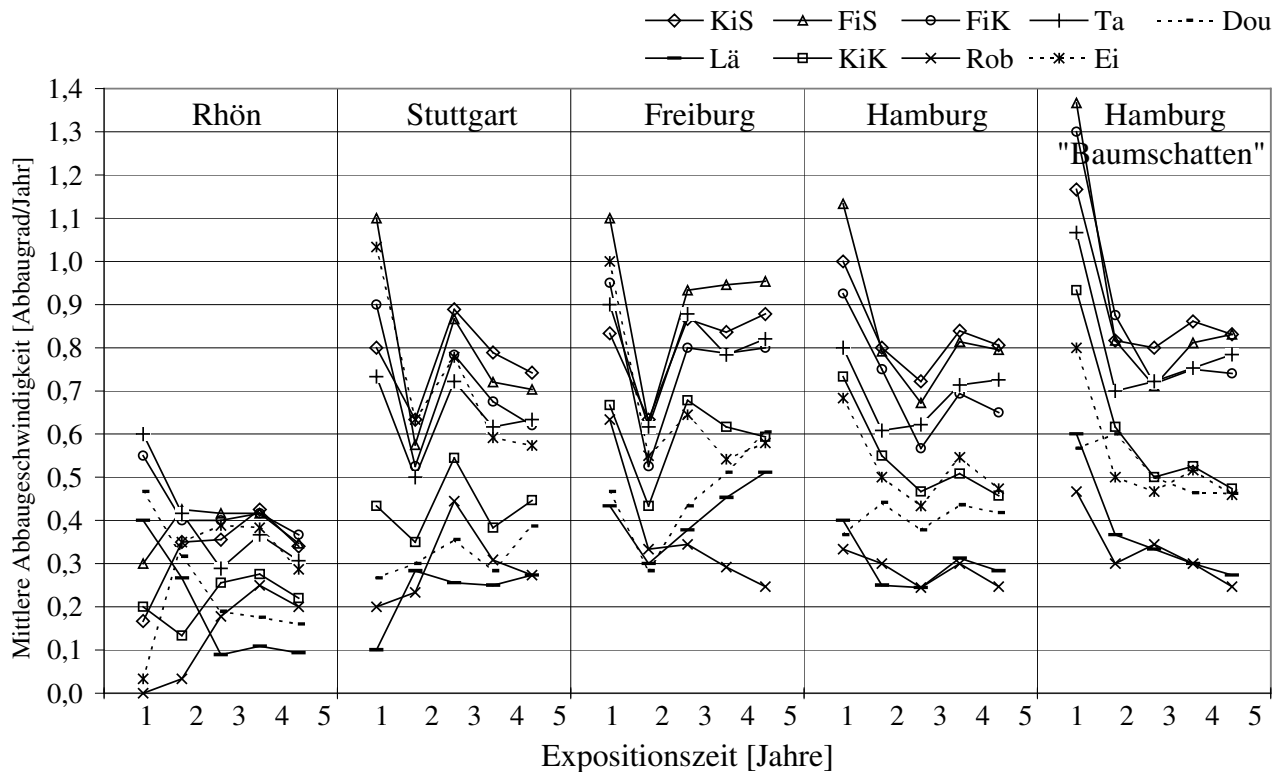


Abb. 30: Mittlere Abbaugeschwindigkeit der Holzarten im Erdkontakt an fünf Standorten

Tab. 35: Statistischer Vergleich der Abbaugeschwindigkeiten des Holzes an fünf Standorten (R = Rhön, S = Stuttgart, FB = Freiburg, HH = Hamburg, HHBS = Hamburg „Baumschatten“) nach fünf Jahren Freilandprüfung im Erdkontakt; angegeben sind die mit SAS berechneten Werte IS-MeanI und das Signifikanzniveau (Tab. 19) bei einem Stichprobenumfang von $n = 30$ (reduzierter Stichprobenumfang im Erdkontakt R, S, FB bei FiS $n=20$ und alle Standorte FiK $n=20$)

	R-S	R-FB	R-HH	R-HHBS	S-FB	S-HH	S-HHBS	FB-HH	FB-HHBS	HH-HHBS
KiS	0,0001 ***	0,0001 ***	0,0001 ***	0,0001 ***	0,0070**	0,575	0,362	0,06	0,234	0,672
FiS	0,0001 ***	0,0001 ***	0,0001 ***	0,0001 ***	0,0170 *	0,434	0,0300 *	0,037 *	0,3400	0,1260
FiK	0,0002 ***	0,0001 ***	0,0009 ***	0,0002 ***	0,0530	0,3470	0,2520	0,0100 *	0,5230	0,065
Ta	0,0001 ***	0,0001 ***	0,0001 ***	0,0001 ***	0,0120 *	0,9500	0,0100 **	0,0500	0,9690	0,0740
Dou	0,0001 ***	0,0001 ***	0,0001 ***	0,0001 ***	0,0020 **	0,5480	0,3900	0,0030 **	0,0260 *	0,2560
Lä	0,0001 ***	0,0001 ***	0,0001 ***	0,0001 ***	0,0020 **	0,9210	0,8710	0,0054 **	0,0020 **	0,8190
KiK	0,0001 ***	0,0001 ***	0,0001 ***	0,0001 ***	0,0030 **	0,4290	0,9550	0,0050 **	0,0230*	0,5040
Rob	0,0017 **	0,0580	0,0580	0,0190 *	0,1370	0,1370	0,2720	1,0000	0,6340	0,6340
Ei	0,0001 ***	0,0001 ***	0,0001 ***	0,0002 ***	0,8300	0,0080 **	0,0130 *	0,0740	0,0410 *	0,8810

Auch in Freiburg waren, im Vergleich zu den anderen Standorten, die signifikant höheren Abbaugeschwindigkeiten der Farbkern-Nadelhölzer meist mit einem hohen Anteil an Weißfäulebefall verbunden.

Am Standort Hamburg „Baumschatten“ wurden im ersten Jahr alle Hölzer besonders schnell angegriffen. Mit fortschreitender Expositionszeit ergaben sich dann ähnliche Abbaugeschwindigkeiten wie an den anderen Standorten und nach fünf Jahren unterschieden sich die Abbaugeschwindigkeiten im Baumschatten nicht signifikant von denen des freistehenden Standorts Hamburg (Tab. 35). Es war davon auszugehen, dass durch die direkte Nähe von Bäumen zum Testfeld holzabbauende Pilze verstärkt im Boden aktiv waren, die sofort mit Exposition der Prüfkörper das Holz befielen und abbauten. Trotz erheblicher Abbauunterschiede zwischen den Standorten erreichten Kiefern-Splint, Fichten- und Tannenholz im Erdkontakt an allen Standorten die größten mittleren Abbaugeschwindigkeiten (Abb. 30). Dagegen wiesen die Farbkern-Nadelhölzer und die Laubhölzer überall wesentlich geringere Abbaugeschwindigkeiten auf.

Standorteinfluss auf den Holzabbau außerhalb des Erdkontakts

An allen unbeschatteten Standorten wurde im Doppellagen-Test ein starker Abbau durch Braunfäule an Fichten- und Tannenholz verursacht (Tab. 36, Tab. 37). Bereits nach zwei Jahren waren Pilzfruchtkörper ausgebildet, die visuell und durch RÅBERG (2003) mit Hilfe der PCR-Methode identifiziert wurden. Es handelte sich um den Braunfäulepilz *Gloeophyllum sepiarium*. Im Gegensatz zu Fichte und Tanne waren an fast allen Standorten weniger als 50 % der Prüfkörper aus Douglasie, Lärche, Kiefern-Kern, Robinie und Eiche überhaupt befallen (Tab. 36, Tab. 37). Der Abbau der Laubhölzer war an allen Standorten zumeist durch Moderfäulepilze verursacht, kein Laubholz-Prüfkörper war von Braunfäule befallen.

Auch außerhalb des Erdkontakts exponiertes Holz wurde an den Standorten unterschiedlich abgebaut. Dennoch wurden, wie im Erdkontakt, Kiefern-Splint, Fichten- und Tannenholz an allen Standorten mit der höchsten Geschwindigkeit abgebaut. Dagegen wurden die Laubhölzer und die Farbkern-Nadelhölzer deutlich langsamer abgebaut (Abb. 31).

In Freiburg wurden Kiefern-Splint, Fichten- und Tannenholz signifikant stärker von Pilzen abgebaut als an den anderen Standorten (Abb. 31, Tab. 38). Nach fünf Jahren waren bereits 71 % der Prüfkörper dieser Hölzer ausgefallen (Anhang 16). Dagegen zeigten die Prüfkörper der Farbkern-Nadelhölzer und der Laubhölzer überwiegend keinen oder nur einen leichten Abbau (Abb. 31, Anhang 16).

Tab. 36: Anzahl der Prüfkörper in Stück (PK [St]) und prozentuale Anteile der dominanten Fäuletypen Braunfäule (BF), Weißfäule (WF) und Moderfäule (MF) an der Anzahl befallener Prüfkörper (BePK) der Holzarten (HA) nach fünf Jahren im Doppellagen-Test an den Standorten Rhön, Stuttgart und Freiburg

HA	Doppellagen-Test Rhön					Doppellagen-Test Stuttgart					Doppellagen-Test Freiburg				
	PK [St]	Be PK [St]	BF [%]	WF [%]	MF [%]	PK [St]	Be PK [St]	BF [%]	WF [%]	MF [%]	PK [St]	Be PK [St]	BF [%]	WF [%]	MF [%]
KiS	30	25	28	68	4	30	24	8	79	13	30	30	60	7	33
FiS	30	25	36	60	4	30	23	100	0	0	30	29	97	0	3
FiK	30	20	50	45	5	30	16	100	0	0	30	28	100	0	0
Ta	30	28	100	0	0	30	24	96	4	0	30	30	100	0	0
Dou	18	2	0	100	0	18	5	60	40	0	18	5	100	0	0
Lä	30	3	0	100	0	30	4	25	75	0	30	10	80	10	10
KiK	21	9	0	100	0	21	5	0	100	0	21	6	33	17	50
Rob	30	4	0	25	75	30	7	0	12	86	30	6	0	0	100
Ei	30	10	0	10	90	30	11	0	0	100	30	15	0	7	93

Tab. 37: Anzahl der Prüfkörper in Stück (PK) und prozentuale Anteile der dominanten Fäuletypen Braunfäule (BF), Weißfäule (WF) und Moderfäule (MF) an der Anzahl befallener Prüfkörper (BePK) der Holzarten (HA) nach fünf Jahren im Doppellagen-Test an den Standorten Hamburg und Hamburg „Baumschatten“

HA	Doppellagen-Test Hamburg					Doppellagen-Test Hamburg „Baumschatten“				
	PK [Stück]	BePK [Stück]	BF [%]	WF [%]	MF [%]	PK [Stück]	Be PK [Stück]	BF [%]	WF [%]	MF [%]
KiS	30	28	0	43	57	30	30	3	33	64
FiS	30	18	83	17	0	30	26	12	38	50
FiK	20	17	94	6	0	30	27	59	26	15
Ta	30	20	90	10	0	30	28	36	57	7
Dou	18	3	67	33	0	18	9	11	56	33
Lä	30	1	100	0	0	30	4	0	75	25
KiK	21	5	0	60	40	21	15	6	27	67
Rob	30	1	0	0	100	30	12	0	8	92
Ei	30	7	0	0	100	30	25	0	12	88

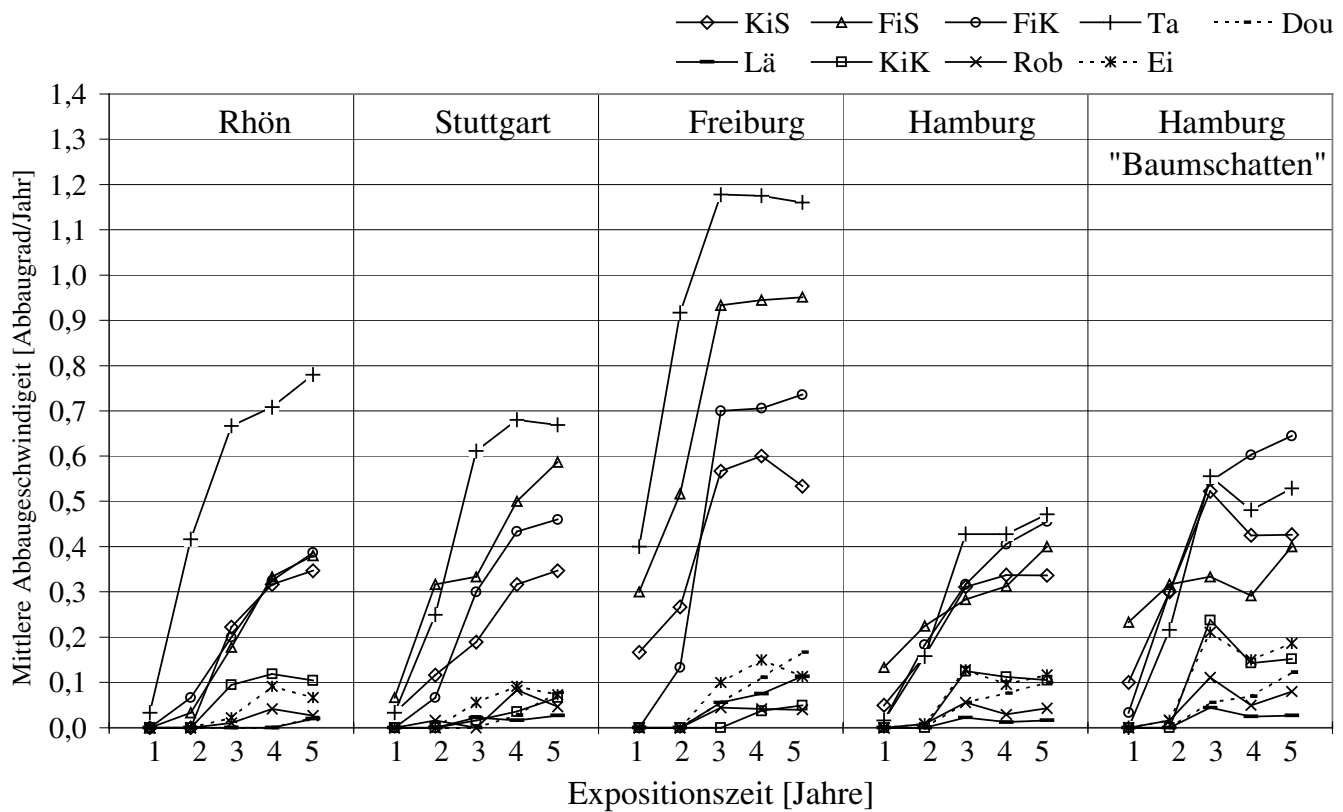


Abb. 31: Mittlere Abbaugeschwindigkeit der Holzarten außerhalb des Erdkontakts an fünf Standorten

Tab. 38: Statistischer Vergleich der Abbaugeschwindigkeiten der Holzarten an fünf Standorten nach fünf Jahren Freilandprüfung im Doppellagen-Test; angegeben sind die mit SAS berechneten Werte IS-MeanI und das Signifikanzniveau (Tab. 19) bei einem Stichprobenumfang von $n = 30$ (reduzierter Stichprobenumfang Dou $n = 18$, KiK $n = 21$).

	R-S	R-FB	R-HH	R-HHBS	S-FB	S-HH	S-HHBS	FB-HH	FB-HHBS	HH-HHBS
KiS	0,9693	0,0024 **	0,0064 **	0,1498	0,0067 **	0,0205 *	0,2345	0,0001 ***	0,0465 *	0,0001 ***
FiS	0,0596	0,0001 ***	0,8861	0,4201	0,0008 ***	0,1365	0,0124 *	0,0001 ***	0,0001 ***	0,7734
FiK	0,5508	0,0024 **	0,1878	0,0074	0,0381 *	0,1804	0,249	0,0001 ***	0,4684	0,0002 ***
Ta	0,4630	0,0001 ***	0,0019 **	0,0083 **	0,0001 ***	0,0211 *	0,0802	0,0001 ***	0,0001** *	0,2729
Dou	0,2142	0,1570	0,3720	0,0171 *	0,7022	0,7554	0,2246	0,5733	0,5765	0,1285
Lä	0,7013	0,0266 *	0,3169	0,7013	0,0556	0,1746	1,0000	0,0040 **	0,0556	0,1746
KiK	0,2626	0,2741	0,1638	0,1975	0,8963	0,8795	0,0207 *	0,7429	0,0145 *	0,0043
Rob	0,3303	0,5020	0,1746	0,0246 *	0,7649	0,0284 *	0,1769	0,0523	0,1008	0,0012 **
Ei	0,7962	0,1764	0,4027	0,0001 ***	0,2704	0,2723	0,0003 ***	0,0342 *	0,0090 **	0,0001 ***

Der Standort Freiburg fällt durch seine besonders hohe Braunfäuleaktivität bei allen Nadelhölzern auf. Im Vergleich zu den anderen Standorten waren auch befallene Prüfkörper von Kiefern-Splint, Douglasie und Lärche zu einem hohen Anteil durch Braunfäule angegriffen. Von allen Standorten hatte Freiburg während der gesamten Expositionszeit im Mittel die höchsten Temperaturen verbunden mit hohen Niederschlagsmengen (Anhang 2), die günstige Voraussetzungen für einen verstärkten Abbau boten.

Am Standort Hamburg „Baumschatten“ entwickelte sich der Abbau insgesamt schneller und es war von allen Holzarten eine wesentlich größere Anzahl an Prüfkörpern befallen als am nahegelegenen unbeschatteten Standort Hamburg. Fichten-Kern, Kiefern- und Laubhölzer wurden unter dem Einfluss der Beschattung signifikant stärker abgebaut als in einer voll besonnten Exposition (Standort Hamburg).

Durch den Baumschatten traten am Standort Hamburg unterschiedliche kleinklimatische Bedingungen auf. Die Temperaturverläufe beider Standorte waren sehr ähnlich. Im Schatten erwärmte sich die Luft zeitweise nicht so stark wie im voll besonnten Bereich. Dennoch waren an beiden Standorten die Zeitabschnitte mit günstigen Temperaturen für den Holzabbau durch Pilze etwa gleich (Abb. 32, Anhang 19).

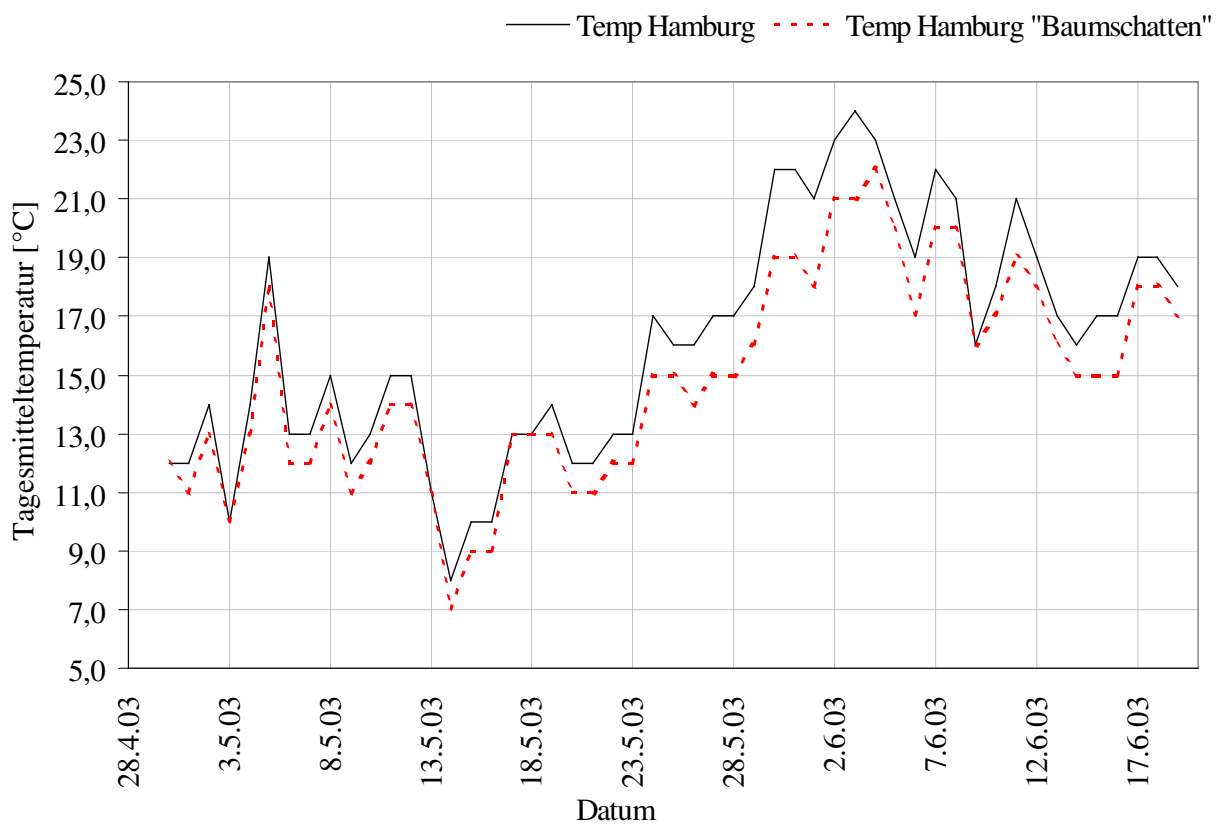


Abb. 32: Tagesmitteltemperaturen an den Standorten Hamburg und Hamburg „Baumschatten“ in einem ausgewählten Zeitabschnitt aus der Gesamtdauer der Untersuchung

Im Vergleich zum freistehenden Standort kamen unter den Bäumen weniger Niederschläge an (Tab. 39, Anhang 21). Hingegen herrschten dort, vor allem in der Vegetationsperiode bei Belaubung, über längere Zeiträume höhere relative Luftfeuchten (Abb. 33, Anhang 22). Aufgrund der länger anhaltenden hohen Luftfeuchten und weniger Sonnenscheinstunden (Abb. 34, Anhang 20) trocknete das Holz langsamer aus als am voll besonnten Standort. Unter diesen Umgebungsbedingungen waren im Baumschatten deutlich mehr Prüfkörper befallen, was in höheren Abbaugeschwindigkeiten resultierte. Nicht nur die Anzahl befallener Prüfkörper, sondern auch die Anteile der den Abbau dominierenden Fäuletypen wurde durch die kleinklimatischen Veränderungen beeinflusst. Die im Schatten exponierten Laubhölzer wurden zusätzlich von Weißfäule und Kiefernholz von Braunfäule abgebaut, die am freistehenden Standort diese Hölzer nicht befielen. Am Abbau der anderen Nadelhölzer waren zu einem größeren Anteil Weiß- und Moderfäule beteiligt.

Tab. 39: Summe der Niederschläge an den Standorten Hamburg (HH) und Hamburg "Baumschatten" (HH "BS") in Messperioden während der Freilandexposition der Prüfkörper

Datum der Messperiode	HH	HH „BS“	Datum der Messperiode	HH	HH „BS“	Datum der Messperiode	HH	HH „BS“
01.04. – 30.04.02	73	57	12.12. – 31.12.02	39	45	06.09. – 30.09.03	64	28
01.05. - 18.05.02	65	56	14.03. – 31.03.03	0	0	13.10. – 31.10.03	23	10
05.06. – 30.06.02	91	75	01.04. – 19.04.03	13	8	01.11. – 30.11.03	51	27
01.07. – 17.07.02	92	77	01.05. – 31.05.03	82	60	01.12. – 31.12.03	70	50
13.09. – 30.09.02	31	24	01.06. – 19.06.03	44	12	01.01. – 31.01.04	64	79
01.10. – 31.10.02	158	108	23.07. – 31.07.03	11	6	01.02. - 28.02.04	83	68
01.11. – 15.11.02	56	35	01.08. – 24.08.03	24	21	01.03. – 31.03.04	36	23

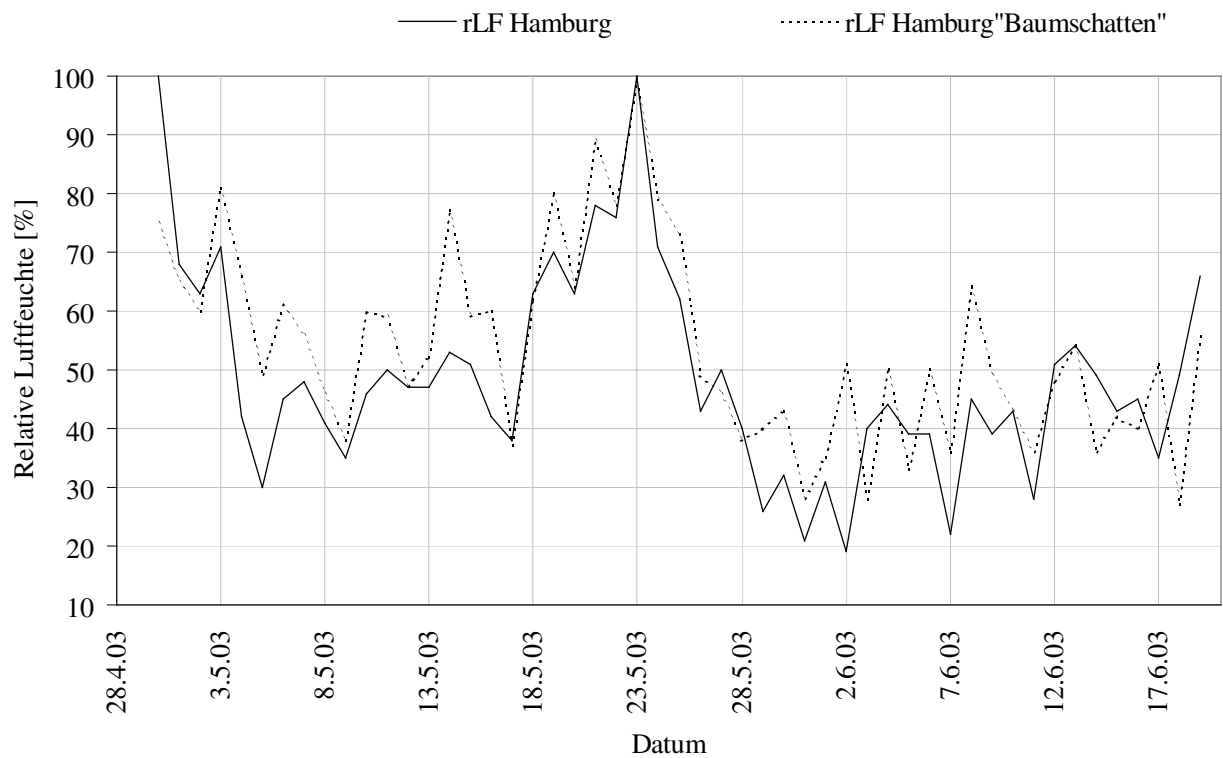


Abb. 33: Relative Luftfeuchte (Tageswerte) an den Standorten Hamburg und Hamburg „Baumschatten“ in einem ausgewählten Zeitabschnitt aus der Gesamtdauer der Untersuchung

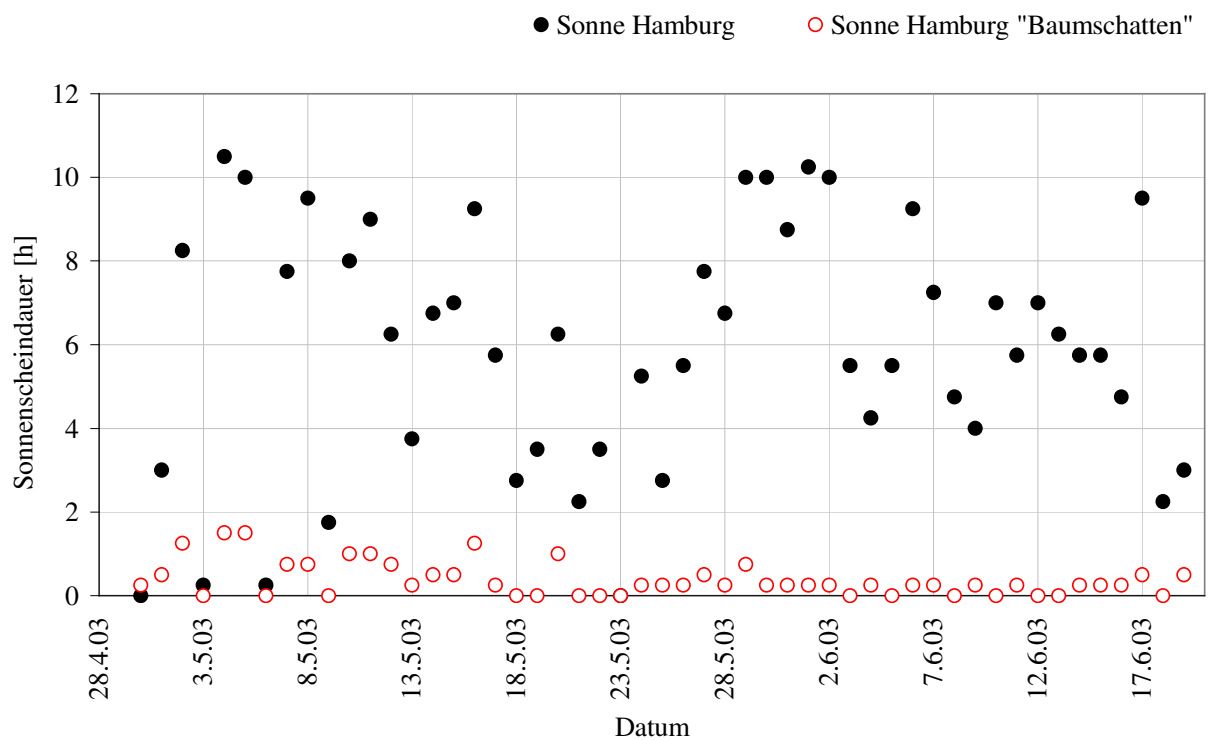


Abb. 34: Tägliche Sonnenscheindauer an den Standorten Hamburg und Hamburg „Baumschatten“ in einem ausgewählten Zeitabschnitt aus der Gesamtdauer der Untersuchung

4.2.5 Einfluss der Expositionsart auf den Holzabbau

Für die Betrachtung des Expositionseinflusses auf den Holzabbau wurden die Daten der Standorte zusammengefasst, da die Rangfolge der Holzarten überwiegend gleich war. Die Holzarten wurden für die weitere Auswertung wie folgt gruppiert:

- Kiefern-Splintholz (KiS) = Kiefern-Splint als Referenzholzart
- Nadelholz ohne Farbkern (NH) = Fichten-Splint, Fichten-Kern, Tanne
- Farbkern-Nadelhölzer (FNH) = Douglasien-Kern, Lärchen-Kern, Kiefern-Kern
- Laubholz (LH) = Robinien-Kern, Eichen-Kern

Die Einbausituation (Exposition im oder außerhalb des Erdkontakts) eines Bauteils zieht verschiedene Umgebungsbedingungen nach sich, die in engem Zusammenhang mit den dominierenden Fäuletypen standen. Daher wurde der Abbau stets in Verbindung mit den abbauerursachenden Fäuletypen betrachtet.

Insgesamt waren nach 5-jähriger Expositionszeit im Erdkontakt deutlich höhere Abbaugeschwindigkeiten zu beobachten als außerhalb des Erdkontakts (Abb. 35). Die statistische Datenanalyse hinsichtlich der Unterschiede zwischen den Abbaugeschwindigkeiten der Holzarten in den verschiedenen Expositionen enthält Tab. 40.

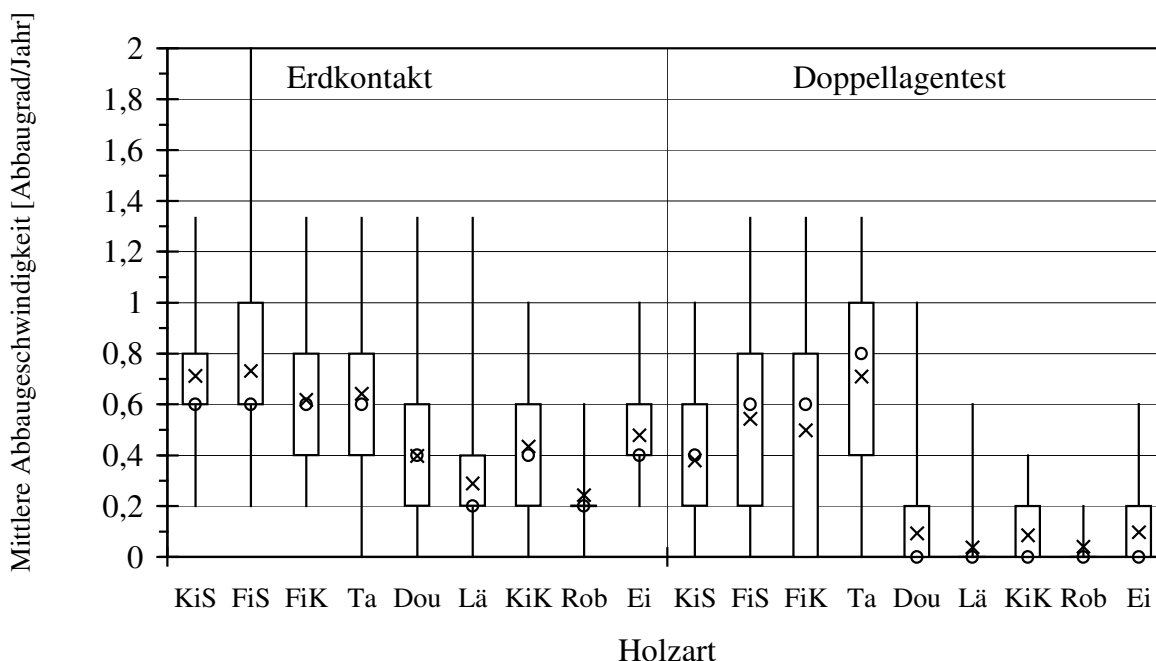


Abb. 35: Mittlere Abbaugeschwindigkeiten der Holzarten nach fünf Jahren im und außerhalb des Erdkontakts, geprüft an fünf Standorten (n=150, Erdkontakt FiS n = 120, FiK n = 100; Doppellagen-Test: Dou n = 90, KiK n = 105)

Kiefern-Splintholz

Außerhalb des Erdkontakts war die Abbaugeschwindigkeit von Kiefern-Splint höchst signifikant geringer als im Erdkontakt. Eine Ausnahme bildete der Standort Rhön, wo kein Unterschied festgestellt wurde. An diesem Standort war die Abbaugeschwindigkeit im Erdkontakt durch die gegebenen Bodenverhältnisse gering.

Trotz der unterschiedlichen Abbaugeschwindigkeiten im und außerhalb des Erdkontakts wurde der Abbau in beiden Expositionen von Moder- und Weißfäule dominiert. Im Doppellagen-Test wurde Kiefern-Splintholz zusätzlich in einem geringeren Umfang auch durch Braunfäule abgebaut.

Nadelholz ohne Farbkern

Im Vergleich zu Kiefern-Splint waren für Fichtenholz, außer an den Hamburger Standorten, keine signifikanten Abbauunterschiede zwischen den Expositionen festzustellen (Tab. 40). Nach fünf Jahren war somit Fichtenholz außerhalb des Erdkontakts (im Doppellagen-Test) ähnlich stark abgebaut wie im Erdkontakt. Durch die schnell zersetzende Braunfäule wurden im Doppellagen-Test ähnliche Abbaugeschwindigkeiten erreicht, wie sie von Weißfäule im Erdkontakt verursacht wurden (Abb. 35).

Die ebenfalls stark von Braunfäule befallene Tanne wurde im Doppellagen-Test sogar signifikant schneller abgebaut als die von Weiß- und Moderfäule befallenen Tannenprüfkörper im Erdkontakt.

Tab. 40: Statistischer Vergleich der Abbaugeschwindigkeiten der Holzarten nach fünf Jahren im und außerhalb des Erdkontakts an den fünf Standorten; angegeben sind die Werte IS-MeanI und das Signifikanzniveau (Tab. 19) bei einem Stichprobenumfang von n = 30

	Rhön	Stuttgart	Freiburg	Hamburg	Hamburg „Baumschatten“
KiS	0,906	0,0001***	0,0001***	0,0001***	0,0001***
FiS [#]	0,703	0,499	0,671	0,003**	0,0001***
FiK [#]	0,968	0,41	0,615	0,001***	0,731
Ta	0,0001***	0,19	0,0002***	0,024*	0,0027**
Dou [#]	0,001***	0,0001***	0,0001***	0,0001***	0,0001***
Lä	0,003**	0,0001***	0,0001***	0,0001***	0,0001***
KiK [#]	0,002**	0,0001***	0,0001***	0,0001***	0,0001***
Rob	0,0001***	0,0001***	0,0001***	0,0001***	0,0001***
Ei	0,0001***	0,0001***	0,0001***	0,0001***	0,0001***

[#] reduzierter Stichprobenumfang im Doppellagen-Test: Dou n = 18 und KiK n = 21; im Erdkontakt: an den Standorten Rhön, Stuttgart, Freiburg FiS n = 20 und an allen Standorten FiK n = 20

Farbkern-Nadelholz

Die Farbkern-Nadelhölzer wurden an allen Standorten außerhalb des Erdkontakts hoch bis höchst signifikant langsamer abgebaut als im Erdkontakt. Nach fünf Jahren Erdkontakt waren fast alle Prüfkörper dieser Holzarten von holzabbauenden Pilzen befallen. Dagegen zeigte eine deutlich geringere Anzahl der Farbkern-Nadelholzprüfkörper ohne Erdkontakt Abbauerscheinungen. Obwohl im Doppellagen-Test befallene Prüfkörper von Douglasie und Lärche zu einem höheren Anteil von Braunfäule betroffen waren, resultierte dennoch aus der geringeren Gesamtanzahl befallener Prüfkörper im Doppellagen-Test eine langsamere Abbaugeschwindigkeit als im Erdkontakt.

Laubholz

Robinien- und Eichenholz wurden, wie auch die Farbkern-Nadelhölzer, im Erdkontakt höchst signifikant schneller abgebaut als nach 5-jähriger Exposition im Doppellagen-Test (Abb. 35, Tab. 40). Außerhalb des Erdkontakts wurde das Laubholz fast ausschließlich von langsam abbauender Moderfäule befallen (Tab. 33). Dagegen war im Erdkontakt ein wesentlich größerer Anteil dieser Laubhölzer von Weißfäule angegriffen.

Insgesamt wurde im Erdkontakt die Eiche schneller abgebaut als Robinie. Nach fünf Jahren waren bereits 40 % der Eichenprüfkörper stark angegriffen oder ausgefallen (Bewertungsstufen 3 oder 4) (Anhang 14 bis 18). Im Vergleich dazu waren 80 % der Robinienprüfkörper nur leicht abgebaut (Bewertungsstufe 1).

4.2.6 Dynamik des Holzabbaus

4.2.6.1 Zeitlicher Verlauf des Abbaus von Holz mit und ohne Erdkontakt

Die Abbaugeschwindigkeiten der Holzarten entwickelten sich während der Untersuchung im Erdkontakt deutlich anders als außerhalb des Erdkontakts (Abb. 36, Abb. 37).

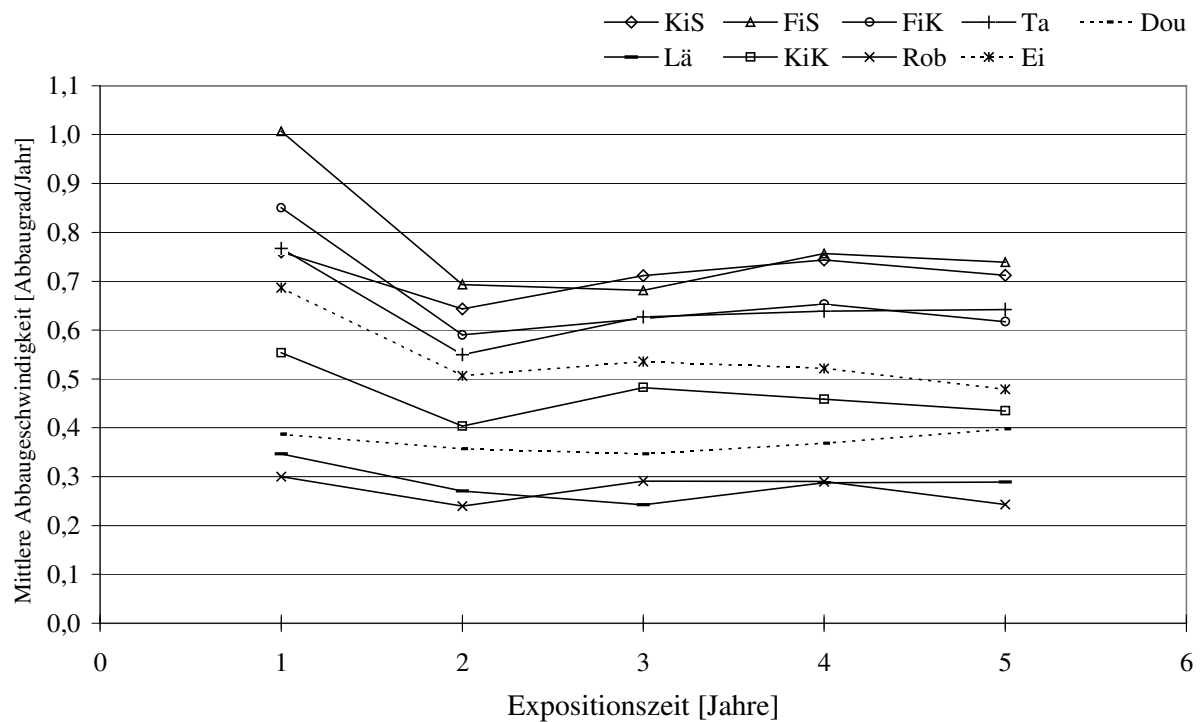


Abb. 36: Mittlere Abbaugeschwindigkeit der Holzarten während fünf Jahren Freilandprüfung im Erdkontakt; n = 150, Fi n = 120

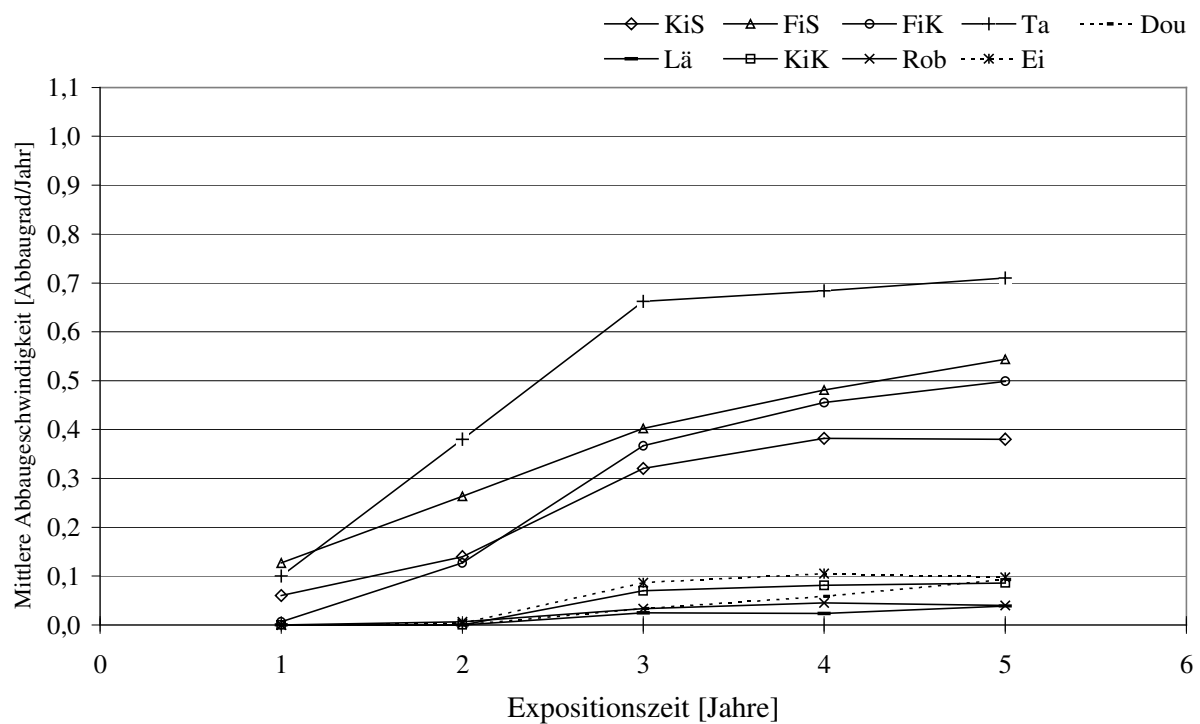


Abb. 37: Mittlere Abbaugeschwindigkeiten der Holzarten während fünf Jahren Freilandprüfung außerhalb des Erdkontakts, n = 150, Dou n = 90, KiK n = 105

Der Verlauf der Abbaugeschwindigkeiten zwischen den Expositionen war an allen Standorten ähnlich und ließen sich wie folgt beschreiben:

- Im ersten Jahr wurden alle Holzarten im Erdkontakt signifikant schneller abgebaut als im Doppellagen-Test ohne Erdkontakt.
- Im Erdkontakt waren während des weiteren Untersuchungsverlaufs die Änderungen der Abbaugeschwindigkeiten der Holzarten gering.
- Im Gegensatz dazu nahm im Doppellagen-Test bei allen Holzarten, nach anfänglich verzögertem Abbaubeginn, mit fortschreitender Expositionszeit die Abbaugeschwindigkeit zu.
- Im Doppellagen-Test zeigte sich jedoch ab dem dritten Jahr eine geringere Zunahme der Abbaugeschwindigkeiten.

Für die Interpretation der zeitlichen Verläufe der Abbaugeschwindigkeiten außerhalb des Erdkontakts wurden die Klimadaten herangezogen. Deren Auswertung (Abb. 38) ergab zwischen dem dritten und vierten Jahr die trockenste Vegetationsperiode (Frühling, Sommer, Herbst) im Untersuchungszeitraum. Die mittleren Temperaturen eines Standorts unterschieden sich dagegen zwischen gleichen Jahreszeiten innerhalb der Jahre 2000-2004 nicht wesentlich. In der vierten Expositionsperiode waren die Sommertemperaturen sogar am höchsten, die mit einer geringen Anzahl niederschlagsreicher Tage kombiniert waren. Im fünften Untersuchungsjahr war teilweise ebenfalls durch eine geringe Anzahl niederschlagsreicher Tage im Frühling und Herbst gekennzeichnet. Dennoch boten die warmen Sommermonate mit vielen regenreichen Tagen günstigere Voraussetzungen für den Holzabbau durch Pilze als das Vorjahr.

Hieraus war für die Abbaugeschwindigkeiten der Holzarten abzuleiten:

- Trotz häufigerer Niederschläge im fünften Jahr stieg für Eiche, Robinie und Kiefern-Kern die Prüfkörperanzahl, die einen höheren Abbaugrad erreichten oder neu befallen wurden, im Vergleich zum trockenen vierten Jahr nur geringfügig an. Daher wurden die Abbaugeschwindigkeiten nicht ausschließlich durch die Witterung, sondern auch durch die sich einstellenden expositionsspezifischen Abbaubedingungen in Verbindung mit dem dominierenden Fäuletyp beeinflusst.
- Auch der Holzabbau von Fichte und Douglasie war nicht allein von der Witterung abhängig, da die Abbaugeschwindigkeit zwischen den Bewertungszeitpunkten stets in ähnlichem Maß zunahm. Die abbauverursachenden Pilze zeigten somit auch unter wechselnden Umgebungsbedingungen eine ähnlich hohe Abbauaktivität.

- Für Tanne galt die gleiche Aussage wie für Fichte trotz der stagnierenden Abbaugeschwindigkeit ab der vierten Expositionsperiode. Dies war auf die hohe Anzahl bereits ausgefallener Prüfkörper (nach vier Jahren 35 %, nach fünf Jahren 51 %) zurückzuführen.

Diese Ergebnisse zeigten, dass die Abbaugeschwindigkeiten außerhalb des Erdkontakts Veränderungen unterliegen, die nicht ausschließlich auf Witterungseinflüsse zurückzuführen waren. Wie die Entwicklung der Abbaugeschwindigkeit einer Holzart während der Expositionszeit aussieht, steht in engem Zusammenhang mit dem abbauverursachenden Fäuletyp, dem damit verbundenem Abbaufortschritt und dem Abbaubeginn. Hierauf wird im folgenden Abschnitt eingegangen.

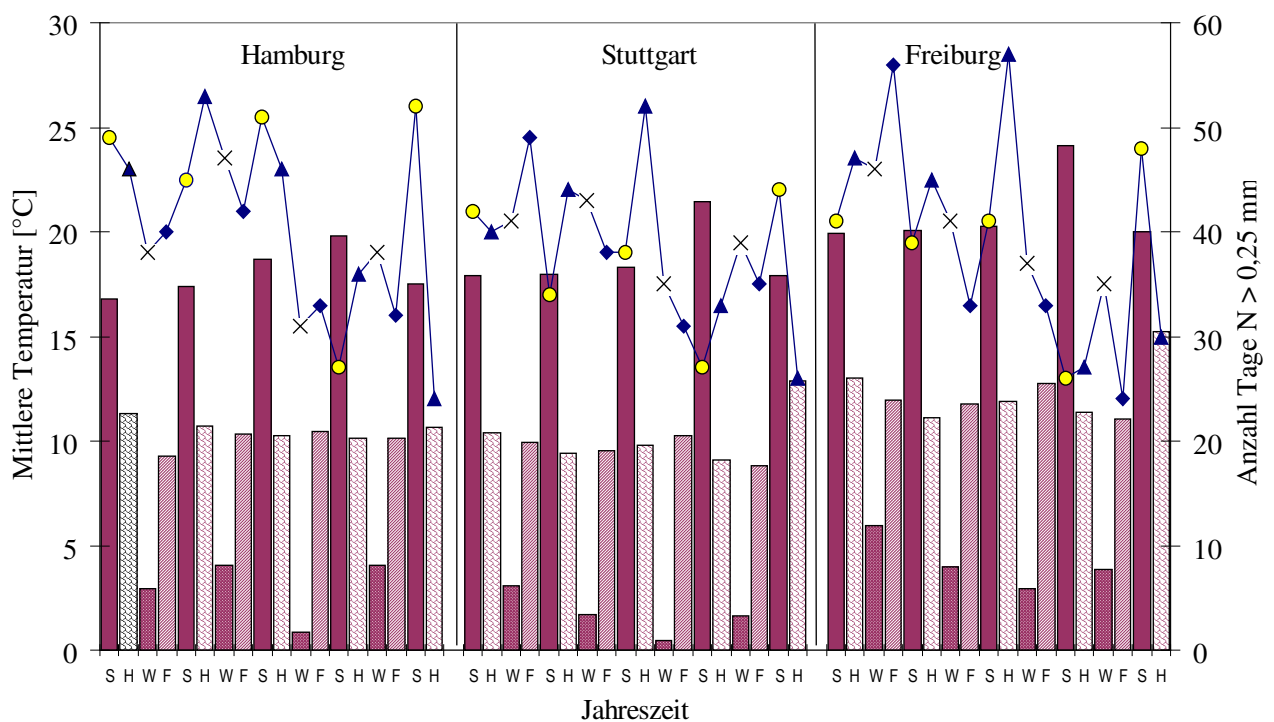
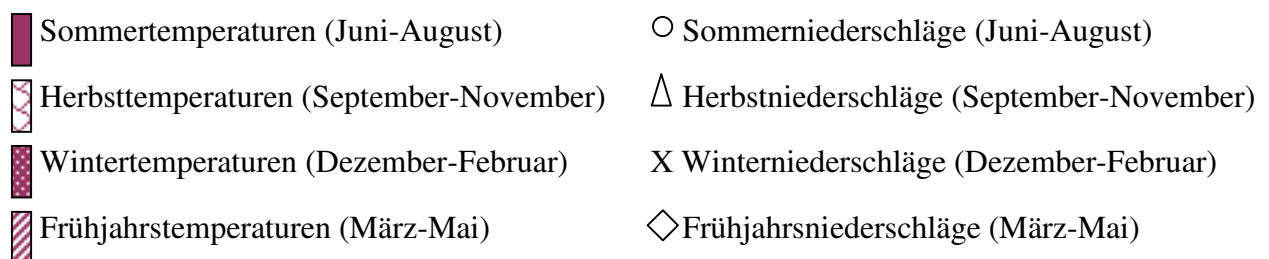


Abb. 38: Mittlere Temperaturen und Anzahl der Tage mit Niederschlägen über 0,25 mm in den Jahren 2000 – 2004, zusammengefasst in Jahreszeiten (S = Sommer, H = Herbst, W = Winter, F = Frühjahr)



4.2.6.2 Abbaufortschritt

Mit dem Abbaufortschritt wurde die Abbauentwicklung ausschließlich nach Beginn des Abbaus betrachtet (siehe Abb. 11). Aus der Kombination von Abbaufortschritt, Expositionszeit vor

Abbaubeginn und den Abbau dominierenden Fäuletypen war es möglich, die Entwicklung der Abbaugeschwindigkeiten weitergehend zu beurteilen.

Den Zusammenhang zwischen Zeitpunkt des Abbaubeginns und Abbaufortschritt zeigt Abb. 39.

