

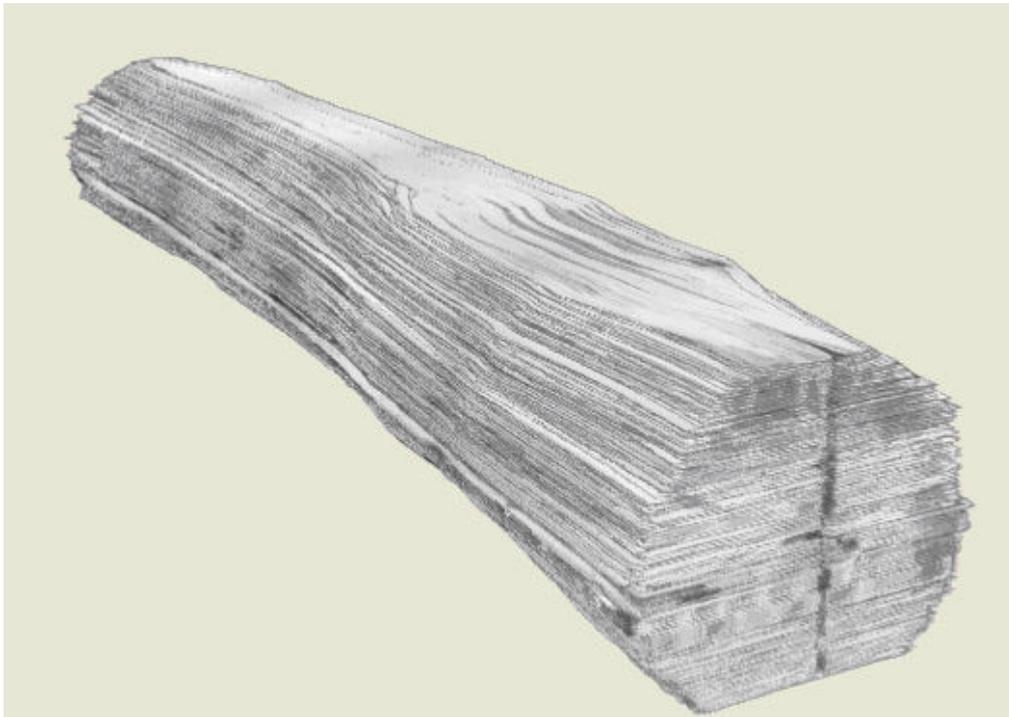


Rheinland-Pfalz

MINISTERIUM FÜR  
UMWELT, FORSTEN UND  
VERBRAUCHERSCHUTZ

# KÄFERSCHÄDEN IM BUCHENHOLZ: EINBUßEN UND VERWENDUNGSOPTIONEN

Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 68/09



JULIA ENGELS, MICHAEL JOCHUM, ROLAND KRUG UND STEFAN SEEGMÜLLER

**Beschreibung des Titelbildes:**

Äußeres Erscheinungsbild des 3D-Modells eines Buchenstammes zur Untersuchung der Einschnittsoptimierung.

Der Stamm wurde für das 3D-Modell in 2 mm-Furniere aufgetrennt und vollständig fotografiert. Die Fotos wurden rechnergestützt wieder zusammengesetzt. Das 3D-Modell erlaubt in jeder Richtung beliebige Schnitte durch den Stamm, die die innere Qualität zuverlässig offenlegen.

*Die vorliegende Untersuchung wurde aus Mitteln des Holzabsatzfonds und im Rahmen des IR III A-Programms der EU gefördert.*

## Impressum

### Herausgeber

Zentralstelle der Forstverwaltung

Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz

Hauptstraße 16

D-67705 Trippstadt

Telefon: 0049-6306-911-0, Telefax: 0049-6306-911-200

E-Mail: [zdf.fawf@wald-rlp.de](mailto:zdf.fawf@wald-rlp.de)

Internet: [www.fawf.wald-rlp.de](http://www.fawf.wald-rlp.de)

### Verantwortlich:

Der Leiter der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz

### Dokumentation

Mitteilung FAWF, Trippstadt

Nr. 68/09, 70 Seiten

ISSN 1610-7705 Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz, Nr. 68/09

zu beziehen über die Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz,

Schloss, D-67705 Trippstadt, Tel.: 0049-6306-911-0, Telefax: 0049-6306-911-200

E-Mail: [zdf.fawf@wald-rlp.de](mailto:zdf.fawf@wald-rlp.de)

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

# Käferschäden im Buchenholz: Einbußen und Verwendungsoptionen



# **Gliederung**

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>0</b> | <b>Vorwort</b>   | <b>3</b>  |
| <b>1</b> | <b>Einleitung, Fragestellung und Zielsetzung</b>             | <b>5</b>  |
| <b>2</b> | <b>Material und Methoden</b>                                 | <b>9</b>  |
| 2.1      | Herkunftsbestände  | 9         |
| 2.2      | Probebäume   | 13        |
| 2.3      | Einschnitt   | 16        |
| 2.4      | Fotogrammetrie   | 23        |
| 2.4.1    | Untersuchungsjahr 2001                                       | 23        |
| 2.4.2    | Untersuchungsjahr 2003                                       | 24        |
| 2.5      | Bearbeitung der Bilder zu 3D-Modellen                        | 27        |
| 2.5.1    | Bearbeitung der Bilder                                       | 27        |
| 2.5.2    | Schnitte durch die 3D-Modelle                                | 28        |
| 2.6      | Aufnahme der käferbedingten Schnittholzschäden               | 29        |
| 2.6.1    | Bohrlöcher   | 29        |
| 2.6.2    | Verfärbungen   | 31        |
| 2.7      | Einschnittsoptimierung                                       | 34        |
| 2.7.1    | Technische Ausbeute  | 34        |
| 2.7.2    | Wirtschaftliche Ausbeute                                     | 35        |
| 2.8      | Statistische Auswertung                                      | 36        |
| <b>3</b> | <b>Ergebnisse</b>  | <b>39</b> |
| 3.1      | Technische und optische Wirkungen des Käferbefalls           | 39        |
| 3.1.1    | Charakterisierung der Qualitätseinbußen und Ausbeuteverluste | 39        |
| 3.1.2    | Käferschäden 2003 im Vergleich zu 2001                       | 43        |
| 3.1.3    | Käferbedingte Schnittholzschäden im Jahresverlauf            | 45        |
| 3.1.4    | Käferschäden nach 1- und 3-jährigem Befall                   | 49        |
| 3.1.5    | Käferschäden im Saar-Hunsrück und im Hochösling              | 54        |

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>3.2</b> | <b>Technische Einschnittsoptimierung</b>                        | <b>59</b> |
| 3.2.1      | Schnittrichtungen und technische Ausbeute                       | 62        |
| 3.2.2      | Ausbeuteoptimierung unter verschiedenen Bedingungen             | 65        |
| <b>3.3</b> | <b>Wirtschaftliche Ausbeute verschiedener Einschnittsmuster</b> | <b>67</b> |
| <b>4</b>   | <b>Diskussion</b>   | <b>71</b> |
| 4.1        | Rundholz  | 71        |
| 4.2        | Schnittholzschäden  | 73        |
| 4.3        | Räumliche Verteilung der Schäden                                | 76        |
| 4.4        | Einschnittsoptimierung  | 78        |
| <b>5</b>   | <b>Zusammenfassung</b>  | <b>83</b> |
| <b>6</b>   | <b>Summary</b>  | <b>87</b> |
| <b>7</b>   | <b>Literatur</b>  | <b>89</b> |

# 0 Vorwort

Seit dem Jahr 2000 wurde in Rheinland-Pfalz und in den westlich angrenzenden Nachbarländern ein erneutes Auftreten der Buchenrindennekrose festgestellt. Neu und besonders besorgniserregend war ein Befall auch von äußerlich gesund erscheinenden Buchen durch den Laubnutzholzborkenkäfer, häufig verbunden mit einer raschen Holzentwertung.

Im Rahmen eines Interreg IIIa DeLux-Projektes untersuchten die Forstverwaltungen des Großherzogtums Luxemburg und des Landes Rheinland-Pfalz in den Jahren 2001 bis 2005 die Ursachen der Erkrankung und entwickelten Strategien zur Sicherung der Buchenwälder in der Region. Das Projekt war darauf ausgerichtet, negative Folgen der aktuellen Buchenerkrankung für den Naturhaushalt, das Landschaftsbild, die Artenvielfalt und die Nutzungsmöglichkeiten des Ökorohstoffes Buchenholz zu mindern. Durch grenzüberschreitende Buchenholznutzungsstrategien und –vermarktungskonzepte wurde eine Stabilisierung und wenn möglich Steigerung der Verwendung des nachwachsenden Rohstoffes Buchenholz angestrebt.