- Für alle Holzarten war die Expositionszeit vor Abbaubeginn im Erdkontakt wesentlich geringer als im Doppellagen-Test.
- Im Erdkontakt hatten die Holzarten mit einer langen Expositionszeit vor Abbaubeginn meist einen geringeren Abbaufortschritt. Somit wurden Holzarten, die später befallen wurden auch langsamer abgebaut.
- Dagegen war im Doppellagen-Test, mit einem Korrelationskoeffizienten von nur $R^2 = 0,37$, dieser Zusammenhang deutlich geringer. Eine Erklärung hierfür boten die unterschiedlichen abbauverursachenden Fäuletypen. Da außerhalb des Erdkontakts eine Vielzahl der Nadelhölzer von Braunfäule abgebaut wurde, die einen stärkeren Abbaufortschritt verursachte als die bei Farbkern-Nadelhölzern und Laubhölzern häufiger auftretenden Weiß- und Moderfäule, ergab sich eine starke Streuung der Werte. Hingegen waren im Erdkontakt alle Hölzer fast ausschließlich von Weiß- und Moderfäule abgebaut, die geringere Unterschiede der Abbaufortschritte und folglich eine geringere Streuung der Erdkontaktwerte hervorriefen.

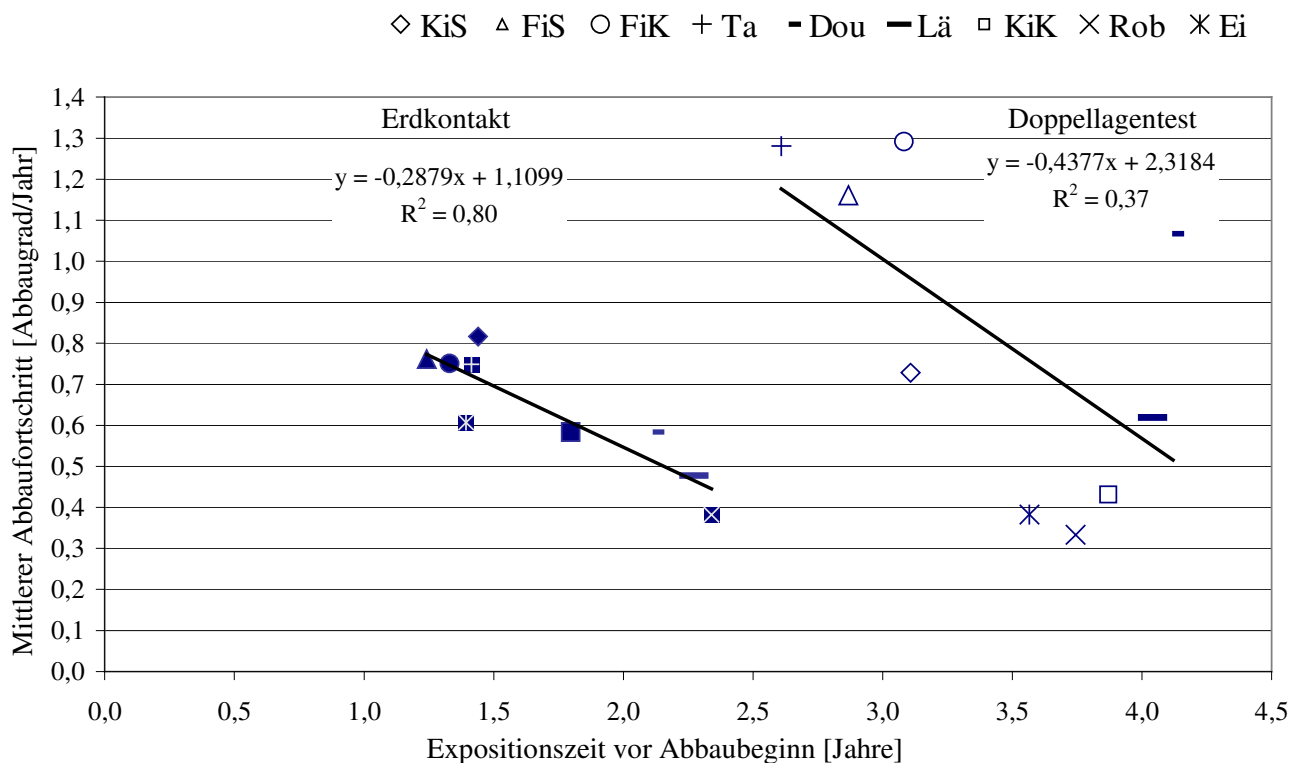


Abb. 39: Expositionszeit vor Abbaubeginn und mittlerer Abbaufortschritt der Holzarten nach 3-jährigem Abbau im Erdkontakt und im Doppellagen-Test

Aus einer detaillierten Betrachtung dieser Zusammenhänge sind differenzierte Aussagen für die einzelnen Holzarten zu treffen:

Kiefer

Im Doppellagen-Test war der Abbaufortschritt von Kiefern-Splint wesentlich geringer als im Erdkontakt. In beiden Expositionen wurde der Abbauprozess stark von Weiß- und Moderfäule dominiert (Tab. 41). Im Erdkontakt verursachten diese Fäuletypen jedoch einen signifikant stärkeren Abbaufortschritt als im Doppellagen-Test (Abb. 40, Tab. 42). Bei zusätzlicher Berücksichtigung der Expositionszeit vor Abbaubeginn erscheint daher auch die geringere Abbaugeschwindigkeit außerhalb des Erdkontakts plausibel. Gleiche Aussagen trafen auch für Kiefern-Kernholz zu.

Nadelholz ohne Farbkern

Fichten-Splint, Fichten-Kern und Tanne wiesen im Doppellagen-Test einen schnelleren Abbaufortschritt auf als im Erdkontakt. Sie waren im Doppellagen-Test zu einem hohen Anteil von Braunfäule befallen, die höchst signifikant schneller abbaute, als die im Erdkontakt dominierenden Weiß- und Moderfäulen (Tab. 41, Abb. 40, Tab. 42). Obwohl der Abbau im Erdkontakt frühzeitiger einsetzte, waren die ähnlichen oder teilweise höheren Abbaugeschwindigkeiten von Fichten- und Tannenholz im Doppellagen-Test mit dem starken Abbaufortschritt der Braunfäule zu erklären.

Farbkern-Nadelholz

Die gleiche Aussage wie für die Nadelhölzer ohne Farbkern galt auch für Douglasien- und Lärchenholz. Hierbei war zu berücksichtigen, dass nach fünf Jahren erst wenige Prüfkörper überhaupt befallen waren und davon nur für einen kleinen Teil der Abbaufortschritt berechnet werden konnte (Tab. 41). Bei längerer Expositionszeit und zunehmender Anzahl befallener Prüfkörper würden daher Änderungen des Abbaufortschritts auftreten. Jedoch würden Douglasie und Lärche aufgrund der langen Expositionszeit vor Abbaubeginn und der großen Anzahl bislang unbefallener Prüfkörper außerhalb des Erdkontakts voraussichtlich eine kleinere mittlere Abbaugeschwindigkeit erreichen als im Erdkontakt. Die Ergebnisse nach fünf Jahren Exposition zeigten jedoch, dass für einzelne Douglasien- und Lärchenprüfkörper im Doppellagen-Test nach Braunfäulebefall der Abbau schnell fortgeschritten war (Abb. 39, Tab. 41). Die Abbaugeschwindigkeit dieser Holzarten wird daher neben dem weiteren Abbaufortschritt wesentlich durch den Zeitpunkt des Abbaubeginns der noch unbefallenen Prüfkörper und den dominierenden Fäuletyp bestimmt werden.

Laubholz

Der Abbaufortschritt der befallenen Laubhölzer war im Doppellagen-Test wesentlich geringer als im Erdkontakt. Eiche und Robinie wurden außerhalb des Erdkontakts fast ausschließlich durch Moderfäulepilze abgebaut (Tab. 41). Im Erdkontakt waren zu einem höheren Anteil auch Weißfäulepilze beteiligt, die einen höchst signifikant größeren Abbaufortschritt hervorriefen als Moderfäule im Erdkontakt oder Doppellagen-Test (Abb. 40, Tab. 42). Hieraus war zu schließen, dass Robinie und Eiche auch weiterhin außerhalb des Erdkontakts (im Doppellagen-Test) geringere Abbaugeschwindigkeiten erreichen würden als im Erdkontakt.

Tab. 41: Prozentualer Anteil der Fäuletypen Braunfäule (BF), Weißfäule (WF) und Moderfäule (MF) an der Anzahl befallener Prüfkörper (PK) der Holzarten im Doppellagen-Test und im Erdkontakt (berücksichtigt wurden ausschließlich die Prüfkörper, die zur Berechnung des Abbaufortschritts verwendet wurden)

		KiS	FiS	FiK	Ta	Dou	Lä	KiK	Rob	Ei
Erdkontakt	befallene PK [Stück]	149	119	96	138	116	95	139	123	150
	BF [%]	0	3	6	6	2	0	0	0	0
	WF [%]	52	61	53	54	58	67	54	28	46
	MF [%]	48	36	41	40	40	33	46	72	54
Doppellagen-Test	befallene PK [Stück]	90	77	80	112	5	6	16	9	34
	BF [%]	24	73	84	84	60	50	6	0	0
	WF [%]	41	16	13	14	20	50	44	0	15
	MF [%]	35	11	3	2	20	0	50	100	85

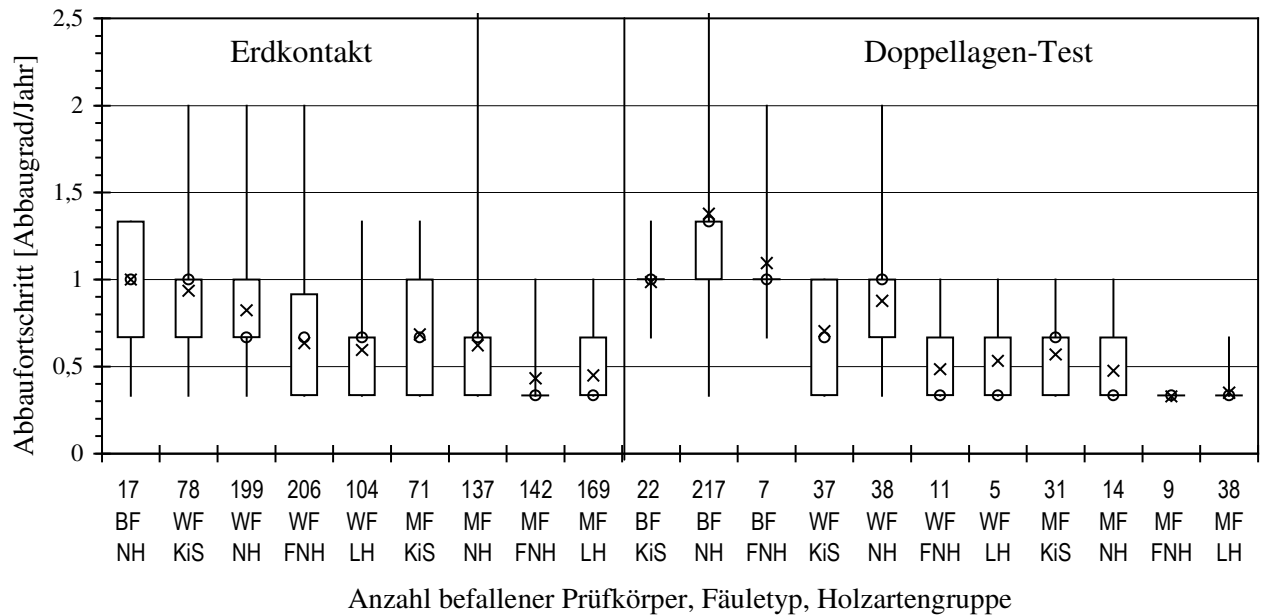


Abb. 40: Zusammenhang zwischen Abbaufortschritt und abbauverursachendem Fäuletyp (BF = Braunfäule, WF = Weißfäule, MF = Moderfäule) für die Holzartengruppen (KiS = Kiefern-Splint, NH = Nadelholz ohne Farbkern, FNH = Farbkern-Nadelholz, LH = Laubholz) in den Expositionen nach drei Jahren Befall

Tab. 42: Statistischer Vergleich der Abbaufortschritte der Holzartengruppen in Abhängigkeit vom Abbau dominierenden Fäuletyp (BF = Braunfäule, WF = Weißfäule, MF = Moderfäule) und den Expositionen (DL = Doppellagen-Test, EK = Erdkontakt); angegeben sind die mit SAS berechneten Werte IS-MeanI und das Signifikanzniveau (Tab. 19)

Fäuletyp - Exposition	KiS	NH	FNH	LH
BF-EK / BF-DL	---	0,0030**	---	---
BF-EK / WF-DL	---	0,1606	---	---
BF-EK / MF-DL	---	0,0006***	---	---
WF-EK / BF-DL	0,3651	0,0001***	0,0023**	---
WF-EK / WF-DL	0,0013**	0,3388	0,1945	0,5434
WF-EK / MF-DL	0,0001***	0,0003***	0,0017**	0,0001***
MF-EK / BF-DL	0,0001***	0,0001***	0,0001***	---
MF-EK / WF-DL	0,696	0,0001***	0,3813	0,5134
MF-EK / MF-DL	0,0425*	0,0663	0,0274*	0,0017**
BF-DL / WF-DL	0,0002***	0,0001***	0,0057**	
BF-DL / MF-DL	0,0001***	0,0001***	0,0028**	
WF-DL / MF-DL	0,0532	0,0006***	0,0491*	0,0156*
WF-EK / MF-EK	0,0001***	0,0001***	0,0001***	0,0001***

4.2.7 Einfluss von Standort und Exposition auf die Dauerhaftigkeit

Die Dauerhaftigkeit ist ein Materialkennwert, der nicht direkt zu messen ist. Daher wurde die Dauerhaftigkeit durch das Verhältnis der Abbaugeschwindigkeit der Referenzholzart zur Abbaugeschwindigkeit der Prüfholzart ausgedrückt. Somit gibt dieser Dauerhaftigkeitsfaktor (Relativwert) an, um welchen Faktor eine Holzart langsamer abgebaut wird als die Referenzholzart.

Einfluss des Standorts

Nach fünf Jahren Freilandexposition variierten die Dauerhaftigkeitsfaktoren zwischen den Standorten. Dennoch waren an allen Standorten, sowohl im als auch außerhalb des Erdkontakts, die Farbkern-Nadelhölzer und die Laubhölzer dauerhafter als die Nadelhölzer ohne Farbkern.

Dauerhaftigkeitsunterschiede zwischen den Standorten:

- Im Erdkontakt:

Am stark von Moderfäule dominierten Standort Rhön waren die Laubhölzer weniger dauerhaft als Lärche und Douglasie (Abb. 41, Abb. 42).

An allen übrigen Standorten war Robinie am dauerhaftesten, gefolgt von Lärche. Diese war wiederum dauerhafter als Eiche, Douglasie und Kiefern-Kern, die sich nur geringfügig unterschieden (Abb. 41, Abb. 42).

- Außerhalb des Erdkontakts:

Kiefern-Kern und Eiche erreichten, außer am Standort Hamburg „Baumschatten“, ähnlich hohe Dauerhaftigkeiten wie Robinie und Lärche (Abb. 41, Abb. 42). Da nach fünf Jahren im Baumschatten ein größerer Anteil der Eichen- und Kiefern-Kernprüfkörper befallen war, erreichten diese Holzarten dort eine geringere Dauerhaftigkeit. Für beide Holzarten wurden aber auch an diesem Standort, im Vergleich zum Erdkontakt, geringere Abbaugeschwindigkeiten und Abbaufortschritte im Doppellagen-Test festgestellt. Diese sind auch weiterhin zu erwarten, da ein großer Anteil der befallenen Eichen- und Kiefern-Kernprüfkörper durch langsam abbauende Moderfäule angegriffen war.

Einfluss der Exposition

- Das geprüfte Robinien- und Eichen-Kernholz war außerhalb des Erdkontakts wesentlich dauerhafter als im Erdkontakt (Abb. 41). Das bedeutet, im Verhältnis zur Referenzholzart Kiefern-Splint wurden die außerhalb des Erdkontakts exponierten Laubhölzer langsamer abgebaut, da hier die Prüfkörper überwiegend von langsam abbauender Moderfäule befallen waren.

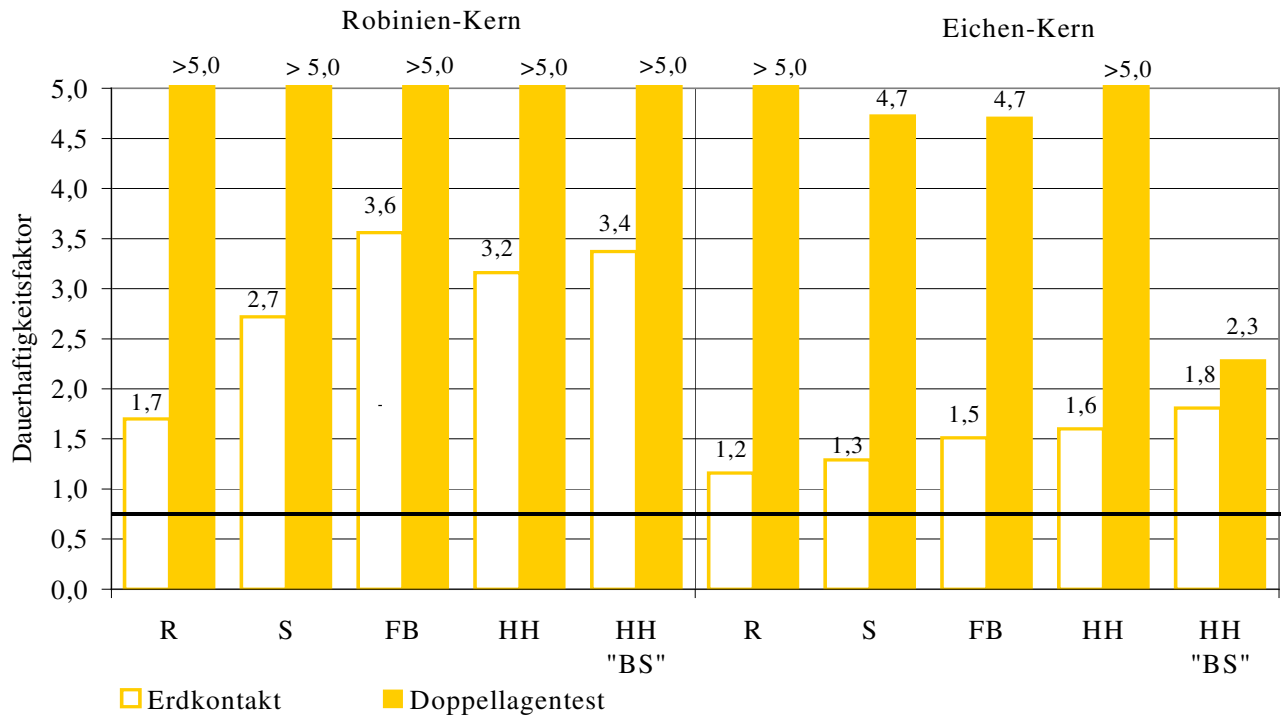


Abb. 41: Dauerhaftigkeitsfaktoren von Robinien- und Eichen-Kern nach fünf Jahren Freilandexposition im Erdkontakt und im Doppellagen-Test an fünf Standorten (R = Rhön, S = Stuttgart, F = Freiburg, HH = Hamburg, HH"BS" = Hamburg „Baumschatten“); Referenzholzart Kiefern-Splint = 1,0

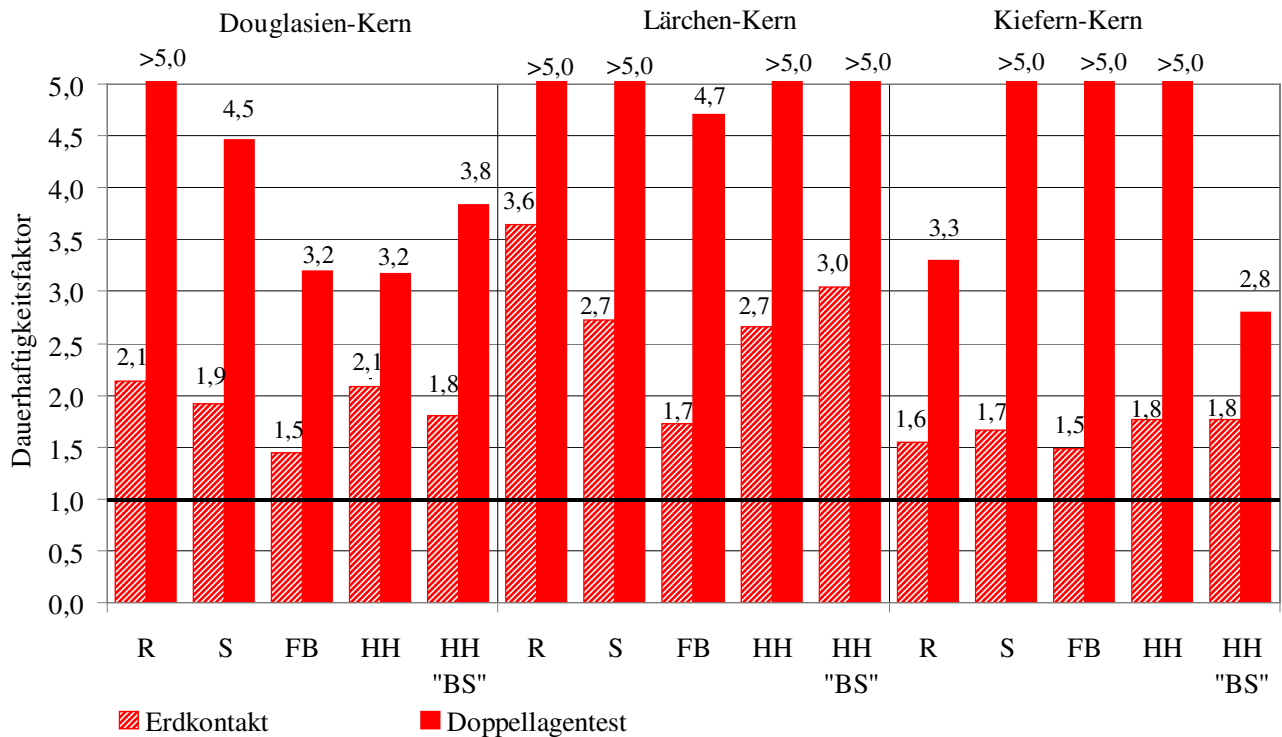


Abb. 42: Dauerhaftigkeitsfaktoren von Douglasien-, Lärchen- und Kiefern-Kern nach fünf Jahren Freilandexposition im Erdkontakt und im Doppellagen-Test an fünf Standorten; Referenzholzart Kiefern-Splint = 1,0

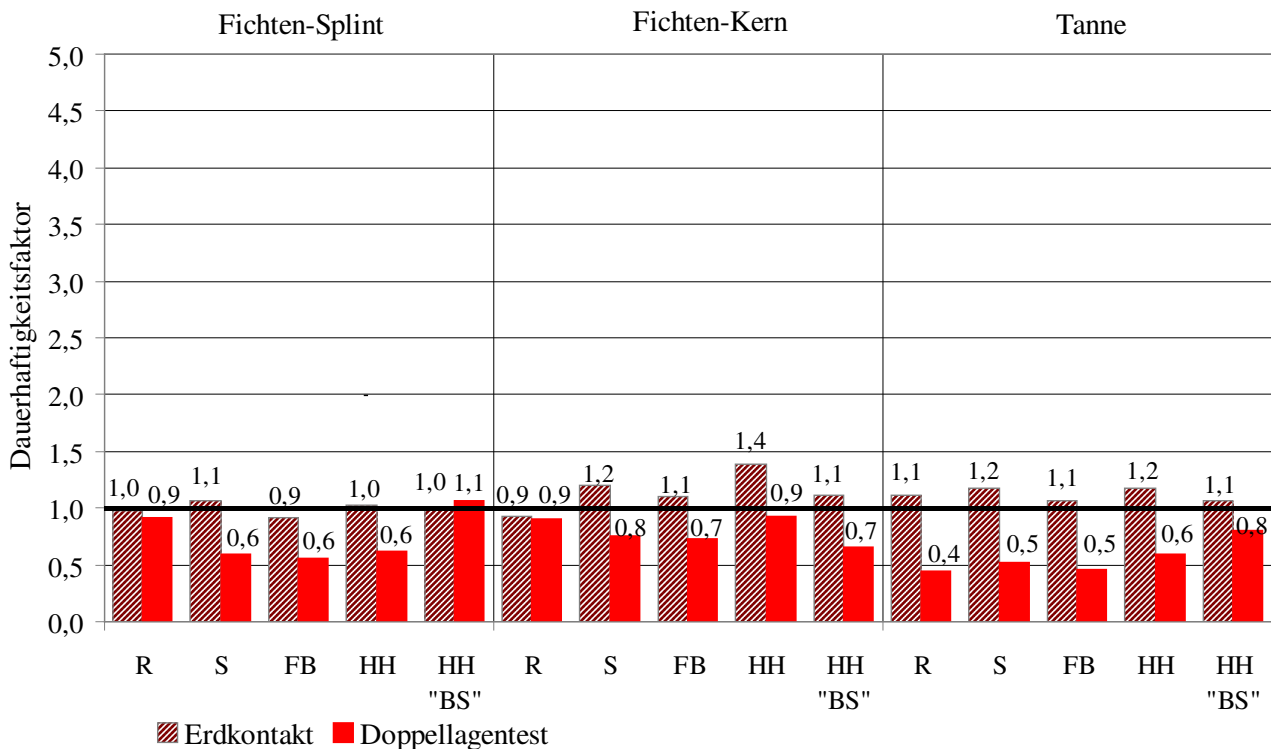


Abb. 43: Dauerhaftigkeitsfaktoren von Fichten-Splint, Fichten-Kern und Tanne nach fünf Jahren Freilandexposition im Erdkontakt und im Doppellagen-Test an fünf Standorten (R = Rhön, S = Stuttgart, F = Freiburg, HH = Hamburg, HH"BS" = Hamburg „Baumschatten“); Referenzholzart Kiefern-Splint = 1,0

- Alle drei Farbkern-Nadelhölzer hatten außerhalb des Erdkontakts wesentlich höhere Dauerhaftigkeitsfaktoren als im Erdkontakt (Abb. 42). Im Erdkontakt wurde eine große Anzahl Nadelhölzer-Prüfkörper stark durch Weißfäule abgebaut. Dagegen waren im Doppellagen-Test, im Vergleich zu Kiefern-Splint, deutlich weniger Prüfkörper der Farbkern-Nadelhölzer überhaupt befallen. Hieraus resultierten nach fünf Jahren geringere Abbaugeschwindigkeiten für Farbkern-Nadelhölzer und somit auch höhere Dauerhaftigkeitsfaktoren.
- Fichte und Tanne erreichten außerhalb des Erdkontakts größtenteils geringere Dauerhaftigkeitsfaktoren als im Erdkontakt (Abb. 43). Das bedeutet, im Verhältnis zu Kiefern-Splint wurden diese Holzarten im Doppellagen-Test stärker abgebaut. Hier wurden Fichte und Tanne besonders stark von Braunfäule, Kiefern-Splint jedoch überwiegend von signifikant langsamer fortschreitender Weiß- und Moderfäule abgebaut. Im Gegensatz dazu wurde der Abbau im Erdkontakt bei allen Nadelhölzern ohne Farbkern fast ausschließlich von Weiß- und Moderfäule verursacht. Daraus resultierten im Vergleich zum Erdkontakt höhere oder ähnliche Dauerhaftigkeitsfaktoren (Relativwerte) außerhalb des Erdkontakts. Diese Aussagen zur Dauerhaftigkeit gelten an allen der untersuchten Standorte.
- Im Doppellagen-Test stellten sich somit auch im schwer tränkbarem Fichten-Kernholz günstige Bedingungen für einen Braunfäulebefall ein. Diese ermöglichten einen ähnlich hohen

Abbaufortschritt wie im Fichten-Splintholz. Daher würde der Einsatz von Fichten-Kernholz in Holzkonstruktionen mit ähnlich starker Beanspruchung, wie durch den Doppellagen-Test in Kombination mit Braunfäulebefall, keinen Dauerhaftigkeitsvorteil gegenüber Fichten-Splintholz bieten.

Insgesamt zeigten die Ergebnisse:

- An allen Standorten war die Rangfolge der Holzarten hinsichtlich ihrer Dauerhaftigkeit im und außerhalb des Erdkontakts meist gleich.
- Innerhalb einer Holzart ergaben sich teilweise sehr unterschiedliche Dauerhaftigkeitsfaktoren zwischen den Expositionen und den Standorten.
- Diese Dauerhaftigkeitsschwankungen standen in engem Zusammenhang mit den dominierenden Fäuletypen, die sowohl zwischen den Holzarten als auch innerhalb einer Holzart in Abhängigkeit von Exposition und Standort variierten.
- Vor allem die Exposition verursachte bei Farbkern-Nadelhölzern und Laubhölzern eine Veränderung des Dauerhaftigkeitsfaktors (Relativwert).

4.2.8 Einfluss der Prüfkörperdimension auf den Holzabbau außerhalb des Erdkontakts

Äußerlich sichtbarer Abbau

Während der 4-jährigen Untersuchungsdauer wurde der äußerlich sichtbare Abbau der Prüfkörper nach den Kriterien der Tab. 12 bewertet und die mittleren Abbaugeschwindigkeiten berechnet (Abb. 44).

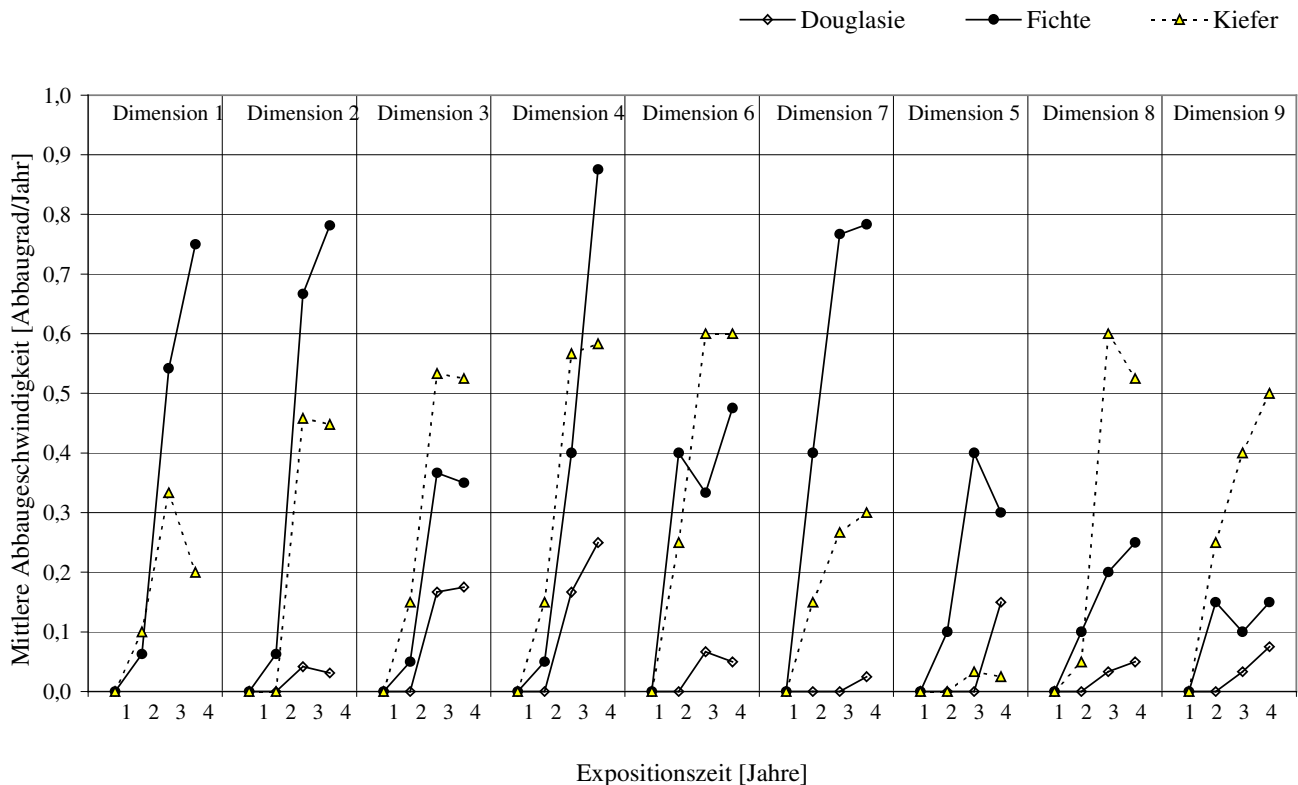


Abb. 44: Mittlere Abbaugeschwindigkeit verschieden dimensionierter Prüfkörper aus Douglasie, Fichte und Kiefer; Prüfkörperdimension und –anzahl ersichtlich in Tab. 4

Dabei wurde deutlich, dass Douglasienholz sehr viel weniger angegriffen war als Kiefern- und Fichtenholz. Das bestätigte die Ergebnisse aus dem Doppellagen-Test (Kapitel 4.2.5), in dem ebenfalls die mittlere Abbaugeschwindigkeit von Douglasienholz wesentlich geringer war als von Kiefern-Splint und Fichtenholz.

Ein Vergleich der Ergebnisse nach Bewertung des äußerlich sichtbaren Befalls und nach dem Aufsägen der Prüfkörper zeigte, dass für Prüfkörper bestimmter Dimensionen eine Bewertung von Außen mit erheblichen Unsicherheiten behaftet war. Aufgrund der auftretenden Innenfäulen wurde erst nach dem Aufsägen eine Aussage über den Zusammenhang von Prüfkörperdimension und Abbau möglich.

Innenfäule

Sowohl bei Prüfkörpern mit großen als auch mit kleinen Querschnitten war der Befall nicht immer von außen zu erkennen (Tab. 43). Dabei fiel auf, dass in Kiefernprüfkörpern größerer Dimensionen häufiger unentdeckte Innenfäulen auftraten als in Fichte und Douglasie. Insgesamt war bei Prüfkörpern kleiner Dimensionen (5, 8 und 9) der Befall meist von außen zu erkennen.









Tab. 43: Gesamtanzahl der Prüfkörper je Dimension (Dim) und Anzahl der Prüfkörper mit Befall: äußerlich erkennbar und nach Aufsägen (Werte in Klammern)

Dim		Gesamtanzahl Prüfkörper [Stück]	Anzahl der Prüfkörper mit Befall äußerlich erkennbar und nach Aufsägen () [Stück]		
			Douglasie	Fichte	Kiefer
1		Dou=0, Fi=8, Ki=5	-	8 (8)	4 (5)
2		8	1 (2)	8 (8)	6 (8)
3		10	4 (7)	7 (10)	9 (10)
4		10	6 (6)	10 (10)	7 (10)
6		10	1 (2)	9 (10)	6 (8)
7		10	1 (1)	7 (8)	1 (7)
5		10	2 (2)	9 (9)	9 (10)
8		10	2 (2)	6 (7)	7 (7)
9		10	3 (3)	3 (4)	7 (7)

Abbau von Douglasienholz unterschiedlicher Dimension

Für Douglasie war die anteilige mittlere befallene Querschnittsfläche aller Prüfkörperdimensionen kleiner als 1 % (Tab. 44). Aufgrund des geringen Abbaus war es nicht möglich, eine Aussage zum Einfluss der Dimension auf den Abbau von Douglasie zu treffen.

Tab. 44: Anteilige mittlere befallene Querschnittsfläche der Douglasienprüfkörper in unterschiedlichen Dimensionen (Dimensionen nach Tab. 4)

Dimensionsbezeichnung	2	3	4	6	7	5	8	9
								
Anteilige mittlere befallene Querschnittsfläche [%]	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Abbau von Fichtenholz unterschiedlicher Dimension

Nach vier Jahren Expositionszeit wurde für Fichte kein Zusammenhang zwischen Prüfkörperdimension und Holzabbau gefunden (Abb. 45). Es können jedoch folgende Aussagen getroffen werden:

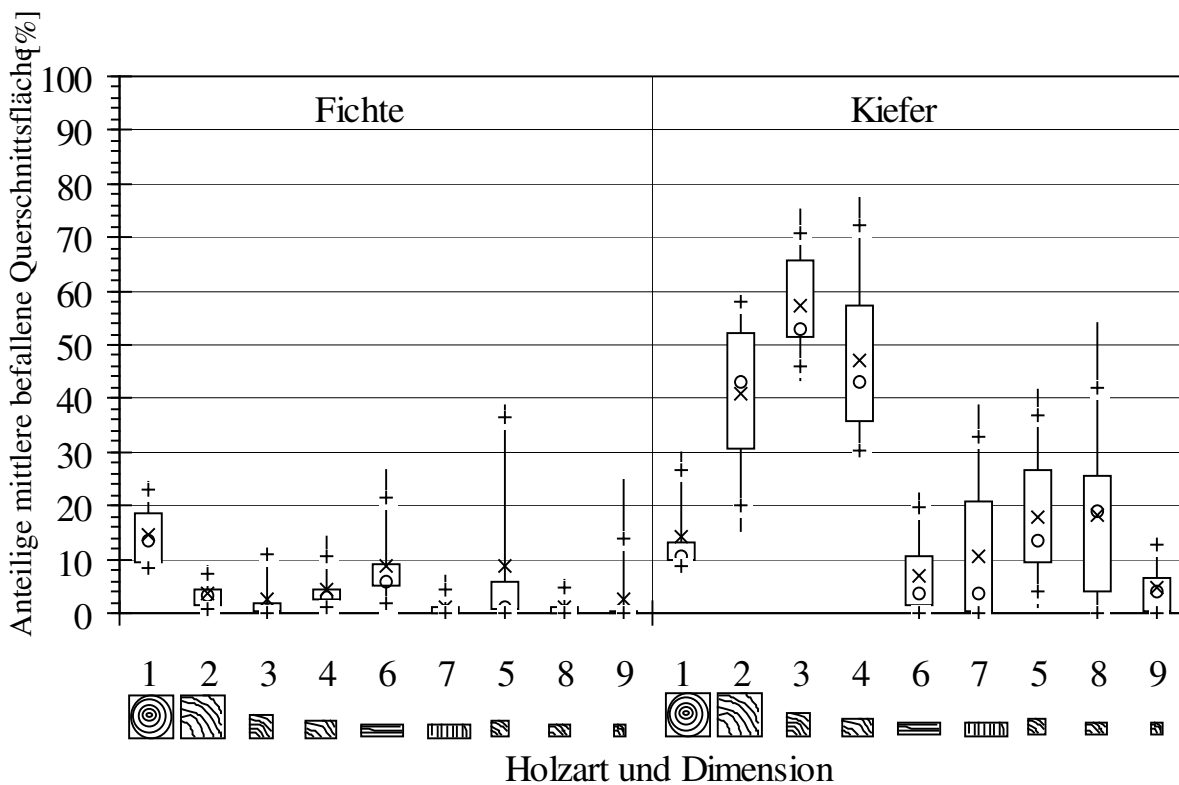


Abb. 45: Anteilige mittlere befallene Querschnittsflächen von Prüfkörpern unterschiedlicher Dimensionen (Tab. 4) nach vier Jahren Freilandexposition

- Einfluss der Einschnittart

Einstielig eingeschnittene Prüfkörper (Dimension 1) hatten im Mittel höchst signifikant größere anteilig befallene Querschnittsflächen ($IS\text{-}Meanl < 0,0000$) als vierstielig eingeschnittene Prüfkörper mit der Dimension 2. Bereits vor Beginn der Untersuchung waren einstielig eingeschnittene Prüfkörper (Dimension 1) sehr stark gerissen. Hingegen wiesen vierstielig eingeschnittene Prüfkörper (Dimension 2) erst nach zwei Jahren Expositionszeit ähnlich starke Risse auf wie einstielig eingeschnittene Prüfkörper (Abb. 46).

- Einfluss der Jahrringlage

Für Fichtenprüfkörper mit gleichem Volumen aber unterschiedlicher Jahrringlage war die anteilig befallene Querschnittsfläche bei Prüfkörpern mit stehenden Jahrringen (Dimension 7) hoch signifikant kleiner ($IS\text{-}Meanl = 0,0015$) als bei den Prüfkörpern mit liegenden Jahrringen (Dimension 6). Die Auswertung nach dem Aufsägen zeigte für Fichtenprüfkörper der Dimensionen 6 und 7 häufig einen Befall von Rissen in der Oberfläche ausgehend. Die Rissbildung bei Fichtenprüfkörpern mit liegenden Jahrringen nahm während der ersten zwei Bewitterungsjahre wesentlich stärker zu als bei Prüfkörpern mit stehenden Jahrringen (Abb. 46). Damit waren in Prüfkörpern mit liegenden Jahrringen, durch schnelles Vordringen von Regenwasser ins Holzinnere, günstigere Voraussetzungen für Befall und Abbau holzerstörender Pilze gegeben.

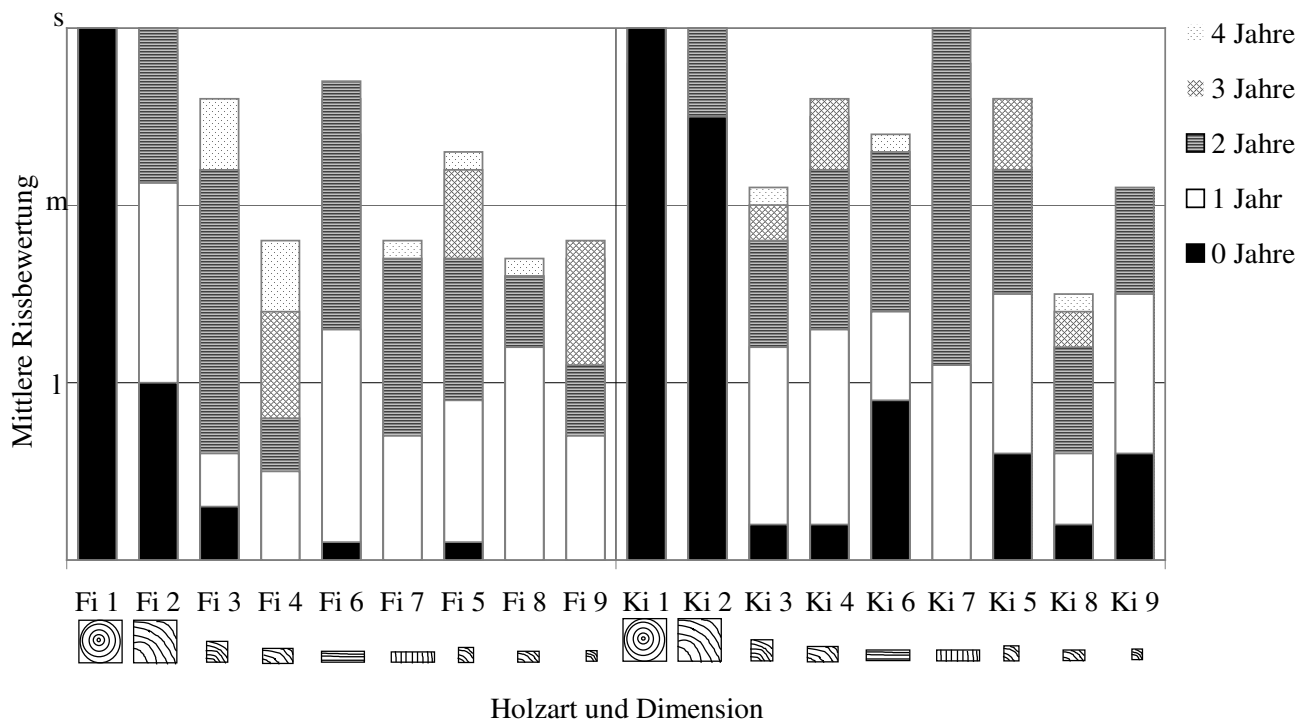


Abb. 46: Mittlere Rissbewertung (l = leichte Risse, m = mittlere Risse, s = starke Risse) von Prüfkörpern in verschiedenen Dimensionen (nach Tab. 4) während vier Jahren Freilandexposition

Abbau von Kiefernholz unterschiedlicher Dimensionen

Aufgrund ihrer Dimension oder Einschnittart hatten einige Kiefern-Prüfkörper einen Kernholzanteil. Dieser wurde getrennt vermessen. Ein Vergleich der absoluten befallenen Querschnittsflächen von Kern- und Splint-Holz zeigte, dass fast ausschließlich Splintholz abgebaut wurde (Tab. 45). Für die weitere Auswertung wurde die Summe der befallenen Splint- und Kernflächen bezogen auf die Gesamtquerschnittsfläche verwendet.

Tab. 45: Absolute mittlere Querschnittsflächen und absolute mittlere befallene Querschnittsflächen von unterschiedlich dimensionierten Prüfkörpern aus Kiefern-Kernholz und Kiefern-Splintholz

Dimension	Absolute mittlere Kernholz-Querschnittsfläche [mm ²]	Absolute mittlere befallene Kernholz-Querschnittsfläche [mm ²]	Absolute mittlere befallene Splintholz-Querschnittsfläche [mm ²]	Absolute mittlere Splintholz-Querschnittsfläche [mm ²]
1	6236	4	1439	3764
2	3964	73	4025	6036
3	217	5	1428	2283
4	409	0	1178	2091
6	398	0	169	2102
7	906	0	267	1594
5	1	0	222	1248
8	71	7	223	1179
9	0	0	30	625

- Einfluss der Dimension

Die Kiefernprüfkörper mit einem großen Volumen (Dimensionen 2, 3 und 4) hatten signifikant größere anteilige befallene Querschnittsflächen als Prüfkörper mit kleinerem Volumen (Abb. 45, Tab. 46).

Im Gegensatz dazu waren die anteiligen befallenen Querschnittsflächen von Prüfkörpern mit der Dimension 6 und 7 signifikant kleiner als bei Prüfkörpern mit gleichem oder größerem Volumen (Abb. 45, Tab. 46). Die Prüfkörper der Dimensionen 6 und 7 hatten einen Querschnitt von 25 x 100 mm². Dadurch war ihr Oberflächen-Volumenverhältnis größer als bei Prüfkörpern mit gleichem Volumen, aber mit Querschnitten von 35,4 x 70,6 mm² oder 50 x 50 mm² (Dimensionen 3 und 4). Durch dieses vergrößerte Oberflächen-Volumen-Verhältnis war eine schnellere Austrocknung des gesamten Prüfkörperquerschnitts und damit ungünstigere Abbaubedingungen für Pilze verbunden. Prüfkörper mit gleichen Volumen hatten deshalb bei

einem größeren Oberflächen-Volumen-Verhältnis deutlich geringere befallene Querschnittsflächen (Abb. 47).

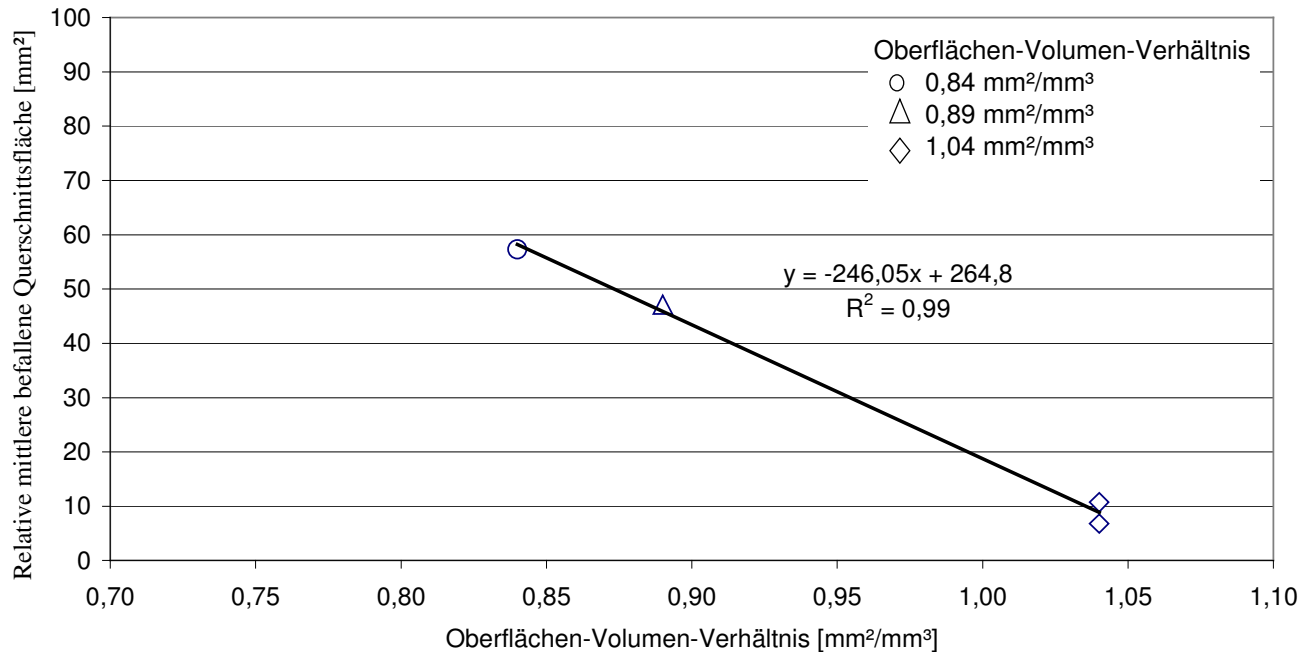


Abb. 47: Korrelation von Oberflächen-Volumen-Verhältnis und anteilige mittlere befallene Querschnittsfläche bei Kiefernprüfkörpern mit einem Volumen von 1250 cm³

- Einfluss der Einschnittart auf den Abbau von Kiefernholz

Die anteilig befallene Querschnittsfläche an einstielig eingeschnittenen Prüfkörpern (Dimension 1) war hoch signifikant geringer als an vierstielig eingeschnittenen Prüfkörpern (Dimension 2) (Tab. 46). Eine Ursache hierfür lag in der Verteilung des Splintholzes innerhalb der Prüfkörper. Bei einstielig eingeschnittenen Kiefernprüfkörpern bestand dessen gesamter Innenbereich aus Kernholz und das Splintholz war überwiegend oberflächennah verteilt. Dagegen befand sich bei vierstielligen Prüfkörpern ein wesentlich größerer Anteil Splintholz weiter im Prüfkörperinneren. Durch die Größe der Prüfkörper wurde die Austrocknung mit zunehmender Tiefe verzögert und für das Splintholz im Innenbereich der vierstielligen Prüfkörper bestanden länger günstige Befallsbedingungen als für das oberflächennahe Splintholz einstielig eingeschnittener Prüfkörper. Die verstärkte Risszunahme während der Freilandexposition an den vierstielig eingeschnittenen Prüfkörpern (Abb. 46) ermöglichte Regenwasser ein besseres Vordringen ins Prüfkörperinnere, wodurch für den Abbau günstige Holzfeuchten entstehen konnten.

- Einfluss der Jahrringlage auf den Abbau von Kiefernholz

Für Prüfkörper mit stehenden Jahrringen wäre eine geringere Rissbildung und somit eine geringere befallene Querschnittsfläche zu erwarten als für Prüfkörper mit liegenden Jahrringen. Die Prüfkörper mit stehenden Jahrringen hatten aber während der Expositionszeit von vier Jahren eine deutlich stärkere Rissbildung (Abb. 46) und keine signifikant geringere anteilige befallene Querschnittsfläche als die Prüfkörper mit liegenden Jahrringen (Abb. 45, Tab. 46). Die Prüfkörper mit stehenden Jahrringen hatten einen hohen Kernholzanteil. Dies führte aufgrund des unterschiedlichen Wasseraufnahme- und Wasserdampfabgabeverhaltens von Kern- und Splintholz zu Spannungen im Holz und zur verstärkten Rissbildung. Durch die verstärkte Rissbildung entstand wiederum ein höherer Feuchteintrag ins Prüfkörperinnere, wodurch günstigere Abbaubedingungen geschaffen wurden. Somit wurden Prüfkörper mit stehenden Jahrringen in ähnlichem Umfang abgebaut wie Prüfkörper mit liegenden Jahrringen.

Tab. 46: Statistischer Vergleich der anteilig befallenen Querschnittsflächen von Kiefern-Prüfkörpern unterschiedlicher Dimensionen; angegeben sind die mit SAS berechneten Werte IS-Mean1 und das Signifikanzniveau (Tab. 19)

Dimension	1	5	6	7	8	9
2	0,0062**	0,0031**	0,0000***	0,0000***	0,0115*	0,0000***
3		0,0000***	0,0000***	0,0000***	0,0000***	0,0000***
4		0,0000***	0,0000***	0,0000***	0,0000***	0,0000***
7			0,9297			

4.3 Besiedlung und Abbau von Holz durch *Gloeophyllum sepiarium*

4.3.1 Nachweis von Sporen im Freiland

Es wurde erstmals die Eignung von monokaryonten *Gloeophyllum sepiarium*-Mycel zum Nachweis von Sporen im Freiland geprüft.

Am freilandexponierten Mycel war mikroskopisch eine deutliche Schnallenbildung festzustellen. Schnallen sind ein typisches Merkmal von dikaryontem Mycel der Basidiomyceten, das aus der Verschmelzung monokaryonter Mycelien entsteht. Da sich monokaryonte Mycelien direkt nach der Sporenkeimung bilden, war aus dem dikaryonten Mycel auf der Sporenfalle abzuleiten, dass gekeimte Sporen mit dem exponierten monokaryonten Mycel verschmolzen sein mussten. Weiterhin war hieraus zu schließen, dass keimfähige Basidiosporen von *G. sepiarium* in der

Umgebungsluft vorhanden waren und auch durch diese übertragen wurden. Die Anzahl der isolierten dikaryonten Mycelien an den beiden Standorten zeigt Tab. 47.

Während der Freilandexposition trat teilweise ein starker Befall der Sporenfallen mit Schimmelpilze auf. Der Schimmel überwuchs das monokaryonte Mycel sehr schnell, wodurch eine mögliche Bildung von dikaryontem Mycel nicht mehr festzustellen war. Starker Schimmelbewuchs wurde vor allem in Hamburg während der Exposition im Sommer beobachtet. Hohe Temperaturen kombiniert mit zeitweise hohen Niederschlägen begünstigten vermutlich die Verbreitung und das Wachstum von Schimmelpilzen besonders stark. Zusätzlich war die Tendenz zu beobachten, dass mit zunehmender Expositionszeit der Befall durch Schimmelpilze anstieg.