Dazu gehörte, den Waldbesitzenden, Forstleuten und Holz verarbeitenden Betrieben die Nutzungsmöglichkeiten von Holz mit einem Befall durch Laubnutzholzborkenkäfer aufzuzeigen und Vorschläge zur Optimierung der Nutzung betroffener Bäume zu unterbreiten. In diesem Zusammenhang wurde erstmals eine Methode entwickelt, die innere Holzqualität anhand dreidimensionaler Stammmodelle rechnergestützt bis hin zu Verfärbungen detailliert und nachvollziehbar anzusprechen. Die Untersuchungen belegen, dass sich käfergeschädigtes Buchenholz durchaus noch gewinnbringend verarbeiten lässt, zeigen aber auch die unumgänglichen Ausbeuteeinbußen. Sie öffnen Wege zur gezielten technischen und betriebswirtschaftlichen Ergebnisoptimierung.

Auch wenn der Befall stehender Buchen durch Laubnutzholzborkenkäfer heute abgeklungen ist, so dürfte die Methodik der vorliegenden Studie ein Instrumentarium bieten, Einschränkungen in der Holzqualität durch Insekten- oder Pilzbefall in Zukunft objektiver zu beurteilen.

Dr. Joachim Block

Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz



# 1 Einleitung, Fragestellung und Zielsetzung

Die Buche bestimmt die potentiell natürliche Vegetation der Grenzregion von Luxemburg, Westeifel und Saar-Hunsrück weitgehend (ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG IN DER ARBEITSGEMEINSCHAFT FORSTEINRICHTUNG, 1985). Allerdings wurde diese Baumart zugunsten der ertragreicheren Fichte lange Zeit zurückgedrängt, obwohl sie mit etwa 250 Verwendungsmöglichkeiten die vielseitigste heimische Baumart ist und für eine naturnahe, ökologisch orientierte Waldwirtschaft wertvolle Eigenschaften besitzt (ANONYMUS, 2004). Erst seit den 80er Jahren des vergangenen Jahrhunderts konnten die besseren Preise für Buchenholz den Waldbesitzern helfen, ihre Buchenwälder vermehrt zu pflegen, neue Buchenwälder zu begründen und Nadelholzreinbestände mit Buchen zu unterbauen (EHLEBRACHT, 1995; ANONYMUS, 2004).

Demgegenüber haben Buchenschäden und eine Buchenerkrankung dazu geführt, dass die Forstbetriebe der Ardennen und der Gaume bisher ca. 1,5 Mio. fm Buchenholz einschlagen mussten (EUROPÄISCHE ORGANISATION DER SÄGEWERKE, 2001; PANKERT, 2001; ANONYMUS, 2001 A). Vergleichbare Phänomene belasten den regionalen Buchenholzmarkt seit dem Jahr 2000 auch in den benachbarten Regionen Lothringens, des Saarlandes, der Westeifel, des Saar-Hunsrücks und Luxemburgs (STRUKTUR- UND GENEHMIGUNGSDIREKTION SÜD, 2001). Zwar sind beispielsweise in betroffenen rheinland-pfälzischen Regionen in den Jahren 2001 bis 2004 lediglich 5.000 bis 25.000 fm Schadholz jährlich angefallen (AREND *et al.*, 2004, S. 8). Allerdings setzten sich die Stammholzentwertungen bis in die Gegenwart fort. So vermarktete Landesforsten Rheinland-Pfalz auch 2006 wieder 10.000 fm Buchenschadholz in der Region (SCHRÖTER *et al.*, 2007 A). Schon die Entwicklung hin zu einer dauerhaften Erscheinung lässt es auch für Rheinland-Pfalz angeraten erscheinen, die Verwertbarkeit der betroffenen Buchen zu untersuchen.