Tab. 47: Standort, Expositionszeit und Anzahl der exponierten Sporenfallen mit mono- und dikaryontem Mycel

Standort	Monat	Unter- suchungs- zeitraum [Tage]	Anzahl der exponierten Sporenfallen mit monokaryontem Mycel [Stück]	Anzahl der Sporenfallen mit dikaryontem Mycel [Stück]	Anzahl der von Schimmelpilzen befallenen Sporenfallen [Stück]
Hamburg	Juli/August	26	25	---	25
Hamburg	September	4	25	2	21
Uppsala	September	1	20	15	1
Uppsala	September	7	20	17	2
Uppsala	Oktober	7	20	15	2

Die Ergebnisse der Prüfung von monokaryontem Mycel von *G. sepiarium* zum Nachweis von Sporen im Freiland lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Mit monokaryontem Mycel bewachsene Holzstücke eignen sich, um Sporen von *G. sepiarium* im Freiland nachzuweisen.
- Eine eintägige Freilandexposition war bereits ausreichend, um Sporen nachzuweisen.
- Sporen von *G. sepiarium* wurden in der Luft übertragen und eine Infektion von Holz außerhalb des Erdkontakts war möglich.
- In Abhängigkeit von den klimatischen Bedingungen während der Freilandexposition waren die Sporenfallen unterschiedlich stark von Schimmelpilzen befallen.

4.3.2 Sporenkeimung auf Holz

Die Sporenkeimfaktoren von *G. sepiarium* auf unbewitterten und vier Jahre bewitterten Nadelhölzern sind in Abb. 49 dargestellt. Hieraus lassen sich folgende Aussagen treffen:

- *G. sepiarium* Sporen keimen nicht auf unbewittertem Kiefern-Splintholz. Hingegen keimten die Sporen auf bewittertem Kiefern-Splintholz genauso stark aus wie auf 4 %igem Malz-Agar (Sporenkeimfaktor 1).
- Die Sporen konnten auch auf Douglasie, Lärche und Kiefern-Kern auskeimen.
- Auf allen Nadelhölzern, außer auf Kiefern-Splint, keimten die Sporen sowohl auf unbewittertem als auch auf bewittertem Holz aus. Meist waren dabei die Sporenkeimfaktoren auf unbewittertem Holz größer als auf bewittertem Holz. Nur auf bewittertem Fichten-Splintholz keimten verhältnismäßig mehr Sporen als auf unbewittertem Holz.
- Obwohl *G. sepiarium* typischerweise Nadelholz abbaut, keimten seine Sporen auch auf Robinie ähnlich stark wie auf den Farbkern-Nadelhölzern. Bei Eiche galt dies nicht für unbewittertes Holz. Wie bei Kiefern-Splintholz hatten sich auf der Eichenholz-Oberfläche erst nach einer Bewitterung die Bedingungen für eine Keimung eingestellt.

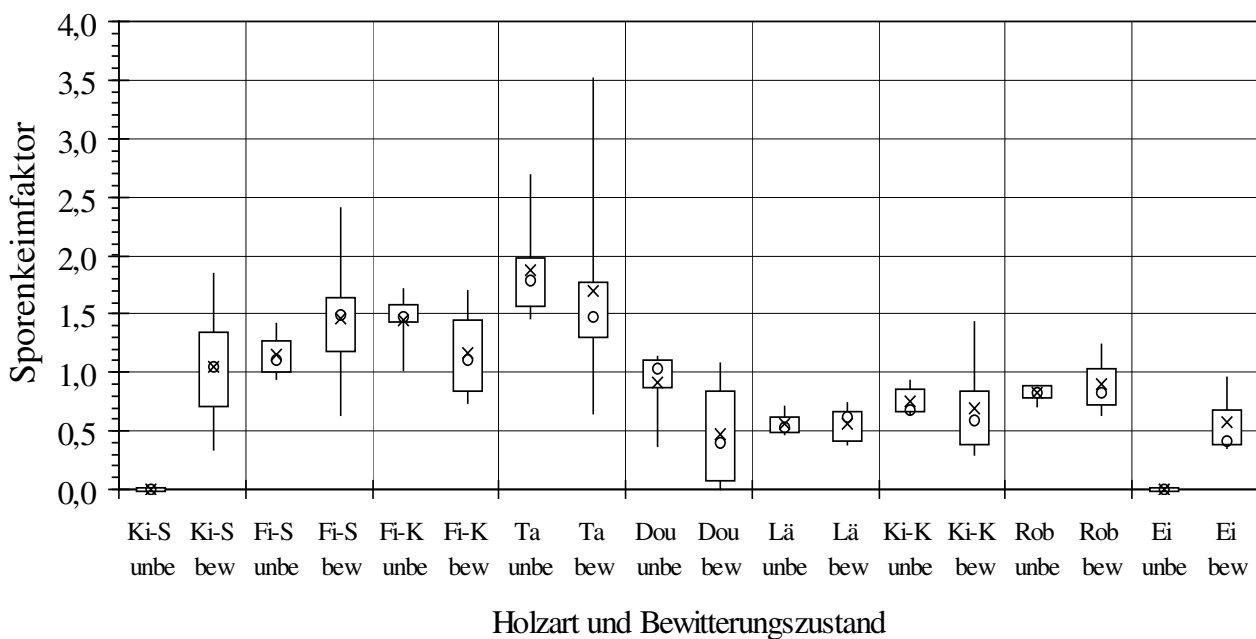


Abb. 49: Sporenkeimfaktoren von *Gloeophyllum sepiarium* auf unbewittertem (unbe) und bewittertem (bew) Holz (n = 6; Ei n = 3)

4.3.3 Holzabbau durch Mycel

Neben der Sporenkeimfähigkeit wurde auch der Abbau der Holzarten vor und nach Bewitterung durch *G. sepiarium*-Mycel untersucht. Damit das Holz in drei Bewitterungszuständen gleichzeitig innerhalb einer Kolleschale geprüft werden konnte, wurden Prüfkörper mit $\frac{1}{4}$ des Volumens aber gleichem Stirnflächen-Volumen-Verhältnis von Standardprüfkörpern verwendet. Nach Untersuchungen von KLEIST (2000) beeinflusst eine Verringerung des Prüfkörpervolumens auf $\frac{1}{4}$ des Standardvolumens den relativen Masseverlust nicht. Dies wurde nochmals mit einigen Holzarten überprüft und ergab nach 12 Wochen mit *Coniophora puteana* für Prüfkörper mit $\frac{1}{4}$ des Standardvolumens ähnliche relative Masseverluste wie bei Standard-Prüfkörpern (DIN EN 113: 1986) nach 16 Wochen (Abb. 50). Daher wurden für die Abbauuntersuchungen mit *G. sepiarium* Prüfkörper in diesem Format verwendet und 12 Wochen geprüft.

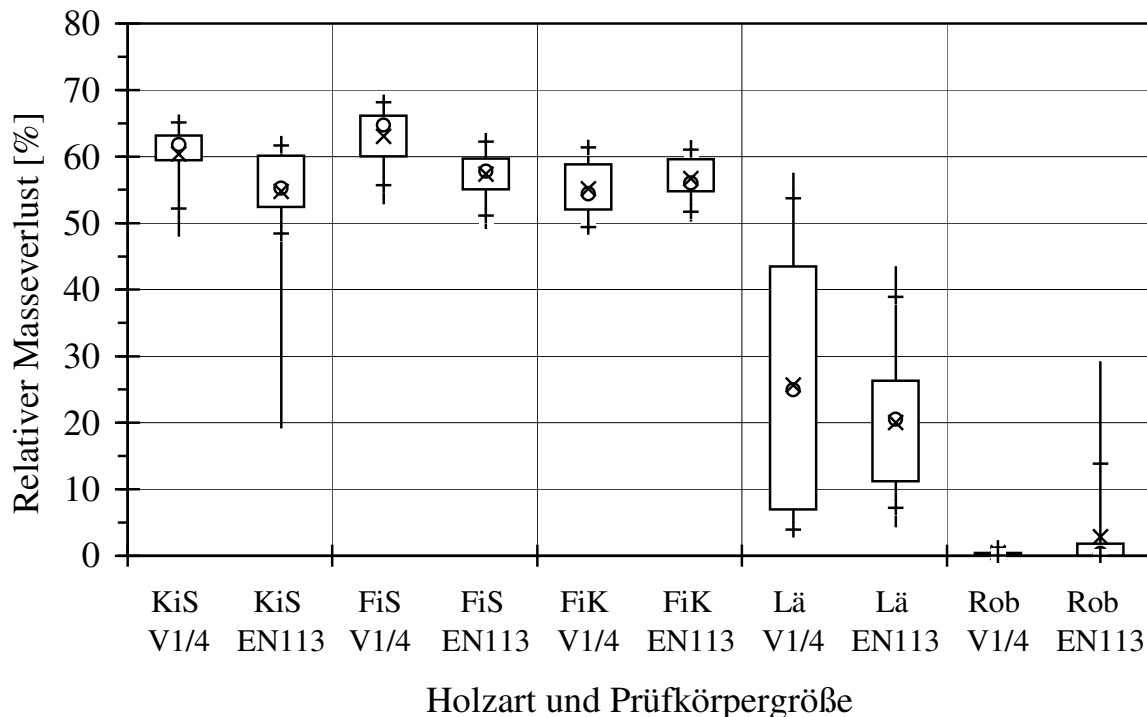


Abb. 50: Relative Masseverluste von Prüfkörpern mit $\frac{1}{4}$ des Standardvolumens (V1/4) nach 12 Wochen und von Prüfkörpern mit Standardvolumen (EN113) nach 16 Wochen Prüfung mit *Coniophora puteana*

Für die Abbauuntersuchungen wurde ein aus dem Freiland isoliertes Mycel von *G. sepiarium* 198 (SCHMIDT ET AL. 2002) und der für Laboruntersuchungen übliche *G. sepiarium* 45 (Stamm FPRL 10E) parallel eingesetzt.

Die Auswertung ergab für beide Pilze teilweise eine erhebliche Streuung der Masseverluste innerhalb einer Holzart. Diese war trotz gleicher Bedingungen auf ein unregelmäßiges

Mycelwachstum in verschiedenen Kolleschalen, aber auch innerhalb einer Kolleschale zurückzuführen.

Da das Abbauvermögen auch von der Holzfeuchte abhängt, wurden die Ausbaufeuchten näher betrachtet (Abb. 51, Abb. 52). Hierbei war festzustellen, dass die Ausbaufeuchten der Prüfkörper innerhalb einer Holzart erhebliche Schwankungen aufwiesen. Da das Holz stets auf Unterlagen positioniert war und somit nicht im direkten Kontakt mit dem Nährboden stand, wurden die hohen Holzfeuchten durch das Pilzmycel selbst hervorgerufen. Extrem hohe Holzfeuchten und Feuchteunterschiede zwischen Prüfkörpern traten speziell bei *G. sepiarium* 198 auf, der dennoch erhebliche Masseverluste verursachte.

Dies wird am Beispiel der Fichte besonders deutlich. Sowohl bei Fichten-Splint als auch bei Fichten-Kern hatte, in der gleichen Kolleschale, direkt bewittertes Holz mit ca. 40 % eine deutlich geringere Feuchte als das übrige Fichtenholz mit teilweise weit über 100 % (Abb. 51). Trotzdem waren diese Hölzer etwa gleichstark abgebaut (Abb. 53). Im Gegensatz dazu lagen die Ausbaufeuchten der Farbkern-Nadelhölzer in Kolleschalen mit *G. sepiarium* 45 in einem sehr engen Bereich. Aber auch hier streuten die Masseverlustwerte genauso breit wie bei stärker schwankenden Holzfeuchten. Aufgrund der genannten Beobachtungen wurden auch die Masseverluste der Prüfkörper mit ungewöhnlich hohen Holzfeuchten in die Auswertung einbezogen.

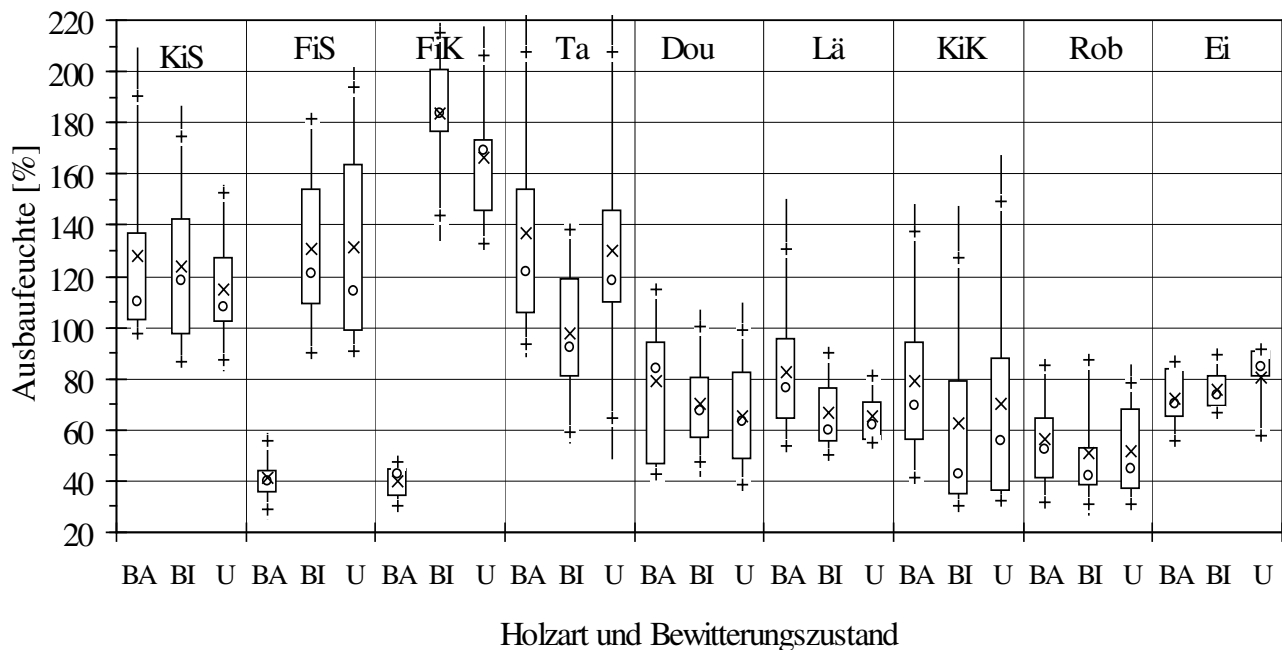


Abb. 51: Ausbaufeuchten der Prüfkörper der Holzarten in drei Bewitterungszuständen (BA = bewitterte Holz-Außenfläche, BI = bewittertes Holz Innenbereich, U = unbewittert) nach 12 Wochen Prüfung mit *Gloeophyllum sepiarium* 198, n = 6 - 9

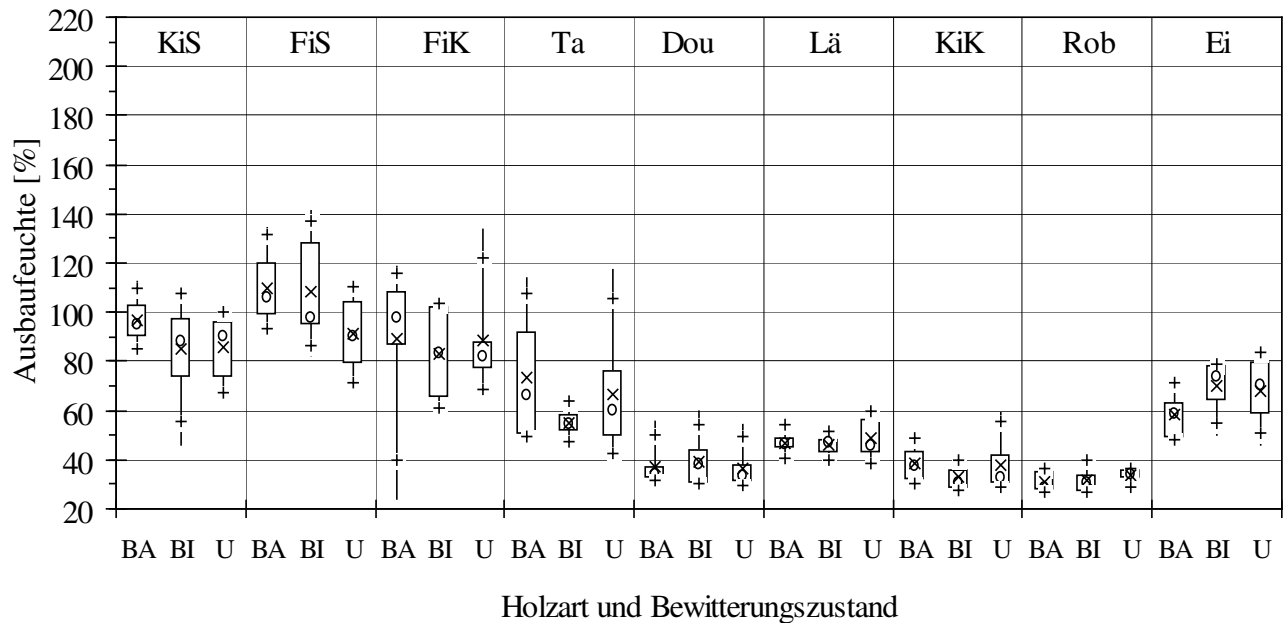


Abb. 52: Ausbaufeuchten der Prüfkörper der Holzarten in drei Bewitterungszuständen (BA = bewitterte Holz-Außenfläche, BI = bewittertes Holz Innenbereich, U = unbewittert) nach 12 Wochen Prüfung mit *Gloeophyllum sepiarium* 45, n = 6 - 9

Aus den Ergebnissen (Abb. 53, Abb. 54) folgende Aussagen abzuleiten:

- Unbewittertes Holz (U) hatte tendenziell geringere relative Masseverluste als Holz, das direkt von bewitterten Oberflächen stammte (BA). Aufgrund der breiten Streuung der Werte waren bei keiner der geprüften Holzarten diese Unterschiede signifikant. Dennoch war interessant, dass eine 4-jährige Bewitterung bei allen Hölzern einen tendenziell stärkeren Abbau bewirkte als an unbewittertem Holz.
- Farbkern-Nadelhölzer wurden unabhängig vom Bewitterungszustand signifikant geringer abgebaut als Fichte.
- Der Masseverlust von bewittertem und unbewittertem Kiefern-Splintholz unterschied sich meist nicht signifikant vom Abbau des Fichtenholzes.
- An unbewittertem Tannenholz verursachten beide Prüfpilze ähnlich geringe Masseverluste wie an Farbkern-Nadelhölzern, obwohl *G. sepiarium* in den Freilanduntersuchungen Tanne am stärksten abbaute.
- Bei Laubhölzern bewirkte *G. sepiarium* erwartungsgemäß keinen nennenswerten Masseverlust.

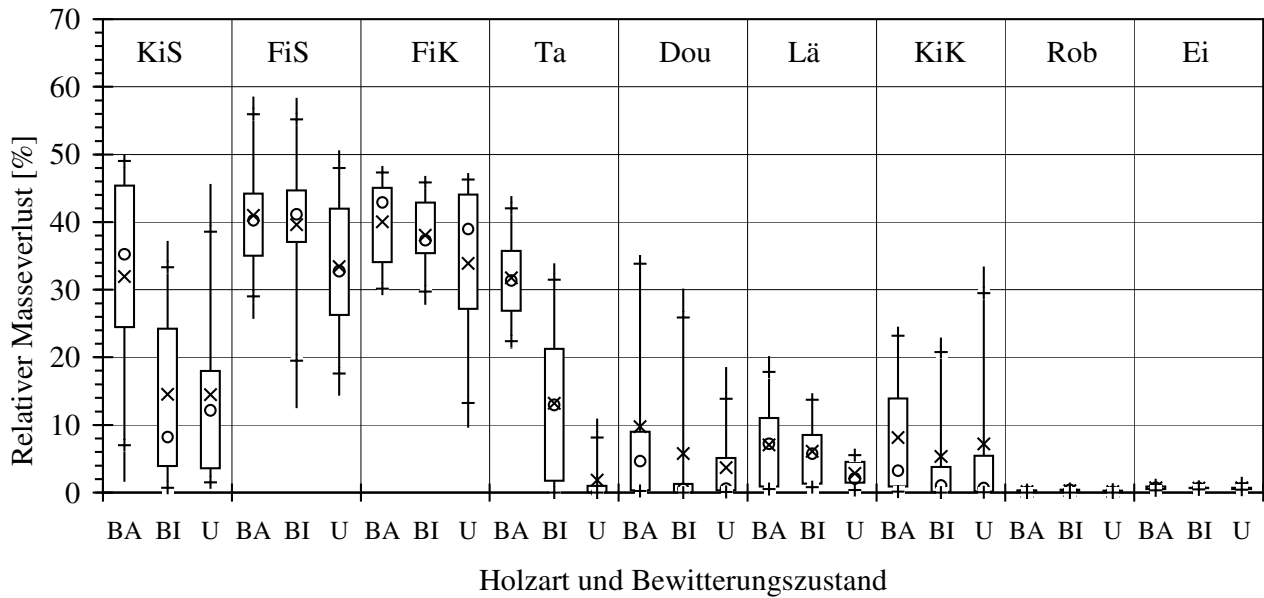


Abb. 53: Relativer Masseverlust der Holzarten (n = 6-9) in unterschiedlichen Bewitterungszuständen (BA = bewitterte Holz-Außenfläche, BI = bewittertes Holz Innenbereich, U = unbewittert) nach Prüfung mit *Gloeophyllum sepiarium* 198 (Freilandisolation)

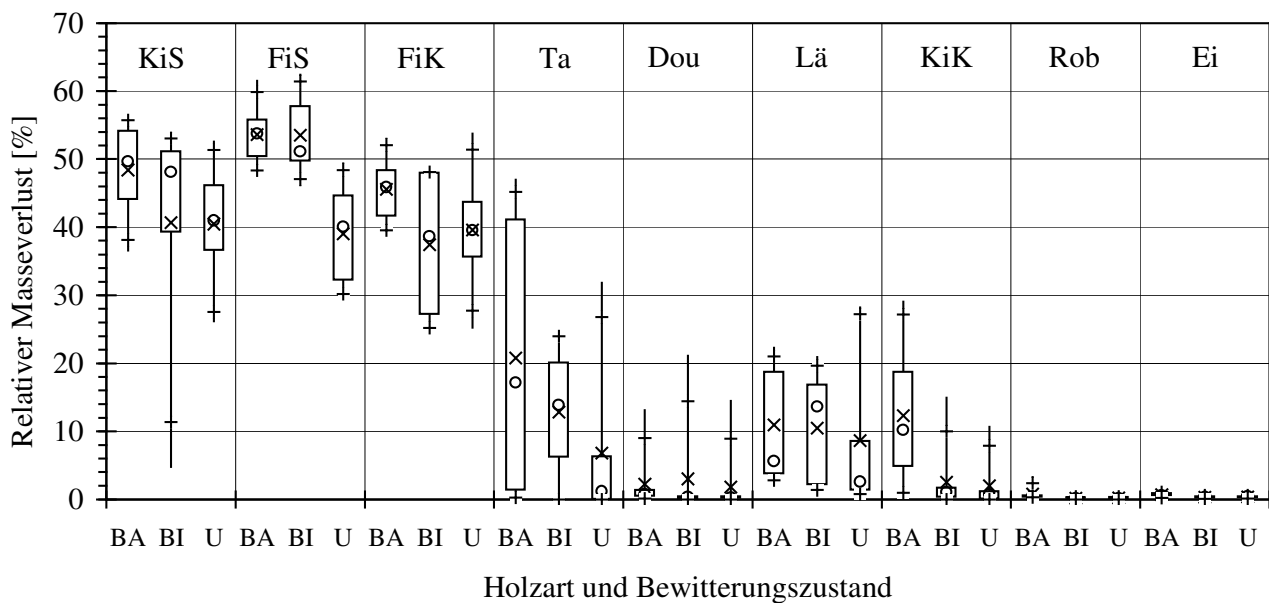


Abb. 54: Relativer Masseverlust der Holzarten (n = 6-9) in unterschiedlichen Bewitterungszuständen (BA = bewitterte Holz-Außenfläche, BI = bewittertes Holz Innenbereich, U = unbewittert) nach Prüfung mit *Gloeophyllum sepiarium* 45 (Laborprüfpilz)

4.4 Vergleich von Labor- und Freilandergebnissen

Zum Vergleich der parallel mit gleichem Material durchgeführten Labor- und Freilanduntersuchungen wurden die relativen Masseverluste und X-Werten aus den Laboruntersuchungen den Dauerhaftigkeitsfaktoren⁶ aus den Freilanduntersuchungen gegenübergestellt.

Die unter realen Bedingungen aufgetretenen Dauerhaftigkeitsunterschiede einiger Holzarten zwischen verschiedenen Expositionen kamen durch die Laborergebnisse jedoch nicht zum Ausdruck.

4.4.1 Vergleich der Ergebnisse aus Laboruntersuchungen mit Basidiomyceten-Monokulturen und Freilanduntersuchungen im Doppellagen-Test

Im Vergleich zu Eichenholz hatten Douglasie und Kiefern-Kern im Labor signifikant höhere relative Masseverluste und höhere X-Werte (Tab. 48).

Tab. 48: Relative Masseverluste und X-Werte nach Laboruntersuchungen mit Basidiomyceten-Monokulturen, Dauerhaftigkeitsfaktoren nach fünf Jahren Doppellagen-Test

Holzart	Relative Masseverluste nach Laboruntersuchungen mit Basidiomyceten-Monokulturen	X-Wert nach Laboruntersuchungen mit Basidiomyceten-Monokulturen	Dauerhaftigkeitsfaktor nach fünf Jahren Freilanduntersuchungen Doppellagen-Test
Fichten-Splint	57	1,05	0,7
Fichten-Kern	57	1,04	0,8
Tanne	49	0,90	0,5
Douglasie	30	0,72	4,1
Lärche	20	0,57	> 5
Kiefern-Kern	20	0,67	4,4
Robinie	3	0,05	> 5
Eiche	3	0,05	3,9

⁶ Dauerhaftigkeitsfaktoren sind Relativwerte, die nach Freilanduntersuchungen aus dem Verhältnis der Abbaugeschwindigkeiten der Referenzholzart zur Prüfholzart berechnet wurden. Auch nach den Laboruntersuchungen wurden die relativen Masseverluste der Prüf- und Referenzholzart ins Verhältnis gesetzt und ein Relativwert X ermittelt.

Demnach waren Douglasie und Kiefern-Kern weniger dauerhaft als Eiche. Dagegen erreichten alle drei Holzarten im Freiland ähnliche Dauerhaftigkeitsfaktoren (Tab. 48). Daher würde nach Laborprüfung Douglasie und Kiefern-Kern wesentlich schlechter eingestuft als Eiche, obwohl sie sich unter Freilandbedingungen ähnlich dauerhaft erwiesen.

Lärche wurde im Vergleich zu Eiche nach Laboruntersuchungen als weniger dauerhaft beurteilt und erreichte höhere Masseverluste und X-Werte (Tab. 48). Dagegen war der Dauerhaftigkeitsfaktor von Lärche nach fünf Jahren im Doppellagen-Test höher als für Eiche und Lärche war somit dauerhafter.

Tanne war im Doppellagen-Test weniger dauerhafter als Fichte. Im Gegensatz dazu hatte Tanne im Labor einen geringeren Masseverlust und X-Wert und war danach dauerhafter als Fichte zu beurteilen (Tab. 48).

4.4.2 Vergleich der Ergebnisse aus Laboruntersuchungen mit Basidiomyceten-Monokulturen und Freilanduntersuchungen im Erdkontakt

Im Labor wurden für Eiche nur gering Masseverluste und X-Werte ermittelt und sie wurde als sehr dauerhaft klassifiziert. Im Erdkontakt unter Freilandbedingungen wurde sie dagegen stark abgebaut und hatte somit einen geringen Dauerhaftigkeitsfaktor. Im Vergleich dazu wurden im Labor für Farbkern-Nadelhölzer höhere Masseverluste und X-Werte als für Eiche bestimmt, die Dauerhaftigkeitsfaktoren aus den Freilanduntersuchungen waren jedoch ähnlich oder höher (Tab. 49).

Tab. 49: Relative Masseverluste und X-Werte nach Laboruntersuchungen mit Basidiomyceten-Monokulturen, Dauerhaftigkeitsfaktoren nach fünf Jahren Erdkontakt

Holzart	Relative Masseverluste nach Laboruntersuchungen mit Basidiomyceten-Monokulturen	X-Wert nach Laboruntersuchungen mit Basidiomyceten-Monokulturen	Dauerhaftigkeitsfaktor nach fünf Jahren Freilanduntersuchungen im Erdkontakt
Fichten-Splint	57	1,05	1
Fichten-Kern	57	1,04	1,2
Tanne	49	0,90	1,1
Douglasie	30	0,72	1,8
Lärche	20	0,57	2,5
Kiefern-Kern	20	0,67	1,6
Robinie	3	0,05	2,9
Eiche	3	0,05	1,5

4.4.3 Vergleich von TMC-Ergebnissen und Freilandergebnissen aus dem Erdkontakt

Die Böden aus den Freilanduntersuchungen bildeten unter Laborbedingungen ein anderes Abbaupotential aus als im Freiland. Beispielsweise wurden im Freiland am Standort Rhön nur geringe Abbauwerte durch Moderfäule erzielt. Unter Laborbedingungen wurde das Holz in diesem Boden jedoch besonders stark durch Weißfäule abgebaut. Dadurch erreichte beispielsweise Lärche einen höheren relativen Masseverlust als Douglasie und Kiefern-Kern, die aber im Freiland weniger dauerhaft waren (Tab. 50).

Andererseits trat in den anderen von Weißfäule dominierten Freilandböden im Labor ausschließlich Moderfäule auf. Hierdurch wurden insgesamt Robinie und Lärche, die im Freiland die höchsten Dauerhaftigkeitsfaktoren erreichten, stärker abgebaut als Douglasie und Kiefern-Kern.

Auch für Eiche wurden in den TMCs höhere Masseverluste und X-Werte als bei Fichte, Tanne und Kiefern-Splint festgestellt. Gegenüber diesen Holzarten war im Freiland jedoch die Dauerhaftigkeit von Eiche besser (Tab. 50).

Tab. 50: Relative Masseverluste und X-Werte nach Laboruntersuchungen im TMC, Dauerhaftigkeitsfaktoren nach fünf Jahren Erdkontakt

Holzart	Relative Masseverluste nach Laboruntersuchungen im TMC	X-Wert nach Laboruntersuchungen im TMC	Dauerhaftigkeitsfaktor nach fünf Jahren Freilanduntersuchungen im Erdkontakt
Fichten-Splint	14,93	1,13	1,0
Fichten-Kern	14,96	1,13	1,2
Tanne	12,33	0,93	1,1
Douglasie	10,05	0,76	1,8
Lärche	12,07	0,91	2,5
Kiefern-Kern	10,35	0,78	1,6
Robinie	11,22	0,85	2,9
Eiche	17,14	1,29	1,5

5 DISKUSSION

Die Labor- und Freilanduntersuchungen lieferten zahlreiche Ergebnisse, die im Hinblick auf die zentralen Zielsetzungen der Arbeit interpretiert und diskutiert werden. Dabei wurde nach folgenden Schwerpunkten vorgegangen:

- Durchführung, Bewertung und Auswertung von Dauerhaftigkeitsuntersuchungen im Freiland
- Dauerhaftigkeitsergebnisse aus Laboruntersuchungen
- Einfluss der Herkunft auf die Dauerhaftigkeit von Holz
- Einfluss des Standorts auf den Abbau und die Dauerhaftigkeit von Holz im Freiland
- Einfluss der Gebrauchsklasse auf den Abbau und die Dauerhaftigkeit von Holz im Freiland
- Zusammenhang zwischen Prüfkörperdimension und Abbau von Holz außerhalb des Erdkontakts
- Holzbesiedlung und -abbau durch *Gloeophyllum sepiarium*
- Vergleich von Labor- und Freilanduntersuchungen

5.1 Bestimmung der Dauerhaftigkeit im Freiland

5.1.1 Freilandprüfung von Holz ohne Erdkontakt

Zur Freilandprüfung der natürlichen Dauerhaftigkeit ohne Erdkontakt wurde der Doppellagen-Test verwendet. Auf Grundlage der Ergebnisse und Erfahrungen aus Freilanduntersuchungen mit Holz ohne Erdkontakt (Kapitel 2.5) wurde der Doppellagen-Test als verbesserte Prüfmethode entwickelt.

Eine wichtige Anforderung an Freilanduntersuchungen ist ein schneller Befall und Abbau der Prüfkörper. Im Vergleich zum Lap-Joint-Test (ENV 12037: 1996) wurde diese Anforderung vom Doppellagen-Test besser erfüllt, da bereits im ersten Jahr Tanne, Fichte und Kiefern-Splint durch holzerstörende Pilze angegriffen wurden. Deutlich längere Zeiträume ergaben sich bei einer umfangreichen Studie zur Eignung des Lap-Joint-Test. Hierbei wurde an Kiefern-Splint erst nach 2,5 Jahren in Horstwalde (Deutschland) und nach 2 Jahren in Wien, an Fichte nach 2 Jahren in Horstwalde und nach 3 Jahren in Wien der erste Abbau festgestellt (GRINDA ET AL. 2001).

Mögliche Ursachen für den schnelleren Befall und Abbau im Doppellagen-Test sind die effektivere Wasserfalle (versetzt angeordnete doppelte Lage der Prüfkörper, Abb. 6) und das größere Volumen des geschlossenen Holzdecks. Da mit zunehmender Probenquerschnittstiefe die jahresdurchschnittliche Holzfeuchte zunimmt (MEIERHOFER und SELL 1979), wurden durch die kompakte Prüfkörperanordnung im Doppellagen-Test günstigere Keim- und Abbaubedingungen für holzerstörende Pilze geschaffen als in den einzeln exponierten Lap-Joints. Auch Feuchtemessungen von

MILITZ ET AL. (1998) sowie MILITZ und BLOOM (2000) zeigten, dass unbeschichtete Lap-Joints in mitteleuropäischem Klima zu schnell austrocknen und dadurch langfristig keine optimalen Bedingungen für die Entwicklung von holzabbauenden Pilzen bestehen bleiben. Auch GABY und DUFF (1978) untersuchten verschiedene Verbindungen von Holzbauteilen. Dabei waren die Überlappungsbereiche mit langanhaltenden hohen Holzfeuchten anfälliger gegenüber holzzerstörenden Pilzen als schneller austrocknende Bauteilverbindungen.

Zu berücksichtigen ist aber auch, dass der Befall von Lap-Joints möglicherweise erst spät erkannt wird. Bei Untersuchungen von MOLNAR ET AL. (1996) begann der Abbau nicht immer im Überlappungsbereich, sondern vorzugsweise in den 38 mm dicken Prüfkörperenden. Dort bleibt er länger unerkannt und ist erst sehr viel später zu bewerten als in den 25 mm dicken Prüfkörpern des Doppellagen-Tests. Aufgrund der geringen Pilzaktivität im Überlappungsbereich von Lap-Joints empfehlen SAILER ET AL. (1999), über einfachere Prüfkörperformate nachzudenken. Die eigenen Untersuchungen zum Einfluss der Prüfkörperdimension haben ebenfalls gezeigt, dass mit zunehmender Querschnittsgröße auch die Anzahl der Prüfkörper mit von außen unerkannter Innenfäule größer wurde (Tab. 43, S. 107).

5.1.2 Bewertung von Freilanduntersuchungen

In den Freilanduntersuchungen wurde die Stärke des Holzabbaus der Prüfkörper mit dem Einstich-Test bewertet. Dabei wird der biologisch verursachte Festigkeitsverlust des Holzes mit einem Messer geprüft. Der Abbaugrad der Prüfkörper wurde nach der Bewertungsskala der DIN EN 252 (1990) von 0 (kein Abbau) bis 4 (Prüfkörper bricht) eingestuft (Tab. 12). Hierbei wird auf den bekannten Zusammenhang zwischen Masseverlust und Festigkeitsverlust zurückgegriffen (TRENDELENBURG 1940, v. PECHMANN und SCHALE 1950, HENNINGSSON 1967, WILCOX 1978, RUDDICK 1986, CURLING ET AL. 2002), um die Standdauer der Prüfkörper zu bestimmen.

Der Einstich-Test wird gemäß DIN EN 252 (1990) für Holz im Erdkontakt und gemäß ENV 12037 (1996) für Holz außerhalb des Erdkontakts (Lap-Joints) verwendet. Häufig wird die Subjektivität dieser Bewertungsmethode kritisiert. Als Alternativen hierzu werden beispielsweise Prüfungen zur Ermittlung der Druck-, Biege- oder Torsionsfestigkeiten vorgeschlagen (MILITZ ET AL. 1996, NICHOLAS und CRAWFORD 2003). Einen Überblick zu zerstörungsfreien Methoden für die Beurteilung von Holzkonstruktionen geben ROSS und PELLERIN (1991).

Auf Grundlage der Erfahrungen aus der vorliegenden Arbeit wurden zwei Trainingsseminare der COST E 37 "Implementation and Evaluation of Field Tests to Determine the Durability of Wood" durchgeführt. Dabei wurden die Vor- und Nachteile verschiedener Bewertungsmethoden hin-

sichtlich relevanter Kriterien mit europäischen Wissenschaftlern erörtert. Die Ergebnisse dieser Diskussion sind in Tab. 51 dargestellt (AUGUSTA und RAPP 2004).

Tab. 51: Vor- und Nachteile verschiedener Methoden zur Bewertung von Freilanduntersuchungen

Kriterium	“Einstech-Test”	Statischer E-Modul	Dynamischer E-Modul
Bewertung	Subjektiv, kann aber durch Übung, Erfahrung und Schulung objektiver gestaltet werden	Objektiv, wenn von einem erfahrenen Wissenschaftler durchgeführt	Objektiv, wenn von einem erfahrenen Wissenschaftler durchgeführt
Kosten	Geringe Gerätekosten (Messer), Training des Bewerter notwendig	Höhere Gerätekosten als für den Einstech-Test, Training des Bewerter notwendig	Hohe Gerätekosten (Bsp. Grindo-Sonic 16250 €), Training des Bewerter notwendig
Handhabung	Schnell und einfach	Zeitaufwendig, meist Geräte für Laboruntersuchungen, die im Freiland nicht ohne weiteres einsetzbar sind	Zeitaufwendig, meist Geräte für Laboruntersuchungen, die im Freiland nicht ohne weiteres einsetzbar sind
Einfluss der Holzfeuchte auf die Messung	Holzfeuchte muss nicht eingestellt, aber berücksichtigt werden	Holzfeuchte muss über Fasersättigung eingestellt werden	Holzfeuchte muss über Fasersättigung eingestellt werden
Einfluss der Materialart und Rohdichte	Wird durch geschulten Bewerter während der Erhebung berücksichtigt	Muss durch Initialwerte berücksichtigt werden	Muss durch Initialwerte berücksichtigt werden
Bestimmung des Fäuletyps	Visuell anhand des Bruchbildes während des Einstechens durch den Bewerter möglich	Nicht möglich durch E-Modulmessung	Nicht möglich durch E-Modulmessung
Einfluss der Lage der Fäulnis auf die Messung	Kein Einfluss, Bewertung erfolgt immer an der am stärksten abgebauten Stelle	Starker Einfluss bei Abweichungen von einer mittleren Lage	Einfluss bei Abweichungen von einer mittleren Lage
Einfluss der Form der Fäulnis auf die Messung	Durch den Bewerter erkennbar und zu berücksichtigen	Durch die Messung nicht erkennbar, sollte aber berücksichtigt werden	Durch die Messung nicht erkennbar, sollte aber berücksichtigt werden
Erkennung früher Befallsstadien	Sehr gut erkennbar	Prinzipiell erkennbar, wird jedoch durch andere Phänomene wie z. B. Risse überlagert	Prinzipiell erkennbar, wird jedoch durch andere Phänomene wie z. B. Risse überlagert
Erkennung später Befallsstadien	Sehr gut erkennbar	Sehr gut erkennbar	Erkennbar, aber auch Überschneidungen mit Vorstufen möglich
Erkennung von Innenfäule	Möglich bei geeigneter Püfkörperform	Möglich bei geeigneter Prüfkörperform	Möglich bei geeigneter Prüfkörperform
Exaktes Versagenskriterium	Subjektiv	Objektives Kriterium in Abhängigkeit von der Lage der Fäulnis und der Anfangsfestigkeit	Kein objektives Kriterium für das derzeit bestehende System

Hieraus kann gefolgert werden:

- Für die Bewertung von Freilanduntersuchungen sind geschulte und erfahrene Bewerter notwendig, die nach klar abgestimmten Kriterien vorgehen.
- Der Einstech-Test ist aufgrund der einfachen Handhabung, seiner großen Aussagekraft zu wichtigen Aspekten, wie Fäuletyp, dessen Form und Lage, und seiner Sensibilität in frühen Befallsstadien die derzeit geeignetste Methode zur Bewertung von Dauerhaftigkeitsuntersuchungen im Freiland. Zum gleichen Schluss kommen auch WILCOX (1983) und MORRELL ET AL. (1986). In Verbindung mit einer Festigkeitsprüfung für ein objektives Ausfallkriterium und dem kontinuierlichen Einsatz des gleichen Bewertungsteams während einer Untersuchung kann die Subjektivität dieser Methode weitgehend verringert werden.

In diesem Zusammenhang waren die Bewertungssysteme der DIN EN 252 (1990) und der ENV 12037 (1996) kritisch zu überdenken. Sie enthalten zwar typische Beispiele für die Zuordnung der einzelnen Abbaugrade, geben jedoch nicht immer exakt definierte Grenzen an. Diese sind jedoch dringend notwendig, um eine einheitliche Bewertung von Freilanduntersuchungen zu erreichen. Ein Vorschlag für eine präzisere Abgrenzung der Abbaugrade wurde mit dieser Arbeit (Tab. 12) vorgelegt.

Dieser unterscheidet sich vom Bewertungssystem für Lap-Joints (ENV 12037: 1996; CEN/TS 12037: 2003) durch die Anzahl der Bewertungsstufen. Der Abbau an Lap-Joints wird mit einem 7-stufigen System beurteilt, für Prüfkörper aus dem Doppellagen-Test wurde ein 5-stufiges System verwendet (Tab. 12). Die zusätzlichen Stufen 2+ und 3+ im Lap-Joint System erwiesen sich in der praktischen Umsetzung und Auswertung problematisch. Einerseits werden für diese Stufen keine klaren Abgrenzungen definiert und unterliegen somit einem starken subjektiven Einfluss. Sie werden vergeben, wenn der Abbau annähernd die Folgestufe erreicht hat, dieser aber noch nicht zugeordnet werden kann. Andererseits lassen sich mathematische Größen (Mittelwert, Median usw.) nicht mit 2+ und 3+ berechnen.

Auch das Versagenskriterium wird auf unterschiedliche Weise festgestellt. Ein Lap-Joint fällt aus, wenn er sich einfach mit den Händen durchbrechen lässt (ENV 12037: 1996; CEN/TS 12037: 2003). Erdkontaktprüfkörper sollen bei einem einheitlichen leichten Schlag des Bewerter brechen (DIN EN 252: 1990). Hingegen wurde die Standdauer der Freilandprüfkörper in dieser Arbeit mit einer Drei-Punkt-Biegeprüfung mit einer konstanten Kraft von 12 N/mm^2 ermittelt. Hierdurch wurde für alle Prüfkörper ein einheitliches Versagenskriterium geschaffen.

Das vorgeschlagene Bewertungssystem wurde im Rahmen der COST E 37 Trainingsseminare von erfahrenen Wissenschaftlern diskutiert, angewendet und als praxistauglich beurteilt.

5.1.3 Auswertung der Freilandergebnisse

Auf Grundlage der in den Freilanduntersuchungen ermittelten Abbaugrade wurden die Abbaugeschwindigkeiten der Holzart berechnet (Formel 7, S. 43). Die DIN EN 252 (1990) sieht dagegen die Berechnung eines mittleren Abbaugrads vor. Hierdurch wird die Abbaudynamik während der Expositionszeit jedoch nicht ausreichend beschrieben. Dies liegt in der Berechnung des mittleren Abbaugrads begründet. Fällt ein Prüfkörper aus, erhält er den Abbaugrad 4. Obwohl dieser Prüfkörper nicht mehr vorhanden ist, geht er in alle folgenden Mittelwertberechnungen weiterhin immer mit dem Abbaugrad 4 ein. Somit wird einem frühzeitig wie auch einem später ausgefallenen Prüfkörper im restlichen Verlauf der Untersuchung immer der Abbaugrad 4 zugeordnet, obwohl der später ausgefallene Prüfkörper langsamer abgebaut wurde. Der mittlere Abbaugrad einer Holzart gibt daher den Abbauprozess nicht ausreichend wieder.

Dagegen gibt die Abbaugeschwindigkeit den Abbaugrad an, mit dem ein Prüfkörper während der gesamten vergangenen Expositionszeit abgebaut wurde. Fällt ein Prüfkörper frühzeitig aus, ist seine Abbaugeschwindigkeit höher, als die eines später ausgefallenen Prüfkörpers. Dadurch wird der tatsächliche Ausfallzeitpunkt jedes Prüfkörpers in die Berechnung der mittleren Abbaugeschwindigkeit einer Holzart integriert.

Mit Hilfe dieser Abbaugeschwindigkeiten wurden für die Holzarten Dauerhaftigkeitsfaktoren berechnet (Formel 11, S. 46). Die derzeit gültigen Dauerhaftigkeitsangaben der DIN EN 350-2 (1994) beruhen auf einer Klassifizierung nach der mittleren Standdauer. Die mittlere Standdauer kann jedoch erst berechnet werden, wenn alle Prüfkörper den Abbaugrad 4 erreicht haben. Dafür sind sehr lange Zeiträume (> 5 Jahre) notwendig, die im Rahmen dieser Arbeit und in vielen anderen Untersuchungen häufig nicht realisierbar sind. Deshalb schlugen LINK und DE GROOT (1990) zur Auswertung von Freilanduntersuchungen die mediane Standdauer vor, da diese früher als der arithmetische Mittelwert berechnet werden kann. Aber auch die mediane Standdauer erreichten in den eigenen Untersuchungen nur einzelne Holzarten an einigen Standorten (Anhang 23) und waren somit zum Zeitpunkt der Auswertung noch nicht für eine Dauerhaftigkeitsklassifizierung zu verwenden. Dagegen ermöglichten die Dauerhaftigkeitsfaktoren in Verbindung mit dem Abbaufortschritt eine vorläufige Einschätzung der Dauerhaftigkeit. Der Abbaufortschritt sagt aus, wie stark der Holzabbau nach Befall voranschreitet. Hieraus können Schlussfolgerungen zur Dynamik und Entwicklung des Abbaus unter den gegebenen Bedingungen gezogen werden. Als wertvolle Zusatzinformationen zur medianen Standdauer regten SMITH und ORSLER (1994) die Berechnung des „Lower Quartile Value“ (LQV, Zeitpunkt an dem 25 % der Prüfkörper ausgefallen sind) und des „Lower Percentile Value“ (LPV, Zeitpunkt an dem 10 % der Prüfkörper ausgefallen sind) an. In Abhängigkeit vom Einsatzbereich eines Holzbauteils, zum Beispiel als Brückenpfeiler,

kann der LPV ein wichtiges Entscheidungskriterium für die Holzartenwahl darstellen. Aus Frühausfällen einzelner Prüfkörper ist jedoch keine Aussage zur Dauerhaftigkeit einer Holzart zu treffen. Im Gegensatz zum LQV und LPV kann der Abbaufortschritt Informationen zum Abbauverlauf liefern, bevor die Prüfkörper ausgefallen sind.

Die Dauerhaftigkeit wird durch einen Relativwert aus dem Verhältnis der mittleren Standdauer der Prüfholzart zur Referenzholzart ausgedrückt (DIN EN 350-1: 1994). Für die eigenen Freilanduntersuchungen wurde ausschließlich Kiefern-Splint als Referenzholzart verwendet. Die DIN EN 350-2 (1994) sieht für Freilanduntersuchungen Kiefern-Splint und Buche als Referenzholzart vor. In Laboruntersuchungen wird Kiefern-Splint als Referenzholzart für Nadelhölzer und Buche als Referenzholzart für Laubhölzer eingesetzt (DIN EN 350-2: 1994). Für Freilanduntersuchungen erscheint diese Trennung nicht sinnvoll, da bei Laub- und Nadelhölzern von einem unterschiedlichen Resistenzverhalten gegenüber den Fäuletypen auszugehen ist. Die Verwendung von zwei Referenzholzarten kann zu abweichenden Aussagen über die realen Verhältnisse führen. Das folgende Beispiel soll dies verdeutlichen.

Im Erdkontakttestfeld am Standort Stuttgart waren von den Laubhölzern Eiche und von den Farbkern-Nadelhölzern Kiefern-Kern am stärksten abgebaut. Daher werden diese beiden Holzarten im Rechenbeispiel als Referenzholzarten verwendet. Der üblichen Vorgehensweise folgend, werden die Relativwerte zwischen Eiche und Robinie sowie zwischen Kiefern-Kern und Lärche gebildet. Für Robinie wird dabei ein höherer Dauerhaftigkeitsfaktor berechnet als für Lärche (Tab. 52). Im Vergleich zu Lärche ist demnach Robinie als dauerhafter zu beurteilen.

Tab. 52: Dauerhaftigkeitsfaktoren von Robinie und Lärche bei Verwendung von Eichen- und Kiefern-Kern als Referenzholzart nach fünf Jahren Erdkontakt am Standort Stuttgart

Referenzholzart	Prüfholzart	
	Robinie	Lärche
Eiche	2,1	2,1
Kiefern-Kern	1,6	1,6

Eine andere Aussage ergibt sich, wenn nur eine Referenzholzart für Robinie und Lärche verwendet wird. Hierbei sind die Relativwerte für beide Holzarten gleich (Tab. 52). Das entspricht den realen Verhältnissen, da für Robinie und Lärche nach fünf Jahren Erdkontakt gleiche Abbaugeschwindigkeiten festgestellt wurden (Abb. 30). Beide Holzarten waren überwiegend von Moderfäule befallen (Tab. 33), die Laubhölzer bevorzugt abbaut. Nach fünf Jahren Erdkontakt war die Dauerhaftigkeit von Robinie und Lärche unter den gegebenen Standortbedingungen gleich. Das

kommt jedoch nicht zum Ausdruck, wenn unterschiedliche Referenzholzarten verwendet werden. Die überwiegend von Weißfäule befallene Referenzholzart Eiche wurde deutlich stärker abgebaut als Kiefern-Kern, das zum größeren Teil von Moderfäule befallen war. Hieraus folgt das unterschiedliche Verhältnis zu den gleichstark abgebauten Prüfhölzern Lärche und Robinie.

5.2 Dauerhaftigkeit von Holz in Laboruntersuchungen

In den Basidiomyceten- und TMC-Untersuchungen dieser Arbeit wurde der Relativwert aus den relativen Masseverlusten der Prüf- und Referenzhölzer berechnet und zur Dauerhaftigkeitsklassifizierung gemäß DIN EN 350-1 (1994) verwendet.

Auf Grundlage der Dauerhaftigkeitsklassen werden die eigenen Ergebnisse den Angaben der DIN EN 350-2 (1994) und den Literaturangaben gegenübergestellt (Tab. 53). Einen Überblick über die Resistenz von Holzarten gegenüber Basidiomyceten hat BELLMANN (1988 b) erstellt. Seine umfangreichen Literaturrecherchen sollen hier nicht wiederholt werden, daher sind die Ergebnisse in Tab. 53 zusammengefasst. Diese Tabelle enthält ebenfalls die Ergebnisse aus einem europäischen Gemeinschaftsprojekt. Hierbei wurden parallel in fünf Instituten Basidiomyceten- und TMC-Untersuchungen durchgeführt (M&T-Projekt No. MAT1-CT-940061: 1998).

Tab. 53: Dauerhaftigkeitsklassen ermittelt nach Basidiomyceten- und TMC-Untersuchungen verglichen mit Angaben nach BELLMANN (1998) (k. A. = keine Angabe)

Holzart	Dauerhaftigkeitsklassen nach Untersuchungen mit Basidiomyceten-Monokulturen			Dauerhaftigkeitsklassen nach TMC - Untersuchungen		Dauerhaftigkeitsklassen gemäß DIN EN 350-2 (1994)
	eigene Untersuchungen	nach BELLMANN (1988 b)	M&T Projekt (1998)	eigene Untersuchungen	M&T Projekt (1998)	
Kiefern-Splint	5	5	5	5	5	5
Tanne	5	4	k. A.	5	k. A.	4
Fichte	5	4	5	5	5	4
Douglasie	3-4	3-4	3-5	4	3-4	3-4
Lärche	3-4	3-4	3-4	5	3-4	3-4
Kiefern-Kern	4	3-4	4-5	4	k. A.	3-4
Robinie	1	1-2-(3)	2-(3)	4	2	1-2
Eiche	1	2	1-(2)	5	3-4	2

Nadelhölzer ohne Farbkern

Fichten-Splint, Fichten-Kern und Tanne wurden nach beiden Prüfverfahren (Basidiomyceten- und TMC-Untersuchungen) überwiegend als nicht dauerhaft eingestuft. Im Gegensatz zu Fichten-Splint stimmten für Fichten-Kern und Tanne die eigenen Ergebnisse nicht mit den Angaben der EN 350-2 (1994) und der von BELLMANN (1988 b) ausgewerteten Literatur überein. Danach wurden beide Holzarten als wenig dauerhaft klassifiziert. Dagegen bestätigten Untersuchungen von VIITANEN (1997) und das M&T-Projekt (1998) die eigenen Ergebnisse. Diese stufen Fichte als nicht dauerhaft ein. Dabei war jedoch nicht angegeben, ob es sich um Kern und Splint handelte.