Das Schadholtzaufkommen verunsicherte bereits im Jahr 2001 die Buchenholzsäger erheblich (ANONYMUS, 2001 A). Dies hat beispielsweise in Belgien zu Beginn des Jahrzehnts zu einem Preisrückgang von über 90 % für käfergeschädigtes Buchenstammholz geführt (DIRECTION GÉNÉRALE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE L'ENVIRONNEMENT, DIVISION DE LA NATURE ET DE FORÊTS, 2001, ANONYMUS, 2001 B). Anscheinend sehen sich insbesondere die großen Sägewerke außer Stande, derart geschädigtes Holz in ihren Verarbeitungsprozess zu integrieren. Vielmehr erachten sie jegliches Holz mit Bohrlöchern als vollständig entwertet (ANONYMUS, 2001 A). Auch deshalb war es trotz substantiell gesunkener Holzpreise in

Rheinland-Pfalz in den vergangenen Jahren nicht immer möglich, den Nachhaltshiebssatz an Buchenholz zu realisieren (HEIDINGSFELD, mündl. Mitt., 2002).

PETERCORD (2002) und NAGELEISEN & HUART (2005) unterscheiden in der Region zwischen dem Buchenschleimfluss und einem scheinbar primären Käferbefall ansonsten gesund erscheinender Buchen. Der Schleimfluss wird mit buchenwollschildlausbedingten Rindennekrosen in Verbindung gebracht (LONSDALE, 1980; PETERCORD, 2001). In seinem Kontext traten holzbrütende Käfer bisher vor allem als Sekundärschädlinge auf (SCHWERDTFEGER, 1981). Dementsprechend waren die Holzbrüter in der Vergangenheit als qualitätsminderndes Problem der Rundholzlagerung bekannt (EUROPÄISCHE ORGANISATION DER SÄGEWERKE, 2001).

Zwar gewinnt auch der Schleimfluss in allen Teilen der Region an Bedeutung (PETERCORD, 2002; NAGELEISEN, 2005). Neuerdings wird jedoch daneben ein massiver Befall holzbrütender Käfer an äußerlich gesund erscheinenden Bäumen beobachtet und als „Buchenkomplexkrankheit“ bezeichnet (DELB, 2001; EISENBARTH *et al.*, 2001). Derzeit übertrifft die Bestandesfläche mit stehend befallenen Buchen beispielsweise in Rheinland-Pfalz die Schleimflussflächen um das Fünfzehnfache (SCHRÖTER *et al.*, 2007 A). Anders als noch in der jüngeren Vergangenheit müssen die Holzkunden nun offensichtlich auch bei frisch eingeschlagenem Buchenholz mit Qualitätseinbußen rechnen (EUROPÄISCHE ORGANISATION DER SÄGEWERKE, 2001). Wegen des Stehendbefalls haben alleine die wallonischen Forstbetriebe im Jahr 2000 ca. 250.000 fm Buchenholz bei sogenannten Sanitärhieben eingeschlagen. Für 2001 gingen die Wirtschaftler von einem Schaden in Höhe von ca. 1 – 1,3 Mio. fm aus (EUROPÄISCHE ORGANISATION DER SÄGEWERKE; 2001, PANKERT; 2001, ANONYMUS, 2001).

In diesem Zusammenhang kommt neben dem Bohrkäfer (*Hylecoetus dermestoides*) dem Laubnutzholzborkenkäfer (*Trypodendron domesticum*) eine besondere Bedeutung zu. Der Laubnutzholzborkenkäfer befällt verschiedene Laubbaumarten, hauptsächlich jedoch die Buche (SCHWERDTFEGER, 1981). Er wird primär von Ethanol-Ausdünstungen potentieller Wirtsbäume in Verbindung mit deren Stammsilhouette angelockt (KERCK, 1976). Die Aggregation wird durch das für Trypodendronarten spezifische Lineatin verstärkt (KLIMETZEK *et al.*, 1980). Die Käfer bohren sich mit einer Eingangsröhre radial in den Stamm und legen in einer Tiefe von selten mehr als 8 cm einen den Jahrringen folgenden Brutgang an, von dem die Larvenwiegen in Faserrichtung nach oben und unten abzweigen (VITÉ, 1952). In diesem Brutbild lebt er in Symbiose mit sogenannten Ambrosiapilzen, die in der Regel aus der Gattung Moniliales (Bläuepilze) stammen (VITÉ, 1952; SCHWERDTFEGER, 1981).