Farbkern-Nadelhölzer

Für Douglasien- und Kiefern-Kernholz wurden übereinstimmend die Dauerhaftigkeitsklassen 3 – 4 in den eigenen Laboruntersuchungen, der EN 350-2 (1994) und der Literatur (BELLMANN 1988 b, VIITANEN 1997) festgestellt.

Auch für Lärchen-Kernholz stimmten die Ergebnisse aus eigenen Untersuchungen mit Basidiomyceten-Monokulturen, der Literatur (BELLMANN 1988 b) und den in der DIN EN 350-2 (1994) festgelegten Dauerhaftigkeitsklassen überein. Zur gleichen Aussage kam VIITANEN (1997) für äußeres Kernholz von *Larix decidua*. Nach Untersuchungen von RENNERFELT (1956), WÄLCHLI (1973), RAPP und PEEK (1996) war Lärche ebenfalls als mäßig bis wenig dauerhaft zu bewerten.

Nach den eigenen TMC-Untersuchungen wurde Lärche als nicht dauerhaft eingestuft. Damit war Lärche eine Dauerhaftigkeitsklasse schlechter als in DIN EN 350-2 (1994) angegeben und im Vergleich zu Kiefern-Kern weniger dauerhaft. Auch EDLUND (1998) beschreibt einen stärkeren Abbau von Lärchen- gegenüber Kiefern-Kernholz in TMCs mit Erde aus Freilandversuchsfeldern. Sie führt diese Beobachtung auf die unterschiedliche Resistenz dieser Holzarten gegenüber *Leucogyrophana pinastri* zurück, der in diesem Boden besonders aktiv war. Im Gegensatz dazu wurde im Ringversuch, bei Verwendung eines definierten Bodens (John Innes No. 2), kein Widerspruch zur EN 350-2 (1994) gefunden. NILSSON (1997) klassifizierte Lärche nach TMC-Untersuchungen in Komposterde ebenfalls als wenig dauerhaft. Hieraus wird der Einfluss der spezifischen Organismenzusammensetzung des Bodens auf die Dauerhaftigkeit deutlich.

Laubhölzer

Für Robinie wurde in Untersuchungen mit Basidiomyceten-Monokulturen die Dauerhaftigkeitsklasse 1 ermittelt. Dieses Ergebnis lag im Rahmen der in EN 350-2 (1994) angegebenen Dauerhaftigkeitsklasse 1 bis 2. Versuche von PESZLEN ET AL. (2000) ergaben ebenfalls für

unbehandelte Robinie in Abhängigkeit von der Lage im Stamm eine Dauerhaftigkeitsklasse 1 oder 2. In den Literaturangaben von BELLMANN (1988) und im M&T-Projekt (1998) wurde für Robinie überwiegend die Dauerhaftigkeitsklasse 2 angegeben. Hierbei wurde in zwei Untersuchungen Robinie sogar die Dauerhaftigkeitsklasse 3 zugeordnet. Ob möglicherweise die Verwendung von juvenilem Holz diese Ergebnisse verursachte, war nicht nachzuvollziehen.

In den eigenen Untersuchungen mit Basidiomyceten–Monokulturen wurde Eiche (*Quercus petraea*) als sehr dauerhaft bewertet. Zum gleichen Ergebnis kamen VAN ACKER ET AL. (1999) für *Quercus robur* und GUILLEY ET AL. (2004) für *Quercus petraea*. Auch im M&T-Projekt (1998) wurde in vier von fünf Instituten die Dauerhaftigkeitsklasse 1 für Eiche ermittelt. Im Vergleich dazu ist in der DIN EN 350-2 (1994) und in der Literatursammlung von BELLMANN (1988) für Eiche die Dauerhaftigkeitsklasse 2 angegeben.

Im Gegensatz zu den Basidiomyceten-Versuchen erwiesen sich in den TMC-Untersuchungen Eiche als nicht dauerhaft und Robinie als mäßig dauerhaft. Hier zeigten sich starke Abweichungen von den Dauerhaftigkeitsklassen der EN 350-2 (1994). Eine geringere Dauerhaftigkeitsklasse für Eiche in Labor-Erdkontaktuntersuchungen ermittelten auch MIESS (1997), SIERRA-ALVAREZ ET AL. (1998), VAN ACKER ET AL. (1999) und die am Ringversuch teilnehmenden Institute. Als mögliche Erklärung für die geringe Dauerhaftigkeit der Eiche führen SIERRA-ALVAREZ ET AL. (1998) die Auswaschung wasserlöslicher Extraktstoffe an. Die Eichenprüfkörper mit hohen Masseverlusten wurden in den eigenen TMC-Untersuchungen gleichzeitig auch hohe Holzfeuchten festgestellt (Anhang 8). Somit könnten Auswaschungsprozesse den Holzabbau beeinflusst haben.

Weiterhin war der Abbau in den selbst durchgeführten TMC-Untersuchungen von Moderfäule geprägt, die bei Eiche und Robinie ähnliche oder teilweise höhere Masseverluste als bei Nadelhölzern verursachte. Häufig werden Laubhölzer gegenüber Nadelhölzern stärker durch Moderfäule abgebaut (LIESE 1959, 1961, ESLYN und HIGHLEY 1976), da ligninreiche Hölzer mit geringem Sinapyl-Coniferyl-Anteil (meist Nadelhölzer) resistenter gegenüber ligninärmeren Hölzern mit hohem Sinapyl-Coniferyl-Anteil im Lignin sind (NILSSON ET AL. 1988, ERIKSSON ET AL. 1990).

5.3 Einfluss der Holzherkunft auf die natürliche Dauerhaftigkeit

Für die vorliegenden Untersuchungen wurden von jeder Holzart Proben aus Bäumen von drei Wuchsstandorten (Herkünften) verwendet. Dabei ergaben sich, sowohl in den Laboruntersuchungen als auch nach fünf Jahren Freilanduntersuchungen, häufig keine signifikanten Abbaunterschiede oder Differenzen in der Dauerhaftigkeit zwischen den drei Herkünften innerhalb einer Holzart. Zum

Zusammenhang von Herkunft und Dauerhaftigkeit liegen für die verwendeten Holzarten zur Zeit nur wenige Untersuchungen vor, die meist im Labor durchgeführt wurden.

Lärche

In den eigenen Laboruntersuchungen mit *Coniophora puteana* und *Poria placenta* wurde kein signifikanter Masseverlustunterschied zwischen den drei Herkünften der Lärche festgestellt. Japanische Lärche war in Dauerhaftigkeitsklasse 4, die beiden europäischen Lärchen in Dauerhaftigkeitsklasse 3 einzuordnen. Auch in der DIN EN 350-2 (1994) sind für Lärche mit der Herkunft Europa und Japan die Dauerhaftigkeitsklassen 3 bis 4 angegeben und damit Dauerhaftigkeitsschwankungen innerhalb der Holzart Lärche berücksichtigt. Versuche von VIITANEN ET AL. (1997) ergaben ebenfalls für verschiedene Lärchenarten Dauerhaftigkeitsklassen von 3 bis 4. Hingegen waren Dauerhaftigkeitsvariationen zwischen *Larix sibirica* aus Russland und Finnland nicht auf deren Wuchsstandorte, sondern auf das unterschiedliche Alter der Bäume zurückzuführen. Weiterführende Untersuchungen ließen auch auf einen Zusammenhang von Genotyp und Dauerhaftigkeit verschiedener *Larix sibirica* Klone schließen, wobei die Ursache dieser Variationen noch ungeklärt ist (VIITANEN ET AL. 1998). Unterschiede fanden auch GIERLINGER ET AL. (2004) nach Laboruntersuchungen mit *Coniophora puteana* und *Poria placenta*. Hierbei war Japanische Lärche aufgrund eines höheren Gehalts an phenolischen Inhaltsstoffen resistenter als Europäische Lärche.

Die Ergebnisse aus den Freilanduntersuchungen mit und ohne Erdkontakt ergaben keine signifikanten Abbauunterschiede zwischen den drei Lärchenherkünften. Auch RAPP ET AL. (2002) fanden keine Dauerhaftigkeitsunterschiede zwischen drei verschiedenen Herkünften von *Larix decidua* nach Erdkontaktprüfung.

Fichte und Kiefer

Das Fichten- und Kiefernholz aus Skandinavien erreichte keine bessere Dauerhaftigkeit als das in Deutschland gewachsenes Fichten- und Kiefernholz. Auch die biologischen Prüfungen von SCHULZ (1957) zeigten keine Unterschiede im Masseverlust von deutschem und nordischem Kiefernholz. Im Gegensatz dazu stellten BERGSTROM ET AL. (2004) in Freilanduntersuchungen Dauerhaftigkeitsunterschiede zwischen Fichtenholz aus unterschiedlichen Regionen Schwedens fest. Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass das Versuchsmaterial nicht nach Splint- und Kernholz getrennt war. Eine Beeinflussung der Ergebnisse durch unterschiedliche Kern-Splintanteile und damit verbundene Dauerhaftigkeitsschwankungen war somit nicht auszuschließen.

Douglasie

In den Basidiomyceten-Versuchen wurde für Douglasienholz vom Naturstandort aus Oregon die Dauerhaftigkeitsklasse 3 und für deutsches Douglasienholz die Dauerhaftigkeitsklasse 4 bestimmt. Dieses Ergebnis steht in Übereinstimmung mit der DIN EN 350-2 (1994). Diese gibt für Douglasie aus Nordamerika die Dauerhaftigkeitsklasse 3 und für in Europa kultivierte Douglasie die Dauerhaftigkeitsklasse 3 bis 4 an. Ursachen für die Dauerhaftigkeitsdifferenzen können neben anderen Faktoren auch unterschiedliche Inhaltsstoffkonzentrationen sein. AKHTER und HALE (2002) fanden unterschiedliche Taxifolingehalte zwischen vier Douglasienherkünften und wiesen deren negativen Effekt auf den von *Coniophora puteana* verursachten Masseverlust nach. Eine hemmende Wirkung von Taxifolin auf das Wachstum von Pilzen zeigen ebenfalls Untersuchungen von KENNEDY (1956), RUDMAN (1963), MALTERUD ET AL. (1985), SCHULTZ (1995) und ALCUBILLA et al. (1971). Obwohl in dieser Arbeit die Inhaltsstoffe nicht analysiert wurden, weisen die Laborergebnisse auf einen höheren Gehalt an bioziden Inhaltsstoffen in Douglasie aus Oregon hin.

Im Gegensatz zu den Laborergebnissen wurde bereits nach drei Jahren Freilanduntersuchung Douglasie aus Oregon und Douglasie aus Norddeutschland gleich schnell abgebaut. Hieraus war zu schließen, dass mögliche Unterschiede im Taxifolingehalt unter Freilandbedingungen langfristig keinen Abbaunterschied zwischen den Herkünften hervorrufen würden. Diese Annahme wird durch Laborergebnisse von AKHTER und HALE (2002) gestützt. Sie stellten den Zusammenhang von Taxifolingehalt und Masseverlust nur für *Coniophora puteana*, nicht aber für *Poria placenta* fest. Durch *P. placenta* wurden die Douglasien verschiedener Herkünfte unabhängig von der Taxifolinkonzentration gleich stark abgebaut. In der Vielzahl holzbesiedelnder Organismen im Freiland können somit auch Pilze vertreten sein, die das Holz unabhängig von der Inhaltsstoffkonzentration abbauen oder diese detoxifizieren. Die Detoxifizierung von Bioziden wurde für einige Pilze nachgewiesen (LYR 1962, BELFORD und DICKINSON 1985, DORADO ET AL. 1998 und 1999, MARTINEZ-INIGO ET AL. 2000). In Abhängigkeit von der standortspezifischen Organismengesellschaft treten im Freiland möglicherweise die Abbaunterschiede nicht mehr auf, die im Labor festgestellt wurden.

Die eigenen Freilanduntersuchungen ergaben nach fünf Jahren für Douglasie aus Süddeutschland eine geringere Dauerhaftigkeit gegenüber den beiden anderen Herkünften. Ein Teil der ausgefallenen und stark abgebauten Prüfkörper der süddeutschen Herkunft bestanden aus weniger dauerhaftem juvenilen Holz (Kapitel 4.2.2). Für Douglasienkernholz sind Dauerhaftigkeitsschwankungen innerhalb eines Baumes bekannt. Eine Abnahme von Extraktstoffen im Kernbereich in Richtung Mark und vom Stammfuß zur Krone wiesen GARDENER und BARTON (1960) nach.

Zusätzlich zum Einfluss unterschiedlicher Extraktstoffgehalte ist das unterschiedliche Feuchteverhalten von Douglasien verschiedener Herkünften als Ursache für Dauerhaftigkeitsdifferenzen zu betrachten. Aus der Literatur ist bekannt, dass Kernholz der Douglasien aus dem Küstengebiet leichter tränkbar ist als die Gebirgsformen aus den Rocky Mountains (BLEW 1961, KRAHMER 1961, MILLER 1961, ERICKSON und ESTEP 1962, MILLER und GRAHAM 1963). In diesem Zusammenhang fand GRIFFIN bereits 1919 in luftgetrocknetem Douglasienholz der Gebirgsherkünfte geschlossene Früh- und Spätholztüpfel, hingegen waren bei Douglasien der Küstenherkünfte die Spätholztüpfel meist offen. Die Ursachen hierfür sind noch nicht vollständig geklärt. Als weiteren anatomischen Unterschied stellten FLEISCHER (1950) und MILLER (1961) Tracheiden mit einem größeren Lumen in leichter tränkbarem Douglasienholz fest. Einen Einfluss der Tracheidenlänge, die bei schwer tränkbareren Douglasien mit 3,7 mm wesentlich kürzer waren als mit 5,6 mm bei leicht tränkbareren Douglasien beschreibt KRAHMER (1961). Weiterhin beobachtete er bei leichter tränkbarem Holz, aufgrund der vornehmlich hexagonalen Form der Tracheiden, in den Kreuzungsfeldern oft zwei Tüpfel in der radialen Zellwand, woraus möglicherweise auf eine bessere axiale Permeabilität zu schließen ist.

Aufgrund einer höheren Wegsamkeit sind für die Küstenherkunft längere Zeiträume mit optimalen Holzfeuchten für den Abbau durch Pilze und somit eine geringere Dauerhaftigkeit gegenüber den Gebirgsdouglasien zu vermuten. Auch aus Freilanduntersuchungen von GJOVIK und DAVIDSON (1975) lassen sich Dauerhaftigkeitsunterschiede von Douglasienherkünften ableiten. Dabei erreichte Douglasie aus den Rocky Mountains nach 8,2 Jahren und Douglasie von der Pazifik Küste bereits nach 4,0 Jahren die mittlere Standdauer.

Ob in den eigenen Untersuchungen Gebirgs- oder Küstenherkünfte verwendet wurden, konnte nicht eindeutig geklärt werden. Allerdings war die aus Sulzburg stammende Douglasie (Herkunft 2) mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Küstenherkunft. Aus umfangreichen Recherchen von KLUMPP und GÜRTH (1988) geht hervor, dass in diesem Forstbezirk überwiegend „grüne“ Douglasie (Küstenherkunft) gepflanzt wurde. Dagegen wurde die in geringerem Umfang verwendete Gebirgsform, auch als „graue“ Douglasie bezeichnet, wegen starken Schütteebefalls frühzeitig aus den Beständen entnommen. Bei umfangreichen Provenienzversuchen in Europa trat bei der Douglasien-Gebirgsherkunft starker Befall durch Schütteeerreger (*Rhabdicline pseudotsugae*) auf, der zum Teil ganze Bestände vernichtete (SCHOBER und MEYER 1955, SCHOBER 1963). Hingegen waren Küstenherkünfte gegen diese Pilzerkrankung weniger bis nicht anfällig. Daher wurde davon ausgegangen, dass beide in den Untersuchungen verwendeten Douglasien aus Deutschland einer Küstenform zuzuordnen sind. Somit war auch keine unterschiedliche Wegsamkeit zu erwarten. Wegsamkeitsunterschiede würden den Holzabbau auch nur beeinflussen, wenn das Holz zeitweise austrocknen

kann. Diese Möglichkeit ist im Erdkontakt sehr selten gegeben, wodurch sich das Holz fast immer im optimalen Feuchtebereich für den Abbau befindet. Dennoch zeigten sich im Erdkontakt für Douglasien der Herkunft 2 signifikant höhere Abbaugeschwindigkeiten und eine geringere Dauerhaftigkeit. Trotz optimaler Holzfeuchten für den Pilzabbau traten auch in der Laboruntersuchung Dauerhaftigkeitsunterschiede zwischen den Herkünften auf. Diese Ergebnisse weisen daher auf einen unterschiedlichen Gehalt an Inhaltsstoffen im juvenilem Holz hin und waren weniger auf Wegsamkeitsunterschiede zurückzuführen.

Robinie

In Labor- und Freilanduntersuchungen im Erdkontakt erreichte Robinienholz aus Rumänien (Herkunft 3) geringere Dauerhaftigkeiten als Robinienholz aus Deutschland. Aus Untersuchungen von MUNTZ (1943) geht hervor, dass Pfosten aus Robinienholz von einem Hügellandstandort offenbar dauerhafter waren als die eines Deltastandorts. Dabei war das im Hügelland gewachsene Holz doppelt so alt wie das aus dem Deltabereich, hatte jedoch fast den gleichen Kernholzanteil. Bei gleichem Kernholzanteil ist jedoch der Jugendholzanteil in einem jüngeren Stamm wesentlich höher. Das Holz dieses Stammes hätte somit eine geringere Dauerhaftigkeit, da das Jugendholz von Robinie weniger dauerhaft ist als das restliche Kernholz (SCHEFFER ET AL. 1944, SCHEFFER und HOPP 1949, PESZLEN 2000). Auf diese Ursache sind vermutlich auch die Dauerhaftigkeitsdifferenzen in den eigenen Untersuchungen zurückzuführen. Der Jugendholzanteil konnte aufgrund der Lieferform des Robinienmaterials nicht sicher festgestellt werden. Die hohe Prüfkörperanzahl mit weiten, stark gekrümmten, marknahen Jahrringen lassen jedoch auf einen hohen Anteil an juvenilem Holz bei den Robinien aus Rumänien schließen.

Eiche

Nach Freilanduntersuchungen wurden für die drei Eichenherkünfte keine signifikant unterschiedlichen Abbaugeschwindigkeiten berechnet. Dagegen ergab die Prüfung mit *Trametes versicolor* im Labor für Eiche der Herkunft 1 einen signifikant geringeren Masseverlust. Stark variierende Masseverluste zwischen Eichen (*Quercus petraea*) verschiedener Wuchsstandorte stellten auch GUILLEY ET AL. (2004) fest. Dabei traten aber auch zwischen Bäumen des gleichen Standortes erhebliche Differenzen im Masseverlust auf. Somit waren Abbaunterschiede nicht sicher auf die Herkunft der Bäume zurückzuführen. Zum gleichen Ergebnis kamen auch SCHEFFER ET AL. (1949 a) nach Laboruntersuchungen mit *Quercus alba*. Hingegen fanden AYADI ET AL. (2001) keinen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Wuchsstandort und der hohen Variabilität der Dauerhaftigkeit zwischen dem Holz verschiedener Eichen.

Für alle genannten Holzarten bleibt jedoch offen, ob die im Labor gemessenen Unterschiede von Extraktstoffkonzentrationen auch über einen längeren Zeitraum unter Freilandbedingungen Dauerhaftigkeitsunterschiede bewirken würden. Im Freiland beeinflussen eine Vielzahl von Organismen und komplex verbundene biotische und abiotische Faktoren, wie z. B. Auswaschungs- und Detoxifizierungsprozesse, den Holzabbau. Daher ist aus der im Labor geprüften fungiziden Wirkung einzelner Stoffe auf einzelne Organismen nicht ohne weiteres auf die Dauerhaftigkeit von frei bewittertem Holz zu schließen.

5.4 Einfluss des Standorts auf Abbau und Dauerhaftigkeit von Holz im Freiland

5.4.1 Holzabbau und Dauerhaftigkeit im Erdkontakt

Holzabbau im Erdkontakt

Zwischen den fünf untersuchten Standorten variierten die Abbaugeschwindigkeiten teilweise erheblich. Der Einfluss unterschiedlicher Standorte auf den Abbau ist auch aus Untersuchungen von JOHNSON und THORNTON (1991), THORNTON ET AL. (1991), JOHNSON ET AL. (1996), EDLUND (1998), WAKELING (2006) und EDLUND ET AL. (2006) bekannt.

In den eigenen Untersuchungen waren von allen Standorten die Abbaugeschwindigkeiten in der Rhön höchst signifikant geringer (Abb. 30, Tab. 35). Diese waren auf den vorherrschenden Moderfäuleabbau in der Rhön zurückzuführen, wogegen an allen anderen Standorten Weißfäule dominant auftrat. Der von Moderfäule verursachte Zersetzungsprozess ist an der Holzoberfläche lokalisiert (SAVORY 1954) und schreitet unter Praxisbedingungen meist langsamer fort als der Abbau von Basidiomyceten (FINDLEY und SAVORY 1954, LIESE 1961).

Die vorherrschende Aktivität eines Fäuletyps steht in engem Zusammenhang mit den Standortbedingungen. Der Standort Rhön war durch hohe jährliche Niederschlagsmengen und eine zeitweise Staunässebildung im Boden gekennzeichnet. Bodenanalysen ergaben für diesen Standort die Bodenart „sandiger Lehm“. Lehmböden haben durch ihren höheren Tonanteil und dem damit steigenden Gesamt- und Feinporenanteil eine wesentlich höhere Wasserhaltekapazität und eine geringere Luft- und Sauerstoffversorgung als die Sandböden in Hamburg und Freiburg. Für Moderfäulepilze ist bekannt, dass sie auch Holz mit sehr hohen Feuchten abbauen können (LIESE 1959, LIESE und AMMER 1964) und eine höhere Toleranz gegenüber schlechter Sauerstoffversorgung zeigen als Basidiomyceten (DUNCAN 1961). Auch KÄÄRIK (1967) isolierte von Kiefern- und Fichten-Pfählen aus verschiedenen Böden trotz einer ähnlichen Pilzzusammensetzung im staunassen Boden deutlich weniger Basidiomyceten. WAKELING (1991)

stellte ebenfalls bei Freilanduntersuchungen an fünf verschiedenen Standorten fest, dass vor allem an einem Standort mit hohen Niederschlägen und wassergesättigtem Boden in Verbindung mit schlechter Durchlüftung Moderfäule dominant auftrat. Dagegen war an einem Standort mit moderater Niederschlagsmenge und gut drainiertem Boden das Holz am stärksten durch Basidiomyceten abgebaut. Allerdings trafen diese nicht an allen Standorten zu und somit sind weitere Faktoren zu vermuten, die den dominant am Abbau beteiligten Fäuletyp beeinflussen.

Unterschiede im Abbau und in der mittleren Standdauer von Hölzern zwischen nordischen Freilandversuchsstandorten führte EDLUND (1998) weniger auf deren geographische Lage als vielmehr auf das lokale Vorkommen und die Aktivität unterschiedlicher Fäuletypen zurück. Diese können aber auch innerhalb eines Testfelds stark variieren. Dennoch sollte das Auftreten eines bestimmten Fäuletyps nicht vollständig unabhängig von der geographischen Lage betrachtet werden, wenn damit unterschiedliche klimatische Bedingungen verbunden sind. Dies ist aus den eigenen TMC-Untersuchungen zu schlussfolgern, bei denen im moderfäuledominierten Boden der Rhön unter konstanten Laborbedingungen (bei höheren Temperaturen und ohne Staunässebildung) Weißfäulepilze den Abbau bestimmten.

Dauerhaftigkeit im Erdkontakt

Die Freilandergebnisse zeigen einen Einfluss des Standorts nicht nur auf den Holzabbau, sondern auch auf die Dauerhaftigkeit (Relativwert) und die Rangfolge der Holzarten. Am auffälligsten waren die geringeren Dauerhaftigkeiten der Laubhölzer im Vergleich zu Lärche und Douglasie am Standort Rhön. Dies war wiederum durch die vorherrschende Moderfäule zu erklären, die bevorzugt Laubhölzer und vor allem Eiche abbaut (LIESE 1961). Auch das zur Dauerhaftigkeitsberechnung als Referenzholzart verwendete Kiefern-Splintholz wurde in der Rhön ausschließlich von Moderfäule abgebaut. Daher ergab sich ein geringer Dauerhaftigkeitswert aus dem Relativwert der Abbaugeschwindigkeiten von Kiefern-Splint und den Laubhölzern.

An den anderen vier Standorten wurde Robinie ebenfalls überwiegend von Moderfäule abgebaut. Die übrigen Holzarten waren meist stärker von Weißfäule betroffen. Da Weißfäule einen signifikant schnelleren Abbaufortschritt verursachte als Moderfäule (Tab. 42), war die Dauerhaftigkeit als Relativwert zwischen moderfäulebefallener Robinie und weißfäulebefallenem Kiefern-Splintholz größer als am Standort Rhön.

Ein Erklärungsansatz zum bislang geringen Weißfäulebefall der Robinie an Standorten mit hohem Weißfäulepotential lässt sich aus Untersuchungen zur Pilzsukzession ableiten. BANERJEE und LEVY (1971) zeigten, dass die anfängliche Pilzaktivität auf der Oberfläche von Holzmasten eine Besiedlung durch Basidiomyceten einschränkte und erst nachdem diese Aktivität nachließ,

Basidiomyceten in tiefere Zonen vordrangen. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Sukzession der Bodenorganismen in Zusammenhang mit den Umgebungsbedingungen und dem Substrat stehen (GARRETT 1951, 1955). Die standortspezifische Zusammensetzung der Bodenorganismen und die sich ergebende Sukzession wirken sich demnach auf die Holzarten unterschiedlich aus. Somit war Robinie möglicherweise in einem früheren Sukzessionsstadium als die anderen Holzarten nach der gleichen Untersuchungszeit.

5.4.2 Holzabbau und Dauerhaftigkeit außerhalb des Erdkontakts

Holzabbau außerhalb des Erdkontakts

Auch außerhalb des Erdkontakts waren teilweise erhebliche Unterschiede im Holzabbau zwischen den fünf Standorten festzustellen.

Der besonders starke Abbau am Standort Freiburg ist im Zusammenhang mit den für die Pilzaktivität günstigen Klimabedingungen zu sehen. Im Vergleich zu den anderen Standorten zeichnete sich Freiburg durch hohe mittlere Jahresniederschlagssummen in Verbindung mit hohen mittleren Temperaturen aus. Beide Faktoren beeinflussen den Holzabbau durch Pilze am stärksten, wogegen relative Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit eine geringere Rolle spielen (SCHEFFER 1971).

Für einlagige Holzdecks aus unbehandeltem Kiefernholz ermittelte SCHEFFER ET AL. (1971) in Mississippi einen 2,5 mal schnelleren Ausfall nach pilzlichem Abbau als in Oregon oder Wisconsin. Diesen erheblichen Unterschied führten die Autoren auf eine für den Holzabbau vorteilhaftere Kombination aus Temperatur und Niederschlag zurück. Dieser Rückschluss lässt sich auch aus dem Vergleich der Bewertungsergebnisse von L-Joint-Tests in Garston und Hilo (PRESTON ET AL. 1996) ziehen. Die gleiche Aussage kann für Ergebnisse von CREFFIELD ET AL. (1992) getroffen werden, die an 22 klimatisch verschiedenen Standorten in Australien Panels untersuchten. Auch der Abbau von Lap-Joints aus behandeltem und unbehandeltem Fichte und Kiefern-Splint variierte zwischen 7 europäischen Standorten erheblich (GRINDA ET AL. 2001). Hier war an den kontinentaleren Standorten Horstwalde und Wien der Abbau früher festzustellen als an den durch Wind geprägten Standort Delft nahe der Nordsee. In Regionen mit höheren Niederschlägen isolierten MORRELL und SCHNEIDER (1995) an deutlich mehr Douglasienmasten holzabbauende Pilze oberhalb des Erdkontakts als an niederschlagsärmeren Standorten.

Einen Standorteinfluss auf die Besiedlungsraten von L-Joints mit Basidiomyceten stellten ebenfalls CAREY UND BRAVERY (1989) auf drei europäischen Testfeldern fest und schlossen auf eine unterschiedliche Leistungsfähigkeit des Holzschutzmittels. Die unbehandelten Kiefern-Splint L-

Joints waren dabei überwiegend von Braunfäulepilzen befallen, wovon am schwedischen Standort einige Isolate als *Gloeophyllum sepiarium* identifiziert wurden.

In den eigenen Doppellagen-Test-Untersuchungen wurden die Nadelhölzer überwiegend durch *G. sepiarium* abgebaut. Im Vergleich zu den anderen Standorten war der Abbau in Freiburg durch diesen Pilz besonders hoch. Durch das warme und feuchte Klima bestanden für ihn dort optimale Umgebungsbedingungen. Unter den Bauholzpilzen gelten die *Gloeophyllum*-Arten als besonders tolerant gegenüber hohen Temperaturen (GROSSER 1985), da sie häufig in stark besonnten Holzbauteilen außerhalb des Erdkontakts vorkommen. Als optimale Wachstumstemperaturen werden für *G. sepiarium* 35 °C von BAVENDAMM (1951), 32 –35 °C von GROSSER (1985), 33 - 35 °C von EATON und HALE (1993) und 27,5 - 32,5 °C von SCHMIDT ET AL. (2002) angegeben. Die Pilzaktivität wurde unter Laborbedingungen auch zwischen 37 °C und 45 °C noch nicht beeinflusst (XIE ET AL. 1997) und *G. sepiarium* überlebte drei Wochen bei 45 °C (SCHMIDT ET AL. 2002). Die Letaltemperatur ist ebenfalls sehr hoch und liegt nach HUCKFELDT (2003) über 95 °C, nach XIE ET AL. (1997) zwischen 60 °C und 65 °C, und nach MIRIC und WILLEITNER (1984) lebte das Mycel erst nach 1 Stunde bei 65 °C bzw. 30 min bei 70 °C nicht mehr.

G. sepiarium ist aber auch insgesamt in einem breiten Temperaturbereich aktiv, der mit 5 °C - 44 °C angegeben wird (BAVENDAMM 1951, GROSSER 1985). Somit war es für *G. sepiarium* ohne weiteres möglich auch an deutlich kühleren Standorten (Rhön), wenn auch mit geringerer Intensität, das Holz im Doppellagen-Test abzubauen.

Dauerhaftigkeit außerhalb des Erdkontakts

Nicht nur die Abbaugeschwindigkeiten einer Holzart variierten zwischen verschiedenen Standorten, sondern auch die Dauerhaftigkeitsfaktoren. Trotz kleiner Verschiebungen wirkte sich dies jedoch kaum auf die Rangfolge der Holzarten zueinander aus.

Besonders auffällig waren hierbei die geringeren Dauerhaftigkeiten von Kiefern-Kern und Eiche im hamburger Doppellagen-Test unter Bäumen. Im Baumschatten war ein schnellerer Abbau und eine höhere Anzahl der Prüfkörper durch Basidiomyceten befallen als am 150 m entfernten freistehenden Standort. Auch MORTON und EGGINS (1976) konnten bereits nach fünf Monaten von beschatteten Prüfkörpern Basidiomyceten isolieren. Hingegen fanden sie auf besonnten Prüfkörpern auch nach acht Monaten noch keine Basidiomyceten.

Trotz ähnlicher Temperaturverläufe waren am Standort Hamburg „Baumschatten“ höhere relative Luftfeuchten bei Belaubung und weniger Sonnenscheinstunden zu messen, was zu höheren Holzfeuchten und günstigeren Abbaubedingungen geführt haben dürfte. Auch PÖHLMANN (2001)

stellte teilweise höhere Holzfeuchten an südlich ausgerichteten gegenüber westlich ausgerichteten Hausfassaden fest und führte dies auf die Beschattung durch Bäume zurück. Ebenfalls einen beschleunigten Abbau in Freilanduntersuchungen erreichten PRESTON ET AL. (2000) durch künstliche Beschattung von Prüfkörpern mit Folie. Den Einfluss von direkter Sonneneinstrahlung, Beschattung und Vegetation auf die Gebrauchsdauer von Lärmschutzwänden stellt auch ILLNER (2000) heraus. Als weitere Beispiele nennt er Bohlenbeläge und Terrassenanlagen, bei denen durch Erde und Laub in Fugen und Rissen, in Verbindung mit anhaltender Feuchte, eine erhöhte Gefährdung durch Pilze entstehen kann. Auch im Doppellagen-Test unter Bäumen ist davon auszugehen, dass zeitweise Laubansammlungen zu einem erhöhten Abbau beigetragen haben.

5.5 Einfluss der Gebrauchsklasse auf Abbau und Dauerhaftigkeit von Holz im Freiland

5.5.1 Einfluss der Gebrauchsklasse auf den Holzabbau

Die vorliegenden Freilandergebnisse zeigen für Kernholz von Douglasie, Lärche, Kiefer, Eiche, Robinie sowie Kiefern-Splintholz nach fünf Jahren einen signifikant stärkeren Abbau im Erdkontakt als außerhalb des Erdkontakts im Doppellagen-Test.

Abbau- und Dauerhaftigkeitsergebnisse aus systematischen Freilanduntersuchungen zum direkten Vergleich von Holz mit und ohne Erdkontakt wurden bislang nicht publiziert. Eine Gegenüberstellung von Ergebnissen aus verschiedenen Expositionen ist mit erheblichen Unsicherheiten behaftet, da Standortbedingungen, Zeitpunkt und Probenmaterial der Untersuchungen nicht übereinstimmen. Dennoch wird dabei ein Trend sichtbar, der im Einklang mit den eigenen Ergebnissen steht.

In Freilanduntersuchungen von SCHEFFER (1971) fielen Holzdecks aus abbaugefährdeten Holzarten (Tanne, Kiefern-Splint, Western Hemlock) erst nach 6 bis 15 Jahren aus. Ebenfalls eine hohe mittlere Standdauer von 8 bis 10,7 Jahren ermittelte CAREY (2002 a) für unbehandelte L-Joints aus Kiefern-Splint. Dagegen bestimmte EDLUND (1998) für Kiefern-Splintholz im Erdkontakt eine mittlere Standdauer von 1,4 bis 5,1 Jahren auf 15 schwedischen Testfeldern. Erdkontaktversuche in Großbritannien ergaben mittlere Standdauern für Tanne von 6 bis 9 Jahren und Fichte von 3 bis 9 Jahren (PURSLOW 1976).

Auf den gleichen Testfeldern erreichte Douglasie eine mittlere Standdauer zwischen 4 und 15 Jahren (PURSLOW 1976). Für Douglasienholz im Erdkontakt geben SMITH und ORSLER (1994) eine mittlere Standdauer von 9,4 Jahren und eine mediane Standdauer von 8,7 Jahren an. Bei Untersuchungen auf fünf australischen Erdkontakttestfeldern fanden JOHNSON ET AL. (1996) für

Douglasie eine mediane Standdauer zwischen 3,1 und 8,3 Jahren. Vergleichsweise dazu war Douglasie außerhalb des Erdkontakts nach 9 Jahren im subtropischen Klima nur gering abgebaut und noch nicht ausgefallen (CREFFIELD ET AL. 1992). ESLYN ET AL. (1985) stellten an kreuzweise vernagelten Douglasien- und Eichenprüfkörpern ohne Erdkontakt sogar nach 10 Jahren noch keinen Abbau durch Basidiomyceten in Süd-Mississippi fest. In Erdkontakt gab PURSLOW (1976) für Eiche (*Quercus petraea*) eine Standdauer 17 bis 39 Jahren an.

Bei SMITH und OLSER (1994) ist für Lärche eine mittlere Standdauer von 12 Jahren und Kiefern-Kern von 7,4 bzw. 9,4 Jahren zu finden. Ähnliche Werte ermittelte PURSLOW (1976) mit 9 bis 18 Jahren für Lärche, 4 bis 12 Jahren für Kiefern-Kern und 25 bis über 63 Jahren für Robinie. Angaben zur mittleren Standdauer außerhalb des Erdkontakts sind nicht bekannt.

Die erheblichen Abbaunterschiede von Holz mit und ohne Erdkontakt werden maßgeblich durch die expositionsspezifischen Besiedlungs- und Abbaubedingungen verursacht. Neben den Nährstoffen und der Temperatur ist hierbei vor allem die Holzfeuchte ein entscheidender Faktor.

Im Erdkontakt kann von einer ständigen Durchfeuchtung über Fasersättigung (BUTCHER 1968, SCHEFFER 1971) und damit von Pilzgefährdung ausgegangen werden. Nur bei Niederschlagssummen unter 5 mm im Monat ist es möglich, dass die Holzfeuchte der Prüfkörper unter Fasersättigung absinkt (LEICESTER ET AL. 2003). Im Gegensatz dazu schwanken die Holzfeuchten von Holz ohne Erdkontakt wesentlich stärker (MEIERHOFER und SELL 1979, MILITZ ET AL. 1998, MILITZ und BLOOM 2000, LINDEGAARD und MORSING 2003, ELOWSON ET AL. 2003, SAILER 2001). Im Vergleich zu Holz im Erdkontakt befindet sich Holz außerhalb des Erdkontakts somit seltener im Holzfeuchtebereich über 25 %, der für holzabbauende Pilze günstige Abbaubedingungen bietet. Über welche Zeiträume diese günstigen Holzfeuchtebedingungen herrschen, steht dabei in engem Zusammenhang mit dem unterschiedlichen Wasseraufnahme- und Wasserdampfabgabeverhalten der Holzarten, dass bei ständiger Durchfeuchtung im Erdkontakt keinen Einfluss hat.

Beispielsweise stellten ELOWSON ET AL. (2003) innerhalb von neun Jahren an hirnholzgeschütztem Kiefern-Kern und Fichtenholz keine Holzfeuchten über 30 % fest. Hingegen lag die Holzfeuchte für Kiefern-Splintholz wesentlich öfter über diesem Wert. Auch von RAPP und PEEK (1999) wurden für vertikal frei aufgehängte Prüfkörper aus Douglasien- und Eichen-Kern innerhalb von zwei Jahren nur an 14 bzw. 26 Tagen Holzfeuchten über 25 % gemessen. Im Vergleich dazu überschritt Fichte mit 88 Tagen und Kiefern-Splint mit 176 Tagen die Grenze von 25 % deutlich öfter. Nach Messungen an Lap-Joints lag die Holzfeuchte von Robinie immer, die von Douglasie und Lärche über lange Zeiträume unter 25 % (LINDEGAARD und MORSING 2003). MILITZ und BLOOM (2000) stellten innerhalb von drei Jahren für Douglasien, Lärchen und Kiefern-Kern Lap-Joints keine und

für kompakte Prüfkörper dieser Holzarten selten Holzfeuchten über 25 % fest. Kiefern-Splint und Fichte überschritten diesen Wert jedoch wesentlich öfter.

5.5.2 Abbaudynamik in den Gebrauchsklassen

Zusätzlich war der Abbau durch eine expositionsspezifische Dynamik gekennzeichnet (Abb. 36, Abb. 37). Im Erdkontakt wurde das Holz innerhalb des ersten Jahres besiedelt und mit einer Geschwindigkeit abgebaut, die sich während der gesamten Expositionszeit kaum änderte. Dagegen begann der Abbau von Holz im Doppellagen-Test später und die Abbaugeschwindigkeiten nahmen mit fortschreitender Expositionszeit zu. Diese Entwicklung wird einerseits durch den Abbaubeginn und andererseits durch den Abbaufortschritt in Abhängigkeit vom Fäuletyp charakterisiert.

5.5.2.1 Abbaubeginn

Die eigenen Untersuchungen haben gezeigt, dass im Erdkontakt der Abbau durch holzerstörende Pilze an allen geprüften Holzarten innerhalb der ersten 6 Monate begonnen hatte. Dagegen waren im Doppellagen-Test nur für Splintholz von Fichte und Kiefer sowie Tannenholz nach einem Jahr erste Anzeichen von Holzabbau festzustellen, für Farbkern-Nadelhölzer und Laubhölzer sogar erst im zweiten oder dritten Jahr.

In der Literatur finden sich ähnliche Ergebnisse. Erste Anzeichen von oberflächlichem Abbau stellten LINDEGAARD und MORSING (2003) bei Lap-Joints aus Douglasie, Lärche, Robinie und Eiche erst nach 2,5 Jahren fest. Auch an den gleichzeitig exponierten horizontal ungeschützten Prüfkörpern war erst nach drei Jahren geringer oberflächlicher Abbau sichtbar. Ähnliche Zeiträume bis zum ersten sichtbaren Abbau beschreiben GRINDA ET AL (2001) mit 2,5 Jahren für Kiefern-Splint-Lap-Joints und drei Jahren für Fichte-Lap-Joints in Horstwalde. Auch bei L-Joint-untersuchungen von CAREY (2002 b) wurde an Kiefern-Splint erst nach 2 bis 3 Jahren Abbau sichtbar.

Hingegen zeigen Erdkontaktuntersuchungen erheblich früher einen Abbau. Bereits nach sechs Monaten war ein Abbau durch Basidiomyceten an Kiefern- und Fichtemasten (KÄÄRIK 1967) und an Kiefern- und Birkenpfählen (BANERJEE und LEVY 1971) sichtbar. MERRILL und FRENCH (1966) stellten schon nach sechs Wochen Moderfäuleabbau und nach 10 Wochen Braunfäuleabbau für Holz im Erdkontakt fest.

Die Differenzen zwischen den Zeiten bis zum Beginn des Abbaus von Holz mit und ohne Erdkontakt lassen sich hauptsächlich auf zwei Ursachen zurückführen: die unterschiedlichen Infektionsquellen und Besiedlungswege sowie die unterschiedlichen Besiedlungsbedingungen im Holz.

- Infektionsquellen und Besiedlungswege holzabbauender Pilze

Voraussetzung für die Besiedlung von Holz ist das Vorhandensein von Infektionsquellen. Im Boden ist eine Vielzahl an Basidiomyceten präsent (WARCUP und TALBOT 1962, 1963, 1965), die in Form von Mycel oder Sporen vorliegen (FINDLAY 1966, BANERJEE und LEVY 1971). Unter diesen befindet sich dann meist eine Art, die das Holz artspezifisch und mit vergleichsweise geringer zeitlicher Verzögerung direkt mit dem vorhandenen Mycel besiedeln kann. Im Gegensatz dazu wird davon ausgegangen, dass Holz außerhalb des Erdkontakts überwiegend durch Sporen infiziert wird (FINDLEY 1966, BANERJEE und LEVY 1971, NICHOLAS und CRAWFORD 2003). Keimfähige Sporen holzabbauender Pilze können sehr weit in der Luft verbreitet werden (RISHBETH 1958, NORDEN und LARSSON 2000, JAMES und VILGALYS 2001, HALLENBERG und KÜFFER 2001). Somit muss sich die Infektionsquelle nicht in unmittelbarer Nähe der Holzkonstruktion befinden. Dennoch müssen die Sporen erst über die Luft oder Tiere auf das Holz übertragen werden und dort auskeimen, um das Holz zu besiedeln und abzubauen.

- Bedingungen im Holz für die Besiedlung

Die Besiedlung von Holz durch Pilze ist von Feuchte, Temperatur und Nährstoffen abhängig. Der entscheidende Unterschied zwischen den Expositionen dürfte auch hier die Holzfeuchte sein. Für Holz im Erdkontakt ist ständig von einer geeigneten Feuchte für den Abbau auszugehen. Außerhalb des Erdkontakts liegen die Holzfeuchten abhängig von der Holzart nur zeitweise über 25 % (Kapitel 5.5.1). Hieraus resultieren außerhalb des Erdkontakts längere Expositionszeiten ohne Befall, da Sporen bei günstigen Bedingungen meist innerhalb kurzer Zeit auskeimen, aber dennoch darüber hinaus länger geeignete Befalls- und Abbaubedingungen für das entstandene Mycel erhalten bleiben müssen. L-Joint-Versuche von CAREY (2002 b) legen ebenfalls diesen Zusammenhang nahe. Sie konnte von unbehandeltem Kiefern-Splint bereits nach drei bis vier Monaten holzabbauende Pilze von 16 bzw. 22 Prüfkörpern isolieren, aber erst nach drei oder mehr Jahren war an zwei dieser Prüfkörper ein leichter Abbau festzustellen.

Der schnellere Befall von Holz im Erdkontakt ist auch im Zusammenhang mit der Nährstoffverfügbarkeit zu sehen. Durch die Aufnahme von Bodenwasser kann eine Zufuhr wasserlöslicher Nährstoffe ins Holz erfolgen (BAINES und LEVY 1979). Dadurch wird eine schnellere Besiedlung mit Organismen möglich, die entweder selbst Holz abbauen oder dieses sukzessiv für holzabbauende Organismen vorbereiten. Außerhalb des Erdkontakts kann auf solche Ressourcen nicht zurückgegriffen werden. Hier müssen die Nährstoffe ausschließlich aus dem Holz erschlossen werden, was ebenfalls zu einem verzögerten Befall beitragen dürfte. Die

Besiedlung einer Holzart hängt aber auch davon ab, ob diese keim- und wachstumshemmende Substanzen enthält (FINDLAY 1966).

Auf die Besonderheiten der Besiedlung durch Sporen oder Mycel wird am Beispiel von *Gloeophyllum sepiarium* im Kapitel 5.7 ausführlich eingegangen.

Die geschilderten Ursachen für den verzögerten Abbaubeginn von Holz außerhalb des Erdkontakts haben auch dazu geführt, dass im Doppellagen-Test nach fünf Jahren an Laubholz- und Farbkern-Nadelholz meist deutlich unter 50 % der Prüfkörper Abbau festzustellen war. Im Gegensatz dazu wurden im Erdkontakt die Prüfkörper sofort nach Beginn der Untersuchung in hoher Stückzahl befallen und abgebaut, so dass in der folgenden Zeit nur noch wenige Prüfkörper neu befallen wurden. Daher erreicht die Abbaugeschwindigkeit im Erdkontakt gleich zu Beginn einen hohen Wert, nimmt dagegen im Doppellagen-Test mit zunehmender Expositionszeit und steigender Anzahl befallener Prüfkörper zu.

5.5.2.2 Zusammenhang von Abbaufortschritt und Fäuletyp

Welchen Wert die Abbaugeschwindigkeit der befallenen Prüfkörper aus den vorliegenden Untersuchungen erreichte, hing zusätzlich vom Abbaufortschritt⁷ ab, der im engen Zusammenhang mit dem Fäuletyp stand. Für Kiefern-, Robinien- und Eichen-Kernholz wurde im Doppellagen-Test ein geringerer Abbaufortschritt festgestellt als im Erdkontakt. In beiden Expositionen dominierten Moder- und Weißfäule den Abbau.

Der von Moderfäule verursachte Abbaufortschritt war im Erdkontakt signifikant höher als im Doppellagen-Test (Tab. 42). Eine ähnliche Aussage trafen SAVORY und CAREY (1979), wonach ein ausschließlicher Moderfäulebefall von Holz ohne Erdkontakt keine starke Reduktion der Gebrauchsdauer erwarten lässt. Moderfäulepilze sind auch an Holz ohne Erdkontakt häufig zu finden (HENNINGSSON 1977, SAVORY und CAREY 1979, CAREY et al. 1981, RÅBERG 2006). Holz ohne Erdkontakt unterliegt starken Feuchteschwankungen und kann zeitweise austrocknen. Dagegen sind im Erdkontakt überwiegend hohe Holzfeuchten über lange Zeiträume zu erwarten. Die Zunahme des Masseverlusts mit steigender Holzfeuchte und optimalen Zerstörungsintensitäten bei hohen Holzfeuchten (z. B. *Ceratocystis spec.* bei 100 % Holzfeuchte) wiesen LIESE und AMMER (1964) für einige Moderfäulepilze nach. Dabei konnten die untersuchten Moderfäulepilze auch durch Trockenstarre ein halbes Jahr überdauern und nach Wiederbefeuchtung das Holz weiter abbauen. Aus den stärker wechselnden Abbaubedingungen erklärt sich der geringere

⁷ In der vorliegenden Arbeit gibt der Abbaufortschritt an, wie stark das Holz innerhalb der ersten drei Jahre nach Abbaubeginn abgebaut wurde.

Abbaufortschritt für moderfäulebefallenes Holz im Doppellagen-Test im Vergleich zu Holz im Erdkontakt.

Im Gegensatz zur Moderfäule war in dieser Arbeit der Abbaufortschritt der Weißfäule zwischen den Expositionen nicht signifikant zu unterscheiden. Demnach waren die Abbaubedingungen für Weißfäule in beiden Expositionen gleichermaßen geeignet. Da jedoch im Doppellagen-Test die Prüfkörper überwiegend mit Moderfäule und ein deutlich geringerer Anteil mit Weißfäule befallen war, ergab sich insgesamt für Kiefer, Robinie und Eiche ein geringerer Abbaufortschritt. Sukzessionsverläufe an Holz im Erdkontakt (MERRILL und FRENCH 1966, BUTCHER 1968, CLUBBE und LEVY 1982, LEVY 1982) und außerhalb des Erdkontakts (CAREY et al. 1981) zeigen, dass nach Bakterien, Schimmel-, Bläue- und Moderfäulepilzen das Klimaxstadium meist von Basidiomyceten gebildet wird. Demnach kann sich aufgrund der längeren Expositionszeit vor Abbaubeginn im Doppellagen-Test die Sukzession in einem früheren, stärker von Moderfäule geprägtem Stadium befinden.

Die meisten der befallenen Nadelholzprüfkörper wurden im Doppellagen-Test durch den Braunfäuleerreger *Gloeophyllum sepiarium* abgebaut. *G. sepiarium* ist ein konkurrenzstarker Zerstörer von Holz ohne Erdkontakt. Er zeichnet sich einerseits durch eine hohe Temperaturtoleranz aus (BAVENDAMM 1951, GROSSER 1985), andererseits kann *G. sepiarium* durch Trockenstarre lange Zeiten (bis zu 10 Jahren) bei geringer Holzfeuchte lebensfähig überdauern (FINDLEY 1966). Weiterhin boten für den Innenfäule verursachenden *G. sepiarium* (FLACK 1909, CARTWRIGHT und FINDLEY 1946, BAVENDAMM 1952, GROSSER 1985) die Spalten zwischen den versetzt angeordneten Prüfkörpern im Doppellagen-Test ideale Wachstumsvoraussetzungen.

In den Doppellagen-Test-Untersuchungen ergab sich ein schnellerer Abbaufortschritt an Nadelhölzern mit Braunfäule als an Nadelhölzern im Erdkontakt, die fast ausschließlich mit Weiß- und Moderfäule befallen waren. Obwohl Nadelhölzer bevorzugt von Braunfäulepilzen abgebaut werden (RAYNER und BODY 1988, RYVARDEN und GILBERTSON 1993), wurde auch von KÄÄRIK (1967) und BUTCHER (1968) an Nadelhölzern im Erdkontakt überwiegend Weißfäulebefall festgestellt. Erst in einem späteren Befallsstadium trat auch Braunfäule auf. Es wird daher vermutet, dass in der Sukzessionsfolge von Nadelholz im Erdkontakt Weißfäule einem Braunfäulebefall vorausgeht (BUTCHER 1968). Ein ähnlicher Trend konnte in den eigenen Untersuchungen beobachtet werden, da Braunfäule im Erdkontakt erst nach längerer Expositionszeit an bereits von Weißfäule befallenen Prüfkörpern auftrat. Dagegen wurden die Nadelhölzer im Doppellagen-Test sofort von Braunfäule abgebaut. Bei Holz im Gebrauch ist davon auszugehen, dass Nadelholz ohne Erdkontakt anfälliger für Braunfäule ist als für Weißfäule (SCHEFFER 1964).

5.5.3 Einfluss der Gebrauchsklasse auf die Dauerhaftigkeit

Die vorliegenden Untersuchungen ergaben außerhalb des Erdkontakts höhere Dauerhaftigkeitsfaktoren für Farbkern-Nadelhölzer und Laubhölzer als nach Erdkontaktuntersuchungen. Trotz gleicher Rangfolgen dieser Holzarten waren die Dauerhaftigkeitsfaktoren im Doppellagen-Test für Robinie und Lärche weit mehr als doppelt so hoch, für Kiefern-Kern, Douglasie und Eiche zwischen zwei und drei mal so hoch (Tab. 54).

Tab. 54: Dauerhaftigkeitsfaktoren der geprüften Holzarten nach fünf Jahren Freilanduntersuchungen mit und ohne Erdkontakt

Dauerhaftigkeitsfaktoren nach fünf Jahren Erdkontakt-Untersuchungen		Dauerhaftigkeitsfaktoren nach fünf Jahren Doppellagen-Test-Untersuchungen (ohne Erdkontakt)	
Robinien-Kern	2,9	Robinien-Kern	> 5
Lärchen-Kern	2,5	Lärchen-Kern	> 5
Douglasien-Kern	1,8	Kiefern-Kern	4,4
Kiefern-Kern	1,6	Douglasien-Kern	4,1
Eichen-Kern	1,5	Eichen-Kern	3,9
Fichten-Kern	1,2	Kiefern-Splint (Referenz)	1,0
Tanne	1,1	Fichten-Kern	0,8
Kiefern-Splint (Referenz)	1,0	Fichten-Splint	0,7
Fichten-Splint	1,0	Tanne	0,5

Ein Einfluss der Exposition auf die Dauerhaftigkeit ist indirekt aus den Empfehlungen der DIN EN 460 (1994) abzuleiten, obwohl für eine Holzart mit und ohne Erdkontakt von der gleichen Dauerhaftigkeitsklasse gemäß DIN EN 350-2 (1994) ausgegangen wird. Hiernach ist in Gebrauchsklasse 4 (Erdkontakt) eine Schutzbehandlung für Holzarten der Dauerhaftigkeitsklasse 2 (Eiche) teilweise empfehlenswert, ab Dauerhaftigkeitsklasse 3 (Douglasie, Lärche, Kiefer) üblicherweise notwendig. Dagegen kann in Gebrauchsklasse 3 (ohne Erdkontakt) Holz der Dauerhaftigkeitsklasse 3 und 4 grundsätzlich eingesetzt werden. In Abhängigkeit von den Gebrauchsbedingungen, der Gebrauchsdauer und den feuchtephysikalischen Eigenschaften der Holzart kann eine Schutzbehandlung empfehlenswert oder notwendig sein.