Aufgrund seiner Lebensweise entwertet der Laubnutzholzborkenkäfer das befallene Holz technisch (VITÉ, 1952). So lässt die DIN 68 369 selbst in der Güteklasse III Insektenfraß (Wurmbefall) nur in geringem Maße zu (Rotbuche-Blockware; DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 1988). Die Ambrosiapilze färben nach einiger Zeit die Wände der Gangsysteme dunkel (VITÉ, 1952). Darüberhinaus ist mit Bläue zu rechnen. So breiten sich in ähnlicher Art und Weise beispielsweise die mit dem Nutzholzborkenkäfer (*Trypodendron lineatum*) in Verbindung stehenden Bläuepilze der Fichte mit der Folge ästhetischer Schäden rasch im Holz aus (GRAF, 1993). Außerdem können durch die Brutbilder analog *Gleoeophyllum commune* im *T. lineatum*-geschädigten Fichtenholz holzerstörende Pilze in das Buchenholz eindringen (GRAF, 1993).

Dementsprechend erkennt VITÉ (1952) die Nutzholzborkenkäfer als bedeutende Holzschädlinge an. Allerdings wurden die technischen Schäden des Laubnutzholzborkenkäfers für das Schnittholz bisher noch nicht analysiert. Darüberhinaus fehlen Informationen zum zeitlichen Schadensfortschritt stehend käferbefallenen Buchenholzes. Untersuchungen finden sich lediglich zur monetären Bedeutung des Nutzholzborkenkäfers (*T. lineatum*) für Schnittholz von Douglasie, Hemlocktanne und Lebensbaum (ORBAY *et al.*, 1994). Vor diesem Hintergrund stellt die vorliegende empirische Studie<sup>©</sup> im Anhalt an die Arbeit von BLOCK *et al.* (1997) die Auswirkung der holzbrütenden Insekten auf die Qualität von Buchenschnittholz und die Entwicklung der Schäden im Laufe der Zeit dar. Im Mittelpunkt stehen einerseits die technischen Schäden durch Käferlöcher und andererseits die ästhetischen Schäden durch käferbedingte Holzverfärbungen. Zu diesem Zweck wurden 2001 und 2003 die Verteilung der Bohrlöcher im Buchenschnittholz über das Stammvolumen hin und exemplarisch die käferbedingte Holzverfärbung charakterisiert. Darauf aufbauend wurden die Ausbeuteverluste durch holzbrütende Käfer mengenmäßig geschätzt.

AREND *et al.* (2004) haben zumindest 2004 in Hunsrück und Eifel zwischen März und Juli drei Aktivitätsmaxima des Nutzholzborkenkäfers, *Trypodendron domesticum*, nachgewiesen. Andererseits beendet dieser Käfer sein Brutgeschäft anscheinend im Laufe des Hochsommers (VITÉ, 1952). Möglicherweise nimmt die Zahl der Brutgalerien als Folge davon zum Hochsommer hin zu, während sie danach stagniert. Deshalb geht der vorliegende Bericht der Frage nach, ob sich die Käferwirkungen auf das Schnittholz vom Frühsommer zum Herbst hin ändern. Dies dürfte helfen, den günstigsten Erntezeitpunkt im Ausgleich zwischen Holzwertung und Arbeitssicherheit zu wählen.

---

<sup>©</sup> Die vorliegende Studie wurde aus Mitteln des Holzabsatzfonds und der EU (IR III A) gefördert.

Nach EISENBARTH (2001 A) und NAGELEISEN & HUART (2005) entwertet Weißfäule nach dem Käferbefall die Buchen sehr schnell. So sind DE WOUTERS (2001) und WILHELM *et al.* (2001) der Auffassung, dass solches Holz bestenfalls als Brennholz taugt. Allerdings wurde die Verwertbarkeit von mehrjährig käferbefallenem Buchenholz bisher noch nicht untersucht. Vor diesem Hintergrund vergleicht die Untersuchung nun die Schnittholzausbeute von 1-jährig und 3-jährig befallenen Buchen.

Anscheinend unterscheiden sich die Befallsbilder in Hunsrück und Ardennen deutlich. Beschränken sich die Käferschäden im Hunsrück zunächst auf die nordexponierten Stammperipherien der Erdstammstücke, so erstreckt sich der Befall in den Ardennen offensichtlich von Anfang an über die Nordseite der gesamten Stammlänge (EISENBARTH *et al.*, 2001, HUART, 2001). Dies macht es notwendig, zu untersuchen, inwieweit die Erkenntnisse über das Schnittholz käfergeschädigter Buchen aus dem Hunsrück auf andere Regionen übertragbar sind. Deshalb wurde eine Reihe befallener Buchen aus dem luxemburgischen Hochösling zusammen mit den Bäumen aus dem Hunsrück analysiert.