Auch nach WILLEITNER (1981 c) ist witterungsbeständiges Holz, das heißt Holz ohne Erdkontakt, nicht unbedingt auch im Erdkontakt dauerhaft. SELL (2000) weist ebenfalls darauf hin, dass die Dauerhaftigkeitsklassifizierungen der DIN EN 350-2 (1994) auf Freilanduntersuchungen im Erdkontakt beruht, jedoch mäßig bis wenig dauerhaft klassifizierte, aber wenig saugfähige Hölzer

außerhalb des Erdkontakts bei entsprechender Konstruktion eine lange Gebrauchsdauer erreichen. RAPP und PEEK (1999) leiteten aus Holzfeuchtemessungen im Freiland ein geringeres Abbaurisiko für Douglasie ohne Erdkontakt gegenüber einer Erdkontaktverwendung ab. Diese Schlussfolgerung kann auch aus Lap-Joint-Versuchen von MILITZ ET AL. (1998) für Douglasien-, Lärchen- und Kiefern-Kern sowie aus beschleunigten L-Joint-Tests von VAN ACKER und STEVENS (2003) für Robinie, Eiche und Kiefern-Kern gezogen werden. Mit den vorliegenden Untersuchungen konnte jedoch der Dauerhaftigkeitsunterschied zwischen Holz im und außerhalb des Erdkontakts konkret nachgewiesen werden (Tab. 54).

Nach fünf Jahren wurden in den vorliegenden Freilanduntersuchungen für Eiche, Douglasie und Kiefern-Kern ähnliche Dauerhaftigkeitsfaktoren berechnet. Auch aus anderen Untersuchungen ist eine ähnliche Dauerhaftigkeit von Eiche und den genannten Farbkern-Nadelhölzer abzuleiten. Die Auswertung umfangreicher Freilandversuche durch GJOVIK und DAVIDSON (1975) zeigten eine mittlere Standdauer für Eiche von 6,6 Jahren, für Kiefer von 6,3 Jahren, für Douglasie (Gebirgsform) von 8,2 Jahren, für Douglasie (Küstenform) von 4,0 Jahren und für Lärche von 8,8 Jahren (mit zusätzlichem Termitenbefall). Ebenfalls die gleiche Dauerhaftigkeitsklasse für Douglasie und Eiche nach Erdkontaktuntersuchungen im Freiland bestimmten VAN ACKER ET AL. (1999). Eine ähnliche Dauerhaftigkeit von Eichen-, Douglasien- und Kiefern-Kernholz nach 3,5 Jahren Erdkontakt beschreiben WELZBACHER und RAPP (2005). In Erdkontaktuntersuchungen von RAPP ET AL. (2006) wurden in verschiedenen Böden Ministakes aus Eiche sogar ähnlich stark abgebaut wie Kiefern-Splint.

Dagegen gibt die DIN EN 350-2 (1994) für Eiche mit Dauerhaftigkeitsklasse 2 im Vergleich zu Lärche, Douglasie und Kiefern-Kern mit Dauerhaftigkeitsklasse 3-4 eine deutlich höhere Dauerhaftigkeit an. Die Dauerhaftigkeitsklasse 2 gemäß DIN EN 350-2 (1994) für Eiche bedeutet eine drei bis fünf mal längere Standdauer im Vergleich zur Referenzholzart. Ein ähnliches Verhältnis ergab der Dauerhaftigkeitsfaktor für Eiche nach fünf Jahren Doppellagen-Test, hierbei war der Abbau von Eiche 3,9 mal langsamer als von Kiefern-Splint. Auch für Lärche, Douglasie und Kiefern-Kern wurden im Vergleich zu Eiche ähnliche oder höhere Dauerhaftigkeitsfaktoren ermittelt. Dagegen waren nach fünf Jahren Erdkontakt die Dauerhaftigkeitsfaktoren dieser Holzarten deutlich geringer.

Aus den geschilderten Aspekten ist zu schließen, dass mit der derzeit gültigen Dauerhaftigkeitsklassifizierung der DIN EN 350-2 (1994) die Dauerhaftigkeiten von Eiche im Erdkontakt über- und die der Farbkern-Nadelhölzer außerhalb des Erdkontakts unterbewertet sind.

Die Ergebnisse zeigen deutlich den Einfluss der Exposition auf die Dauerhaftigkeit. Die Dauerhaftigkeit ist eine Materialeigenschaft, die sich aus einer holzartenspezifischen Merkmals-

kombination ergibt. Aufgrund der Gebrauchsbedingungen im Erdkontakt wird die Eigenschaft Dauerhaftigkeit durch eine andere Merkmalskombination charakterisiert als außerhalb des Erdkontakts. Beispielsweise ist für die Dauerhaftigkeit außerhalb des Erdkontakts das feuchtephysikalische Verhalten der Hölzer relevant, im Erdkontakt aufgrund ständiger Durchfeuchtung jedoch von untergeordneter Bedeutung. Weiterhin stellt für Holz ohne Erdkontakt der Befall durch Sporen von holzabbauenden Pilzen aus der Luft eine andere Beanspruchung dar, als der Befall durch Mycel im Erdkontakt. Daher hat das Merkmal Sporenkeimhemmung für Holz ohne Erdkontakt eine höhere Priorität als im Erdkontakt. Aufgrund der verschiedenen Gebrauchsbedingungen resultieren somit unterschiedliche Kombinationen relevanter Merkmale, die die Eigenschaft Dauerhaftigkeit ergeben. Daher ist die Dauerhaftigkeit im Erdkontakt als eine andere Materialeigenschaft zu betrachten, als die Dauerhaftigkeit außerhalb des Erdkontakts.

5.6 Einfluss der Prüfkörperdimension auf den Holzabbau außerhalb des Erdkontakts

In den vorliegenden Untersuchungen wurde an Prüfkörpern aller verwendeten Dimensionen Abbau durch holzerstörende Pilze festgestellt. Somit konnte die für Nadelholzbauteile von SELL (1980) angegebene „kritische Grenzdimension“ mit Querschnittsflächen vom 30 bis 40 x 30 mm² nicht bestätigt werden, da auch Prüfkörper mit Querschnitten von 25 x 25 mm² abgebaut wurden.

Der „kritischen Grenzdimension“ liegen SELL's Überlegungen zu Grunde, dass freistehende 20 mm dicke Fichtenbretter normalerweise nicht von holzerstörenden Pilzen angegriffen werden, wogegen in Holzbauteilen mit größeren Querschnitten bessere Voraussetzungen für den Abbau durch Pilze vorliegen. Die eigenen Untersuchungen zeigten, dass auch in Prüfkörpern mit kleineren Querschnitten Abbaubedingungen für Pilze entstehen können. Dabei war jedoch tendenziell für Kiefernholz eine höhere anteilig befallene Querschnittsfläche bei Prüfkörpern mit größerem Querschnitt und Volumen gegenüber kleineren Prüfkörpern zu beobachten. Diese Tendenz entspricht dem von SELL (1980) aus praktischen Erfahrungen abgeleiteten Zusammenhang, wonach eine Schadensgefährdung durch holzabbauende Pilze geringer ist bei Bauteilen mit kleineren als mit größeren Querschnitten.

Die Ursache hierfür ist im stärkeren Feuchtegefälle, den damit verbundenen Spannungen und hieraus resultierender Rissbildung in Holz mit größeren Abmessungen zu suchen. Auch die eigenen Untersuchungen zeigten eine stärkere Rissbildung bei Prüfkörpern mit Querschnittsflächen von 100 x 100 mm² im Vergleich zu Prüfkörpern mit kleineren Querschnittsflächen (¼ oder kleiner). In Freilanduntersuchungen von SCHEFFER und ESLYN (1982) neigten Prüfkörper mit kleineren Abmessungen weniger zur Rissbildung. Eine geringere Risslänge bei Hölzern mit kleineren

Querschnitten gegenüber Hölzern mit Querschnitt von 120 x 120 mm² stellte auch MÜLLER (2000) fest.

Durch Risse kann Niederschlagswasser tief ins Holzinne vordringen und dort länger hohe Holzfeuchten verursachen. Beispielsweise herrschten im Inneren direkt wetterbeanspruchter Fichtenbalken mit zunehmender Querschnittstiefe langfristig höher Holzfeuchten (MEIERHOFER und SELL 1979). Dieser Zusammenhang erklärt auch die eigenen Ergebnisse aus den Untersuchungen mit Kiefer. Die Kiefernprüfkörper mit flachem Querschnitt, und damit größerem Oberflächen-Volumen-Verhältnis, wiesen im Vergleich zu Kiefernprüfkörpern mit gleichem Volumen, aber kleinerem Oberflächen-Volumen-Verhältnis, eine wesentlich geringere anteilig befallene Querschnittsfläche auf. Bei der flacheren Prüfkörperform war daher von einer schnelleren Wasserdampfabgabe nach Befeuchtung und damit von einem verzögerten Abbau auszugehen. Neben dem Volumen und der Querschnittsfläche beeinflusst demnach auch die Querschnittform des Bauteils den Holzabbau.

Im den Untersuchungen war zusätzlich der Einfluss von Einschnittart und Jahrringlage auf den Abbau zu beobachten.

Einschnittart

Der Holzabbau an einstielig eingeschnittenen Fichtenprüfkörper (500 x 100 x 100 mm³) war signifikant größer als an vierstielig eingeschnittenen Fichtenholz gleicher Dimension. Für Fichte bestätigten sich bisherige Erkenntnisse, dass einstielig eingeschnittene Hölzer stärker zur Rissbildung neigen als herzgetrennte, herzfreie oder Hölzer nach Kreuzschnitt (WILLEITNER 1981 c, COLLING 2000). Daraus lässt sich schließen, dass in einstielligen Bauteilen, bedingt durch verstärkte Rissbildung, schneller Wasser ins Prüfkörperinnere vordrang und günstigere Abbaubedingungen im Holz entstanden.

Im Gegensatz zu Fichte wurden einstielig eingeschnittene Kiefernprüfkörper, trotz starker Rissbildung, wesentlich geringer abgebaut als vierstielig eingeschnittene Prüfkörper. Dies lag im größeren Kernholzanteil und höheren Anteil von oberflächennahen Splintholz der einstielligen Prüfkörper begründet. Das Kernholz wurde aufgrund seiner höheren Resistenz kaum abgebaut. Außerdem bestand für das oberflächennahe Splintholz die Möglichkeit schneller auszutrocknen, als für das weit ins Innere reichende Splintholz vierstielig eingeschnittener Prüfkörper. Ein Mehraufwand zur Herstellung von vierstielligen Kiefernbalcken erscheint daher nicht in jedem Fall notwendig.

Jahringlage

An Fichtenprüfkörpern mit liegenden Jahrringen wurde ein signifikant höherer Abbau festgestellt als an Fichtenprüfkörpern gleicher Abmessungen (500 x 100 x 25 mm³) mit stehenden Jahrringen. Dabei neigten die Prüfkörper mit liegenden Jahrringen stärker zur Rissbildung, was auf eine verbesserte Feuchtezugängigkeit und damit auf günstigere Abbaubedingungen im Holz schließen lässt. Eine verstärkte Rissbildung an tangentialen Oberflächen (liegende Jahrringe) im Vergleich zu radialen Oberflächen (stehende Jahrringe) ist aus Untersuchungen von BROWNE (1960) und SANDBERG (1999) bekannt. Auch SANDBERG und SÖDERSTRÖM (2005) kamen für Prüfkörpern mit Querschnitten von 95 x 22 mm² nach 61 Monaten Freilandbewitterung ohne Erdkontakt zu gleichen Ergebnissen. Dabei hatten die tangentialen Oberflächen von Fichten die 2,2- 2,6 fachen und von Kiefern die 1,7 –2,2 fachen Risslängen und eine höhere Anzahl an Rissen als die Radialflächen. Ob möglicherweise ein höherer Splintholzanteil in Prüfkörpern mit liegenden Jahrringen den stärkeren Abbau mitverursachte, war aufgrund der Lieferform des Ausgangsmaterials nicht eindeutig nachvollziehbar.

Im Gegensatz dazu trat in den eigenen Untersuchungen bei Kiefer eine verstärkte Rissbildung in Prüfkörpern mit stehenden Jahrringen auf. Diese Prüfkörper bestanden meist aus Splint- und Kernholz. Messungen aus drei Jahren Freilanduntersuchungen von MÜLLER (2000) zeigten über längere Zeiträume Holzfeuchteunterschiede von Kiefern-Kern und -Splint. Die damit entstehenden Feuchtegefälle im Prüfkörper können zu Spannungen und einer verstärkten Rissbildung beitragen. Hierdurch wäre zu erklären, dass Kiefern mit stehenden Jahrringen ebenfalls stark gerissen und nicht signifikant geringer abgebaut waren als Prüfkörper mit liegenden Jahrringen.

5.7 Holzbesiedlung und -abbau durch *Gloeophyllum sepiarium*

5.7.1 Zu den Methoden

Nachweis von Sporen im Freiland

In der vorliegenden Arbeit konnten erstmals Sporen von *G. sepiarium* mit Sporenfallen aus monokaryontem Mycel im Freiland nachgewiesen werden. Die gleiche Methode haben auch NORDEN und LARSSON (2000), JAMES und VILGALYS (2001), HALLENBERG und KÜFFER (2001), EDMAN und GUSTAFSSON (2003) und EDMAN ET AL. (2004) zum Nachweis von Basidiosporen verschiedener Arten erfolgreich eingesetzt.

In den eigenen Untersuchungen trat vor allem am Standort Hamburg das Problem einer erheblichen Schimmelpilzkontamination der Sporenfallen auf, obwohl diese vollständig mit monokaryontem

Mycel überwachsen waren. Nach HALLENBERG und KÜFFER (2001) verringert dagegen eine vollständig mit monokaryontem Mycel überwachsene Sporenfalle, sowie eine geringe Temperatur während der Inkubationszeit die Gefahr des Befalls mit Schimmelpilzen. Auch EDMAN und GUSTAFSSON (2003) beschreiben eine von Myceldichte und -vitalität abhängige Kontamination ihrer Sporenfallen. Je dichter und vollständiger das monokaryonte Mycel auf der Sporenfalle war, desto geringer war der Schimmelpilzbefall.

Im Gegensatz zu anderen Basidiomyceten bildet *G. sepiarium* nur unter bestimmten Bedingungen Oberflächenmycel aus und wächst bevorzugt im Inneren von Holz (FALCK 1909, BAVENDAMM 1951, SCHMIDT 2006). Das unter optimalen Laborbedingungen gebildete Oberflächenmycel auf den sonst vollständig durchwachsenen Sporenfallen war daher unter Freilandbedingungen vermutlich konkurrenzschwach gegenüber Schimmelpilzen. Eine möglichst geringe Expositionszeit (max. 24 Stunden) und günstige Witterungsbedingungen konnten die Schimmelpilzkontamination verringern.

Sporenceimung auf Holz

Zur Beobachtung der Sporenceimung auf größeren Prüfkörpern wurde in der vorliegenden Arbeit die von SCHMIDT und FRENCH (1977) entwickelte Agar-Block-Methode verwendet. Dabei wird flüssiger Agar auf die Holzoberfläche getropft und beimpft. Nachteil dieses Vorgehens war die konvexe Oberfläche des erkalteten Agars, von der die aufgetropfte Sporensuspension herunterlief. Dies wurde in den eigenen Untersuchungen durch aufgelegte dünne Agarplatten verhindert. Somit war sichergestellt, dass für die Auswertung der Untersuchung auf jedem Prüfkörper eine ähnliche Menge Sporen verfügbar war.

Im Gegensatz zu Sporen von *Poria tenuis* und *Trametes hispida*, die auf Wasseragar auskeimen (SCHMIDT und FRENCH 1977), war dies in den eigenen Untersuchungen für *Gloeophyllum sepiarium* Sporen nicht möglich. Auch keimten die verwendeten *G. sepiarium*-Sporen nicht, wie von FALCK (1909) und BAVENDAMM (1936) beschrieben, in demineralisiertem Wasser. Daher wurde auf die Prüfkörperoberfläche eine Wasseragarschicht aufgebracht. Somit war die Sporenceimung direkt auf die vom Holz in den Agar diffundierten Stoffe zurückzuführen.

Die Prüfkörper wurden für die eigenen Sporenceimuntersuchungen trocken autoklaviert, da auf unsterilen Prüfkörpern durch die Interaktion mit anderen Mikroorganismen starke Schwankungen in den Keimergebnissen entstehen können (SCHMIDT und FRENCH 1979 b). Die Wirkung verschiedener Sterilisationsmethoden auf die Sporenceimfähigkeit von *Gloeophyllum trabea* untersuchten MORTON und FRENCH (1966) und zeigten, dass auf nass autoklaviertem Holz das Keimprozent der Sporen signifikant geringer war als auf trocken autoklaviertem Holz. Als Ursache hierfür wurde die Entstehung keimungsfördernder oder toxischer Substanzen vermutet. Da jedoch

nach Angabe der Autoren die Sterilisationstemperatur nur einen geringen bzw. keinen Effekt auf die Sporenkeimung hatte, müssten demnach keimungsfördernde Substanzen aus dem nass autoklavierten dünnen Holzsnitten ausgewaschen worden sein. Es ist auch bekannt, dass eine Sterilisation unter Einwirkung von Dampfdruck die Abbauempfindlichkeit von Holz erhöht (CHAPMAN 1933, SCHEFFER und ESLYN 1961). Dies weist auf die Veränderung toxischer oder die Entstehung abbaufördernder Substanzen hin, die möglicherweise auch keimfördernd wirken. Bei frei bewitterten Holzbauteilen können wasserlösliche, sporenkeimfördernde Substanzen oberflächlich durch Regen ausgewaschen werden, sind aber aufgrund der Bauteilgröße langfristig vorhanden.

5.7.2 Sporenkeimung auf Holz

Ein unerwartetes Ergebnis der Sporenkeimuntersuchungen war die komplette Keimhemmung von *G. sepiarium*-Sporen auf unbewittertem Kiefern-Splintholz, obwohl diese auf allen anderen Nadelhölzern auskeimten. Ein ähnliches Phänomen beschreiben BAKER ET AL. (1972) für *G. trabeum*, dessen Sporen nicht auf Agar keimten, der vorher in Kontakt mit Kiefern-Splintholz war. Die gleiche Beobachtung machten SCHMIDT und FRENCH (1979 a) an *Pinus ponderosa* unter Verwendung der Kontakt-Agarblock-Methode. Hingegen keimten *G. sepiarium* Sporen bei Untersuchungen von ZELLER (1920) auf *Pinus echinata*-Splintholz und in Versuchen von TOOLE (1971) auf Kiefernholz (*Pinus* sp.) zu einem hohen Prozentsatz aus. Hierin besteht jedoch kein Widerspruch, da für diese Untersuchungen nur dünne Holzsnitte verwendet wurden. Von einer Sporenkeimung auf sehr dünnen Schnitten kann jedoch nicht ohne Weiteres auf die Sporenkeimung auf größeren Holzstücken geschlossen werden. Versuche von BAKER ET AL. (1972) sowie SCHMIDT und FRENCH (1979 a) zeigten am Beispiel von *G. trabeum*, dass mit zunehmender Prüfkörpergröße und somit durch den zunehmenden Einfluss der Holzsubstanz die Sporenkeimung gehemmt wurde.

Die eigenen Untersuchungen ergaben jedoch eine sehr gute Sporenkeimung auf bewittertem Kiefern-Splintholz. Demnach müssen die sporenkeimhemmenden Substanzen durch andere Organismen abbaubar oder durch Bewitterung aus der Holzoberfläche auswaschbar sein. Es ist jedoch zu vermuten, dass es sich um eine im wässrigen Medium diffusionsfähige Substanz handelt. Das lässt sich aus der Tatsache schließen, dass *G. sepiarium*-Sporen weder auf Wasseragar noch auf Wasseragar im Kontakt zu Kiefern-Splintholz keimten, die Keimung auf den meisten anderen Holzarten aber möglich war. Dabei ist ein Mangel an keimfördernden Substanzen, der eine Sporenkeimung behindert hätte, für Kiefern-Splintholz auszuschließen. Kiefern-Splint enthält oberflächennahe Zuckerverbindungen, die von holzabbauenden Organismen genutzt werden können (TERZIEV und NILSSON 1999). Diese würden auch eine Sporenkeimung positiv beeinflussen, was die hohen Keimprozente auf Malzagar bestätigen. Demnach kann die fehlende Sporenkeimung nur

auf wasserlösliche Hemmstoffe zurückgeführt werden, die innerhalb kurzer Zeit vom Holz in den Agar diffundiert sein müssen. Auch BAKER ET AL. (1972) kommen nach Untersuchungen mit Sporen von *G. trabeum* zum gleichen Schluss.

Im Gegensatz zu Kiefern-Splintholz keimten *G. sepiarium*-Sporen auf allen anderen hier verwendeten Nadelhölzern, auch auf deren Kernholz und sogar auf Robinie und bewitterter Eiche aus. Auch MORTON und FRENCH (1966) führten ihre Keimungsversuche mit *G. sepiarium*-Sporen erfolgreich auf dünnen Douglasienholzschnitten durch. In den Untersuchungen von BAKER ET AL. (1972) wurde die Sporenkeimung von *G. trabeum* durch Fichten- und Buchenholz sogar stimuliert und SCHMIDT und FRENCH (1979 b) beobachteten die Keimung auf *Picea glauca*.

Aus den Untersuchungen läßt sich ableiten, dass nur unbewittertes Kiefern-Splintholz und unbewittertes Eichen-Kernholz im wässrigen Medium diffusionsfähige Substanzen enthalten, die eine Keimung von *G. sepiarium*-Sporen hemmen.

5.7.3 Schlussfolgerungen zu Besiedlung und Abbau von Holz ohne Erdkontakt

Die eigenen Untersuchungen mit Sporenfallen haben gezeigt, dass *Gloeophyllum sepiarium*-Sporen durch die Luft auf Holz ohne Erdkontakt übertragen werden. Im Allgemeinen wird ebenfalls davon ausgegangen, dass Pilze Holz außerhalb des Erdkontakts überwiegend durch Sporen besiedeln (FINDLEY 1966, BANERJEE und LEVY 1971, NICHOLAS und CRAWFORD 2003).

In den vorliegenden Freilanduntersuchungen ohne Erdkontakt wurden die Nadelhölzer stark durch *G. sepiarium* abgebaut. Dabei fiel besonders der geringere Braunfäulebefall von Kiefern-Splint gegenüber Fichte und Tanne auf (Tab. 41), obwohl nach Literaturangaben *G. sepiarium* neben Fichte und Tanne auch Kiefer abbaut (BAVENDAMM 1952, RYVARDEN und GILBERTSON 1993). Auch die eigenen Untersuchungen mit einem *G. sepiarium*-Laborprüfpilz ergaben, in Übereinstimmung mit LINDGREN (1933), ähnliche Masseverluste bei Kiefern-Splint und Fichte (Abb. 40). Hieraus wird deutlich, dass Kiefern-Splint sehr gut durch *G. sepiarium*-Mycel abgebaut werden kann, aber die Keimung der Sporen behindert sein muss.

Ursachen für den geringen Umfang braunfäulebefallener Kiefern-Splint-Prüfkörper ließen sich aus den vorliegenden Labor- und Freilandergebnissen ableiten.

- Sporenkeimhemmende Substanzen

In den Laboruntersuchungen wurde eine Sporenkeimhemmung von *G. sepiarium* auf unbewittertem Kiefern-Splintholz festgestellt, die jedoch auf vier Jahre bewittertem Kiefern-Splintholz nicht mehr vorhanden war. Es ist von einer im wässrigen Medium diffusionsfähigen Substanz in Kiefern-Splint auszugehen (siehe Kapitel 5.7.3), die nach einiger Zeit der Bewitterung ausgewaschen wurde. Ein weiterer Erklärungsansatz für die nicht mehr vorhandene

Keimhemmung nach Bewitterung ist eine Detoxifizierung der hemmenden Substanzen durch Primärbesiedler. Beispielsweise erklärten CHOI ET AL. (2003) den Befall von CCA-behandeltem Holz ohne Erdkontakt durch *G. sepiarium* mit einer möglichen Detoxifizierung durch kupfertolerante Primärbesiedler. Somit ist erst nach Auswaschung oder Detoxifizierung der sporenheimmenden Substanzen eine Besiedlung von Kiefern-Splint durch *G. sepiarium* möglich.

- Wechselwirkungen zwischen Organismen

Unmittelbar nach der Freilandexposition etablierten sich auf den Kiefern-Splintprüfkörper nicht keimgehemmte Organismen, wie z. B. Bläue-, Moder- und Weißfäulepilze (Tab. 36 und 37). Somit war das Substrat bereits von anderen Organismen besetzt, als eine Besiedlung durch *G. sepiarium* möglich wurde. Zwischen den etablierten Organismen und dem aus Sporen oder benachbartem Holz heranwachsenden *G. sepiarium*-Myzel sind zahlreiche Wechselwirkungen möglich. Ursachen für eine gegenseitige Hemmung verschiedener holzbesiedelnder Organismen können Nährstoffkonkurrenz, Parasitismus oder toxische Stoffwechselprodukte sein (FINSTEIN und ALEXANDER 1962, HULME und SHIELDS 1970, AUFSESS V. 1976, HOLDENRIEDER 1984, MURMANIS ET AL. 1988, DIX und WEBSTER 1995). Diese antagonistischen Effekte wirken zudem artspezifisch. Zum Beispiel zeigten Untersuchungen von HIGHLEY und RICARD (1988), dass *Gliocladium virens* einige Braunfäulepilze hindern konnte Kiefernholz zu befallen, jedoch gegen die verwendeten Weißfäuleerreger unwirksam war. Ein Hinweis auf mögliche antagonistische Wirkungen bei der Besiedlung der Freilandproben gaben die Laboruntersuchungen. Dabei wurde das bewitterte, von Bläuepilzen besiedelte Kiefern-Splintholz ohne weiteres durch *G. sepiarium* abgebaut, nachdem die im Holz vorhandenen Organismen durch die Sterilisation abgetötet waren. Im Freiland dagegen blieb die Prüfkörperzahl mit Braunfäule gering.

- Extreme Holzfeuchten

Während der jährlichen Freilandbewertung wurde beobachtet, dass Kiefern-Splintholz gegenüber den anderen Holzarten besonders hohe Holzfeuchten hatte. Hieraus war auf möglicherweise ungünstige Bedingungen für den Abbau durch *G. sepiarium* zu schließen. Diese Annahme scheint jedoch nicht zuzutreffen, da in eigenen Laboruntersuchungen *G. sepiarium* auch bei Holz mit Feuchten zwischen 40 und 190 % hohe Masseverluste verursachte (Anhang 25). Auch HUCKFELDT und SCHMIDT (2005) geben für einen optimalen Abbau mit Masseverlusten über 10 % durch *G. sepiarium* Holzfeuchten von 46 - 207 % an.

Im Gegensatz zu unbewittertem Kiefern-Splintholz und Eichen-Kernholz war eine Sporenkeimung auf dem Kernholz von Douglasie, Kiefer, Lärche und Robinie ohne weiteres möglich. Für das Kernholz aller vier Holzarten sind eine Reihe Substanzen mit fungizider Wirkung bekannt (Übersichten hierzu bei HILLIS 1962, FENGEL und WEGENER 1989, SCHWAGER und LANGE 1998). Keiner dieser Stoffe hatte jedoch eine hemmende Wirkung auf die Keimfähigkeit von *G. sepiarium*-Sporen. Gleichzeitig enthalten diese Holzarten wasserlösliche Nährstoffe, die eine Sporenkeimung auf der Holzoberfläche ermöglichen. Anschließend kann das entstandene Mycel, aufgrund der fungiziden Wirkung der akzessorischen Kernstoffe das Holz aber nur schlecht oder fast gar nicht abbauen.

Demnach ist aus einer erfolgreichen Sporenkeimung nicht auf die Besiedlung und den Abbau durch Mycel zu schließen. Für die Beurteilung der Gefährdung einer Holzart durch einen Pilz muss daher stets die Fähigkeit des Mycels, dieses Holz auch tatsächlich abzubauen, berücksichtigt werden.

Die geprüften Holzarten lassen sich hinsichtlich der Besiedlung und den Abbau durch *G. sepiarium* in vier Kategorien gliedern (Tab. 55).

Tab. 55: Gliederung der Holzarten hinsichtlich Besiedlung und Abbau durch *G. sepiarium*.

	Starker Abbau durch Mycel	Schwacher Abbau durch Mycel
Sporenkeimhemmung	Kiefern-Splint	Eichen-Kern
keine Sporenkeimhemmung	Fichten-Splint Fichten-Kern Tanne	Douglasien-Kern Lärchen-Kern Kiefern-Kern Robinien-Kern

Aus den Ergebnissen ist abzuleiten, dass für Holzarten mit natürlicher Resistenz gegenüber Mycel der Schutzmechanismus einer Sporenkeimhemmung offenbar von geringerer Bedeutung ist. Hingegen ist für leicht durch Mycel abzubauen Holzarten dieser Effekt wesentlich entscheidender, was das Beispiel Kiefern-Splint und Fichtenholz zeigte. Deshalb sollte bei Holzarten, die leicht durch Mycel eines schadverursachenden Pilzes abzubauen sind, auch dessen Sporenkeimfähigkeit untersucht werden. Diese Prüfung kann wichtige Informationen über die Holzbesiedlung und deren Dynamik liefern. Unter Ausnutzung von Sporenkeimhemmmechanismen ist es denkbar, den Holzabbau zu verzögern oder eventuell zu verhindern.

In Abhängigkeit von der Fähigkeit der Holzart, Sporenkeimung zu verhindern, kann eine Rangfolgeverschiebung hinsichtlich der Dauerhaftigkeit erfolgen. Die Beanspruchbarkeit einer

Holzart außerhalb des Erdkontakts wird demnach, neben anderen Eigenschaften, auch durch die holzartenspezifische Möglichkeit einer Sporenkeimhemmung charakterisiert. Bei den geprüften Laub- und Farbkern-Nadelhölzern zeigte sich jedoch auch, dass aus der Sporenkeimung nicht auf den Abbau geschlossen werden kann. Somit sind aus Pilzidentifikationen von Holzoberflächen allein keine Rückschlüsse auf die Arten zu ziehen, die später den Abbau verursachen.

5.8 Vergleich von Labor- und Freilandergebnissen

In den vorliegenden Untersuchungen ergab der Vergleich der Dauerhaftigkeitsfaktoren aus Freilanduntersuchungen und der relativen Massenverluste bzw. X-Werte aus Laboruntersuchungen nur eine ungenügende Übereinstimmung. Auch Vergleiche von CAVALCANTE und LOPEZ (1985), HEDLEY (1983, 1993), SCHEFFER und MORRELL (1993) sowie RAPP und AUGUSTA (2003) zeigten, dass die Ergebnisse aus dem Labor nicht ohne weiteres auf Freilandverhältnisse zu übertragen sind.

Die vorangestellten Kapitel haben verdeutlicht, dass die eigenen Labor- und Freilandergebnisse mit Literaturangaben übereinstimmen und somit keine Sonderfälle darstellen. Die geringe Übereinstimmung der Ergebnisse war auf die folgenden Sachverhalte zurückzuführen:

- Untersuchungen mit Basidiomyceten-Monokulturen (DIN EN 113: 1986) spiegelten die bessere Dauerhaftigkeit der Farbkern-Nadelhölzer außerhalb des Erdkontakts nicht wider.

Eine der wichtigsten Ursachen hierfür ist in den Untersuchungsbedingungen zu finden. Im Labor herrschen konstante Temperaturen und Luftfeuchten, die darauf ausgerichtet sind über den gesamten Untersuchungszeitraum optimale Bedingungen für den holzabbauenden Organismus zu schaffen. Auch in den eigenen Basidiomyceten-Versuchen wurden für den Abbau geeignete Holzfeuchten festgestellt (Anhang 25). Für das Mycelwachstum von *Coniophora puteana* werden Holzfeuchten zwischen 24 und 80 %, mit einem Optimum zwischen 30 - 70 %, angegeben (SCHMIDT 2006). Dagegen sind die Holzfeuchten im Freiland außerhalb des Erdkontakts durch witterungsbedingte Schwankungen gekennzeichnet. Bei den untersuchten Laub- und Farbkern-Nadelhölzern liegen die Holzfeuchten häufig unter Fasersättigung (siehe Kapitel 5.5), wodurch eine geringere Abbaugeschwindigkeit gegeben ist, die durch Laboruntersuchungen gemäß DIN EN 113 (1986) nicht berücksichtigt werden.

- Basidiomyceten-Versuche (DIN EN 113: 1986) ergaben für Eiche eine wesentlich höhere Dauerhaftigkeit, als unter Freilandbedingungen im Erdkontakt.

Diese unterschiedlichen Ergebnisse sind auf komplexe biotische und abiotische Prozesse zurückzuführen, die sich im Labor nicht ohne Weiteres simulieren lassen. In der üblichen Laborversuchsführung gemäß DIN EN 113 (1986) werden Basidiomyceten-Monokulturen

ausgewählter Arten verwendet. Dabei ist nur ein geringer Teil möglicher Organismen überhaupt einsetzbar. Bestimmungen von holzabbauenden Pilzen in Freilanduntersuchungen zeigen, dass der Abbau durch eine Reihe andere Arten verursacht wird (KÄÄRIK 1967, BUTCHER 1968, BANERJEE und LEVY 1971).

Andererseits schließt die Verwendung von Basidiomyceten-Monokulturen Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Organismen aus, die bei der Besiedlung des Holzes im Freiland eine wesentliche Rolle spielen. Somit werden nicht nur die Zusammenhänge der um das Substrat konkurrierenden holzabbauenden Organismen, sondern auch die holzbesiedelnden Organismen, die keinen Abbau verursachen, unberücksichtigt gelassen. Holz wird im Freiland selten direkt von holzabbauenden Pilzen befallen, diese folgen meist erst in einem fortgeschrittenen Sukzessionsstadium (BUTCHER 1968, BANERJEE und LEVY 1971, CLUBBE 1980, CLUBBE und LEVY 1982, CAREY 1982). Zwischen den Primärbesiedlern und den darauf folgenden Organismen sind antagonistische, synergistische oder neutralistische Wechselwirkungen möglich (SCHMIDT 2006). Da der Holzabbau vom umgebungsbedingtem Infektionspotential abhängig ist (GARRETT 1956), besteht für die Dauerhaftigkeitsermittlung grundsätzlich das Problem, das Abbaupotential möglichst realitätsnah in das Laborversuchsdesign einzubinden (NILSSON und EDLUND 1995). Durch die gezielte Auswahl des Prüfpilzes unter Berücksichtigung seiner Präsenz im Freiland ist möglicherweise, eine verbesserte Aussage aus Laboruntersuchungen zu erreichen. Da jedoch Freilandisolationen unter Laborbedingungen ein verändertes Abbauverhalten zeigen können (WILLEITNER 1984), besteht die Gefahr einer falschen Interpretation der Ergebnisse.

Außerdem werden in Laboruntersuchungen Bewitterungs- und Alterungsprozesse nicht befriedigend berücksichtigt, die den Holzabbau unter realen Bedingungen beeinflussen. Beispielsweise enthält Eiche wasserlösliche Ellagitannine (VIRIOT ET AL. 1993), deren wachstumshemmende Wirkung auf Pilze nachgewiesen ist (WANG ET AL. 1980). Unter realen Einsatzbedingungen können diese Substanzen ausgewaschen werden. Nach Aussage von NILSSON und EDLUND (1995) kann durch eine künstliche Auswaschung mit demineralisiertem Wasser, eine Auswaschungsbeanspruchung durch Niederschläge oder Bodenkontakt unter Freilandbedingungen nicht ausreichend simuliert werden. Daher stellt eine natürliche Bewitterung vor einer Untersuchung mit Basidiomyceten-Monokulturen eine Alternative dar. Beispielsweise wiesen MOLNAR ET AL. (1996, 1997) den Effekt einer Vorbehandlung durch Freilandbewitterung auf die Wirksamkeit von Holzschutzmitteln nach.

- Für Robinie, Eiche und Lärche wurden in TMC-Untersuchungen höhere Masseverluste gemessen, als die Dauerhaftigkeitsfaktoren aus den Freilanduntersuchungen im Erdkontakt erwarten ließen.

Die Rangfolgeverschiebungen der Holzarten hinsichtlich ihrer Dauerhaftigkeit zwischen TMC- und Freilanduntersuchungen können durch veränderte Abbauverhältnisse verursacht werden. Durch die konstanten Laborbedingungen und die gezielte Regulierung des Bodenwasserhaushalts dominierten in den eigenen Untersuchungen andere Fäuletypen den Abbau im Labor als im Freiland. Im Freiland zeichneten sich, mit Ausnahme in der Rhön, die anderen vier Standorten durch eine hohe Weißfäuleaktivität aus. Unter Laborbedingungen wurde das Holz in diesen Böden jedoch nur durch Moderfäule abgebaut. Die ständige Präsenz und unterschiedliche Aktivität von Moderfäule stellte auch EDLUND (1998) in TMC – Untersuchungen mit unterschiedlichen Testfeldeböden fest. Andere Fäuletypen dagegen waren weniger kontinuierlich vertreten. Auch bei NILSSON und DANIEL (1990) trat im Labor bei einer Reihe verschiedener Böden Moderfäule dominant auf. Nach ihren Erfahrungen sind in den meisten Böden Weiß- und Braunfäule vorhanden, werden aber durch die verwendete Versuchsführung unterdrückt.

Im Gegensatz zu den anderen Böden entwickelte sich in den eigenen TMCs mit Boden aus der Rhön ein starker Abbau durch Weißfäule, die im Freiland nur vereinzelt auftrat. Hieraus wird ersichtlich, dass es nicht möglich ist, von der im Testfeld dominanten Abbauförmung auf die im TMC maßgebliche Abbauförmung zu schließen (EDLUND 1998). Dies gilt auch für die am Abbau beteiligten Arten. NILSSON und EDLUND (1995) beobachteten in Laboruntersuchungen mit Testfelderde einen besonders starken Abbau durch einen dominant auftretenden Braunfäulepilz. Aus dem Freilandtestfeld war aber die Aktivität mehrerer Braunfäuleerreger bekannt, die unter Laborbedingungen nicht am Abbau beteiligt waren. Die Interaktion der individuellen Organismenzusammensetzung eines Bodens ist im Labor nicht ohne weiteres zu simulieren.

Auch unterschiedliche Größen von Labor- und Freilandprüfkörpern können zu abweichenden Ergebnissen führen, was sich aus Beobachtungen von NILSSON und EDLUND (1995) erklären lässt. Bei Holz im Erdkontakt war bereits nach kurzer Expositionszeit Moderfäule festzustellen, die 3-4 mm von der Oberfläche her in das Holz eindrang. Für einen TMC-Prüfkörper mit einem Querschnitt von 5 x 10 mm² bedeutet das bereits eine starke Zerstörung. Im Vergleich dazu resultiert bei langsamem Abbaufortschritt für größere Freilandprüfkörper (Querschnitt 25 x 50 mm²) dieser Befall nicht in einer kurzen Standdauer. Sie schlussfolgern hieraus, dass Laborergebnisse, die an sehr kleinen Laborprüfkörpern gewonnenen wurden, nicht auf Holz in Gebrauchsdimensionen anwendbar sind.

Aufgrund der betrachteten Aspekte lässt sich schließen, dass Freilanduntersuchungen nicht ohne weiteres durch Laboruntersuchungen ersetzt werden können. Im Hinblick auf die Holzverwendung sind die Laborergebnisse daher immer in Verbindung mit Freilandergebnissen zu betrachten und nicht isoliert zu interpretieren. Um bestimmte Ursachen oder spezifische Abbauvorgänge zu klären, ist es sinnvoll einzelne Fragestellungen isoliert im Labor zu betrachten und damit Freilandbefunde zu ergänzen. Die Dauerhaftigkeit kann jedoch durch Laboruntersuchungen nur dann realistisch eingeschätzt werden, wenn die entscheidenden Schutz- und Abbaumechanismen in Abhängigkeit von der Holzart und der Beanspruchung bekannt sind und entsprechend in die Laborprüfung integriert werden. Dies ist bislang nur unzureichend möglich. Deshalb sollten zur Bestimmung der Dauerhaftigkeit Freilanduntersuchungen bevorzugt werden, da diese die komplexen biotischen und abiotischen Einflüsse unter realitätsnahen Bedingungen einbeziehen. Dabei sind die Freilandtestfelder mit besonderer Sorgfalt auszuwählen. Freilanduntersuchungen sollten parallel in Testfeldern mit unterschiedlichen dominanten Fäuletypen und getrennt nach den Gebrauchsklassen durchgeführt werden.

5.9 Schlussfolgerungen für die Praxis

Die Freilanduntersuchungen ergaben Dauerhaftigkeitsunterschiede in Abhängigkeit von Holzart, Exposition und Standort. Dabei war die Dauerhaftigkeit stets im Zusammenhang mit den standort- und expositionsbedingten dominanten Fäuletypen zu betrachten.

Die Aussagen beruhen auf Dauerhaftigkeitsfaktoren, die aus dem Verhältnis der Abbaugeschwindigkeit der Referenzholzart zur Abbaugeschwindigkeit der Prüfholzart berechnet wurden. Eine Bestimmung der Dauerhaftigkeitsklassen gemäß DIN EN 350-1 (1994) war nach fünf Jahren noch nicht möglich, da hier der Relativwert aus mittlerer Standdauer von Prüf- und Referenzholzart verwendet wird. Dennoch ließen sich die folgenden Aussagen zur Dauerhaftigkeit treffen.

5.9.1 Holzherkunft und Dauerhaftigkeit

Innerhalb der Holzarten Tanne, Lärche und Eiche bestanden zwischen den drei geprüften Herkünften keine praxisrelevanten Dauerhaftigkeitsunterschiede. Auch zwischen skandinavischer und deutscher Fichte sowie skandinavischer und deutscher Kiefer wurde kein Unterschied in der Dauerhaftigkeit festgestellt.

Die geringere Dauerhaftigkeit einer Douglasien- und Robinienherkunft war auf den höheren Anteil an juvenilen Holz zurückzuführen. In der Praxis kann das Material jedoch nicht mit angemessenem Aufwand nach der Lage im Stamm sortiert werden. Außerdem sind viele Bauteile aufgrund ihrer Dimension realistischer Weise meist nicht aus einem Stammbereich mit gleicher Dauerhaftigkeit herzustellen. Aber auch Dauerhaftigkeitsunterschiede zwischen Bäumen einer Art vom gleichen

Wuchsstandort sind nicht ohne weiteres getrennt zu erfassen. Daher sollten bei einer Dauerhaftigkeitsprüfung die Unterschiede innerhalb einer Holzart in vollem Umfang berücksichtigt werden.

Aus den genannten Gründen erscheint eine Trennung der Herkünfte einer Holzart hinsichtlich ihrer Dauerhaftigkeit nicht sinnvoll. Vielmehr sollten diese Unterschiede durch Angabe von Dauerhaftigkeitsbereichen berücksichtigt werden, was vielfach durch Auflistung mehrerer Dauerhaftigkeitsklassen in DIN EN 350-2 (1994) bereits erfolgt.

5.9.2 Standort und Dauerhaftigkeit

Die Dauerhaftigkeiten der Holzarten wurden durch den Standort beeinflusst. Hierbei waren die Dauerhaftigkeitsunterschiede in engem Zusammenhang mit den dominierenden Fäuletypen zu sehen. Zum Beispiel wurde der Abbau im Erdkontakt am Standort Rhön fast ausschließlich von Moderfäule verursacht. Robinie erreichte hier nach fünf Jahren eine geringere Dauerhaftigkeit als Lärche und Douglasie.

Aus den Freilandergebnissen wurde ebenfalls der Einfluss des Mikroklimas deutlich. An einem durch Bäume beschatteten Standort war nach fünf Jahren die Dauerhaftigkeit von Kiefern-Kern und Eiche um ca. die Hälfte verringert gegenüber dem 150 m entfernten unbeschatteten Standort. Dieser Unterschied war größer als zwischen den vier klimatisch verschiedenen Standorten in Deutschland. Bei der Planung von Holzkonstruktionen sollte daher das durch Pflanzenbewuchs bedingte Mikroklima besonders berücksichtigt werden.

5.9.3 Gebrauchsklasse und Dauerhaftigkeit

Die Freilanduntersuchungen ergaben nach fünf Jahren für Douglasien-, Lärchen-, Kiefern-, Eichen- und Robinien-Kernholz eine höher Dauerhaftigkeit außerhalb des Erdkontakts als im Erdkontakt.

Aus der Praxis ist bekannt, dass Holz außerhalb des Erdkontakts eine länger Gebrauchsdauer hat als bei Verwendung im Erdkontakt. Die vorliegenden Ergebnisse haben zusätzlich gezeigt, dass nicht nur dieser absolute Wert, sondern auch der Faktor, um den die Holzart im Verhältnis zur Referenzholzart länger gebrauchsfähig bleibt, erheblich durch die Exposition (mit und ohne Erdkontakt) beeinflusst wird. Mit diesem Faktor wird die Dauerhaftigkeit einer Holzart ausgedrückt. Da die Dauerhaftigkeit eine Materialeigenschaft ist, sind die Dauerhaftigkeit im Erdkontakt und Dauerhaftigkeit ohne Erdkontakt als zwei Eigenschaften zu betrachten.

Diese Dauerhaftigkeitsunterschiede sind in der derzeitigen Klassifizierung nicht berücksichtigt. Daher wird eine Trennung der Dauerhaftigkeitsklassen nach Einsatzbereichen vorgeschlagen. Hierdurch würden die Möglichkeiten für die differenziertere Holzartenverwendung in der Praxis unterstützt.

Im Einzelnen resultierten aus den Freilanduntersuchungen folgende Ergebnisse:

Douglasien-, Lärchen- und Kiefern-Kern

Alle drei Holzarten erreichten im Doppellagen-Test nach fünf Jahren eine höhere Dauerhaftigkeit als im Erdkontakt. Die weitere Entwicklung der Dauerhaftigkeit wird durch die steigende Anzahl befallener Prüfkörper, die Expositionszeit vor Abbaubeginn und den Abbaufortschritt in Verbindung mit dem Fäuletyp beeinflusst (Kapitel 4.2.6 und 5.5.2). Trotzdem ist nach den vorliegenden Ergebnissen wahrscheinlich, dass diese Farbkern-Nadelhölzer außerhalb des Erdkontakts eine bessere Dauerhaftigkeit erreichen werden als im Erdkontakt. Demnach wäre Kernholz von Douglasie, Lärche und Kiefer unter Berücksichtigung baulicher und organisatorischer Schutzmaßnahmen für Konstruktionen außerhalb des Erdkontakts ohne chemischen Holzschutz einsetzbar.

Eiche und Robinie

Die Dauerhaftigkeit von Eiche und Robinie war außerhalb des Erdkontakts nach fünf Jahren größer als im Erdkontakt. Dieses Ergebnis wird sich mit hoher Wahrscheinlichkeit auch in Zukunft bestätigen. Trotz steigender Anzahl befallener Prüfkörper schritt der Abbau aufgrund des überwiegend langsam abbauenden Moderfäulebefalls nur geringfügig fort.

Eiche erreicht im Erdkontakt eine meist geringere Dauerhaftigkeit als Lärchen-, Douglasien- und Kiefern-Kernholz. Hieraus war zu schließen, dass mit der derzeit gültigen Dauerhaftigkeitsklassifizierung Eiche im Erdkontakt überbewertet wird.

Fichte und Tanne

Fichten-Splint, Fichten-Kern und Tanne waren sowohl mit als auch ohne Erdkontakt im Verhältnis zu Kiefern-Splint als nicht dauerhaft einzustufen. Nach DIN EN 350-2 (1994) werden Fichten-Kern und Tanne eine Dauerhaftigkeitsklasse besser als Splintholz klassifiziert. Diese konnte jedoch außerhalb des Erdkontakts, bei einer starken Beanspruchung in Holzkonstruktionen mit Wasserfällen kombiniert mit starkem Braunfäulebefall, für Fichten-Kernholz und Tanne nicht erreicht werden. Unter solchen Bedingungen sind zusätzliche Schutzmaßnahmen notwendig.

Der beginnende Abbau in vertikaler Exposition (Holz ohne Erdkontakt und ohne Wasserfälle) lässt jedoch eine weitere Differenzierung zwischen diesen Holzarten erwarten. Hier war nach fünf Jahren Fichten-Kern geringer abgebaut als Fichten-Splint, Tanne und Kiefern-Splint. Die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten und damit verbundenen unterschiedlichen Beanspruchungen von Holz außerhalb des Erdkontakts machen daher die weitere Untergliederung der Gebrauchsklasse 3 hinsichtlich der Dauerhaftigkeit und damit verbundenen Schutzmaßnahmen notwendig.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, den Einfluss verschiedener Standortbedingungen und Gebrauchsklassen (Holz mit und ohne Erdkontakt) auf die Dauerhaftigkeit einiger wirtschaftlich bedeutender Holzarten realitätsnah zu prüfen.

Die derzeit gültige Dauerhaftigkeitsklassifizierung basiert neben Erfahrungswerten nur auf Laborergebnissen und auf Freilandergebnissen aus dem Erdkontakt, obwohl Holz im Außenbereich überwiegend ohne Erdkontakt verbaut wird. Aus Wissenschaft und Holzbaupraxis ist bekannt, dass der Holzabbau durch Pilze erheblich durch den Standort und die Gebrauchsklasse (mit und ohne Erdkontakt) beeinflusst wird. Im Gegensatz zu diesen absoluten Abbauwerten wird die Dauerhaftigkeit als Faktor ausgedrückt, um den ein Bauteil aus einer Holzart länger gebrauchsfähig bleibt als aus einer Referenzholzart. Es ist jedoch nicht belegt, ob sich auch der Relativwert Dauerhaftigkeit in Abhängigkeit vom Einsatzbereich ändert. Bisher fehlen parallel geführte Untersuchungen zum direkten Dauerhaftigkeitsvergleich von Holz mit und ohne Erdkontakt.

Vor diesem Hintergrund wurde die Dauerhaftigkeit von drei Herkünften der Materialien Fichten-Splint, Fichten-Kern, Douglasien-Kern, Lärchen-Kern, Robinien-Kern, Eichen-Kern, Kiefern-Kern, Kiefern-Splint und Tanne gleichzeitig im Freiland und Labor untersucht.

Die Bestimmung der Dauerhaftigkeit im Labor erfolgte mit Basidiomyceten-Monokulturen (DIN EN 350-1: 1994, DIN EN 113: 1986) und terrestrischen Mikrokosmen (TMC).

Im Freiland wurde das Holz an fünf klimatisch verschiedenen Standorten in Deutschland exponiert. Die Prüfkörper wurden sowohl im Erdkontakt (DIN EN 252: 1990) als auch außerhalb des Erdkontakts, in horizontaler Doppellage und vertikal frei hängender Anordnung, geprüft. Aus den Bewertungsergebnissen der Freilandproben wurden die Abbaugeschwindigkeiten der Holzarten berechnet. Die Dauerhaftigkeit wurde mit Dauerhaftigkeitsfaktoren (Relativwert aus Abbaugeschwindigkeit der Referenzholzart zur Prüfholzart) beurteilt, da nach fünf Jahren noch keine Dauerhaftigkeitsklassifizierung mit der medianen Standdauer möglich war.

In vertiefenden Untersuchungen zum Abbau von Holz ohne Erdkontakt wurde der Einfluss verschiedener Prüfkörperformate auf den Abbau durch holzerstörende Pilze geprüft. Weiterhin waren Kenntnisse zur Besiedlung und zum Abbau von Holz durch *Gloeophyllum sepiarium* von besonderem wissenschaftlichen Interesse, da dieser Pilz vor allem an Holz ohne Erdkontakt erhebliche wirtschaftliche Schäden verursacht. Daher wurden speziell für diesen Pilz die Übertragung von Sporen auf Holz im Freiland mit Sporenfallen aus monokaryontem Mycel, die Sporenkeimung auf Holzoberflächen mit einer modifizierten Kontakt-Agar-Block-Methode sowie der Holzabbau durch Mycel untersucht.

Die Ergebnisse und Schlussfolgerungen aus der experimentellen Arbeit sind für folgende Schwerpunkte zusammengefasst:

1. Einfluss der Holzherkunft auf die natürliche Dauerhaftigkeit

Zwischen den drei geprüften Herkünften innerhalb der Holzarten Tanne, Lärche und Eiche bestanden keine praxisrelevanten Dauerhaftigkeitsunterschiede. Auch skandinavische und deutsche Fichte sowie skandinavische und deutsche Kiefer unterschieden sich nicht hinsichtlich ihrer Dauerhaftigkeit. Die geringere Dauerhaftigkeit einer Douglasien- und Robinienherkunft war auf den höheren Anteil an juvenilem Holz zurückzuführen.

2. Einfluss des Standorts auf Abbau und natürliche Dauerhaftigkeit von Holz im Freiland

Sowohl für Holz mit als auch ohne Erdkontakt wurden zwischen den fünf klimatisch verschiedenen Standorten Abbau- und Dauerhaftigkeitsunterschiede ermittelt. Diese waren auf den Fäuletyp Moder-, Weiß- oder Braunfäule zurückzuführen, der in Abhängigkeit von den Standortbedingungen (Boden, Klima) den Abbau unterschiedlich stark dominierte.

Außerhalb des Erdkontakts wurde ein starker Einfluss des Mikroklimas deutlich. An einem von Bäumen beschatteten Standort waren die Dauerhaftigkeitsfaktoren von Kiefern- und Eiche-Kern um ca. die Hälfte kleiner als an dem 150 m entfernten unbeschatteten Standort. Dieser Unterschied war größer als zwischen den vier klimatisch verschiedenen Standorten in Deutschland. Bei der Planung von Holzkonstruktionen sollte daher das durch Pflanzenbewuchs bedingte Mikroklima besonders berücksichtigt werden.

An allen Standorten erreichten die geprüften Nadelhölzer mit Farbkern und Laubhölzer außerhalb des Erdkontakts höhere Dauerhaftigkeitsfaktoren als im Erdkontakt.

3. Einfluss der Gebrauchsklasse auf Abbau und natürliche Dauerhaftigkeit von Holz im Freiland

Gegenüber der Erdkontaktverwendung ergaben sich im Doppellagen-Test (ohne Erdkontakt) für Kernholz von Douglasie, Lärche, Kiefer, Eiche und Robinie ein signifikant geringerer Abbau.

Der Holzabbau im und außerhalb des Erdkontakts war durch eine unterschiedliche Dynamik geprägt. Im Erdkontakt wurde das Holz umgehend befallen und mit einer Geschwindigkeit abgebaut, die sich während der gesamten Expositionszeit kaum änderte. Dagegen begann der Holzabbau im Doppellagen-Test (ohne Erdkontakt) später und die Abbaugeschwindigkeiten stiegen dann mit zunehmender Zeit an. Diese expositionstypischen Verläufe sind durch den Zeitpunkt des Abbaubeginns und den Abbaufortschritt in Abhängigkeit vom Fäuletyp charakterisiert. Sowohl der Abbaubeginn als auch der Abbaufortschritt der Fäuletypen war im Zusammenhang mit der Holzart, sowie den expositionsspezifischen Infektionswegen, Besiedlungs- und Abbaubedingungen zu betrachten.

Nicht nur der Abbau, sondern auch die Dauerhaftigkeit, ausgedrückt als Relativwert, wurde durch die Gebrauchsklasse stark beeinflusst. Im Vergleich zum Erdkontakt waren die Dauerhaftigkeitsfaktoren im Doppellagen-Test für Robinie und Lärche weit mehr als doppelt so hoch, für Kiefern-Kern, Douglasie und Eiche zwischen zwei und drei mal so hoch. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass mit der derzeit gültigen Dauerhaftigkeitsklassifizierung der DIN EN 350-2 (1994) die Dauerhaftigkeiten von Eiche im Erdkontakt über- und die der Farbkern-Nadelhölzer außerhalb des Erdkontakts unterbewertet sind.

Fichten-Splint, Fichten-Kern und Tanne wurden im Erdkontakt und im Doppellagen-Test (Holz ohne Erdkontakt mit Wasserfalle) als nicht dauerhaft bewertet. Der beginnende Abbau in vertikaler Exposition (Holz ohne Erdkontakt und ohne Wasserfalle) lässt jedoch eine weitere Differenzierung zwischen diesen Holzarten erwarten. Aufgrund der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten und damit verbundenen unterschiedlichen Beanspruchungen von Holz außerhalb des Erdkontakts ist eine weitere Untergliederung der Gebrauchsklasse 3 sinnvoll.

Die Untersuchungen verdeutlichten den Einfluss der Exposition auf die Dauerhaftigkeit. Die Materialeigenschaft Dauerhaftigkeit ist demnach nicht als konstanter Kennwert einer Holzart, sondern in Abhängigkeit von der jeweiligen Gebrauchssituation zu betrachten. Somit stellt die Dauerhaftigkeit im Erdkontakt eine andere Materialeigenschaft dar, als die Dauerhaftigkeit außerhalb des Erdkontakts. Daher wird vorgeschlagen, die Dauerhaftigkeit im und außerhalb des Erdkontaktes getrennt zu klassifizieren.

4. Einfluss der Prüfkörperdimension auf den Holzabbau außerhalb des Erdkontakt

Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Prüfkörperdimension und Holzabbau war nach vier Jahren Freilandexposition nicht festzustellen.

Die Untersuchungen zeigten jedoch, dass die Querschnittsform einen stärkeren Einfluss auf den Holzabbau hatte als das Prüfkörpervolumen. Je flacher der Querschnitt bei Kiefernprüfkörpern mit gleichem Volumen gestaltet war, desto geringer waren die anteiligen befallenen Querschnittsflächen. Die flache Querschnittsform und das damit vergrößerte Oberflächen-Volumen-Verhältnis verzögerte den Abbau.

Für Fichte konnte die Annahme bestätigt werden, dass einstielig eingeschnittene Prüfkörper eine stärkere Rissbildung und stärkeren Abbau aufwiesen als vierstielig eingeschnittene Prüfkörper. Auch für Fichtenprüfkörper mit liegenden Jahrringen waren die Rissbildung und der Abbau stärker als bei Prüfkörpern mit gleichem Querschnitt und Volumen, aber stehenden Jahrringen.

5. Holzbesiedlung und -abbau durch *Gloeophyllum sepiarium*

Mit Sporenfallen aus monokaryontem Mycel konnte im Freiland die Übertragung der Sporen von

G. sepiarium auf Holz ohne Erdkontakt nachgewiesen werden.

In weiterführenden Untersuchungen wurde die Sporenkeimung von *G. sepiarium* auf Holzoberflächen beobachtet. Hierbei ergab sich eine komplette Keimhemmung auf unbewittertem Kiefern-Splint und Eichen-Kernholz. Nach einer Freilandbewitterung dieser Hölzer war die Hemmwirkung aufgehoben. Daher wird von einer im wässrigen Medium diffusionsfähigen Substanz ausgegangen.

Sowohl auf unbewittertem als auch auf bewittertem Fichten- und Tannenholz sowie auf Kernholz von Douglasie, Lärche, Kiefer und Robinie war eine Sporenkeimung sehr gut möglich. Im Gegensatz zu Kiefern-Splint, Fichte und Tanne wurden die anderen Holzarten durch Mycel dieses Basidiomyceten deutlich geringer abgebaut.

Demnach ist für Holzarten mit hoher natürlicher Resistenz gegenüber Mycel der Schutzmechanismus einer Sporenkeimhemmung offenbar von geringerer Bedeutung, jedoch für leicht durch Mycel abbaubare Holzarten wesentlich entscheidender.

Die Ergebnisse zeigten jedoch auch, dass von der erfolgreichen Sporenkeimung nicht auf den Abbau geschlossen werden kann. Somit lassen Pilzidentifikationen von Holzoberflächen allein keine Rückschlüsse auf die Arten zu, die später den Abbau verursachen.

6. Vergleich Freiland- und Laborergebnissen

Zwischen Labor- und Freilandergebnissen wurde nur eine geringe Übereinstimmung gefunden.

- Untersuchungen mit Basidiomyceten-Monokulturen (DIN EN 113: 1986) spiegelten die bessere Dauerhaftigkeit der Farbkern-Nadelhölzer außerhalb des Erdkontakts nicht wider.
- Untersuchungen mit Basidiomyceten-Monokulturen (DIN EN 113: 1986) ergaben für Eiche eine wesentlich höhere Dauerhaftigkeit als unter Freilandbedingungen im Erdkontakt.
- Für Robinie, Eiche und Lärche wurde in TMC-Untersuchungen höhere Masseverluste gemessen, als die Dauerhaftigkeitsfaktoren aus den Freilanduntersuchungen im Erdkontakt erwarten ließen.

Hieraus war zu schließen, dass Freilanduntersuchungen nicht ohne weiteres durch Laboruntersuchungen ersetzt werden können. Die Dauerhaftigkeit kann durch Laboruntersuchungen nur dann realistisch eingeschätzt werden, wenn die entscheidenden Schutz- und Abbaumechanismen in Abhängigkeit von der Holzart und der Beanspruchung bekannt sind und entsprechend in die Laborprüfung integriert werden. Dies ist bislang nur unzureichend möglich. Deshalb sollte die Dauerhaftigkeit bevorzugt durch Freilanduntersuchungen bestimmt werden, die parallel in Testfeldern mit unterschiedlich dominanten Fäuletypen und getrennt nach den Gebrauchsklassen durchgeführt werden.

7 LITERATUR

- AKHTER, S.; HALE, M.D.C. 2002: Variation in natural durability of british grown Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). Part II. Effect of extractive contents and taxifolin. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP 02-10446: 11 S.
- ALCUBILLA, M.; DIAZ-PALACIO, M. P.; KREUTZER, K.; LAATSCH, W.; REHFUESS, K. E.; WENZEL, G. 1971: Beziehungen zwischen dem Ernährungszustand der Fichte (*Picea abies* Karst.), ihrem Kernfäulebefall und der Pilzhemmwirkung ihres Bastes. Eur. J. For. Path. 1: 100-114.
- ANDERSON, A. B. 1961: The influence of extractives on tree properties. 1. California redwood (*Sequoia sempervirens*). J. Inst. Wood Sci. Heft 8: 14-34.
- ANON 1976: Annual Report. Building Research Establishment, Department of the Enviroment: 41 S.
- ARNDT, U.; WILLEITNER, H. 1969: Zum Resistenzverhalten von Holz bei natürlicher Bewitterung. Holz Roh- Werkst. 27 (5): 179-188.
- AUFSESS v., H. 1976: Über die Wirkung verschiedener Antagonisten auf das Mycelwachstum von einigen Stammfäulepilzen. Mater. und Organ. 11 (3): 183-196.
- AUGUSTA, U. 2004: Dauerhaftigkeit der wichtigsten heimischen Hölzer bei realitätsnaher Prüfung unter bautypischen Bedingungen. Abschlussbericht zum Forschungsprojekt G-99/14 bei der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung, München: 204 S.
- AUGUSTA, U.; RAPP, A. O. 2004: Implenemtion and evaluation of field tests to determine the durability of wood. Report Trainings-Seminar COST E 37, <http://www.bfafh.de/inst4/45/pdf/repsemde.pdf>: 11 S.
- AYADIN, N.; CHARRIER, B.; IRMOULI, M.; CHARPENTIER, J. P.; JAY ALLEMAND, C.; FEULLAT, F.; KELLER, R. 2001: Interspecific variability of European oak durability against white rot fungi (*Coriolus versicolor*): Comparison between Sessile oak and Peduncle oak (*Quercus petraea* and *Quercus robur*). Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP 01-10393: 7 S.
- BAINES, E. F.; LEVY, J. F. 1979: Movement of water through wood. J. Inst.Wood Sci. 8: 109-113.
- BAKER, J. M.; MILLER, E. R.; MORGAN, J. W.; SAVORY, J. G. 1972: Work of the protection division at the Princes Risborough Laboratory. B.W.P.A. Annual Convention, 1973: 1-23.
- BANERJEE, A. K.; LEVY, J. F. 1971: Fungal succession in wood fence posts. Mater. und Organ. 6 (1): 1-25.
- BAUCH, J. 1971: Die Struktur der Hoftüpfelmembranen in Gymnospermen und ihr Einfluss auf die Wegsamkeit des Holzgewebes. Habil.schr., Universität Hamburg: 110 S.
- BAUCH, J. 1980: Natural variations of wood properties. Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg-Reinbek, Nr.131: 69-90.
- BAVENDAMM, W. 1936: Erkennen, Nachweis und Kultur der holzverfärbenden und holzersetzenden Pilze. Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden, Abt. 12, Methoden zur Erforschung der Leistungen von einzelligen Lebewesen, Teil 2, Heft 7: 1035.
- BAVENDAMM, W. 1948: Die Prüfung der natürlichen Dauerhaftigkeit des Holzes, insbesondere des Tropenholzes, gegen Pilze, Termiten und Bohrmuscheln. Z. Weltforstw. 12: 137-144.
- BAVENDAMM, W. 1952: *Lenzites abietina* (Bull.) Fr.. Pflanzliche Holzschädlinge. Holz Roh- Werkst. 10 (6): 261-262.
- BAVENDAMM, W. 1959: Über die natürliche Dauerhaftigkeit tropischer Hölzer. Mitteilung der DGfH 46: 13-17.
- BAVENDAMM, W. 1962: Kleine Geschichte des Holzschutzes. Holz-Zentralbl. 88 (60): 982-983.

- BECKMAN, C. H. 1964: Host responses to vascular infection. *Ann. Rev. Phytopathol.* 1964 (2): 231-252.
- BELFORD, P. S.; DICKINSON, D. J. 1985: Fungal detoxification of organotin biocides. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP 1258: 17 S.
- BELLMANN, H. 1988 a: Zur Frage der Bewertung von Labor-Versuchsergebnissen über die Basidiomyceten-Resistenz der Holzarten. Bisherige Ergebnisse, Vergleichbarkeit – Literaturüberblick. *Holz Roh- Werkst.* 46: 259-267.
- BELLMANN, H. 1988 b: Relative Resistenz der Holzarten gegenüber Basidiomyceten. Auswertung früherer Laboratoriumsprüfungen. *Holz Roh- Werkst.* 46: 417-425.
- BERGSTROM, M.; RYDELL, A.; ELOWSON, T. 2004: Durability of untreated Norway spruce (*Picea abies*) exposed outdoors above ground for nine years. *Holzforsch.* 58 (2): 167-172.
- BEYERS, R. J.; ODUM, H. T. 1993: *Ecological Microcosms*. Springer-Verlag New York, Berlin, Heidelberg: 557 S.
- BJURMAN, J. 1985: Conditions for basidiospore production in the brown rot fungus *Gloeophyllum sepiarium* in axenic culture. *Mater. und Organ.* 20 (2): 121-131.
- BLANCHETTE, R. A. 1982: Decay and canker formation by *Phellinus pini* in white and Balsam fir. *Can. J. For. Res.* 12: 538-544.
- BLANCHETTE, R.A. 1992: Anatomical responses of xylem in injury and invasion by fungi. In: Blanchette, R.A. und Biggs A.R. (eds.), *Defense mechanisms of woody plants against fungi*. Springer, Berlin: 76-95.
- BLANCHETTE, R.A.; BIGGS A.R. (eds.) 1992: *Defense mechanisms of woody plants against fungi*. Springer, Berlin: 458 S.
- BLASER, W. 1982: *Schweizer Holzbrücken*. Birkhäuser Verlag, Basel, Boston, Stuttgart: 184 S.
- BLEW, O. 1961: Results of preservative treatment of Douglas-fir from different areas. *American Wood-Preservers' Association* 57: 200-212.
- BORSHOLT, E.; HENRIKSEN, K. 1992: EN 252: Field test method for determining the relative protective effectiveness of wood preservatives in ground contact. NWPC Information No. 23/90, Nordic wood Preservation council 1992: 22 S.
- BOSSHARD, H. H. 1967: Über die fakultative Farbkernbildung. *Holz Roh- Werkst.* 25 (11): 409-416.
- BROWNE, F. L. 1960: Wood siding left to weather naturally. *Southern Lumberman*: 141-143.
- BUTCHER, J. A. 1968: The ecology of fungi infecting untreated sapwood of *Pinus radiata*. *Can. J. Bot.* 46: 1577-1589.
- BUTCHER, J.; NILSSON, T. 1982: Influence of variable lignin content amongst hardwood on soft-rot susceptibility and performance of CCA preservatives. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP 1151: 16 S.
- CAMPBELL, R. N.; CLARK, J. W. 1960: Decay resistance of baldcypress heartwood. *For. Prod. J.* 10 (5): 250-253.
- CAREY, J. K. 1982: Assessing the performance of preservative treatments for wood joinery. *Holz Roh- Werkst.* 40: 269-274.
- CAREY, J. K. 2002 a: L-joint trails: Part 1: Observations on the process of colonisation and decay. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP 02-20250: 14 S.
- CAREY, J. K. 2002 b: L-joint trails: Part 2: The relationship between colonisation by decay fungi and long-term performance. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP 02-20251: 10 S.

- CAREY, J. K.; PURSLOW, D. F.; SAVORY, J. G. 1981: Proposed method for out-of-ground contact trails of exterior joinery protection systems. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP 2157: 16 S.
- CAREY, J. K.; BRAVERY, A. F. 1989: Co-operation research project on L-joint testing. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP 2338: 14 S.
- CAREY, J. K.; ORSLER, R. J. 1995: BRE experience in monitoring decay in out-of-ground exposure trails. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP 20077: 3 S.
- CARTWRIGHT, K. ST. G. 1941: The variability in resistance to decay of the heartwood of home-grown Western red cedar (*Thuja plicata* D. Don.) and its relation to position in the log. *Forestry* 15: 65-75
- CARTWRIGHT, K. ST. G.; FINDLEY, W. P. K. 1946: Decay of timber and its preservation. Forest Products Research Laboratory, London: 294 S.
- CAVALCANTE, M. S.; LOPEZ, G. A. C.; MONTAGNA, R. G.; FOSCO MUCCI, M. E. S. 1985: Natural durability of wood in ground contact - A correlation between field and laboratory tests. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP 2182: 9 S.
- CHAPMAN, A. D. 1933: Effect of steam sterilization on susceptibility of wood to blue-staining and wood-destroying fungi. *J. Agric. Res.* 47 (6): 369-374.
- CHOI, S. M.; RUDDICK, J. N. R.; MORRIS P. I. 2003: Fungal colonization of CCA-treated decking. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP 03-10491: 11 S.
- CLARK, J. W.; SCHEFFER, T. C. 1983: Natural decay resistance of the heartwood of Coast redwood *Sequoia sempervirens* (D. Don) endl.. *For. Prod. J.* 33 (5): 15-20.
- CLUBBE, C. P. 1980: The colonisation and succession of fungi in wood. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP 1107: 14 S.
- CLUBBE, C. P.; LEVY, J. F. 1982: Microbial ecology of CCA-treated stakes. *Mater. und Organ.* 17 (1): 21-34.
- COLLING, F. 2000: Grundregeln für das Bauen ohne Folgeschäden. *Holz-Zentralbl.* 126 (18): 242-243.
- COWLING, E. B. 1961: Comparative biochemistry of the decay of sweetgum sapwood by white-rot and brown-rot fungi. U.S. Department of Agriculture, Technical Bulletin No. 1258: 78 S.
- CURLING, S. F.; CLAUSEN, C. A.; WINANDY, J. E. 2002: Experimental method to quantify progressive stages of decay of wood by basidiomycete fungi. *Int. Biodet. & Biodegr.* 49: 13-19.
- DA COSTA, E. W. B. 1979: Comparative decay resistance of Australian timbers in accelerated laboratory tests. *Aust. For. Res.* 9: 119-135.
- DE GROOT, R.C. 1992: Test assemblies for monitoring decay in wood exposed above ground. *Int. Biodet. & Biodegr.* 29: 151-175.
- DEON, G. R. Y.; TRONG, L. N. 1984: Window test direct testing of wood resistance to decay: a study of its fitness, its reliability and its accelerating factor. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP/2219: 12 S.
- DERBYSHIRE, H.; CAREY, J.K. 2001: Evaluating joinery preservatives: performance prediction using BS EN 330 L-joint trials. Information Paper 2 /01 BRE: 4 S.

- DIROL, D. 1986: Investigation on different variation factors in the results of mycological test and means to reduce and avoid them. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP/2264: 25 S.
- DIX, N. J.; WEBSTER, J. 1995: Fungal ecology. University Press, Cambridge, UK: 549 S.
- DORADO, J.; MARTINEZ-INIGO, M. J.; BEEK VAN, T. A.; CLAASSEN, F. W.; WIJNBERG, J. B. P. A.; SIERRA-ALVAREZ, R. 1998: Screening of fungal strains for wood extractive degradation. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP/98-10254: 11 S.
- DORADO, J.; BEEK VAN, T. A.; CLAASSEN, F. W.; SIERRA-ALVAREZ, R. 1999: Degradation of resin constituents in various wood species by the white rot fungus *Bjerkandera* sp. strain BOS55. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP/99-10301: 10 S.
- DREWS, G. 1976: Mikrobiologisches Praktikum. Dritte, neubearbeitete Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York: 106-108.
- DRYSDALE, J. A. 1984: Comparison of the effect of different soil sources on the type and rate of decay of CCA-treated pine exposed in a soil-bed. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP/2213: 9 S.
- DUNCAN, C. G. 1961: Relative aeration requirements by soft rot and basidiomycete wood-destroying fungi. Forest Products Laboratory Madison, Wisconsin, Report No. 2218:12 S.
- EATON, R. A.; HALE, M. D. C. 1993: Wood. Decay, pests and protection. London, Glasgow, New York, Tokyo, Melbourne, Madras, Chapman & Hall: 78-110.
- EBERHARDT, T. L.; HAN, J. S.; MICALES, J. A.; YOUNG, R. A. 1994: Decay resistance in conifer seed cones: Role of resin acids as inhibitors of decomposition by white-rot fungi. *Holzforsch.* 48: 278-284.
- EDLUND, M-L. 1994: Losses of preservatives from treated wood during service. Results from a questionnaire. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP 94-50031: 17 S.
- EDLUND, M-L. 1998: Durability of wood in ground contact tested in field and laboratory. Doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences Uppsala: 27 S.
- EDLUND, M-L.; HENNINGSSON, B. 1987: Chemical and biological studies of organotin treated and painted wood stakes after outdoor exposure. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP 3419: 8 S.
- EDLUND, M-L.; EVANS, F. G.; HENRIKSEN, K.; NILSSON, T. 2006: Testing durability of treated wood according to EN 252. Interpretation of data from nordic test fields. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP 06-20341: 18 S.
- EDMAN, M. und GUSTAFSSON, M. 2003: Wood-disk traps provide a robust method for studying spore dispersal of wood-decaying basidiomycetes. *Mycologia* 95 (3): 553-556.
- EDMAN, M.; GUSTAFSSON, M.; STENLID, J.; ERICSON, L. 2004: Abundance and viability of fungal spores along a forestry gradient-responses to habitat loss and isolation? *Oikos* 104: 35-42.
- ELOWSON, T.; BERGSTRÖM, M.; HÄMÄLÄINEN, M. 2003: Moisture dynamics in Norway spruce and Scots pine during outdoor exposure in relation to different surface treatments and handling conditions. *Holzforsch.* 57 (2): 219-227.
- ENGLUND, F.; NUSSBAUM, R. M. 2000: Monoterpenes in Scots pine and Norway spruce and their emission during kiln drying. *Holzforsch.* 54 (5): 449-456.

- ERDTMAN, H. 1938: Die phenolischen Inhaltsstoffe des Kiefernkernelholzes, ihre physiologische Bedeutung und hemmende Einwirkung auf die normale Aufschließbarkeit des Kiefernkernelholzes nach dem Sulfitverfahren. *Liebigs Ann. Chem.* 539: 116-127.
- ERICKSON, H. D.; ESTEP, E. M. 1962: Permeability of Douglas-fir heartwood from Western Washington. *For. Prod. J.* 12: 313-324.
- ERIKSSON, K.-E. L.; BLANCHETTE, R. A.; ANDER, P. 1990: Microbial and enzymatic degradation of wood and wood components. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong: 407 S.
- ESLYN, W. E.; HIGHLEY, T. L. 1976: Decay resistance and susceptibility of sapwood of fifteen tree species. *Phytopath.* 66: 1011-1017.
- ESLYN, W. E.; HIGHLEY, T. L.; LOMBARD, F. F. 1985: Longevity of untreated wood in use above ground. *For. Prod. J.* 35 (5): 28-35.
- FALCK, R. 1909: Die Lenzitesfäule des Coniferenholzes, eine auf kultureller Grundlage bearbeitete Monographie der Coniferenholz bewohnenden Lenzites-Arten. In: Möller, A. (Hrsg.): Hausschwammforschung 3. Heft, Gustav Fischer Verlag Jena: 234 S.
- FEIST, W. C. 1982: Weathering of wood in structural uses. In: Meyer, R. W. und Kellogg, R. M. 1982: Structural uses of wood in adverse environments. Society of Wood Science and Technology, Van Nostrand Reinhold Company: 156-178.
- FEIST, W. C.; MRAZ, E. A. 1978: Protecting millwork with water repellants. *For. Prod. J.* 28 (5): 31-35.
- FENGEL W.; WEGENER G. 1989: Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions. De Gruyter: Berlin, New York: 613 S.
- FERGUS, C. L. 1960: Illustrated genera of wood decay fungi. Burgess Publishing Company, Minnesota: 132 S.
- FINDLEY, W. P. K. 1966: Ecology of wood-destroying and wood-inhabiting fungi. *Holz und Organismen* (1): 199-211.
- FINDLAY, W. P. K.; SAVORY, J. G. 1954: Moderfäule. Die Zersetzung von Holz durch niedere Pilze. *Holz Roh- Werkst.* 12 (8): 293-296.
- FINSTEN, M. S. und ALEXANDER, M. 1962: Competition for carbon and nitrogen between *Fusarium* and bacteria. *Soil Sci.* 94: 334-339.
- FLEISCHER H. O. 1950: An anatomical comparison of refractory and easily treated Douglas fir heartwood. *American Wood-Preservers' Association* 46: 152-157.
- GABY, L. I.; DUFF, J. E. 1978: Moisture content changes in wood deck and rail components. U. S. Dep. Agric. For. Serv., Res. Pap. SE-190: 12 S.
- GADNER, J. A. F.; BARTON, G. M. 1958: The extraneous components of Western red cedar. *For. Prod. J.* 8: 189-192.
- GADNER, J. A. F.; BARTON, G. M. 1960: The distribution of dihydroquercetin in Douglas-fir and Western larch. *For. Prod. J.* 10 (1): 171-173.
- GARRETT, S. D. 1951: Ecological groups of soil fungi: A survey of substrate relationship. *New Phytolog.* 50 (2): 149-166.
- GARRETT, S. D. 1955: Microbial ecology of the soil. *Trans. Brit. mycol. Soc.* 38 (1): 1-9.
- GARRETT, S. D. 1956: Biology of root-infecting fungi. Cambridge University Press: 293 S.
- GERHARDT, E. 1995: BLV Handbuch Pilze. BLV Verlagsgesellschaft mbH München Wien Zürich: 639 S.

- GERSONDE, M.; KERNER, W. 1984: Soft rot tests with soils of different origins. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP 2226: 8 S.
- GIERLINGER, N.; JACQUES, D.; SCHWANNINGER, M.; WIMMER, R. PAQUES, L. E. 2004: Heartwood extractives and lignin content of different larch species (*Larix* sp.) and relationships to brown-rot decay-resistance. *Trees* 18: 230-236.
- GJOVIK, L. R.; DAVIDSON, H. L. 1975: Service records on treated and untreated fenceposts. U.S.D.A. Forest Service Research Note, FPL-068: 44 S.
- GLAUS, G.; SELL, J. 2000: Stabkirchen aus Holz in Norwegen – das Konzept ihrer beispielhaften Lebensdauer. Forschungs- und Arbeitsbericht 115/41, EMPA Abteilung Holz: 37 S.
- GOODELL, B. 2003: Brown-rot fungal degradation of wood: Our evolving view. In: Goodell, B.; Nicholas, D. D.; Schultz, T. P.: Wood deterioration and preservation. Advances in our changing world. American Chemical Society, Washington DC, Symposium Series 845: 97-118.
- GREF, R.; HAKANSSON, C.; HENNINGSSON, B.; HEMMING, J. 2001: Influence of wood extractives on brown and white rot decay in Scots pine heart-, light- and sap-wood. *Mater. und Organ.* 33 (2): 119-128.
- GRIFFIN, G. J. 1919: Bordered pits in Douglas fir: A study of the position of the torus in mountain and lowland specimens in relation to creosote penetration. *J. For.* 17: 813-822.
- GRIFFIN, G. J. 1924: Further note on the position of the tori in bordered pits in relation to penetration of preservatives. *J. For.* 22: 82-83.
- Grinda, M.; Bergmann, Ö.; Borck, H. V.; Dickinson, D.; Esser, P.; Gründlinger, R.; Leithoff, H.; Molnar, S.; Paajanen, L.; Pfabigan, N.; Suttie, E.; Thomassin, F.; Nilsson, T.; Van Acker, J.; Van Der Zee, M.; Voss, A. 2001: A field study on the suitability of the european Lap-joint-Test. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP/01-20239: 24 S.
- GROSSER, D. 1985: Pflanzliche und tierische Bau- und Werkholzschädlinge. DRW-Verlag Leinfelden-Echterdingen: 75-80.
- GUILLEY, E.; CHARPENTIER, J. P.; AYADI, N.; SNAKKERS, G.; NEPVEU, G.; CHARRIER, B. 2004: Decay resistance against *Coriolus versicolor* in Sessile oak (*Quercus petraea* Liebl.): analysis of the between-tree variability and correlations with extractives, tree growth and other basic wood properties. *Wood Sci. Technol.* 38: 539-554.
- HAARS, A.; CHET, I.; HÜTTERMANN, A. 1981: Effect of phenolic compounds and tannin on growth and laccase activity of *Fomes annosus*. *Eur. J. For. Path.* 11: 67-76.
- HALLENBERG, N.; KÜFFER, N. 2001: Long-distance spore dispersal in wood-inhabiting basidiomycetes. *Nordic J. Bot.* 21 (4): 431-436.
- HARJU, A. M.; KAINULAINEN, P.; VENÄLÄINEN, M.; TIITTA, M.; VIITANEN, H. 2002: Differences in resin acid concentration between brown-rot resistant and susceptible Scots pine heartwood. *Holzforsch.* 56: 479-486.
- HARJU, A. M.; VENALAINEN, M.; ANTTONEN, S.; VIITANEN, H.; KAINULAINEN, P.; SARANPAA, P.; VAPAAVUORI, E. 2003: Chemical factors affecting the brown-rot decay resistance of Scots pine heartwood. *Trees – Struc. & Func.* 17 (3): 263-268.
- HARTIG, G., L. 1836: Erfahrungen über die Dauer der Hölzer und über die Mittel die Dauer des Holzes zu verlängern. Berlin, in der Nicolaischen Buchhandlung: 24 S.
- HATTEMER, H. H.; BERGMANN, F.; ZIEHE, M. 1993: Einführung in die Genetik für Studierende der Forstwissenschaft. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, 2. neubearbeitete und erweiterte Auflage: 492 S.

- HEDLEY, M. E. 1983: Comparison of decay rates of preservative-treated stakes in field and fungus cellar tests – results after 40 months fungal cellar exposure. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP 2200: 11 S.
- HEDLEY, M. 1993: Comparison of performance of wood preservatives in laboratory and field tests and in service tests of treated commodities. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP 93-20010: 23 S.
- HEDLEY, M. E.; PAGE, D. R.; FOSTER, J. B.; PATTERSON, B. E. 1995: Above-ground field tests undertaken in New Zealand. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP 95-20063: 6 S.
- HENNINGSSON, B. 1967: Changes in impact bending strength, weight and alkali solubility following fungal attack on birch wood. *Studia Forstalia Suecica* Nr. 41, Skogshögskolan Stockholm, 21 S.
- HENNINGSSON, B. 1976: Aspects of the performance of treated woods in northern Europe. Report of Working Party S5.03.05 Biodeterioration XVI IUFRO World-Congress, Oslo 1976. Swedish Wood Preservation Institut, Report No. 124: 3-21.
- HENNINGSSON, B. 1977: Decay in window joinery in Sweden. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP 390: 5 S.
- HIGHLEY, T. L. 1976: Hemicellulases of white- and brown-rot fungi in relation to host preferences. *Mater. und Organ.* 11 (1): 33-46.
- HIGHLEY, T. L. 1987: Changes in chemical components of hardwood and softwood by brown-rot fungi. *Mater. und Organ.* 22 (1): 39-45.
- HIGHLEY, T. L. und RICARD, J. 1988: Antagonism of *Trichoderma* spp. and *Gliocladium virens* against wood decay fungi. *Mater. und Organ.* 23 (3): 157-170.
- HILLIS, W. E. 1962: Wood Extractives and their significance to the pulp and paper industries. Academic Press New York and London: 513 S.
- HOF, T. 1975: Monographic card for *Gloeophyllum sepiarium* (Wulf ex Fr) Karst. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP 131: 9 S.
- HOLDENRIEDER, O. 1984: Untersuchungen zur biologischen Bekämpfung von *Heterobasidion annosum* an Fichte (*Picea abies*) mit antagonistischen Pilzen. Teil I. *Eur. J. For. Path.* 14 (1): 17-32.
- HUCKFELDT, T. 2002: Echter Hausschwamm. Informationen zu holzerstörenden Pilzen. www.hausschwamminfo.de.
- HUCKFELDT, T. 2003: Ökologie und Cytologie des Echten Hausschwammes (*Serpula lacrymans*) und anderer Hausfäulepilze. *Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg*, Nr. 213: 152 S.
- HUCKFELDT, T.; SCHMIDT, O. 2005: Hausfäule- und Bauholzpilze. Rudolf Müller, Köln. 377 S.
- HULME, M. A.; SHIELDS, J. K. 1970: Biological control of decay fungi in wood by competition for non-structural carbohydrates. *Nature* 227: 300-301.
- HUMPHREY, C. J. 1915: Tests on the durability of greenheart (*Nectandra rodiaei* Schomb.). *Mycologia* 7: 204-209.
- ILLNER, H. M. 2000: Holzverwendung in der Gefährdungsklasse 4. Tagungsband der 22. Holzschutztagung der DGfH am 17. und 18. Oktober in Bad Kissingen: 35-40.
- JAHN, H. 1979: Pilze die an Holz wachsen. Bussesche Verlagshandlung, Herford: 268 S.
- JAMES, T. Y.; VILGALYS, R. 2001: Abundance and diversity of *Schizophyllum commune* spore clouds in the Caribbean detected by selective sampling. *Mol. Ecol.* 10: 471-479.

- JOHNSON, G. C.; THORNTON, J. D.; CREFFIELD, J. W.; HOWICK, C. D. 1983: Natural durability studies in an accelerated field simulator – a novel approach. International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP/2197: 7 S.
- JOHNSON, G. C.; THORNTON, J. D. 1991: An australian test of wood preservatives. II. The condition after 25 years' exposure of stakes treated with waterborne preservatives. *Mater. und Organ.* 26 (4): 304-315.
- JOHNSON, G. C.; THORNTON, J. D.; NGUYEN, N.-K. 1996: An in ground durability field test of Australian timbers and exotic reference species. XI. Results after more than 25 years' exposure. *Mater. und Organ.* 30 (3): 219-230.
- JOHNSTONE, R. S.; EATON, R. A. 1989: A 53-year old field trial to evaluate the performance of a range of chemical treatments on eucalypt poles. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP/3526: 9 S.
- KÄÄRIK, A. 1967: Colonisation of pine and spruce poles by soil fungi after six months. *Mater. und Organ.* 2: 97-108.
- KENNEDY, R. W. 1956: Fungicidal toxicity of certain extraneous components of Douglas-fir heartwood. *For. Prod. J.* 6: 80-84.
- KIM, Y. S.; GOODELL, B.; JELLISON, J. 1990: Immuno-electron microscopic localization of extracellular metabolites in spruce wood decayed by brown-rot fungus *Postia palcenta*. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP/1441: 13 S.
- KLEIST, G. 2000: Über die natürliche Dauerhaftigkeit ausgewählter Wirtschaftsholzarten unter besonderer Berücksichtigung von Sapelli (*Enandrophragma cylindricum* Sprague). Dissertation am Fachbereich Biologie der Universität Hamburg: 155 S.
- KLUMPP, R.; GÜRTH, P. 1988: Die Einbringung der Douglasie im Forstbezirk Sulzburg unter Karl Philipp (1897 bis 1910). *AFJZ* 159 (1/2): 12-19.
- KRAHMER, R. L. 1961: Anatomical features of permeable and refractory Douglas-fir. *For. Prod. J.* 11: 439-441.
- KREMER, B. P. 2002: Das große Kosmos-Buch der Mikroskopie. Frack-Kosmos-Verlag-GmbH & Co., Stuttgart: 317 S.
- KUNDE, M. 1980: Zum gesundheitlichen Risiko von Holzschutzmitteln. *Holz-Zentralbl.* 106 (30): 493-494.
- LEICESTER, R. H.; WANG, C.-H.; NGUYEN, M.N.; THORNTON, J. D.; JOHNSON, G.; GARDNER, D.; FOLIENSTE, G. C.; MACKENZIE, C. 2003: An engineering model for the decay of timber in ground contact. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP/03-20260: 21 S.
- LEUTRITZ, J. 1946: A wood soil contact culture technique for laboratory study of wood-destroying fungi, wood decay and wood preservation. *Bell System Technical Journal* 25: 102-135.
- LEVY, J. F. 1982: The place of basidiomycetes in the decay of wood in contact with the ground. In: Frankland, J.; Hedger, J. N.; Swift M. J. (eds.): *Decomposer basidiomycetes: Their biology and ecology*. Cambridge University Press, United Kingdom: 161-178.
- LIESE, W. 1959: Die Moderfäule, eine neue Krankheit des Holzes. *Naturw. Rundschau* 12 (11): 419-425.
- LIESE, W. 1961: Über die natürliche Dauerhaftigkeit einheimischer und tropischer Holzarten gegenüber Moderfäulepilzen. *Mitteilungen der DGfH* 48: 18-28.
- LIESE, J.; STAMER, J. 1934: Vergleichende Versuche über die Zerstörungsintensität einiger wichtiger holzzersetzender Pilze und die hierdurch verursachte Festigkeitsverminderung des Holzes. *Angew. Bot.* 16: 363-372.

- LIESE, W.; v. PECHMANN, H. 1959: Untersuchungen über den Einfluss von Moderfäulepilzen auf die Holzfestigkeit. Forstw. Cbl. 78: 271-279.
- LIESE, W.; AMMER, U. 1964: Über den Befall von Buchenholz durch Moderfäulepilze in Abhängigkeit von der Holzfeuchtigkeit. Holzforsch. 18 (4): 97-102.
- LIESE, W.; ECKSTEIN, D. 1967: Untersuchungen über das gleichzeitige Wachstum von Moderfäulepilzen in Buchenholz. Mater. und Organ. 2: 215-228.
- LINDGREN, R. M. 1933: Decay of wood and growth of some *Hymenomyces* as affected by temperature. Phytopath. 23 (1): 73-81.
- LINK, C. L.; DE GROOT, R. C. 1990: Predicting effectiveness of wood preservatives from small sample field trials. Wood Fiber Sci. 22 (1): 92-108.
- LORENZ, R. J. 1988: Grundbegriffe der Biometrie. Gustav Fischer Verlag Stuttgart: 241 S.
- LYR, H. 1962: Detoxification of heartwood toxins and chlorophenols by higher fungi. Nature 195: 289-290.
- MALTERUD, K. E.; BREMNES, T. E.; FAEGRI, A.; MOE, T.; SANDANGER DUGSTAD, E. K. 1985: Flavonoids from the wood of *Salix caprea* as inhibitors of wood-destroying fungi. J. Nat. Prod. 48 (4): 559-563.
- MANION, P. D. 1981: Tree Disease Concepts. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey: 399 S.
- MANTAU, U.; KAISER, C. 2002: Holzeinsatz im Modernisierungsmarkt – Wohnungsbau – Nichtwohnbau. Im Auftrag des Holzabsatzfonds, unveröffentlichter Forschungsbericht.
- MARTINEZ-INIGO, M. J.; CLAASSEN, F. W.; JOSELEAU, B.; VAN BEEK, T. A.; LENON, G.; SIERRA-ALVAREZ, R. 2000: Evaluation of fungal capacity for detoxification of extractives in Scots pine sapwood. Environmental Technology 21 (5): 569-575.
- MEIERHOFER, U.; SELL, J. 1979: Physikalische Vorgänge in wetterbeanspruchten Holzbauteilen. 3. Mitteilung: Träger mit direkter Wetterbeanspruchung. Holz Roh- Werkst. 37: 447-454.
- MELCHER, E.; JÜNGEL, P.; MÖLLENDORF, B.; SCHMITT, U. 2003: Identification of a hydroxy substituted calamenene – a sesquiterpene associated with wound reaction in non-infected xylem of *Tilia* spp.. Phytochem. 62: 707-713.
- MERRILL, W.; FERNCH, D. W. 1966: Colonization of wood by soil fungi. Phytopath. 56: 301-303.
- MESSNER, R.; STACHELBERGER, H. 1984: Electron microscope observations of brown rot caused by *Fomitopsis pinicola* with respect to osmiophilic particles. Trans. Brit. mycol. Soc. 83 (1): 113-130.
- MESSNER, R.; FOISNER, H.; STACHELBERGER, H.; RÖHR, M. 1985: Osmiophilic particles as a typical aspect of brown and white rot systems in transmission electron microscope studies. Trans. Brit. mycol. Soc. 84 (3): 457-466.
- MESSNER, K.; FACKLER, K.; LAMAIPIS, P.; GINDL, W.; SREBOTNIK, E.; WATANABE, T. 2003: Overview of white-rot research: Where we are today. In: Goodell, B.; Nicholas, D. D.; Schultz, T. P.: Wood deterioration and preservation. Advances in our changing world. American Chemical Society, Washington DC, Symposium Series 845: 73-96.
- MILITZ, H.; MICHON, S. G. L.; POLMAN, J. E.; STEVENS, M. 1996: A comparison between different accelerated test methods for the determination of natural durability of wood. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP/96-20099: 12 S.
- MILITZ, H.; BROERTJES, M.; BLOOM, C. J. 1998: Moisture content development in Lap-joints of different wood species in outside exposure trials. International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP/98-20143: 13 S.

- MILITZ, H. und BLOOM, C. J. 2000: The use of Lap-joints in natural durability testing: moisture content development during 36 months outside exposure trials. International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP/00-20217: 15 S.
- MILLER, D. J. 1961: Permeability of Douglas-fir in Oregon. For. Prod. J. 11: 14-16.
- MILLER, D. J. und GRAHAM, R. D. 1963: Treatability of Douglas fir from Western United States. American Wood-Preservers' Association 59: 218-222.
- MINIUTTI, V. P.; MRAZ, E. A.; BLACK, J. M. 1961: Measuring the effectiveness of water-repellent preservatives. For. Prod. J. 11 (10): 453-462.
- MIRIC, M.; WILLEITNER, H. 1984: Lethal temperature for some wood-destroying fungi with respect to eradication by heat treatment. International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP/1229: 8 S.
- MOLL, F. 1920: Holzschutz. Seine Entwicklung von der Urzeit bis zur Umwandlung des Handwerkes im Fabrikbetrieb. Beiträge zur Geschichte der Technik und Industrie Band 10, Berlin VDI und Springer: 66-92.
- MOLNAR, S.; DICKINSON, D. J.; MURPHY, R. J. 1996: Microbial ecology of treated Lap-joints exposed at Hilo, Hawaii, for 12 months. International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP/96-20089: 10 S.
- MOLNAR, S.; DICKINSON, D. J.; MURPHY, R. J. 1997: Microbial ecology of treated Lap-joints exposed at Hilo, Hawaii, for 24 months. International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP/97-20107: 15 S.
- MORRELL, J. J.; SMITH, S. M.; NEWBILL, M. A.; GRAHAM, R. D. 1986: Reducing internal and external decay of untreated Douglas-fir poles: a field test. For. Prod. J. 36 (4): 47-52.
- MORRELL, J. J.; SCHNEIDER, P. 1995: Incidence of decay above the groundline in Douglas-fir poles in the Pacific-Northwest. For. Prod. J. 45 (5): 80-83.
- MORTON, H. L.; FRENCH, D. W. 1966: Factors affecting germination of spores of wood-rotting fungi on wood. For. Prod. J. 16 (3): 25-30.
- MORTON, L. H. G.; EGGINS, H. O. W. 1976: The influence of isolation on the pattern of fungal succession onto wood. International Biodeterioration Bulletin 12 (4): 100-105.
- MÜLLER, J. 2000: Konstruktiver Holzschutz durch die Gestaltung der Holzoberfläche unter Berücksichtigung der anatomischen Eigenschaften – Machbarkeitsstudie. Abschlussbericht Az. 08047, Deutsche Bundesstiftung Umwelt: 1-33.
- MUNTZ, H. H. 1943: A fence post service test in the Mississippi Delta. J. For. 41: 524-526.
- MURMANIS, L. L.; HIGHLEY, T. L.; RICARD, J. 1988: Hyphal interaction of *Trichoderma harzianum* and *Trichoderma polysporum* with wood decay fungi. Mater. und Organ. 23 (4): 157-169.
- NAULT, J. 1988: Radial distribution of thujaplicine in old growth and second growth western red cedar (*Thuja plicata* Donn). Wood Sci. Technol. 22: 73-80.
- NICHOLAS, D. D.; CRAWFORD, D. 2003: Concepts in the development of new accelerated test methods for wood decay. In: Goodell, B.; Nicholas, D. D.; Schultz, T. P.: Wood deterioration and preservation. Advances in our changing world. American Chemical Society, Washington DC, Symposium Series 845: 288-312.
- NILSSON, T. 1974: Formation of soft rot cavities in various cellulose fibres by *Humicola alopallonella*. Meyers & Moore Skogshögskolan Royal College of Forestry Stockholm, Studia Forestalia Suecica Nr 112: 30 S.
- NILSSON, T. 1988: Defining fungal decay types – final proposal. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP/1355: 3 S.

-
- NILSSON, T. 1997: Natural durability of larch heartwood against decay. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP/ 97-10201: 6 S.
- NILSSON, T.; DANIEL, G. 1987: Influence of variable lignin content on brown rot decay of wood. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP/1320: 12 S.
- NILSSON, T.; OBST, J. R.; DANIEL, G. 1988: The possible significance of lignin content and lignin type on the performance of CCA-treated timber in ground contact. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP/1357: 7 S.
- NILSSON, T.; DANIEL, G. 1990: Decay types observed in small stakes of pine and *Alstonia scholaris* inserted in different types of unsterile soil. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP/1443: 8 S.
- NILSSON, T.; EDLUND, M-L. 1995: Laboratory versus field tests for evaluating wood preservatives: a scientific view. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP/95-20076: 13 S.
- NORDEN, B.; LARSSON, K-H. 2000: Basidiospore dispersal in the old-growth forest fungus *Phlebia centrifuga* (Basidiomycetes). Nordic J. Bot. 20 (2): 215-219.
- NÖRDLINGER, H. 1860: Die technischen Eigenschaften der Hölzer. Cottascher Verlag Stuttgart, 550 S. (zitiert bei BAVENDAMM 1959)
- ÖQVIST, H. 1988: Utomhusvirkets Beständighet. Fältförsök: Ovanjordsexponering av träpaneler. The durability of outdoor wood. Field test: wood-panels exposed out of ground contact. The Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Products, Report No. 204: 11.
- PECHMANN VON, H.; SCHAILE, O. 1950: Über die Änderung der dynamischen Festigkeit und der chemischen Zusammensetzung des Holzes durch den Angriff holzerstörender Pilze. Forstw. Cbl. 69: 441-466.
- PESZLEN, I.; MOLNAR, S.; VARGA, F. 2000: Resistance of Black locust heartwood to fungal decay. Final Report: Technology for high quality products from Black locust (*Robinia pseudoacacia*) "TEQUBLOC", INCO-COPERNICUS Project No. PL 96-4114
- PETERSON, C. A.; COWLING, E. B. 1964: Decay resistance of extractive-free coniferous woods to white-rot fungi. Phytopath. 54: 542-547.
- PEW, C. J. 1957: Properties of powdered wood and isolation of lignin by cellulytic enzymes. Tappi 40 (7): 553-558.
- PEW, C. J.; WEYNA, P. 1962: Fine grinding, enzyme digestion and the lignin-cellulose bond in wood. Tappi 45 (3): 247-256.
- PIIRTO, D. D.; WILCOX, W. W. 1981: Comparative properties of old- and young-growth Giant sequoia of potential significance to wood utilization. Division of Agricultural Sciences, University of California, Bulletin 1901: 26 S.
- PRESTON, A. F.; ARCHER, K. J.; ROBERTS, D. M.; CAREY, J.; BRAVERY, T. 1996: Climat indices at work: Above ground decay L-joint tests (EN 330 and AWP A E9) at two sites 12000 km apart and with Scheffer climate indices of 60-65 and 300-330. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP/ 96-20095: 21 S.
- PRESTON, A. F.; WALCHESKI, P. J.; ARCHER, K. J.; ZAHORA, A. R.; JIN, L. 2000: The ground proximity decay test method. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP/ 96-20205: 10 S.
- PURSLOW, D. F. 1976: Results of field tests on the natural durability of timber (1932-1975). Building Research Establishment Current Paper, CP 6/76: 17 S.
- RÅBERG, U. 2003: mündliche Mitteilung

- RÅBERG, U.; EDLUND, M.-L.; TERZIEV, N.; LAND, C. J. 2005: Testing and evaluation of natural durability of wood in above ground conditions in Europe – an overview. *J. Wood Sci.* 51: 429-440.
- RÅBERG, U.; BRISCHKE, C.; RAPP, A. O.; HÖGBERG, N. O. S.; LAND, C. J. 2007: External and internal fungal flora of pine sapwood (*Pinus sylvestris* L.) specimens in above-ground field test at six different sites in south-west Germany. *Holzforsch.* 61, im Druck.
- RAPP, A. O.; PEEK, R.-D. 1996: Melamine resins as preservatives results of biological testing. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP/ 96-40061: 4 S.
- RAPP, A. O.; PEEK, R.-D. 1999: Melaminharzimprägniertes sowie mit Wetterschutzlasur oberflächenbehandeltes und unbehandeltes Vollholz während zweijähriger Freilandbewitterung. *Holz Roh- Werkst.* 57: 331-339.
- RAPP, A. O.; PEEK, R.-D., SAILER, M. 2000: Modeling the moisture induced risk of decay for treated and untreated wood above ground. *Holzforsch.* 54 (2): 111-118.
- RAPP, A.O.; AUGUSTA, U.; PEEK, R.-D. 2001: Facts and ideas of testing wood durability above ground. In: Proceedings of the COST Action E22: Environmental optimisation of wood protection, workshop on optimising treatment levels and managing environmental risks, Reinbek, 8-9 November 2001. Hamburg, Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft. [http://www.bfafh.de/inst4/43/pdf/3doublay.pdf\(2001\)](http://www.bfafh.de/inst4/43/pdf/3doublay.pdf(2001)).
- RAPP, A. O. ;VIITANEN, H.; NILSSON, T. 2002: Natural durability of 4 different *Larix* species tested in soil contact. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP/02-10434: 9 S.
- RAPP, A. O.; AUGUSTA, U. 2003: Some fundamental thoughts on the performance from lab-testing based on comparison of lab and field test results of some copper-free materials. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP/03-20269: 15 S.
- RAPP, A. O.; AUGUSTA, U. 2004: The full guideline for the „double layer test method“ – A field test method for determining the durability of wood out of ground. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP/ 04-20290: 25 S.
- RAPP, A. O.; BRISCHKE, C.; WELZBACHER, C. R. 2006: The influence of different soil substrates on the service life of Scots pine sapwood and oak heartwood in ground contact. *Wood Material Science and Engineering*, eingereicht.
- RAYNE, A. D. M.; BODDY, L. 1988: Fungal decomposition of wood. Its biology and ecology. Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore, John Wiley & Sons: 587 S.
- RENNERFELT, E. 1943: Die Toxizität der phenolischen Inhaltsstoffe des Kiefernkernelholzes gegenüber einigen Fäulnispilzen. *Svensk Botanisk Tidskrift* 37 (1): 83-93.
- RENNERFELT, E. 1956: The natural resistance to decay of certain conifers. *Friesia* 3-5: 361-365.
- RISHBETH, J. 1958: Detection of viable air-borne spores in air. *Nature* 171: 1549.
- ROGERS, J. D. 1979: The xylariaceae: Systematic, biological and evolutionary aspects. *Mycologia* 71 (1): 1-42.
- ROSS, R. J.; PELLERIN, R. F. 1991: Nondestructive testing for assessing wood members in structures. A review. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-70. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory: 27 S.
- RUDDICK, J. N. R. 1986: Application of a novel strength evaluation technique during screening of wood preservatives. Stockholm, International Research Group On Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP 86-2262: 9 S.

- RYVARDEN, L.; GILBERTSON, R. L. 1993: European polypores Part 1. Synopsis Fungorum 6, Fungiflora – Oslo – Norway: 283-287.
- SAILER, M.; RAPP, A. O.; PEEK, R.-D.; NURMI, A.; BECKERS, E. P. J. 1999: Iterim balance after 20 months of Lap-joint exposure. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP 99-20164: 9 S.
- SAILER, M. 2001: Anwendung von Pflanzenölimprägnierungen zum Schutz von Holz im Außenbereich. Dissertation, Universität Hamburg, Fachbereich Biologie: 164 S.
- SANDBERG, D. 1999: Weathering of radial and tangential wood surfaces of pine and spruce. *Holzforsch.* 53: 355-364.
- SANDBERG, D.; SÖDERSTRÖM, O. 2005: Environmental friendly wood linings for outdoor exposure. 10 DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components, Lyon (France) 17-20 April 2005: 8 S.
- SANDERMANN, W. 1960: Naturharze, Terpentinöl, Tallöl. Chemie und Technologie. Springer-Verlag, Berlin / Göttingen / Heidelberg: 483 S.
- SANDERMANN, W.; BRUNS, K. 1966: Beiträge zur Chemie und Konfiguration des Larixols aus dem Harz von *Larix europaea* D.C.. *Chemische Berichte* 99 (9): 2835-2841.
- SAVORY, J. G. 1954: Breakdown of timber by ascomycetes and fungi imperfecti. *Ann. Appl. Biol.* 41 (2): 336-347
- SAVORY, J. G.; CAREY, J. K. 1979: Decay in external framed joinery in the United Kingdom. *J. Inst. Wood Sci.* 8: 176-180.
- SCHEFFER, T. C. 1957: Decay resistance of Western red cedar. *J. For.* 55: 434-442.
- SCHEFFER, T. C. 1964: Biological observations of significance for improved preservative treatment. *Holzforsch.* 18 (3): 88-94.
- SCHEFFER, T. C. 1971: A climate index for estimating potential for decay in wood structures above ground. *For. Prod. J.* 21 (10): 25-31.
- SCHEFFER, T. C.; LACHMUND, H. G.; HOPP, H. 1944: Relation between hot-water extractives and decay resistance of Black locust wood. *J. Agric. Res.* 68 (11): 415-426.
- SCHEFFER, T. C.; DUNCAN, C. G. 1947: The decay resistance of certain central american and aquadorian woods. *Tropical Woods* 92, School of Forestry, Yale University: 1-24.
- SCHEFFER, T. C.; HOPP, H. 1949: Decay resistance of Black locust heartwood. United States Department of Agriculture Washington, D.C., Technical Bulletin No. 984: 37 S.
- SCHEFFER, T. C.; ENGLERTH, G. H.; DUCAN, C. G. 1949 a: Decay resistance of seven native oaks. *J. Agric. Res.* 78: 129-152.
- SCHEFFER, T. C.; ESLYN, W. E. 1961: Effect of heat on the decay resistance of wood. *For. Prod. J.* 11: 485-490.
- SCHEFFER, T. C.; COWLING, E. B. 1966: Natural resistance of wood to microbial deterioration. *Ann. Rev. Phytopathol.* 4: 147-170.
- SCHEFFER, T. C.; VERRALL, A. F.; HARVEY, G. 1971: Fifteen-year appraisal of dip treating for protecting exterior woodwork: Effectiveness on different wood species and in various climates. *Mater. und Organ.* 6 (1): 27-44.
- SCHEFFER, T. C.; ESLYN, W. E. 1982: Twenty-years test of on-site preservative treatments to control decay in exterior wood of buildings. *Mater. und Organ.* 17 (3): 181-198.
- SCHEFFER, T. C.; MORRELL, J. J. 1993: Relative merits of laboratory and field tests for assessing wood decay resistance. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP 93-20009: 6 S.