Die Sägeindustrie verkauft Buchenschnittholz in der Regel als Buchenblockware, besäumte weiße Seitenware oder rotkernige Gestellware (GRAMMEL, 1989). Käferschäden mindern die Güte der Blockware und der weißen besäumten Seitenware stark. Beispielsweise lässt die DIN 68 369 für die ersten beiden Güteklassen von Buchenblockware überhaupt keine und selbst in der Güteklasse III nur geringen Insektenfraß (Wurmbefall) zu. Andererseits verteilen sich die Käferschäden nicht gleichmäßig über die Stämme. Die Käfer rufen vor allem an den Nord- bis Nordost-exponierten Stammteilen Schäden hervor, während die Süd-exponierten Bereiche weitgehend frei von Einbußen bleiben (HUART & RONDEAUX, 2001). Dies könnte einen Optimierungsspielraum für den Einschnitt von Buchenholz mit Käferschäden öffnen. Diese Möglichkeit wird im Rahmen der Untersuchung anhand rechnergestützter 3D-Modelle repräsentativer Buchenstammstücke beurteilt.

Mit der gleichen Technik wird untersucht, ob die Käfer rotkerniges und weißes Buchenschnittholz gleichmäßig entwerten oder vor allem an der weißen Seitenware Schäden hervorgerufen haben, weil sie sich mit ihren Brutgalerien auf die Stammperipherie beschränken (VITÉ, 1952). Dies könnte die Nutzbarkeit solchen Holzes auch dann in Frage stellen, wenn der ungleichmäßige Käferbefall nur einen Teil der Stammholzes entwertet hat.

## **2 Material und Methoden**

Um die Käferschäden an stehend befallenen, stärkerem Buchenrund- und –schnittholz einzuschätzen, wurden käferbefallene Buchen repräsentativer Buchenbestände aus dem Saar-Hunsrück und dem Hochösling (Kap. 2.1, 2.2) gefällt und zu Blockware und Furnierblättern eingeschnitten (Kap. 2.3). Die Blockware wurde auf technische Schäden durch Käferlöcher und ästhetische Schäden durch käferbedingte Verfärbungen hin analysiert (Kap. 2.4). Die Furnierblätter wurden digital fotografiert (Kap. 2.4, 2.5) und die Aufnahmen am Computer ausgewertet (Kap. 2.6.2, 2.6.3). Mit Hilfe der Ergebnisse wurden die Käferschäden charakterisiert, der unter- und mehrjährige Schadensfortschritt analysiert und Schäden in Saar-Hunsrück und Hoch-Ösling miteinander verglichen. Darüber hinaus wurden Möglichkeiten zur Optimierung des Einschnitts geschädigter Buchen eruiert.

### **2.1 Herkunftsbestände**

Die Bäume der vorliegenden Untersuchung stammen aus zehn Beständen der rheinland-pfälzischen Forstämter Saar-Hochwald und Hermeskeil im Saar-Hunsrück und zwei Beständen aus dem luxemburgischen Forstamt Wiltz im südlichen Hochösling (Tab.1, 2).

Alle Saar-Hunsrückbestände stocken in der montanen Stufe des Wuchsbezirks 07.06.03 „Hoch- und Idarwald“ (Tab. 1; FORSTDIREKTION KOBLENZ, 1993). Diese Region zeichnet sich als Mittelgebirge mit Südwest-Nordost streichenden Waldrücken durch ein kühl-gemäßigtes, ziemlich feuchtes Klima atlantischer Prägung aus. Insbesondere die Sommer sind mäßig bis ziemlich niederschlagsreich. Dementsprechend stufen die Forsteinrichtungswerke alle Bestände bei Jahresniederschlägen über 800 - 1000 mm (sehr niederschlagsreich) als ziemlich frisch bis frisch ein (ARBEITSKREIS STANDORTKARTIERUNG IN DER ARBEITSGEMEINSCHAFT FORSTEINRICHTUNG, 1985; FORSTDIREKTION KOBLENZ, 1993, 1997, 2003).