- SCHMIDT, E. L.; FRENCH, D. W. 1977: A contact Agar-block technique to study spore germination of wood decay fungi. *International Biodeterioration Bulletin* 13(1): 13-17.
- SCHMIDT, E. L.; FRENCH, D.W. 1979 a: Spore germination of *Gloeophyllum trabeum* on wood in relation to mass of the sample. *Plant Disease Reporter* 63 (1): 30-31.
- SCHMIDT, E. L.; FRENCH, D. W. 1979 b: Sterilisation method effects on germination of wood decay fungus spores observed by the contact agar method. *Phytopath.* 69 (7): 688-689.
- SCHMIDT, O. 1994: Holz- und Baumpilze. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag: 246 S.
- SCHMIDT, O. 2006: Wood and tree fungi. Biology, Damage, Protection, and Use. Berlin: Springer-Verlag: 334 S.
- SCHMIDT, O.; GRIMM, K.; MORETH, U. 2002: Molekulare und biologische Charakterisierung von *Gloeophyllum*-Arten in Gebäuden. *Z. Mykol.* 68 (2): 141-152.
- SCHMITT, U.; LIESE, W. 1993: Response of xylem parenchyma by suberization in some hardwoods after mechanical injury. *Trees* 8: 23-30.
- SCHOBER, R.; MEYER, H. 1955: Douglasien-Provenienzversuche II. *AFJZ* 126 (11/12): 221-243.
- SCHOBER, R. 1963: Erfahrungen mit der Douglasie in Europa. *Allgem. Forstz., Sonderdruck aus Nr. 30, 31, 34*: 8 S.
- SCHULTZ, T.P.; HARMS, W.B.; FISHER, T.H.; MC MURTREY, K.D.; MINN, J.; NICHOLAS, D.D. 1995: Durability of angiosperm heartwood: The importance of extractives. *Holzforsch.* 49: 29-34.
- SCHULTZE-DEWITZ G. 1966: Beziehungen zwischen der Elastizität und der statischen sowie dynamischen Biegefestigkeit von Kiefernholz nach dem Angriff durch echte holzerstörende Pilze. *Holz Roh- Werkst.* 24 (10): 506-511.
- SCHULZ, G. 1957: Versuche zur Frage der natürlichen Dauerhaftigkeit von nordischem und deutschem Kiefern-splint- und -kernholz. *Holz Roh- Werkst.* 15 (10): 401-405.
- SCHWAGER, C.; LANGE, W. 1998: Biologischer Holzschutz. Literaturstudie über akzessorische Bestandteile dauerhafter Holzarten mit resistenzwirksamer Aktivität. Herausgegeben von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Druck im Landwirtschaftsverlag GmbH Münster: 725 S.
- SEIFERT, K. 1968: Zur Systematik der Holzfäulen, ihre chemischen und physikalischen Kennzeichen. *Holz Roh- Werkst.* 26 (6): 208-215.
- SELL, J. 1980: Oberflächenbehandlung von Brettschichtträgern. Anforderungen, praktische Erfahrungen und Versuchsergebnisse. *Holz-Zentralbl.* 106 (40/41): 629-630
- SELL, J. 2000: Konstruktiver Holzschutz bei Fassaden, Balkonen und Terrassen. Tagungsband der 22. Holzschutztagung der DGfH am 17. und 18. Oktober in Bad Kissingen: 41-49.
- SELL, J.; LEUKENS, U. 1971: Verwitterungserscheinungen an ungeschützten Hölzern. Untersuchungen an bewitterten Holzoberflächen – Zweite Mitteilung. *Holz Roh- Werkst.* 29 (1): 23-31.
- SELL, J.; FEIST, W. C. 1986: Role of density in the erosion of wood during weathering. *For. Prod. J.* 36 (3): 57-60.
- SEN-SARMA, P. K. 1963: Studies on the natural resistance of timbers to termite attack. III. Results of accelerated laboratory tests of 9 Species of Indian woods against the mediterranean dry wood termite (Yellow necked dry wood termite), *Kaloterme flavicollis* Fabr.. *Holzforsch. Holzverwert.* 15 (3): 51-55.
- SHERRAD, E. C.; KURTH, E. F. 1933: Distribution of extractive in redwood. Its relation to durability. *Ind. Eng. Chem.* 25 (3): 300-302.
- SHIGO, A. L.; HILLIS, W. E. 1973: Heartwood, discolored wood and microorganisms in living trees. *Ann. Rev. Phytopathol.* 47: 197-222.

- SHIGO, A., L. 1994: Moderne Baumpflege. Grundlagen der Baumbiologie. Bernhard Thalacker Verlag Braunschweig: 68-77.
- SHUPE, T. F.; CHOONG, E. T.; CHUN, H. Y. 1996: The effects of silvicultural treatments on the chemical composition of plantation-grown Loblolly pine wood. *Wood Fiber Sci.* 28 (3): 295-300.
- SIERRA-ALVAREZ, R.; LE BAYON, I.; CAREY, J.; STEPHAN, I.; VAN ACKER, J.; GRINDA, M.; KLEIST, G.; MILITZ, H.; PEEK, R.-D. 1998: Laboratory testing of wood natural durability in soil-bed assay. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP 98-20141: 15 S.
- SMITH, G. A.; ORSLER, R. J. 1994: The biological natural durability of timber in ground contact. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP 94-20051: 21 S.
- STIRLING, R.; MORRIS, P. I. 2006: The influence of extractives on Western red cedar's equilibrium moisture content. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP 06-40331: 12 S.
- STRUCKMEYER, B. E.; BECKMAN, C. H.; KUNTZ, J. E.; RIKER, A. J. 1954: Plugging of vessels by tyloses and gums in wilting oaks. *Phytopath.* 44: 148-153.
- SUTTIE, E. D.; ORSLER, R. J. 1998: The natural durability assessments of secondary timber species – field trials. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP 98-10297: 28 S.
- TERZIEV, N.; NILSSON, T. 1999: Effect of soluble nutrient content in wood on its susceptibility to soft rot and bacterial attack in ground test. *Holzforsch.* 53 (6): 575-579.
- TERZIEV, N.; EDLUND, M.-L. 2000: Attempt for developing a new method for above ground field testing of wood durability. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP 00-20199: 7 S.
- THEDEN, G. 1972: Das Absterben holzerstörender Pilze in trockenem Holz. *Mater. und Organ.* 7 (1): 1-10.
- THOMAS, H. E. 1934: Studies on *Armillaria mellea* (Vahl) Quel., infection, parasitism, and host resistance. *J. Agric. Res.* 48 (3): 187-218.
- THORNTON, J. D.; JOHNSON, G. C.; NGUYEN, N. 1991: An in-ground natural durability field test of Australian timbers and exotic reference species. VI. Results after approximately 21 years' exposure. *Mater. und Organ.* 26 (2): 145-155.
- TIPPETT, J.; SHIGO, A. L. 1981: Barriers to decay in conifer roots. *Eur. J. For. Path.* 11: 51-59.
- TIEDEMANN, W. 1978: Beziehungen zwischen der natürlichen Dauerhaftigkeit von Nutzhölzern und ausgewählten Holzeigenschaften. Diplomarbeit an der Universität Hamburg, Fachbereich Biologie: 57 S.
- TOOLE, E. R. 1971: Germination of spores of wood decay fungi on wood. *Phytopath.* 61 (1): 88-90.
- TRENDELENBURG, R. 1940: Über die Abkürzung der Zeitdauer von Pilzversuchen an Holz mit Hilfe der Schlagbiegeprüfung. *Holz Roh- Werkst.* 3 (12): 397-407.
- TRENDELENBURG, R. 1955: Holz als Rohstoff. Hanser Verlag München: 541 S.
- VALCKE, A. R. 1991: Which substrate to use in a laboratory test with soft rot micro-fungi: vermiculite or unsteril soil. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP 2372: 18 S.
- VAN ACKER, J.; STEVENS 1997: A new concept for the evaluation of wood durability for out of ground contact using accelerated L-joint testing. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP 97-20123: 19 S.

- VAN ACKER, J.; STEVENS, M.; CAREY, J.; SIERRA-ALVAREZ, R.; MILITZ, H.; LE BAYON, I.; KLEIST, G.; PEEK, R-D. 1998: Criteria for basidiomycete testing and ways of defining natural durability classes. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP 98-20144: 19 S.
- VAN ACKER, J.; MILITZ, H.; STEVENS, M. 1999: The significance of accelerated laboratory testing methods determining the natural durability of wood. *Holzforsch.* 53: 449-458.
- VAN ACKER, J.; STEVENS 2003: Biological durability of wood in relation to end-use - Part 2: The use of an accelerated outdoor L-joint performance test. *Holz Roh- Werkst.* 61 (2): 125-132.
- VAN ACKER, J.; STEVENS, M.; CAREY, J.; SIERRA-ALVAREZ, R.; MILITZ, H.; LE BAYON, I.; KLEIST, G.; PEEK, R-D. 1998: Criteria for basidiomycetes testing and ways of defining natural durability classes. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP 98-20144: 19 S.
- VENALAINEN, M.; HARJU, A. M.; KAINULAINEN, P.; VIITANEN, H.; NIKULAINEN, H. 2003: Variation in the decay resistance and its relationship with other wood characteristics in old Scots pines. *Ann. For. Sci.* 60 (5): 409-417.
- VIDOVIC, N. 1981: Short-term field test method with accelerated infection of basidiomycetes in wood. International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP/2155: 7 S.
- VIITANEN, H.; PAAJANEN, L.; SARANPÄÄ, P.; VIITANIEMI, P. 1997: Durability of larch (*Larix spp*) wood against brown-rot fungi. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP 97-10228: 8 S.
- VIITANEN, H.; PAAJANEN, L.; NIKKANEN, T.; VELLING, P. 1998: Decay resistance of Siberian larch wood against brown rot fungi. Part 2. The effect of genetic variation. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP 98-10287: 6 S.
- VIRIOT, C.; SCALBERT, A.; LAPIERRE, C.; MOUTOUNET, M 1993: Ellagitannins and lignins in ageing of Spirits in oak barrels. *J. Agric. Food Chem.* 41: 1872-1879.
- WAKELING, R. N. 1991: A comparison of soft rot, white rot and brown rot in CCA, CCP, CCF, CCB, TCMTB and benzalkonium chloride treated *Pinus radiata* IUFRO stakes, after 9-15 years exposure at five test sites in New Zealand. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP/1485: 55 S.
- WAKELING, R. N. 1992: A study of the decay type potential of seven soils. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP/1535-92: 30 S.
- WAKELING, R. 2006: Is field test data from 20 x 20 mm² stakes reliable? Effects of decay hazard, decay type und preservative depletion hazard. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP/06-20327: 20 S.
- WÄLCHLI, O. 1973: Die Widerstandsfähigkeit verschiedener Holzarten gegen Angriffe durch den echten Hausschwamm (*Merulius lacrimans* (Wulf.) Fr.). *Holz Roh- Werkst.* 31 (3): 96-102.
- WÄLCHLI, O. 1977: Der Temperatureinfluß auf die Holzerstörung durch Pilze. *Holz Roh- Werkst.* 35: 45-51.
- WANG, S.; HART, J. H.; BEHR, E. A. 1980: Procedure for evaluating the effect of heartwood extractives on decay resistance. *For. Prod. J.* 30 (1): 55-56.
- WARCUP, J. H.; TALBOT, P. H. B. 1962: Ecology and identity of mycelia isolated from soil. *Trans. Brit. mycol. Soc.* 45 (4): 495-518.
- WARCUP, J. H.; TALBOT, P. H. B. 1963: Ecology and identity of mycelia isolated from soil. II. *Trans. Brit. mycol. Soc.* 46 (4): 465-472.
- WARCUP, J. H.; TALBOT, P. H. B. 1965: Ecology and identity of mycelia from soil. III. *Trans. Brit. mycol. Soc.* 48 (2): 249-259.

- WEHMER, C. 1913: Hausschwammstudien III. Ansteckungsversuche mit verschiedenen Holzarten durch *Merulius-Mycel*. Mycologisches Cbl. 2: 331-341.
- WELZBACHER, C. R.; RAPP, A. O. 2005: Durability of different heat treated materials from industrial processes in ground contact. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP/05-40312: 13 S.
- WILCOX, W. 1978: Review of literature on the effects of early stages of decay on wood strength. Wood and Fiber 9 (4): 252-257.
- WILCOX, W. 1983: Sensitivity of the „pick test“ for field detection of early wood decay. For. Prod. J. 33 (2): 29-30.
- WILLEITNER, H. 1973: Die Beurteilung von Holzschutzmaßnahmen unter dem Gesichtspunkt der Umweltbelastung. Holz Roh- Werkst. 31 (3): 138-140.
- WILLEITNER, H. 1981a: Anwendungsgebiete und Beanspruchung von Holz bei Außenanwendung. In WILLEITNER H. und SCHWAB, E. 1981: Holz – Außenverwendung im Hochbau. Verlagsanstalt Alexander Koch GmbH Stuttgart: 10-14.
- WILLEITNER, H. 1981b: Pilz- und Insektenbefall bei Holz und Holzwerkstoffen. In WILLEITNER H. und SCHWAB, E. 1981: Holz – Außenverwendung im Hochbau. Verlagsanstalt Alexander Koch GmbH Stuttgart: 62-68.
- WILLEITNER, H. 1981c: Grundprinzipien des baulichen Holzschutzes. In WILLEITNER H. und SCHWAB, E. 1981: Holz – Außenverwendung im Hochbau. Verlagsanstalt Alexander Koch GmbH Stuttgart: 101-107.
- WILLEITNER, H. 1984: Laboratory tests on the natural durability of timber methods and problems. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP/2217: 11 S.
- WILLEITNER, H.; PEEK, R.-D. 1997: The natural durability story. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP/ 97-20119: 14 S.
- WILLEITNER, H. 1999: Welche Zukunft hat der Holzschutz? Die (umwelt)kritische Haltung gegenüber dem Holzschutz wächst – die Akzeptanz holzschützender Maßnahmen jedoch auch. Holz-Zentralbl. 110 (142): 110.
- WILLEITNER, H. 2003: Holzschutz und Ökologie – eine Herausforderung. Zeitgemäßer Schutz von Holz durch nachhaltiges Bauen – ein Beitrag anlässlich der 23. DGfH-Holzschutztagung. Holz-Zentralbl. 129 (20): 298-299.
- WILLIAMS, G. R.; FOX, R.; DRYSDALE, J. A. 1995: A note on testing the efficacy of wood preservatives above ground. Stockholm, International Research Group on Wood Preservation, IRG Document No: IRG/WP/95-20078: 5 S.
- WOLCOTT, G. N. 1951: The termite resistance of pinosylvin and other new insecticides. J. Econ. Entomol. 44 (2): 263-264.
- WOLCOTT, G. N. 1955: Organic termite repellents tested against *Cryptotermes brevis* Walker. The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico, 39 (3): 115-149.
- WONG, B. L.; BERRYMAN, A. A. 1977: Host resistance to the fir engraver beetle. 3. Lesion development and containment of infection by resistant *Abies grandis* inoculated with *Trichosporium symbioticum*. Can. J. Bot. 55: 2358-2365.
- XIE, Y.; BJURMAN, J.; WADSÖ, L. 1997: Microcalorimetric characterization of the recovery of a brown-rot fungus after exposures to high and low temperature, oxygen depletion, and drying. Holzforsch. 51: 201-206.
- YAMADA, T. 1992: Biochemistry of gymnosperm xylem responses to fungal invasion. In: Blanchette, R.A. und Biggs A.R. (eds.) Defense mechanisms of woody plants against fungi. Springer, Berlin: 147-164.

ZELLER, S. M. 1920: Humidity in relation to moisture imbibition by wood and to spore germination on wood. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 7: 51-74.

ZÖFEL, P. 1992: *Statistik in der Praxis*. 3. Auflage, Gustav Fischer Verlag Jena, Stuttgart: 422 S.

Normen, Verordnungen und Gesetze

- ASTM D 2017-81, 1992: Accelerated laboratory test of natural decay resistance of woods. Am. Soc. F. Testing and Materials Vol. 4 Wood, Philadelphia, PA, 6 S.
- Biozidgesetz vom 20. Juni 2002: Gesetz über das Inverkehrbringen von Biozid-Produkten, Bundesgesetzblatt Teil I, 2076.
- Biozidverordnung vom 04. Juli 2002, Bundesgesetzblatt Teil I, 2514.
- Chemikalien-Verbotsverordnung (ChemVerbotsV) vom 13. Juni 2003: Verordnung über Verbote und Beschränkungen des Inverkehrbringens gefährlicher Stoffe, Zubereitungen und Erzeugnisse nach dem Chemikaliengesetz, zuletzt geändert am 21.06.2005, Bundesgesetzblatt Teil I, 1666.
- CEN/TS 12037, Oktober 2003: Wood preservatives – Field test methode for determining the relative protective effectiveness of a wood preservative exposed out of ground contact – Horizontal Lap-joint method.
- DIN 52183, November 1977: Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes. Beuth Verlag GmbH, Berlin 30 und Köln 1.
- DIN 68 800-3, April 1990: Holzschutz; vorbeugender chemischer Holzschutz.
- DIN EN 113, Februar 1986: Bestimmung der Grenzen der Wirksamkeit gegenüber holzerstörenden Basidiomyceten, die auf Agar gezüchtet werden.
- DIN EN 252, April 1990: Freilandprüfverfahren zur Bestimmung der relativen Schutzwirkung eines Holzschutzmittels im Erdkontakt.
- DIN EN 330, Juni 1993: Freilandversuche zur Bestimmung der relativen Wirksamkeit eines Holzschutzmittels zur Anwendung unter einem Anstrich und ohne Erdkontakt: L-Verbindungs-Methode.
- DIN EN 335-1, Oktober 2006: Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten – Definition der Gefährungsklassen - Teil 1: Allgemeines
- DIN EN 335-2, Oktober 2006: Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten – Definition der Gefährungsklassen – Teil 2: Anwendung bei Vollholz
- DIN EN 350-1, Oktober 1994. Natürliche Dauerhaftigkeit von Vollholz; Teil 1: Grundsätze für die Prüfung und Klassifikation der natürlichen Dauerhaftigkeit von Vollholz.
- DIN EN 350-2, Oktober 1994: Natürliche Dauerhaftigkeit von Vollholz; Teil 2: Leitfaden für die natürliche Dauerhaftigkeit und Tränkbarkeit von ausgewählten Holzarten von besonderer Bedeutung für Europa.
- DIN EN 460, Oktober 1994: Natürliche Dauerhaftigkeit von Vollholz, Leitfaden für die Anforderungen an die Dauerhaftigkeit von Vollholz für die Anwendung in den Gefährungsklassen.
- DIN V ENV 12037, Dezember 1996: Freilandversuch zur Bestimmung der relativen Wirksamkeit eines Holzschutzmittels ohne Erdkontakt: Verfahren mit horizontaler Überlappung („Lap-joint“-Verfahren).
- DIN EN/TS 15083-1, Oktober 2005: Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten – Bestimmung der natürlichen Dauerhaftigkeit von Vollholz gegen holzerstörende Pilze, Prüfverfahren – Teil 1: Basidiomyceten; Deutsche Fassung CEN/TS 15083-1: 2005 (Vornorm)
- DIN EN/TS 15083-2, Oktober 2005: Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten – Bestimmung der natürlichen Dauerhaftigkeit von Vollholz gegen holzerstörende Pilze, Prüfverfahren – Teil 2: Moderfäulepilze; Deutsche Fassung CEN/TS 15083-1: 2005 (Vornorm)
- EN 1001-2, 2005: Durability of wood and wood-based products. Terminology, Vocabulary.

- ENV 807, März 1993: Prüfverfahren für die Bestimmung der Grenzen der Wirksamkeit gegen Moderfäule und andere erdbewohnende Mikroorganismen.
- ISO 15686-1, September 2000: Building and constructed assets – Service life planning – Part 1: General principles.
- Pentachlorphenol-Verbotsverordnung vom 12. Dezember 1989. Bundesgesetzblatt Teil I, 2235-2236.
- Richtlinie 98/8/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Februar 1998 über das Inverkehrbringen von Biozid-Produkten, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft L 123/1.
- Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS 618) 1997: Ersatzstoffe und Verwendungsbeschränkungen für Chrom(VI)-haltige Holzschutzmittel, Bundesarbeitsblatt 12/1997: 63-65.
- Teeröl-Verordnung 1991: Verordnung zur Beschränkung des Herstellens, des Inverkehrbringens und der Verwendung von Teerölen zum Holzschutz vom 27. Mai 1991. Bundesgesetzblatt Teil I, 1195-1196.
- Verordnung über die Entsorgung von Altholz vom 15. August 2002, Bundesgesetzblatt Teil I Nr. 59, 3302-3317.

8 ANHANG

Anhang 1: Klimadaten der Standorte Hamburg und Rhön für den Zeitraum der Untersuchungen in Monatswerten

Datum [Monat und Jahr]	Hamburg							Rhön						
	max Temp [°C]	min Temp [°C]	mittl. Temp in °C	rLf [%]	mittl. Wind [m/s]	mittl. Sonne [h]	Summe N [mm]	max Temp [°C]	min Temp [°C]	mittl. Temp in °C	rLf [%]	mittl. Wind [m/s]	mittl. Sonne [h]	Summe N [mm]
Juni 00	34,5	9,8	16,9	83,5	1,3	6,2	81	31,9	2,8	15,6	64,9	2,5	251,1	0
Juli 00	25,5	10,5	16,1	90,0	1,1	3,6	60	25,2	5,5	12,5	84,0	2,5	147,6	0
August 00	28,4	10,2	17,5	84,3	0,9	6,3	83	27,9	8,6	16,0	73,5	2,3	204,6	0
September 00	22,6	7,9	14,2	90,3	1,2	4,1	89	25,1	5,6	12,0	84,2	2,8	128,3	74
Oktober 00	19,0	6,5	11,7	92,3	1,5	3,0	48	20,9	0,9	8,1	86,4	2,7	68,8	68
November 00	12,9	3,0	8,0	90,5	1,6	1,6	35	12,0	-1,5	3,7	86,9	3,4	31,0	62
Dezember 00	12,9	-6,4	4,7	91,3	1,6	1,3	62	11,6	-9,7	1,9	83,5	3,6	27,4	64
Januar 01	9,2	-6,4	1,4	94,4	1,1	0,8	33	7,5	-10,5	-1,1	85,5	3,3	34,6	76
Februar 01	13,5	-7,8	2,8	87,9	1,4	2,0	69	14,0	-13,1	0,2	83,7	3,2	59,6	50
März 01	14,5	-4,1	4,2	83,1	1,6	3,1	60	11,6	-7,4	2,0	88,6	3,1	75,4	123
April 01	21,7	-0,5	8,6	82,2	1,5	3,9	75	19,5	-7,3	4,2	80,5	3,0	129,6	76
Mai 01	25,6	6,5	15,0	77,4	1,2	9,3	27	25,2	2,7	12,4	70,0	2,7	233,0	35
Juni 01	27,6	6,9	14,9	83,7	1,0	5,4	127	27,5	2,5	11,8	77,3	2,4	192,7	99
Juli 01	30,4	0,0	18,7	78,3	1,0	7,7	78	30,0	6,3	16,1	72,5	2,4	235,6	57
August 01	30,9	0,0	18,6	82,7	1,1	6,3	103	31,0	5,2	16,4	73,7	2,5	202,0	54
September 01	19,9	0,0	12,3	85,5	0,9	2,5	218	16,6	2,3	8,6	90,1	2,7	89,7	159
Oktober 01	21,0	7,4	13,2	89,9	1,4	2,3	47	23,2	3,4	10,9	83,2	3,0	87,5	49
November 01	12,7	-0,3	6,6	91,3	1,1	1,7	76	10,1	-8,1	0,9	93,0	2,3	37,9	124
Dezember 01	7,7	-5,1	1,7	88,0	1,3	1,1	94	6,4	-16,5	-3,0	92,1	3,0	23,1	72
Gesamt 2001	30,9	-7,8	9,8	85,4	1,2	3,8	1005	31,0	-16,5	6,6	82,5	2,8	116,7	973
Januar 02	11,8	-6,8	4,4	85,0	1,8	1,2	77	10,5	-12,6	-2,7	88,1	2,7	34,8	73
Februar 02	15,5	-2,0	5,9	75,6	2,3	3,2	154	15,2	-12,6	2,0	83,9	4,2	50,2	291
März 02	17,3	-1,1	6,5	67,8	1,6	3,7	58	0,0	0,0					0
April 02	20,3	0,6	9,6	62,3	1,4	4,9	69	17,3	-7,2	5,1	73,5	2,4	162,8	63
Mai 02	27,3	8,4	15,0	68,8	1,1	5,6	92	24,5	-0,4	10,9	80,0	2,1	183,5	86
Juni 02	32,9	9,4	17,5	64,1	1,3	6,3	86	30,9	6,2	15,1	73,5	2,3	231,7	62
Juli 02	31,3	0,0	18,0	71,7	1,2	4,9	203	30,5	7,1	14,9	77,8	2,2	187,7	70
August 02	28,9	14,3	20,5	67,5	0,8	7,1	189	27,6	9,2	16,0	82,6	1,6	170,3	54
September 02	26,1	7,4	15,7	66,5	0,7	5,8	27	26,3	-0,2	10,1	81,7	1,8	140,8	33
Oktober 02	18,6	3,6	9,0	73,4	1,3	2,9	123	17,8	-1,1	5,7	88,1	3,1	63,5	154
November 02	11,1	-0,5	6,0	78,2	1,2	1,2	94	11,2	-5,2	3,9	91,9	3,0	33,8	105
Dezember 02	8,0	-7,6	0,5	64,0	1,7	1,5	44	8,9	-11,7	-1,0	92,2	2,9	24,0	93
Gesamt 2002	32,9	-7,6	10,7	70,4	1,4	4,0	1213	30,9	-12,6	7,3	83,0	2,6	116,6	1082
Januar 03	8,8	-11,4	1,7	68,8	1,3	0,9	96	7,3	-16,8	-3,1	90,8	2,9	31,4	90
Februar 03	9,5	-8,8	0,5	59,3	1,3	4,4	5	14,3	-13,2	-3,3	75,6	2,2	95,7	21
März 03	17,5	-1,1	6,3	60,2	1,3	5,0	38	11,7	-5,6	3,8	72,8	2,4	131,1	35
April 03	23,0	-0,5	10,6	62,4	1,8	7,3	57	20,7	-10,4	5,7	64,6	2,7	182,9	34
Mai 03	27,6	4,8	14,5	76,2	1,1	7,0	76	26,5	0,5	11,4	76,2	2,3	191,2	92
Juni 03	29,6	11,3	18,9	74,4	1,1	8,1	77	30,0	8,1	19,4	66,8	2,0		73
Juli 03	33,2	12,4	20,1	80,2	1,0	6,8	54	32,4	9,5	18,2	71,4	1,8		38
August 03	33,0	10,8	20,4	75,3	0,9	7,5	43	35,7	8,8	21,5	60,5	1,8		27
September 03	26,8	5,5	15,2	86,9	0,8	7,5	53	28,8	4,0	13,5	72,7	1,7		37
Oktober 03	16,4	-2,6	7,4	94,4	0,8	4,9	57	18,2	-5,0	5,3	84,6	2,5		81
November 03	13,1	0,0	7,7	99,0	1,4	1,9	40	0,0	0,0					0
Dezember 03	10,5	-2,9	6,013	96,6	1,573	1,965	68,4							
Gesamt 2003	33,2	-11,4	10,8	77,8	1,2	5,3	663	35,7	-16,8	9,2	73,6	2,2	126,4	527
Januar 04	8,7	-4,4	1,718	89,4	1,377	0,6	61							
Februar 04	14,2	-2,9	4,35	77,5	1,459	2,8	80,4							
März 04	19,6	-2,8	6,134	72,7	1,73	3,8	25							
April 04	21,4	0	11,07	66,9	1,333	6,2	45,15	21,7	-1,53	9,498	69,6	2,568	250,6	17,5
Mai 04	24,5	0	13,16	71,9	1,006	5,8	46,9	20,43	0,99	8,833	77,6	2,495	202,1	128,6
Juni 04	24,6	0	15,72	74,4	1,125	5,4	89,45	22,56	5,77	13,61	69,8	2,681	291,0	8,2
Juli 04	27,4	10,6	16,79	78,6	0,919	5,826	149,6	26,52	8,46	15,06	81,3	2,728	222,6	30,9
August 04	32,7	9,5	20,02	74,1	1,044	7,268	61,7	28,29	7,55	16	80,1	2,839	205,6	15,4
September 04	29,6	6,1	15,3	77,6	1,068	6,19	105,5	26,28	4,85	12,63	77,8	2,805	166,6	1,8
Oktober 04	21,7	0	10,95	82,9	1,301	3,626	39,6	21,51	2,77	10,55	81,2	2,401	149,6	0,5

Anhang 2: Klimadaten der Standorte Stuttgart und Freiburg für den Zeitraum der Untersuchungen in Monatswerten

Datum [Monat und Jahr]	Stuttgart							Freiburg						
	max Temp [°C]	min Temp [°C]	mittl. Temp in °C	rLf [%]	mittl. Wind [m/s]	mittl. Sonne [h]	Summe N [mm]	max Temp [°C]	min Temp [°C]	mittl. Temp in °C	rLf [%]	mittl. Wind [m/s]	mittl. Sonne [h]	Summe N [mm]
Juni 00	32,4	4,5	18,5	60,0	2,7	10,3	14	34,1	8,9	20,4	56,9	2,7	9,8	23
Juli 00	28,6	6,5	16,3	73,1	3,3	5,8	107	31,8	10,0	18,3	68,0	3,2	6,5	180
August 00	31,1	10,2	19,0	72,7	2,1	5,9	56	32,7	13,3	21,2	65,9	2,3	8,0	82
September 00	27,3	4,5	14,6	82,3	2,2	5,7	94	27,4	9,6	17,2	72,0	2,7	6,5	73
Oktober 00	18,7	-1,5	10,5	84,8	2,1	2,8	45	21,2	4,0	12,8	74,5	3,2	2,9	76
November 00	14,8	-2,7	6,1	84,1	2,1	3,0	45	17,1	1,7	9,1	70,3	3,4	2,5	83
Dezember 00	14,4	-9,3	3,9	85,8	2,5	2,3	18	16,9	-2,4	7,2	73,2	3,1	1,8	34
Januar 01	12,1	-9,3	1,9	84,9	2,5	2,9	62	15,7	-4,9	4,8	73,0	3,1	2,8	60
Februar 01	16,7	-8,7	3,5	79,5	3,0	3,7	50	19,8	-4,7	5,8	68,8	3,3	3,5	39
März 01	17,1	-3,0	6,8	84,2	3,4	2,6	115	19,2	-0,3	9,0	75,1	4,1	2,1	158
April 01	22,0	-1,8	7,4	77,0	3,3	2,3	65	23,3	-0,4	9,3	52,2	3,4	3,5	114
Mai 01	27,3	5,1	15,5	69,1	3,1	8,3	29	29,6	7,4	17,6	62,5	3,0	8,2	99
Juni 01	29,6	3,4	15,0	73,6	3,1	5,8	138	31,6	6,8	17,3	64,0	2,8	8,0	160
Juli 01	32,0	10,1	19,0	68,5	2,7	8,8	50	32,1	11,5	21,0	63,1	3,3	8,9	110
August 01	34,2	6,8	19,9	67,3	2,5	7,9	31	34,7	11,9	21,9	61,2	3,0	8,3	52
September 01	23,6	2,2	11,9	84,2	3,2	3,1	77	25,5	5,8	13,6	75,2	3,2	3,4	135
Oktober 01	27,1	3,4	13,1	87,8	1,9	5,4	63	26,7	8,9	15,3	75,5	2,8	5,6	79
November 01	13,1	-6,2	3,2	91,8	2,8	2,6	83	14,0	-3,8	4,4	81,0	2,9	3,3	97
Dezember 01	11,4	-18,5	0,0	89,0	3,7	2,4	50	13,2	-10,0	1,9	74,9	3,8	3,0	20
Gesamt 2001	34,2	-18,5	9,8	79,7	2,9	4,6	814	34,7	-10,0	11,8	68,9	3,2	5,0	1123
Januar 02	14,0	-15,4	-0,4	89,2	2,6	3,7	13	15,3	-9,3	2,4	76,9	3,1	2,6	19
Februar 02	17,0	-15,4	5,5	82,4	5,0	2,8	74	19,2	-9,3	7,7	69,1	5,3	2,1	85
März 02	20,5	-3,7	6,4	76,7	3,0	5,8	87	21,3	-1,6	9,0	62,7	3,4	5,7	48
April 02	19,7	-3,0	8,9	70,0	3,6	6,3	47	23,8	0,9	11,3	57,9	3,5	6,4	69
Mai 02	28,1	2,5	13,3	80,4	2,8	6,1	124	31,3	4,6	15,0	66,8	2,8	6,0	155
Juni 02	35,0	7,6	18,8	71,7	2,6	8,9	105	36,2	11,3	20,9	61,1	3,6	9,0	121
Juli 02	29,8	7,7	17,9	78,3	2,8	6,7	111	31,6	11,7	20,2	64,9	2,8	7,0	102
August 02	28,9	10,1	18,2	85,2	2,4	6,5	200	31,6	12,6	19,8	70,9	2,5	6,3	98
September 02	25,4	0,2	12,9	85,5	2,5	5,9	97	26,8	4,7	15,0	73,4	2,7	5,1	87
Oktober 02	20,8	-2,0	9,5	90,7	3,2	3,3	96	22,5	0,0	11,8	75,6	3,6	3,0	103
November 02	14,7	-1,8	7,0	96,8	2,4	1,6	123	16,2	3,5	8,9	83,2	3,2	1,4	193
Dezember 02	12,5	-8,8	2,6	89,4	2,4	1,4	45	13,9	-3,9	5,6	81,5	3,2	1,0	62
Gesamt 2002	35,0	-15,4	10,0	83,0	2,9	4,9	1119	36,2	-9,3	12,3	70,3	3,3	4,6	1142
Januar 03	12,3	-13,2	0,0	82,1	3,1	2,1	57	15,6	-9,6	2,1	78,1	3,5	1,8	66
Februar 03	14,4	-9,8	-1,3	72,6	2,7	5,6	13	15,4	-9,2	1,1	68,8	2,7	5,0	20
März 03	19,9	-4,1	6,9	61,5	2,7	6,8	8	21,1	-0,3	10,0	54,5	3,1	7,0	42
April 03	24,8	-6,3	9,1	57,2	3,4	7,0	38	26,6	-0,6	11,7	54,3	3,4	7,0	57
Mai 03	29,0	2,4	14,8	69,0	2,9	5,6	45	28,7	6,3	16,6	66,3	3,1	4,4	90
Juni 03	34,7	9,9	21,5	63,0	2,6	9,5	80	36,5	13,9	24,2	56,8	2,8	10,3	27
Juli 03	33,9	10,3	19,9	60,8	2,7	8,7	42	37,8	13,7	22,6	55,1	2,8	8,8	53
August 03	37,7	8,6	23,0	52,5	2,5	10,1	26	40,2	12,9	25,5	48,6	2,7	10,0	51
September 03	30,2	2,5	14,6	62,1	2,5	7,7	23	30,0	6,7	17,3	57,4	2,7	7,2	44
Oktober 03	22,1	-4,9	6,8	75,4	2,9	4,2	82	24,9	-1,3	8,9	75,3	3,1	3,9	119
November 03	14,9	-2,2	5,7	82,8	2,3	3,5	39	17,1	1,1	8,0	79,7	2,6	2,9	62
Dezember 03	11,8	-10,7	1,187	81	2,736	2,877	20,9	12,8	-4,1	3,968	77	3,108	2,403	24,2
Gesamt 2003	37,7	-13,2	10,2	68,3	2,8	6,1	474	40,2	-9,6	12,7	64,3	3,0	5,9	654
Januar 04	11,7	-11,5	0,806	80,2	3,34	1,7	121,4	14	-5,7	3,061	80,9	3,697	1,3	94,8
Februar 04	18,4	-9,3	2,876	72,1	3,544	3,3	29,6	17,8	-5,5	4,603	69,1	3,485	3,8	24,2
März 04	23,4	-4,8	4,484	69,9	3,091	4,9	32,5	24,1	-3,4	6,581	66,8	3,26	4,4	35,5
April 04	23,1	-1,5	9,907	63,9	3,104	6,4	31,3	25,8	1,2	12,07	61	3,56	5,6	22,4
Mai 04	24,3	0,6	12,09	66,5	2,987	7,3	70	28,8	4,7	14,46	61,5	3,01	6,8	54,1
Juni 04	30,2	5,8	16,43	65,6	2,879	7,4	41,2	33,2		18,84	62,9	2,94	5,8	96,4
Juli 04	31,3	8,5	18,27	65	2,838	7,12	77,2	31,8	10,8	20,38	64,7	3,096	7,2	124,1
August 04	30,8	8,1	19	68,1	2,852	6,58	76	31,8	12,4	20,69	71,1	3,428	6,0	131
September 04	28,5	4,8	14,98	70,2	2,997	6,159	42,6	29,7	8,1	17,29	65,1	3,422	6,2	28,8
Oktober 04	26,9	1,2	10,73	82,5	2,244	3,341	82,8	28,4	5,5	13,15	83	3,049	2,7	183,1

Anhang 3: Anzahl, mittlerer Abbaugrad und mittlere Abbaugeschwindigkeit der Prüfkörper aus Douglasien-(Dou) und Kiefern-Kern (KiK), sowie der Prüfkörper in direkter Nachbarschaft zu Fichten-Kern (FiK) und Kiefern-Splint (KiS); alle Werte nach 5 Jahren Freilandexposition im Doppellagen-Test

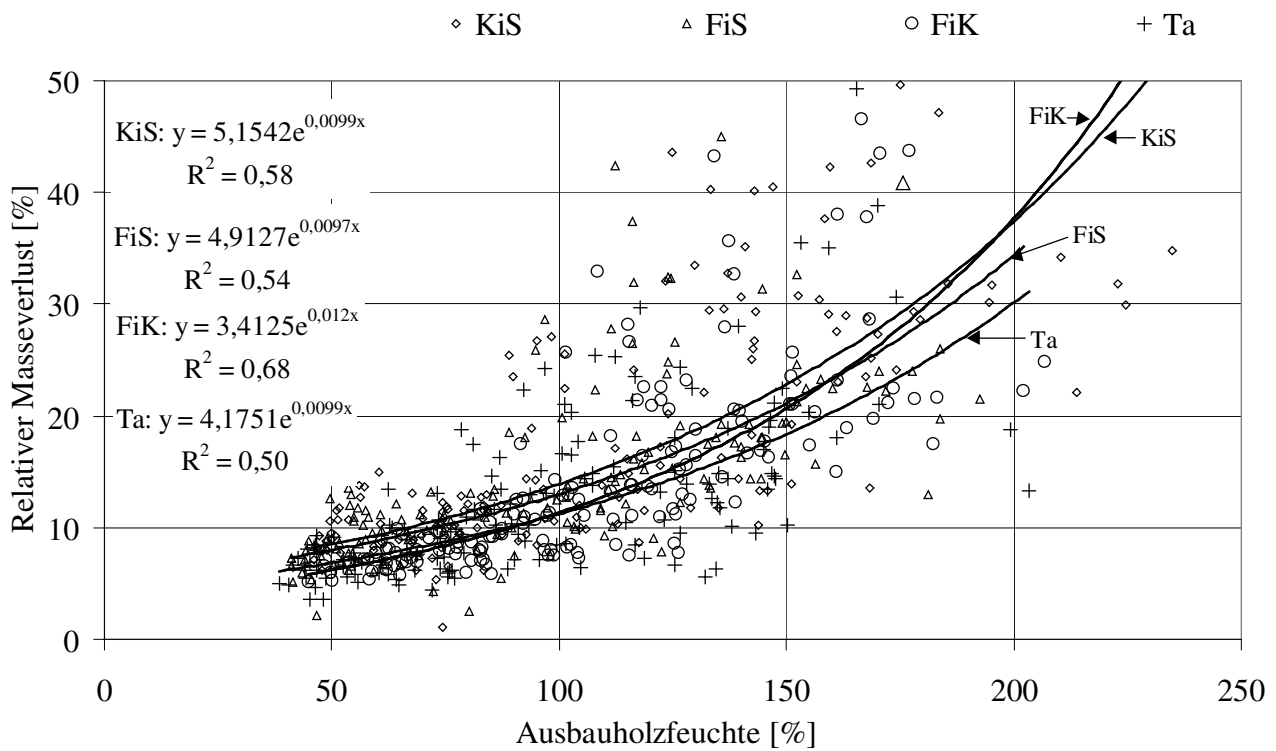
Holzart	Dou mit Farbkern-nachbar	Dou mit FiK-Nachbar	KiK mit Farbkern-nachbar	KiK mit KiS-Nachbar
Anzahl [Stück]	90	60	105	45
Mittlerer Abbaugrad	0,53	0,63	0,46	0,53
Mittlere Abbaugeschwindigkeit	0,11	0,13	0,09	0,11

Anhang 4: Prozentuale Abweichung zwischen der manuellen und computergestützten Flächenvermessung an Prüfkörpern mit unterschiedlichen Querschnittsflächen und -formen

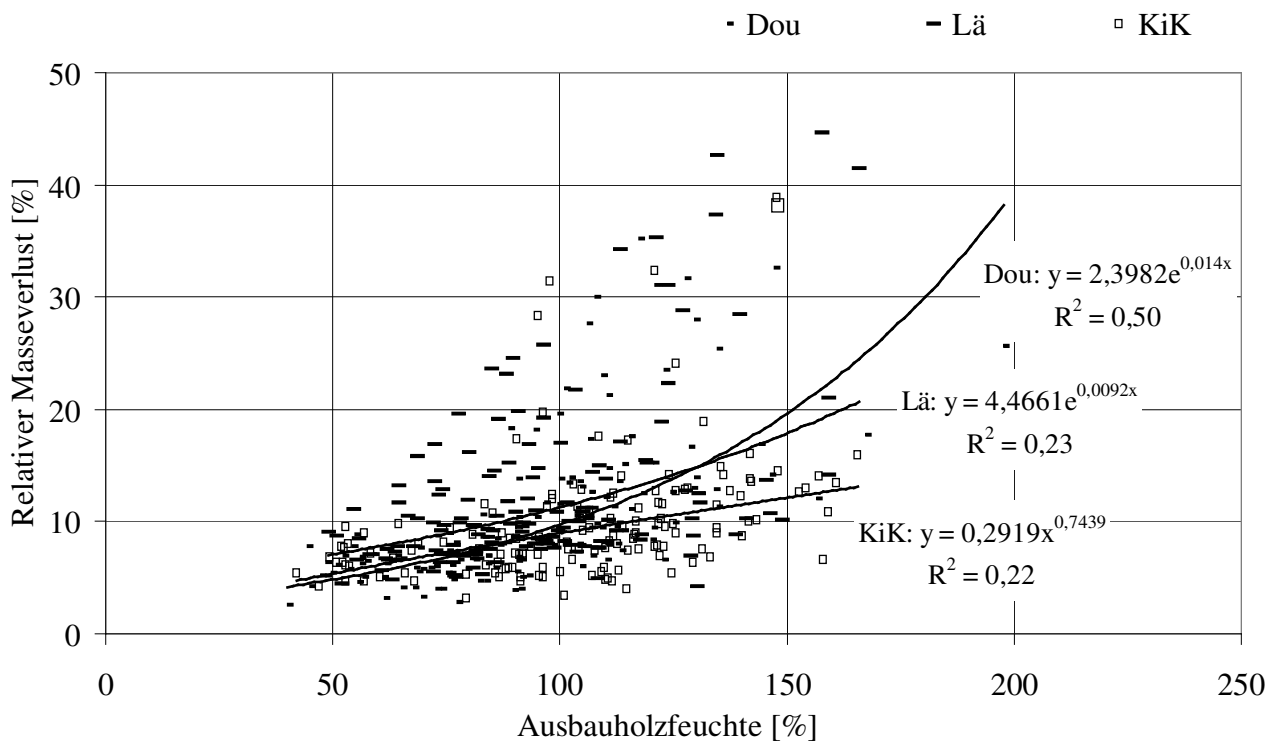
Dimensionsbezeichnung	1 und 2	3	4	5 und 8	6 und 7	9
Querschnittsfläche der Prüfkörper [cm ²]	100	25	25	12,5	25	6,25
Abweichungen zwischen den Messmethoden [%]	-1,3 -1,9 -0,2	-0,2 -1,0 -2,2	-1,8 -4,0 -1,5	-1,1 -1,3 -0,1 -5,8	-0,8 -3,4 0,3 0,1	1,2 -0,5 -0,8
Mittlere Abweichung [%]	-1,1	-1,1	-2,4	-2,1	-1,0	0,0

Anhang 5: Statistischer Vergleich der relativen Masseverluste zwischen den Herkünften (HK) einer Holzart nach Prüfung gemäß DIN EN 113 (1986); angegeben sind die Werte IS-MeanI und das Signifikanzniveau (Tab. 19) bei einem Stichprobenumfang n = 10

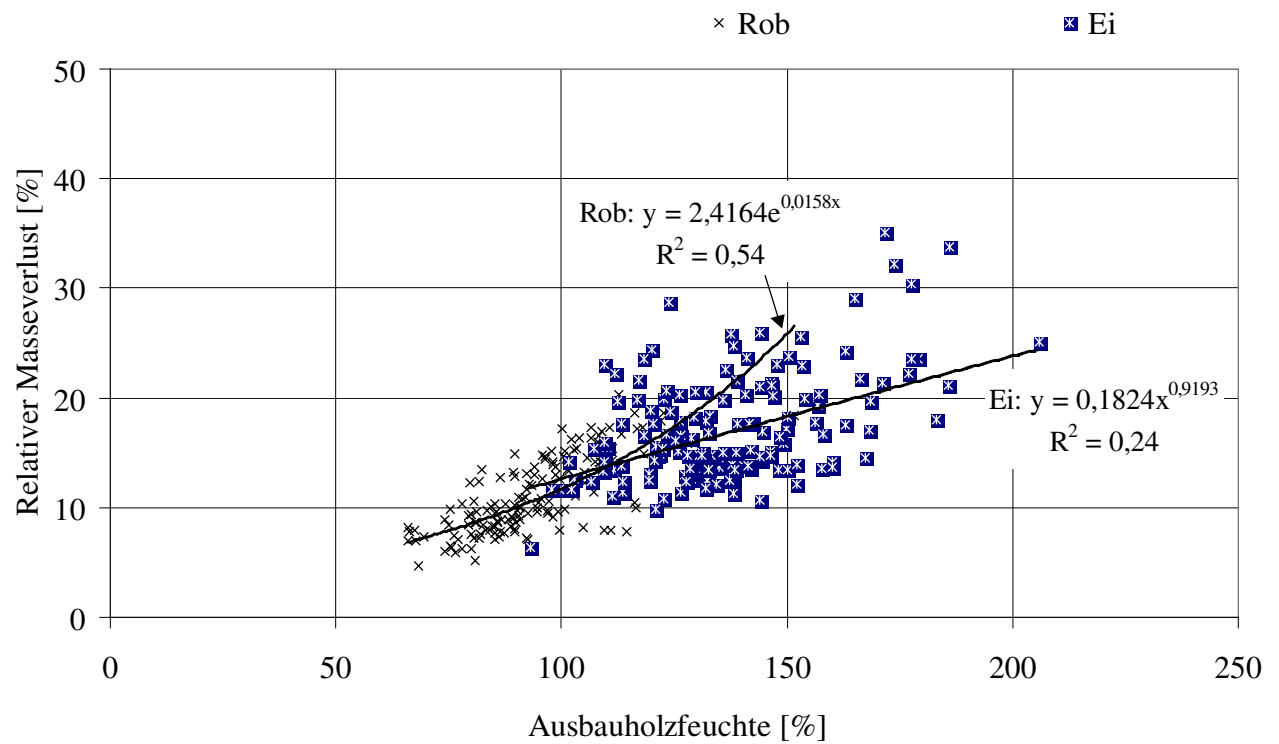
	<i>Coniophora puteana</i>	<i>Oligoporus placenta</i>	<i>Trametes versicolor</i>
KiS	0,858	0,6404	
FiS	0,1222	0,1709	
FiK	0,1935	0,3476	
Ta	0,2422	HK 1-2: 0,1863 HK 1-3: 0,007** HK 2-3: 0,0027**	
Dou	HK 1-2: 0,3566 HK 1-3: 0,069 HK 2-3: 0,0147*	HK 1-2: 0,1206 HK 1-3: 0,0039** HK 2-3: 0,0027**	
Lä	HK 1-2: 0,3566 HK 1-3: 0,069 HK 2-3: 0,0147*	0,0911	
KiK	0,3553	0,7597	
Rob	HK 1-2: 0,7366 HK 1-3: 0,0023** HK 2-3: 0,0023**		HK 1-2: 0,7319 HK 1-3: 0,0023** HK 2-3: 0,0018**
Ei	HK 1-2: 0,038* HK 1-3: 0,6822 HK 2-3: 0,1568		HK 1-2: 0,0173* HK 1-3: 0,0443* HK 2-3: 0,6822



Anhang 6: Zusammenhang zwischen Ausbaufeuchte und relativem Masseverlust der Nadelhölzer ohne Farbkern nach Prüfung in TMCs



Anhang 7: Zusammenhang zwischen Ausbaufeuchte und relativem Masseverlust der Farbkern-Nadelhölzer nach Prüfung in TMCs



Anhang 8: Zusammenhang zwischen Ausbaufeuchte und relativem Masseverlust der Laubhölzer nach Prüfung in TMCs

Anhang 9: Mittlere relative Masseverluste und X-Werte (in Klammern) der Holzarten aus drei Herkunftten (HK) nach Prüfung in TMCs mit Böden der fünf Freilandstandorte

Holzart	HK	Mittlerer relativer Masseverlust [%] und X-Werte (in Klammern) nach TMC-Prüfung mit Böden aus				
		Rhön	Stuttgart	Freiburg	Hamburg	Hamburg „Baumschatten“
KiS	1	27,6	7,8	11,0	26,8	13,4
KiS	2	36,6	9,8	11,9	29,7	12,8
KiS	3	32,2	9,0	10,4	24,4	11,7
FiS	1	9,9 (1,43)	32,1 (1,27)	10,9 (1,23)	22,6 (1,34)	13,9 (1,34)
FiS	2	7,2 (1,02)	22,8 (0,92)	8,7 (0,98)	18,6 (1,11)	10,9 (1,06)
FiS	3	8,0 (1,04)	23,3 (1,03)	7,6 (0,86)	16,0 (0,95)	11,4 (1,10)
FiK	1	6,8 (1,25)	28,2 (0,87)	7,7 (0,87)	17,7 (1,05)	11,2 (1,08)
FiK	2	8,0 (1,36)	30,4 (1,02)	8,4 (0,95)	19,4 (1,16)	11,2 (1,08)
FiK	3	7,2 (1,24)	27,8 (0,93)	8,0 (0,91)	20,6 (1,22)	11,8 (1,14)
Ta	1	7,2 (0,94)	21,1 (0,92)	7,5 (0,84)	18,3 (1,09)	10,6 (1,03)
Ta	2	5,9 (0,95)	21,3 (0,76)	6,8 (0,77)	16,0 (0,95)	7,7 (0,74)
Ta	3	6,7 (0,91)	20,5 (0,86)	8,0 (0,90)	17,4 (1,03)	9,9 (0,96)
Dou	1	5,3 (0,73)	16,5 (0,68)	5,9 (0,66)	10,7 (0,64)	5,5 (0,53)
Dou	2	5,9 (0,94)	21,2 (0,75)	5,9 (0,67)	13,0 (0,78)	7,6 (0,73)
Dou	3	7,1 (0,81)	18,1 (0,91)	8,3 (0,93)	11,9 (0,71)	8,0 (0,77)
Lä	1	9,3 (1,04)	23,4 (1,19)	10,0 (1,13)	16,6 (0,90)	10,0 (0,97)
Lä	2	7,4 (1,11)	24,9 (0,95)	8,9 (1,01)	14,8 (0,88)	8,8 (0,85)
Lä	3	6,8 (0,80)	18,0 (0,88)	7,4 (0,83)	9,7 (0,58)	8,3 (0,80)
KiK	1	5,5 (0,92)	20,7 (0,70)	7,1 (0,80)	12,7 (0,75)	8,7 (0,84)
KiK	2	5,7 (0,85)	19,1 (0,73)	8,1 (0,91)	12,3 (0,73)	8,1 (0,78)
KiK	3	5,2 (0,78)	17,5 (0,66)	7,0 (0,79)	10,7 (0,64)	7,0 (0,68)
Rob	1	8,2 (0,57)	12,9 (1,05)	9,0 (1,02)	16,3 (0,97)	11,2 (1,08)
Rob	2	7,0 (0,46)	10,4 (0,89)	7,9 (0,89)	13,2 (0,78)	9,7 (0,94)
Rob	3	9,3 (0,61)	13,7 (1,19)	10,8 (1,22)	16,7 (0,99)	12,2 (1,18)
Ei	1	12,8 (0,99)	22,3 (1,65)	13,4 (1,51)	18,5 (1,10)	14,1 (1,37)
Ei	2	12,9 (0,91)	20,5 (1,65)	14,9 (1,68)	18,3 (1,09)	14,1 (1,37)
Ei	3	15,2 (1,08)	24,2 (1,95)	14,9 (1,68)	24,4 (1,45)	16,5 (1,60)

Anhang 10: Mittlerer Abbaugrad der Prüfkörper im Erdkontakt an den Standorten Rhön, Stuttgart und Freiburg
(n.g. = nicht geprüft)

	An- zahl	Rhön					Stuttgart					Freiburg				
		1 Jahr	2 Jahre	3 Jahre	4 Jahre	5 Jahre	1 Jahr	2 Jahre	3 Jahre	4 Jahre	5 Jahre	1 Jahr	2 Jahre	3 Jahre	4 Jahre	5 Jahre
KiS 1	10	0,0	0,6	1,1	1,7	1,7	0,7	1,5	2,6	3,0	3,4	0,7	1,0	2,3	3,1	4,0
KiS 2	10	0,4	0,7	1,0	1,9	1,9	1,0	1,2	2,7	3,2	3,4	0,8	1,4	2,8	3,1	3,8
KiS 3	10	0,1	0,8	1,1	1,5	1,5	0,7	1,1	2,7	3,0	3,5	1,0	1,4	2,7	3,3	3,7
KiS	30	0,2	0,7	1,1	1,7	1,7	0,8	1,3	2,7	3,1	3,4	0,8	1,3	2,6	3,2	3,8
FiS 1	10	0,4	1,0	1,5	1,8	1,8	1,2	1,2	2,7	2,8	3,1	1,2	1,4	2,9	3,5	3,7
FiS 2		n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
FiS 3	10	0,2	0,7	1,0	1,4	1,4	1,0	1,1	2,5	2,7	3,2	1,0	1,1	2,5	3,0	3,7
FiS	20	0,3	0,9	1,3	1,6	1,6	1,1	1,2	2,6	2,8	3,2	1,1	1,3	2,7	3,3	3,7
FiK 1	10	0,6	0,9	1,4	1,7	1,7	0,9	1,0	2,2	2,6	2,9	0,9	1,1	2,5	3,2	3,5
FiK 2		n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
FiK 3	10	0,5	0,7	1,0	1,5	1,7	0,9	1,1	2,5	2,8	3,1	1,0	1,0	2,3	2,7	3,3
FiK	20	0,6	0,8	1,2	1,6	1,7	0,9	1,1	2,4	2,7	3,0	1,0	1,1	2,4	3,0	3,4
Ta 1	10	0,8	0,9	1,0	1,7	1,7	0,8	1,0	2,4	2,7	3,2	0,9	1,1	2,6	2,9	3,3
Ta 2	10	0,5	0,8	0,9	1,3	1,2	0,5	1,0	1,9	2,3	3,1	0,8	1,3	2,9	2,7	3,3
Ta 3	10	0,5	0,8	0,7	1,4	1,6	0,9	1,0	2,2	2,4	3,1	1,0	1,3	2,4	3,0	3,7
Ta	30	0,6	0,8	0,9	1,5	1,5	0,7	1,0	2,2	2,5	3,1	0,9	1,2	2,6	2,9	3,4
Dou 1	10	0,7	0,8	0,4	0,8	0,8	0,3	0,8	1,0	1,1	1,8	0,6	0,6	1,1	1,8	2,5
Dou 2	10	0,7	0,8	1,0	0,9	1,0	0,5	0,7	1,3	1,2	2,4	0,5	0,7	1,6	2,2	3,1
Dou 3	10	0,0	0,3	0,3	0,4	0,6	0,0	0,3	0,9	1,1	1,6	0,3	0,4	1,2	2,0	2,9
Dou	30	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,3	0,6	1,1	1,1	1,9	0,5	0,6	1,3	2,0	2,8
Lä 1	10	0,4	0,5	0,1	0,5	0,5	0,0	0,6	0,7	1,0	1,4	0,7	0,9	1,4	1,9	2,5
Lä 2	10	0,7	0,9	0,6	0,6	0,6	0,2	0,8	0,9	1,0	1,4	0,4	0,6	1,0	2,0	2,5
Lä 3	10	0,1	0,2	0,1	0,2	0,3	0,1	0,3	0,7	1,0	1,3	0,2	0,3	1,0	1,4	2,3
Lä	30	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5	0,1	0,6	0,8	1,0	1,4	0,4	0,6	1,1	1,8	2,4
KiK 1	10	0,3	0,3	1,0	1,2	1,2	0,5	0,8	1,8	1,4	2,5	0,8	1,0	2,2	2,6	2,9
KiK 2	10	0,2	0,2	0,7	1,2	1,2	0,6	0,9	1,7	1,8	2,1	0,6	0,9	1,9	2,2	2,6
KiK 3	10	0,1	0,3	0,6	0,9	0,9	0,2	0,4	1,4	1,4	2,1	0,6	0,7	2,0	2,6	3,0
KiK	30	0,2	0,3	0,8	1,1	1,1	0,4	0,7	1,6	1,5	2,2	0,7	0,9	2,0	2,5	2,8
Rob 1	10	0,0	0,0	0,6	1,0	0,9	0,1	0,5	1,3	1,1	1,3	0,6	0,6	1,0	1,0	1,1
Rob 2	10	0,0	0,0	0,2	1,0	1,0	0,1	0,2	1,0	1,0	1,2	0,5	0,5	0,9	1,0	1,0
Rob 3	10	0,0	0,2	0,8	1,0	1,1	0,4	0,7	1,7	1,6	1,6	0,8	0,9	1,2	1,5	1,6
Rob	30	0,0	0,1	0,5	1,0	1,0	0,2	0,5	1,3	1,2	1,4	0,6	0,7	1,0	1,2	1,2
Ei 1	10	0,0	0,4	1,1	1,6	1,5	1,0	1,2	2,3	2,3	2,7	1,0	1,0	1,7	1,8	2,5
Ei 2	10	0,0	0,9	1,1	1,3	1,3	1,1	1,4	2,3	2,6	3,1	0,9	1,2	2,2	2,5	3,0
Ei 3	10	0,1	0,8	1,3	1,7	1,6	1,0	1,2	2,4	2,2	2,7	1,1	1,1	1,9	2,2	3,0
Ei	30	0,0	0,7	1,2	1,5	1,5	1,0	1,3	2,3	2,4	2,8	1,0	1,1	1,9	2,2	2,8

Anhang 11: Mittlerer Abbaugrad der Prüfkörper im Erdkontakt an den Standorten Hamburg und Hamburg „Baumschatten“ (n.g. = nicht geprüft)

	An- zahl	Hamburg					Hamburg "Baumschatten"				
		1 Jahr	2 Jahre	3 Jahre	4 Jahre	5 Jahre	1 Jahr	2 Jahre	3 Jahre	4 Jahre	5 Jahre
KiS 1	10	0,8	1,4	1,8	3,1	3,4	1,1	1,7	2,4	3,0	3,4
KiS 2	10	0,6	1,5	1,7	3,3	3,5	1,2	1,5	2,4	2,4	3,7
KiS 3	10	1,1	1,8	2,3	3,0	3,5	1,2	1,7	2,4	3,1	3,3
KiS	30	0,8	1,6	1,9	3,1	3,5	1,2	1,6	2,4	2,8	3,5
FiS 1	10	0,9	1,6	2,3	3,3	3,3	1,2	1,7	2,4	3,2	3,9
FiS 2	10	0,8	1,5	1,4	3,0	3,3	1,4	1,7	2,1	3,0	3,6
FiS 3	10	1,0	1,5	2,0	3,1	3,3	1,5	1,5	1,9	3,0	3,5
FiS	30	0,9	1,5	1,9	3,1	3,3	1,4	1,6	2,1	3,1	3,7
FiK 1	10	0,8	1,4	1,4	2,3	2,6	1,0	1,5	1,9	2,6	3,0
FiK 2		n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
FiK 3	10	0,3	1,1	1,1	2,8	2,9	1,6	2,0	2,4	3,0	3,4
FiK	20	0,6	1,3	1,3	2,6	2,8	1,3	1,8	2,2	2,8	3,2
Ta 1	10	0,5	1,0	1,8	2,6	3,0	1,1	1,5	2,3	2,9	3,6
Ta 2	10	0,6	1,1	1,4	2,3	2,7	1,2	1,5	2,2	2,7	3,3
Ta 3	10	0,5	1,0	1,5	2,8	3,3	0,9	1,2	2,0	2,9	3,3
Ta	30	0,5	1,0	1,6	2,6	3,0	1,1	1,4	2,2	2,8	3,4
Dou 1	10	0,1	0,5	0,8	1,5	2,0	0,7	1,0	1,2	1,5	1,8
Dou 2	10	0,1	0,6	0,9	1,9	2,0	0,6	1,7	2,1	2,3	2,7
Dou 3	10	0,3	0,6	0,6	1,5	1,4	0,4	0,9	1,2	1,5	1,9
Dou	30	0,2	0,6	0,8	1,6	1,8	0,6	1,2	1,5	1,8	2,1
Lä 1	10	0,4	0,5	0,5	1,2	1,5	0,6	1,0	1,1	1,3	1,5
Lä 2	10	0,2	0,3	0,5	1,3	1,5	0,8	0,8	1,0	1,2	1,4
Lä 3	10	0,0	0,0	0,4	1,4	1,4	0,4	0,4	0,9	1,1	1,2
Lä	30	0,2	0,3	0,5	1,3	1,5	0,6	0,7	1,0	1,2	1,4
KiK 1	10	0,8	1,2	1,2	1,9	2,2	0,8	1,0	1,5	2,0	2,2
KiK 2	10	0,4	0,9	1,5	1,9	1,9	1,1	1,3	1,6	2,3	2,5
KiK 3	10	0,4	0,8	1,2	2,1	2,3	0,9	1,4	1,4	2,0	2,2
KiK	30	0,5	1,0	1,3	2,0	2,1	0,9	1,2	1,5	2,1	2,3
Rob 1	10	0,1	0,7	0,3	1,1	1,1	0,4	0,7	1,0	1,0	1,0
Rob 2	10	0,1	0,2	0,3	1,2	1,3	0,3	0,5	1,0	1,1	1,1
Rob 3	10	0,4	0,9	0,7	1,3	1,3	0,7	0,6	1,1	1,5	1,6
Rob	30	0,2	0,6	0,4	1,2	1,2	0,5	0,6	1,0	1,2	1,2
Ei 1	10	0,1	1,0	1,1	2,2	2,3	0,8	1,0	1,1	1,9	1,9
Ei 2	10	0,7	0,9	1,2	2,3	2,2	0,9	1,0	1,4	2,1	2,4
Ei 3	10	0,9	1,1	1,3	2,4	2,5	0,7	1,0	1,7	2,2	2,6
Ei	30	0,6	1,0	1,2	2,3	2,3	0,8	1,0	1,4	2,1	2,3

Anhang 12: Mittlerer Abbaugrad der Prüfkörper in horizontaler Exposition (Doppellagen-Test) an den Standorten Rhön, Stuttgart und Freiburg

	Anzahl	Rhön					Stuttgart					Freiburg				
		1 Jahr	2 Jahre	3 Jahre	4 Jahre	5 Jahre	1 Jahr	2 Jahre	3 Jahre	4 Jahre	5 Jahre	1 Jahr	2 Jahre	3 Jahre	4 Jahre	5 Jahre
KiS 1	10	0,0	0,0	0,6	1,1	1,5	0,0	0,0	0,1	0,9	1,4	0,3	1,0	1,7	2,3	2,4
KiS 2	10	0,0	0,0	1,2	2,1	2,5	0,1	0,5	0,9	1,5	2,1	0,2	0,5	1,9	2,4	2,6
KiS 3	10	0,0	0,0	0,2	0,6	1,2	0,0	0,2	0,7	1,4	1,7	0,0	0,1	1,5	2,5	2,8
KiS	30	0,0	0,0	0,7	1,3	1,7	0,0	0,2	0,6	1,3	1,7	0,2	0,5	1,7	2,4	2,6
FiS 1	10	0,0	0,0	0,6	1,3	1,9	0,0	0,7	0,8	1,6	2,7	0,2	1,0	3,0	3,5	3,7
FiS 2	10	0,0	0,1	0,5	1,1	1,5	0,0	0,5	1,2	1,7	2,4	0,0	0,4	1,8	2,6	3,1
FiS 3	10	0,0	0,1	0,5	1,6	2,2	0,2	0,7	1,0	2,3	2,6	0,7	1,7	3,6	3,9	4,0
FiS	30	0,0	0,1	0,5	1,3	1,9	0,1	0,6	1,0	1,9	2,6	0,3	1,0	2,8	3,3	3,6
FiK 1	10	0,0	0,0	0,2	1,1	1,6	0,0	0,3	1,0	2,0	2,2	0,0	0,2	2,5	2,9	3,2
FiK 2	10	0,0	0,2	1,1	1,8	2,5	0,0	0,0	0,9	1,6	2,0	0,0	0,4	2,2	2,7	2,9
FiK 3	10	0,0	0,2	0,5	1,0	1,5	0,0	0,1	0,8	1,6	1,8	0,0	0,2	1,6	2,2	3,0
FiK	30	0,0	0,1	0,6	1,3	1,9	0,0	0,1	0,9	1,7	2,0	0,0	0,3	2,1	2,6	3,0
Ta 1	10	0,0	0,7	1,9	1,9	2,9	0,0	0,1	1,3	2,1	2,2	0,3	1,8	3,3	3,9	3,9
Ta 2	10	0,1	0,7	2,2	3,1	3,7	0,1	0,5	1,8	2,6	3,0	0,4	1,7	3,5	3,9	3,9
Ta 3	10	0,0	1,1	1,9	2,7	3,2	0,0	0,9	2,4	3,2	3,4	0,5	2,0	3,8	3,9	3,9
Ta	30	0,0	0,8	2,0	2,6	3,3	0,0	0,5	1,8	2,6	2,9	0,4	1,8	3,5	3,9	3,9
Dou 1	6*	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,7	0,0	0,0	0,5	0,7	1,0
Dou 2	6*	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,5	1,0
Dou 3	6*	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,5
Dou	18*	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,3	0,4	0,0	0,0	0,3	0,5	0,8
Lä 1	10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,3	0,0	0,0	0,5	0,7	1,1
Lä 2	10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
Lä 3	10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4
Lä	30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	0,3	0,6
KiK 1	7*	0,0	0,0	0,1	0,7	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4
KiK 2	7*	0,0	0,0	0,4	0,6	0,7	0,0	0,0	0,1	0,3	0,4	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3
KiK 3	7*	0,0	0,0	0,3	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
KiK	21*	0,0	0,0	0,2	0,4	0,5	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,0	0,0	0,1	0,3	0,3
Rob 1	10	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Rob 2	10	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1
Rob 3	10	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,1	0,0	0,4	0,3	0,0	0,0	0,4	0,3	0,4
Rob	30	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,3	0,2	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2
Ei 1	10	0,0	0,0	0,0	0,6	0,5	0,0	0,0	0,0	0,4	0,3	0,0	0,0	0,1	0,6	0,5
Ei 2	10	0,0	0,0	0,2	0,3	0,3	0,0	0,0	0,4	0,5	0,4	0,0	0,0	0,5	0,5	0,6
Ei 3	10	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,1	0,2	0,4	0,0	0,0	0,3	0,7	0,6
Ei	30	0,0	0,0	0,1	0,4	0,3	0,0	0,0	0,2	0,4	0,4	0,0	0,0	0,3	0,6	0,6

* Reduzierte Prüfkörperzahl, da Prüfkörper in direktem Kontakt zu Prüfkörpern mit deutlich höheren Abbaugeschwindigkeiten (Fichte-Kern und Kiefer-Splint) nicht in der Berechnung berücksichtigt wurden.

Anhang 13: Mittlerer Abbaugrad der Prüfkörper in horizontaler Exposition (Doppellagen-Test) an den Standorten Hamburg und Hamburg „Baumschatten“

	An- zahl	Hamburg					Hamburg "Baumschatten"				
		1 Jahr	2 Jahre	3 Jahre	4 Jahre	5 Jahre	1 Jahr	2 Jahre	3 Jahre	4 Jahre	5 Jahre
KiS 1	10	0,0	0,0	0,3	0,9	1,1	0,2	0,8	1,4	1,4	1,9
KiS 2	10	0,0	0,1	0,4	1,6	1,7	0,1	0,5	1,7	1,8	2,3
KiS 3	10	0,0	0,0	0,2	0,5	0,9	0,0	0,5	1,6	1,9	2,2
KiS	30	0,0	0,0	0,3	1,0	1,2	0,1	0,6	1,6	1,7	2,1
FiS 1	10	0,0	0,1	0,3	0,3	0,9	0,4	0,8	1,4	1,4	2,5
FiS 2	10	0,0	0,3	1,2	2,3	2,6	0,1	0,6	0,9	1,0	2,0
FiS 3	10	0,1	0,4	0,6	1,4	2,1	0,2	0,5	0,7	1,1	1,5
FiS	30	0,0	0,3	0,7	1,3	1,9	0,2	0,6	1,0	1,2	2,0
FiK 1	10	0,0	0,1	0,0	0,3	0,6	0,0	0,3	1,4	1,8	2,2
FiK 2	10	0,0	0,2	0,5	1,4	2,0	0,0	0,7	1,3	2,2	3,0
FiK 3	10	0,0	0,1	0,3	0,8	1,3	0,1	0,8	2,2	3,1	3,8
FiK	30	0,0	0,1	0,3	0,8	1,3	0,0	0,6	1,6	2,4	3,0
Ta 1	10	0,0	0,1	0,6	0,7	1,7	0,0	0,7	2,4	2,2	3,0
Ta 2	10	0,1	0,5	2,1	3,2	3,5	0,0	0,3	1,3	1,3	1,9
Ta 3	10	0,0	0,0	0,0	0,6	0,7	0,0	0,3	1,3	2,0	2,5
Ta	30	0,0	0,2	0,9	1,5	2,0	0,0	0,4	1,7	1,8	2,5
Dou 1	6*	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3
Dou 2	6*	0,0	0,0	0,5	0,8	0,8	0,0	0,0	0,5	0,3	0,8
Dou 3	6*	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,1	0,0	0,3	0,7
Dou	18*	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,0	0,0	0,2	0,3	0,6
Lä 1	10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Lä 2	10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1
Lä 3	10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	0,2	0,3
Lä	30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
KiK 1	7*	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,0	0,0	0,9	0,9	0,7
KiK 2	7*	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	0,0	0,0	0,7	0,6	1,0
KiK 3	7*	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,6	0,3	0,6
KiK	21*	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,1	0,7	0,6	0,8
Rob 1	10	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,4	0,4	0,4
Rob 2	10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3
Rob 3	10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,2	0,5
Rob	30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,4
Ei 1	10	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,0	0,0	0,7	0,5	0,7
Ei 2	10	0,0	0,0	0,3	0,1	0,3	0,0	0,1	0,7	0,6	0,8
Ei 3	10	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,5	0,7	1,3
Ei	30	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,0	0,0	0,6	0,6	0,9

* Reduzierte Prüfkörperzahl, da Prüfkörper in direktem Kontakt zu Prüfkörpern mit deutlich höheren Abbaugeschwindigkeiten (Fichte-Kern und Kiefer-Splint) nicht in der Berechnung berücksichtigt wurden.

Anhang 14: Prozentualer Anteil der Prüfkörper in den Bewertungsstufen zu den Bewertungszeitpunkten in verschiedenen Expositionen am Standort Rhön

Rhön Erdkontakt																										
	Gesamt- anzahl	1 Jahr					2 Jahre					3 Jahre					4 Jahre					5 Jahre				
Abbau- bewertung		0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
KiS	30	83	17	0	0	0	30	70	0	0	0	0	93	7	0	0	0	37	56	7	0	0	37	56	7	0
FiS	20	70	30	0	0	0	15	85	0	0	0	0	85	10	0	5	0	55	35	5	5	0	55	35	5	5
FiK	20	45	55	0	0	0	20	80	0	0	0	0	90	5	0	5	0	50	45	0	5	0	45	45	5	5
Ta	30	40	60	0	0	0	17	83	0	0	0	24	70	3	3	0	0	60	37	0	3	3	53	37	3	3
Dou	30	53	47	0	0	0	37	63	0	0	0	43	57	0	0	0	30	70	0	0	0	20	80	0	0	0
Lä	30	57	43	0	0	0	47	53	0	0	0	73	27	0	0	0	57	43	0	0	0	53	47	0	0	0
KiK	30	80	20	0	0	0	73	27	0	0	0	27	70	3	0	0	7	76	17	0	0	7	76	17	0	0
Rob	30	100	0	0	0	0	93	7	0	0	0	47	53	0	0	0	3	94	3	0	0	3	94	3	0	0
Ei	30	97	3	0	0	0	30	70	0	0	0	0	83	17	0	0	0	53	40	7	0	0	60	33	7	0
Rhön horizontale Exposition																										
	Gesamt- anzahl	1 Jahr					2 Jahre					3 Jahre					4 Jahre					5 Jahre				
Abbau- bewertung		0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
KiS	30	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	50	37	10	3	0	20	50	13	17	0	10	37	23	30	0
FiS	30	100	0	0	0	0	93	7	0	0	0	63	27	3	7	0	30	30	20	17	3	17	33	13	20	17
FiK	30	100	0	0	0	0	93	0	7	0	0	69	7	17	7	0	50	7	13	23	7	34	13	10	20	23
Ta	30	97	3	0	0	0	60	13	10	17	0	24	13	23	20	20	13	10	13	34	30	7	3	7	23	60
Dou	18	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	89	11	0	0	0
Lä	30	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	90	10	0	0	0
KiK	21	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	81	14	5	0	0	67	24	10	0	0	57	33	10	0	0
Rob	30	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	97	3	0	0	0	83	17	0	0	0	87	13	0	0	0
Ei	30	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	93	7	0	0	0	67	30	3	0	0	67	33	0	0	0

Anhang 15: Prozentualer Anteil der Prüfkörper in den Bewertungsstufen zu den Bewertungszeitpunkten in verschiedenen Expositionen am Standort Stuttgart

Stuttgart Erdkontakt																										
	Gesamt- anzahl	1 Jahr					2 Jahre					3 Jahre					4 Jahre					5 Jahre				
Abbau- bewertung		0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
KiS	30	23	74	3	0	0	0	80	13	7	0	0	0	40	53	7	0	0	10	73	17	0	0	0	57	43
FiS	20	0	90	10	0	0	0	85	15	0	0	0	5	40	45	10	0	5	35	40	20	0	0	15	55	30
FiK	20	10	90	0	0	0	0	95	5	0	0	0	15	35	50	0	0	5	30	55	10	0	0	25	50	25
Ta	30	27	73	0	0	0	3	94	3	0	0	0	13	57	30	0	0	0	57	40	3	0	0	10	67	23
Dou	30	73	27	0	0	0	40	60	0	0	0	7	80	13	0	0	0	87	13	0	0	0	30	57	3	10
Lä	30	90	10	0	0	0	43	57	0	0	0	33	57	10	0	0	0	100	0	0	0	0	67	30	3	0
KiK	30	57	43	0	0	0	33	64	3	0	0	0	47	43	10	0	0	50	47	3	0	0	7	63	30	0
Rob	30	80	20	0	0	0	53	47	0	0	0	0	67	33	0	0	0	77	23	0	0	0	63	37	0	0
Ei	30	0	97	3	0	0	0	77	20	3	0	0	3	60	37	0	0	3	60	33	3	0	0	33	50	17
Stuttgart horizontale Exposition																										
	Gesamt- anzahl	1 Jahr					2 Jahre					3 Jahre					4 Jahre					5 Jahre				
Abbau- bewertung		0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
KiS	30	97	3	0	0	0	77	23	0	0	0	60	27	10	3	0	23	43	17	17	0	20	27	13	40	0
FiS	30	93	7	0	0	0	67	13	10	10	0	67	0	10	13	10	37	10	3	30	20	23	3	3	34	37
FiK	30	100	0	0	0	0	90	7	3	0	0	53	20	10	17	0	47	7	3	13	30	47	0	7	0	46
Ta	30	97	3	0	0	0	69	17	7	7	0	27	13	17	36	7	23	0	3	37	37	20	0	3	27	50
Dou	18	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	89	11	0	0	0	72	22	0	6	0
Lä	30	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	93	7	0	0	0	93	7	0	0	0	87	13	0	0	0
KiK	21	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	95	5	0	0	0	86	14	0	0	0	76	14	10	0	0
Rob	30	100	0	0	0	0	97	3	0	0	0	100	0	0	0	0	67	33	0	0	0	77	23	0	0	0
Ei	30	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	83	17	0	0	0	63	37	0	0	0	63	37	0	0	0

Anhang 16: Prozentualer Anteil der Prüfkörper in den Bewertungsstufen zu den Bewertungszeitpunkten in verschiedenen Expositionen am Standort Freiburg

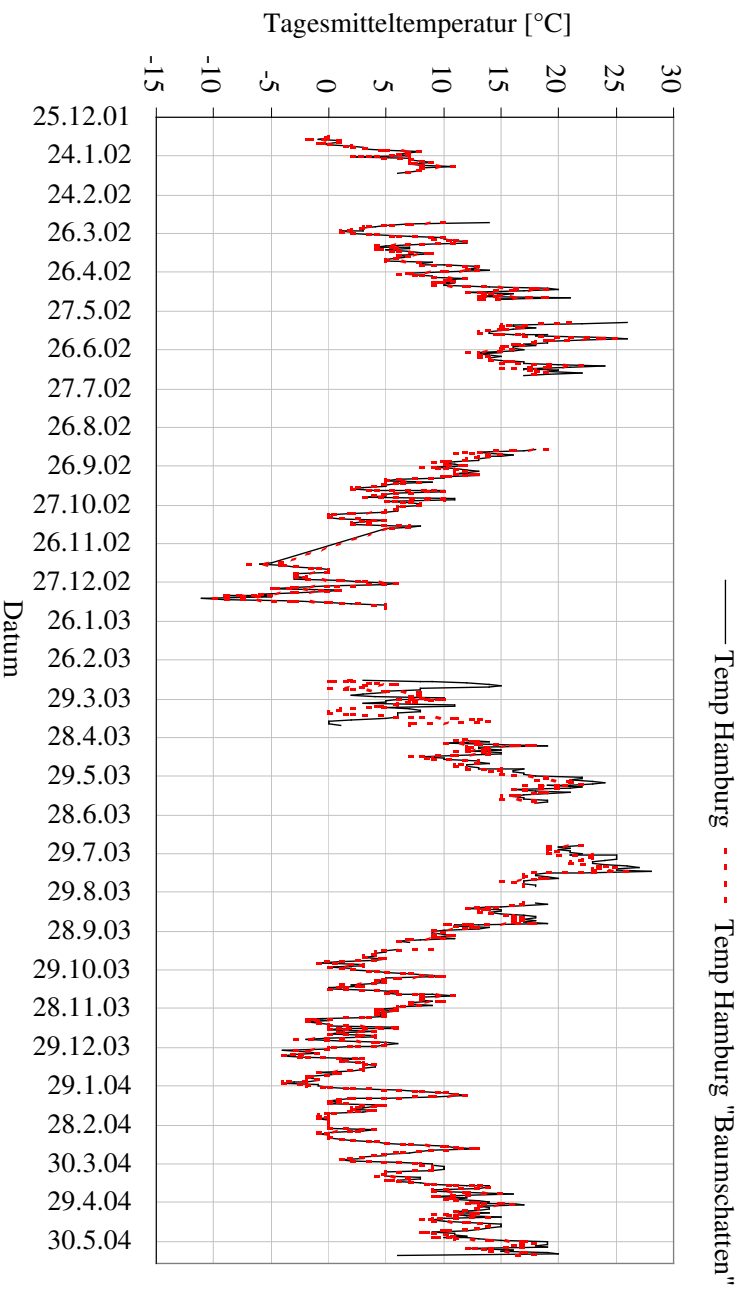
Freiburg Erdkontakt																										
	Gesamt- anzahl	1 Jahr					2 Jahre					3 Jahre					4 Jahre					5 Jahre				
Abbau- bewertung		0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
KiS	30	20	77	3	0	0	0	84	10	3	3	0	3	47	37	13	0	0	17	50	33	0	0	0	17	83
FiS	20	0	90	10	0	0	0	85	10	0	5	0	10	40	20	30	0	0	15	45	40	0	0	5	20	75
FiK	20	5	95	0	0	0	5	90	0	5	0	0	20	35	30	15	0	0	40	25	35	0	0	10	40	50
Ta	30	10	90	0	0	0	0	87	7	3	3	0	0	57	23	20	0	7	33	27	33	0	3	4	40	53
Dou	30	53	47	0	0	0	43	57	0	0	0	10	67	10	10	3	0	47	20	20	13	0	17	20	27	36
Lä	30	57	43	0	0	0	40	60	0	0	0	20	64	3	10	3	0	53	23	17	7	0	37	13	20	30
KiK	30	33	67	0	0	0	13	87	0	0	0	0	30	37	33	0	0	13	41	33	13	0	7	23	50	20
Rob	30	37	63	0	0	0	33	67	0	0	0	3	90	7	0	0	0	87	10	3	0	0	83	10	7	0
Ei	30	3	94	3	0	0	0	90	10	0	0	0	30	47	23	0	0	27	36	30	7	0	13	27	23	37
Freiburg horizontale Exposition																										
	Gesamt- anzahl	1 Jahr					2 Jahre					3 Jahre					4 Jahre					5 Jahre				
Abbau- bewertung		0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
KiS	30	83	17	0	0	0	60	27	13	0	0	17	30	20	33	0	3	20	17	53	7	0	17	17	56	10
FiS	30	74	23	3	0	0	53	10	17	20	0	10	7	10	40	33	7	0	7	26	60	3	0	3	20	74
FiK	30	100	0	0	0	0	77	20	3	0	0	17	17	23	27	16	10	10	27	17	36	7	7	13	23	50
Ta	30	64	33	3	0	0	17	23	20	40	0	0	3	0	37	60	0	0	0	10	90	0	0	0	10	90
Dou	18	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	88	6	6	0	0	72	16	6	6	0	72	0	0	28	0
Lä	30	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	90	7	0	3	0	77	20	0	3	0	67	20	3	10	0
KiK	21	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	90	5	5	0	0	71	29	0	0	0
Rob	30	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	87	13	0	0	0	83	17	0	0	0	80	20	0	0	0
Ei	30	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	70	30	0	0	0	43	54	3	0	0	50	47	0	3	0

Anhang 17: Prozentualer Anteil der Prüfkörper in den Bewertungsstufen zu den Bewertungszeitpunkten in verschiedenen Expositionen am Standort Hamburg „Baumschatten“

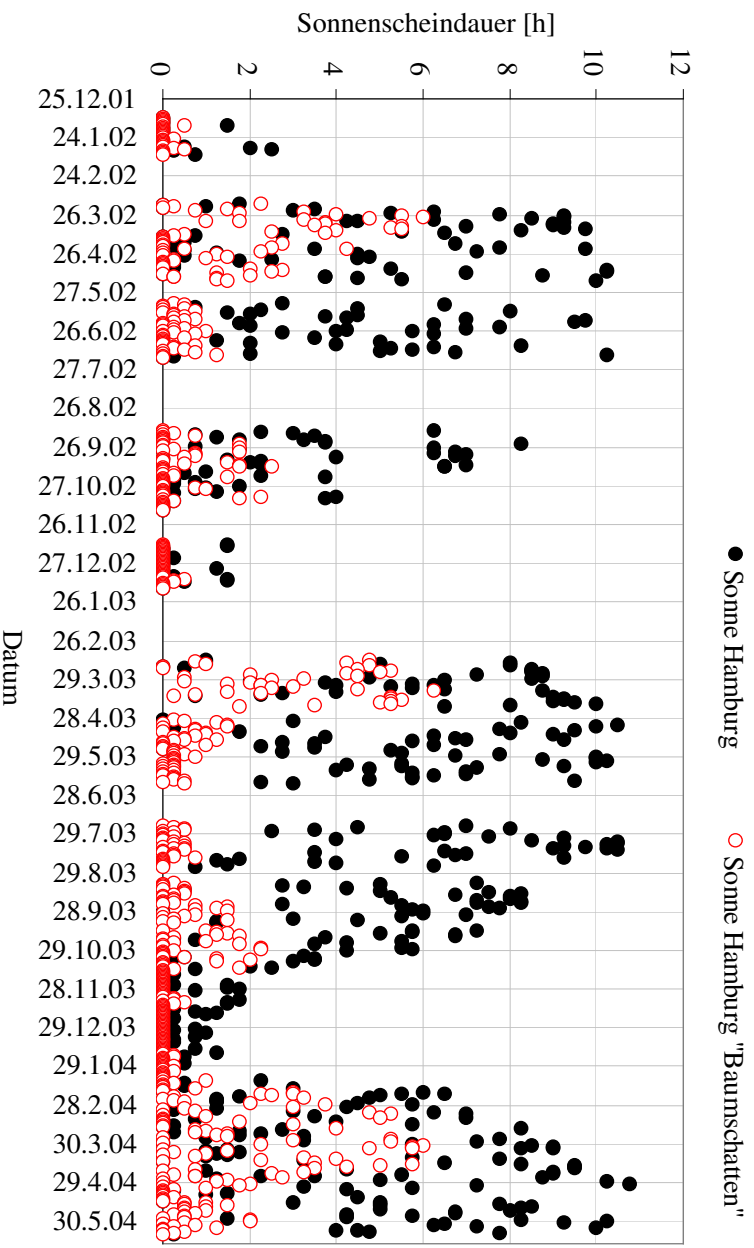
Hamburg "Baumschatten" Erdkontakt																										
	Gesamt- anzahl	1 Jahr					2 Jahre					3 Jahre					4 Jahre					5 Jahre				
Abbau- bewertung		0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
KiS	30	20	57	10	13	0	0	63	17	13	7	0	17	50	10	23	0	0	17	53	30	0	0	10	33	57
FiS	30	3	74	10	10	3	0	70	7	13	10	0	34	33	20	13	0	3	13	57	27	0	0	3	27	70
FiK	20	20	50	20	0	10	0	50	35	5	10	0	35	30	20	15	0	5	35	35	25	0	5	15	35	45
Ta	30	24	57	13	3	3	3	73	7	13	3	3	30	27	27	13	0	10	27	33	30	0	10	3	24	63
Dou	30	50	43	7	0	0	16	60	17	0	7	13	50	17	13	7	7	46	17	23	7	0	36	20	37	7
Lä	30	47	46	7	0	0	33	60	7	0	0	7	86	7	0	0	3	77	17	3	0	0	70	23	7	0
KiK	30	33	40	27	0	0	7	67	23	3	0	0	66	17	17	0	0	27	43	23	7	0	20	44	23	13
Rob	30	53	47	0	0	0	40	60	0	0	0	0	97	3	0	0	0	80	20	0	0	0	77	23	0	0
Ei	30	20	80	0	0	0	0	100	0	0	0	0	60	40	0	0	0	13	67	20	0	0	13	47	37	3
Hamburg "Baumschatten" horizontale Exposition																										
	Gesamt- anzahl	1 Jahr					2 Jahre					3 Jahre					4 Jahre					5 Jahre				
Abbau- bewertung		0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
KiS	30	90	10	0	0	0	47	50	0	3	0	3	40	54	3	0	7	40	30	23	0	0	30	30	37	3
FiS	30	77	23	0	0	0	43	50	7	0	0	30	46	17	7	0	27	43	17	13	0	0	43	20	30	7
FiK	30	97	3	0	0	0	50	40	10	0	0	20	30	20	27	3	13	10	20	40	17	10	10	7	17	56
Ta	30	100	0	0	0	0	70	23	0	7	0	3	46	37	7	7	7	43	17	26	7	7	20	20	27	26
Dou	18	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	83	17	0	0	0	77	17	6	0	0	55	39	0	6	0
Lä	30	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	87	13	0	0	0	90	10	0	0	0	87	13	0	0	0
KiK	21	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	38	52	10	0	0	49	38	10	0	0	33	57	10	0	0
Rob	30	100	0	0	0	0	97	3	0	0	0	67	33	0	0	0	73	27	0	0	0	60	40	0	0	0
Ei	30	100	0	0	0	0	97	3	0	0	0	37	63	0	0	0	43	54	3	0	0	17	73	10	0	0

Anhang 18: Prozentualer Anteil der Prüfkörper in den Bewertungsstufen zu den Bewertungszeitpunkten in verschiedenen Expositionen am Standort Hamburg

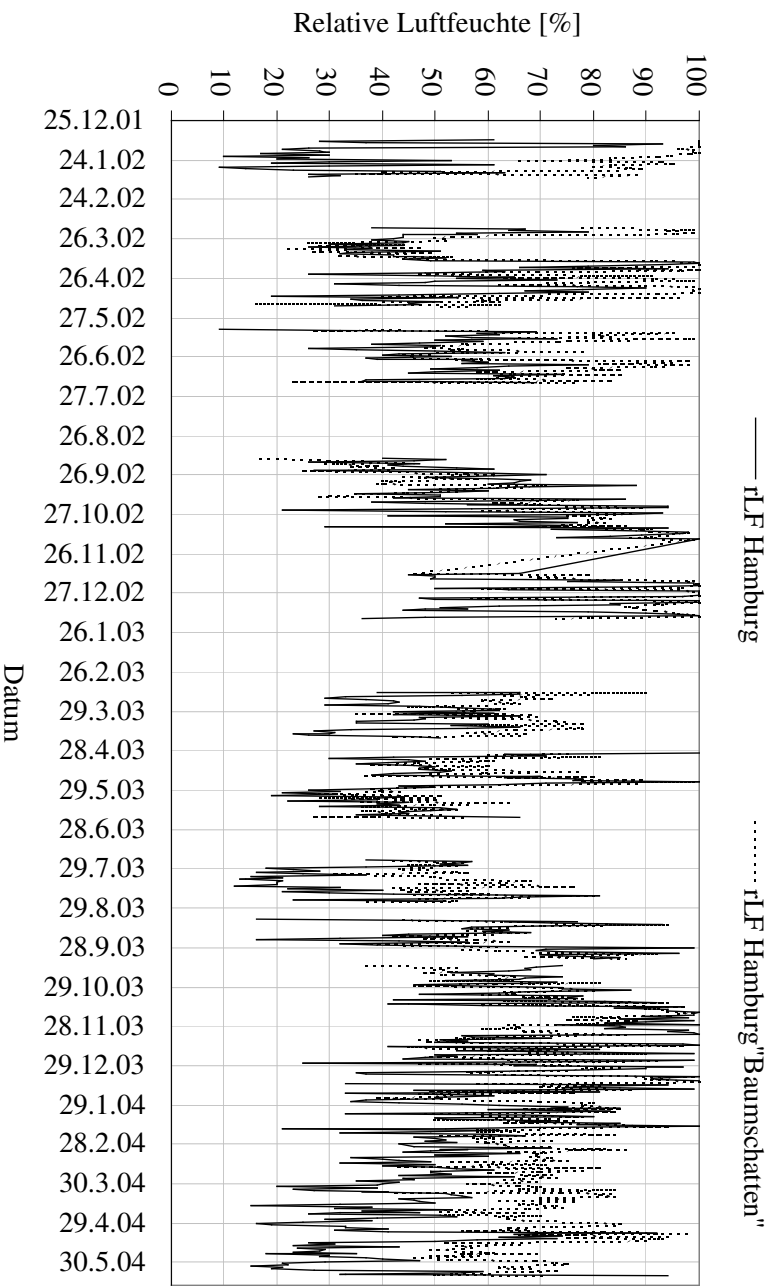
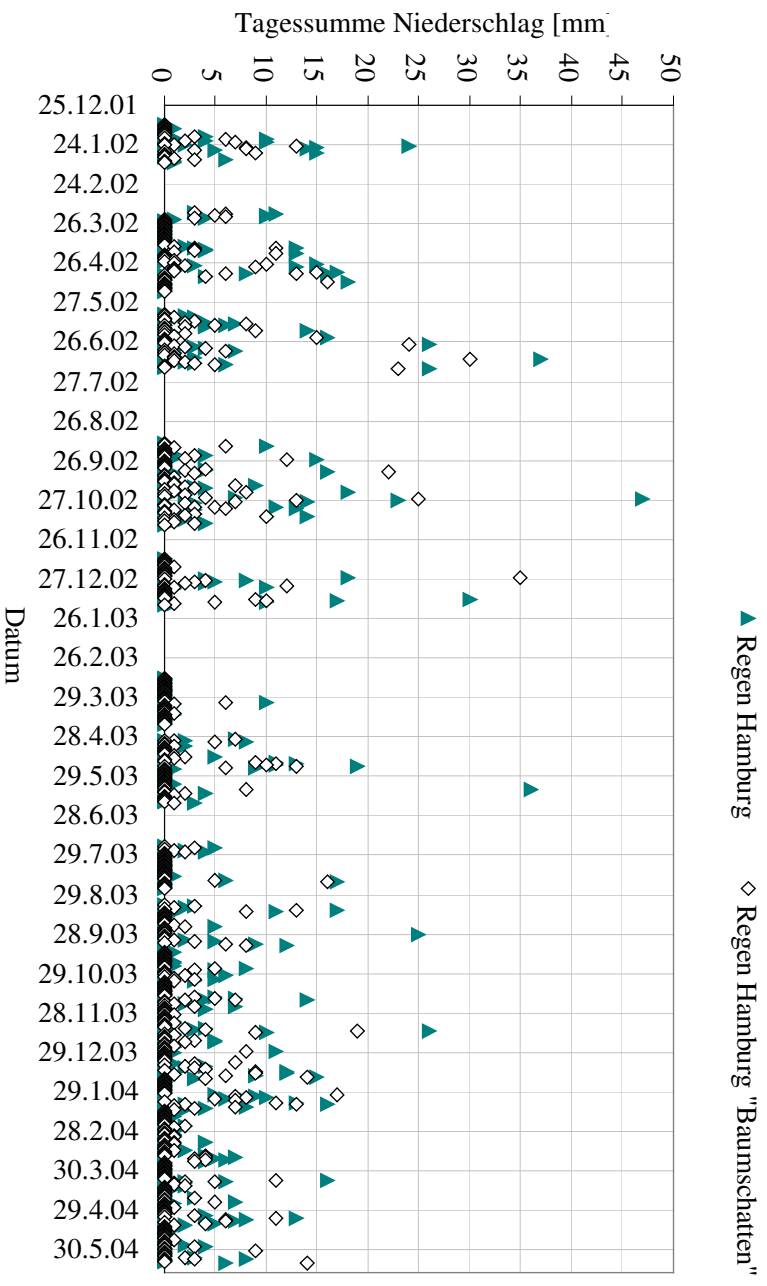
Hamburg Erdkontakt																										
	Gesamt- anzahl	1 Jahr					2 Jahre					3 Jahre					4 Jahre					5 Jahre				
Abbau- bewertung		0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
KiS	30	40	47	7	3	3	3	54	30	10	3	3	37	33	17	10	0	0	13	60	27	0	0	3	47	50
FiS	30	37	43	13	7	0	0	67	17	13	3	0	44	33	13	10	0	0	20	47	33	0	0	10	50	40
FiK	20	60	30	5	5	0	0	80	15	5	0	15	55	20	10	0	0	5	40	50	5	0	5	30	50	15
Ta	30	60	30	7	3	0	17	67	13	3	0	17	40	23	10	10	3	3	44	33	17	0	7	23	33	37
Dou	30	83	17	0	0	0	47	50	3	0	0	33	57	10	0	0	7	46	30	10	7	3	47	27	13	10
Lä	30	80	20	0	0	0	73	27	0	0	0	60	37	3	0	0	13	60	10	17	0	7	63	10	17	3
KiK	30	50	47	3	0	0	10	83	7	0	0	10	60	20	10	0	0	27	56	10	7	0	27	43	20	10
Rob	30	80	20	0	0	0	40	60	0	0	0	57	43	0	0	0	0	80	20	0	0	0	83	10	7	0
Ei	30	43	57	0	0	0	7	86	7	0	0	3	77	17	3	0	0	3	74	13	10	0	3	70	17	10
Hamburg horizontale Exposition																										
	Gesamt- anzahl	1 Jahr					2 Jahre					3 Jahre					4 Jahre					5 Jahre				
Abbau- bewertung		0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
KiS	30	100	0	0	0	0	97	3	0	0	0	70	30	0	0	0	27	53	13	7	0	7	70	16	7	0
FiS	30	97	3	0	0	0	77	20	3	0	0	67	3	23	7	0	53	7	7	20	13	40	10	0	23	27
FiK	30	100	0	0	0	0	90	10	0	0	0	80	17	0	3	0	60	10	20	7	3	43	17	17	13	10
Ta	30	97	3	0	0	0	84	13	3	0	0	56	17	7	20	0	46	7	7	30	10	34	13	3	23	27
Dou	18	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	94	0	0	6	0	83	11	0	0	6	83	11	0	0	6
Lä	30	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	97	3	0	0	0
KiK	21	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	71	29	0	0	0	76	24	0	0	0
Rob	30	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	97	3	0	0	0	97	3	0	0	0
Ei	30	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	87	13	0	0	0	83	17	0	0	0	77	23	0	0	0



Anhang 19: Tagesmitteltemperaturen an den Standorten Hamburg und Hamburg „Baumschatten“ täglich gemessen in Zeitabschnitten während des Untersuchungszeitraums

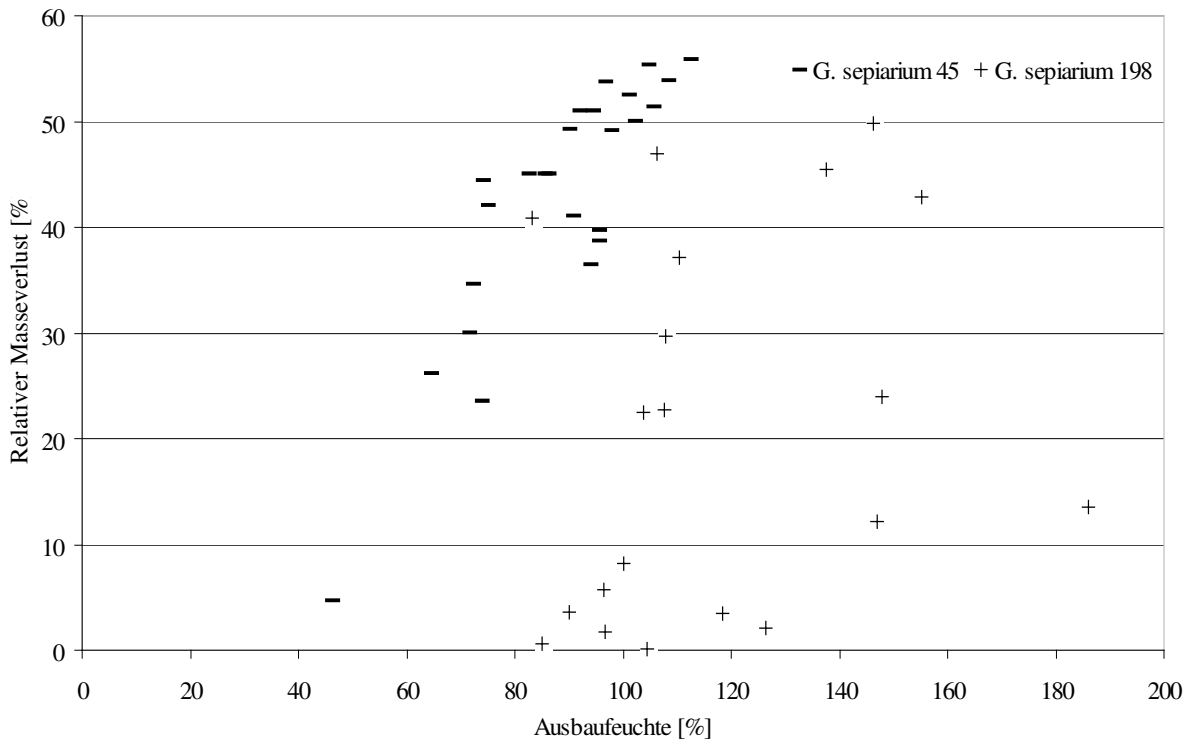


Anhang 20: Sonnenscheindauer an den Standorten Hamburg und Hamburg „Baumschatten“ täglich gemessen in Zeitabschnitten während des Untersuchungszeitraums

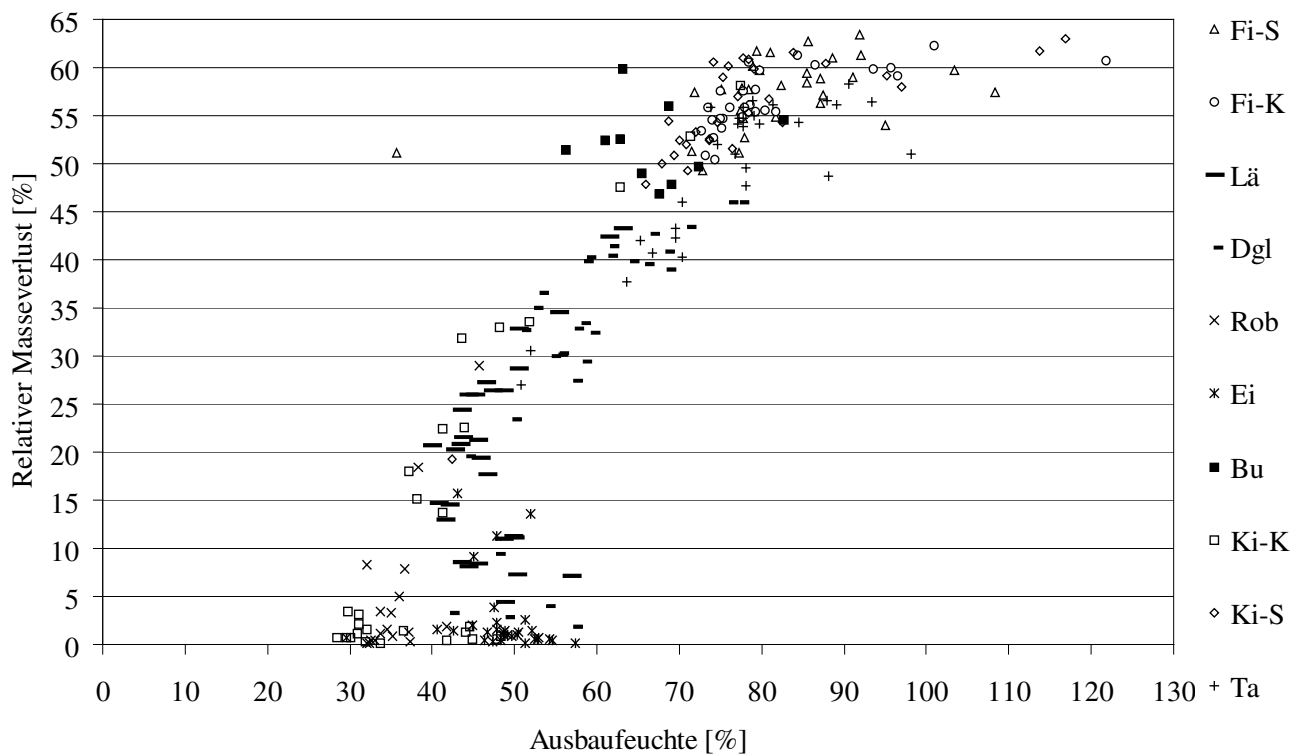


Anhang 23: Mediane Standdauer der Holzarten nach fünf Jahren Freilanduntersuchungen mit und ohne Erdkontakt an verschiedenen Standorten (für nicht aufgeführte Standorte und Holzarten war die mediane Standdauer noch nicht berechenbar)

Holzart	Erdkontakt	Doppellagen-Test
Kiefern-Splint	Freiburg: 4,3 Jahre	Hamburg: 5,0 Jahre
	Hamburg“Baumschatten“: 4,3 Jahre	
Fichte-Splint	Freiburg: 4,3 Jahre	Freiburg: 3,6 Jahre
	Hamburg“Baumschatten“: 4,0 Jahre	Hamburg“Baumschatten“: 4,8 Jahre
Fichte-Kern	Freiburg: 5,0 Jahre	Freiburg: 5,0 Jahre
Tanne	Freiburg: 4,8 Jahre	Rhön: 4,7 Jahre
	Hamburg“Baumschatten“: 4,1 Jahre	Stuttgart: 5,0 Jahre
		Freiburg: 2,8 Jahre



Anhang 24: Ausbaufeuchte und relativer Masseverlust von Kiefern-Splintholz nach Untersuchungen mit *Gloeophyllum sepiarium* 45 (Laborprüfpilz) n = 27 und *Gloeophyllum sepiarium* 198 (Freilandisolation) n = 21.



Anhang 25: Ausbaufeuchte und relativer Masseverlust nach Untersuchungen mit *Coniophora puteana*, n = 30.