Die Bestände in Luxemburg stocken in der submontanen bis unteren montanen Höhenstufe des Wuchsbezirks 2 „Südlicher Hochösling“ (Tab. 2; MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DE LA VITICULTURE ET DU DÉVELOPPEMENT RURAL, 1995). Dieses Gebiet prägt eine weite Hochebene, in die sich steile Bachtäler tief einschneiden. Der

„Groussebësch“ (Großbusch), zu dem die zwei luxemburgischen Untersuchungsbestände gehören, stockt in einer submontanen, kühl gemäßigten Region mit feuchter atlantischer Prägung. Niederschlagsreiche Sommer und kalte, frostreiche Winter geben diesem Gebiet ein raues Klima. Dennoch wurden alle Bestände bei Jahresniederschlägen zwischen 900 und 1000 mm (sehr niederschlagsreich) als lediglich ziemlich frisch eingestuft (MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DE LA VITICULTURE ET DU DÉVELOPPEMENT RURAL, 1995).

| Forstamt      | Bestand    | Höhe ü NN (m) | Exposition        | Hangneigung         |
|---------------|------------|---------------|-------------------|---------------------|
| Saar-Hochwald | 132a       | 570 - 645     | Südost            | $\frac{5 - 24}{10}$ |
|               | 146a       | 640 - 675     | Ost-Südost/Südost | $\frac{2 - 10}{5}$  |
|               | 147a       | 630 - 695     | Nord              | $\frac{3 - 12}{6}$  |
|               | 167a       | 630 - 645     | Nordost           | $\frac{3 - 4}{4}$   |
|               | 167b       | 610 - 635     | Nordost-Ost/Ost   | $\frac{4 - 7}{6}$   |
|               | 168a       | 575 - 645     | Nord-Nordost/Nord | $\frac{4 - 14}{8}$  |
|               | 169a       | 575 - 645     | Nord              | $\frac{6 - 13}{10}$ |
|               | 171a       | 635 - 655     | Ost-Südost/Ost    | $\frac{2 - 3}{3}$   |
|               | Hermeskeil | 94a           | 600 - 670         | Nordwest            |
| 108a          |            | 630 - 670     | Nordwest          | $\frac{4 - 8}{7}$   |

**Tab. 1:** Bestandescharakteristika der Herkunftsbestände im Saar-Hunsrück

Die Daten wurden den Forsteinrichtungswerken der Forstämter Saar-Hochwald und Hermeskeil (FORSTDIREKTION KOBLENZ, 1993, 1997, 2003) entnommen.

Sowohl Saar-Hunsrück als auch südlicher Hochösling sind geologisch hauptsächlich von Schiefergestein und Quarzit bzw. Quarzsand geprägt. Daraus haben sich meist basenarme Braunerden entwickelt. Die Braunerden des Hochösling sind oft steinig-lehmig mit hohem Skelettanteil bei gleichzeitiger Flachgründigkeit. Besonders im Saar-Hunsrück hat z. T. schon die Podsolierung eingesetzt und einige Pseudogleye haben sich gebildet. Damit übereinstimmend wurden die Forschungsstandorte im Saar-Hunsrück als oligotroph oder mesotroph und im Hochösling als oligotroph angesprochen (FORSTDIREKTION KOBLENZ, 1993; MINISTÈRE DE

L'ENVIRONNEMENT, MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DE LA VITICULTURE ET DU DÉVELOPPEMENT RURAL, 1995).

| Forstamt Wiltz |               |            |             |                 |
|----------------|---------------|------------|-------------|-----------------|
| Bestand        | Höhe ü NN (m) | Exposition | Hangneigung | Wasserhaushalt* |
| 36             | 510           | Plateau    | 0-5%        | ziemlich frisch |
| 37             | 500           | Nord       | 0-5%        | ziemlich frisch |

\*, Herleitung entsprechend ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG IN DER ARBEITSGEMEINSCHAFT FORSTEINRICHTUNG (1983)

**Tab. 2:** Bestandescharakteristika der Herkunftsbestände im Forstamt Wiltz

Die Daten wurden dem Forsteinrichtungswerk Rambrouch (*Inventaire de la forêt de Rambrouch*, 1993) entnommen (MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DE LA VITICULTURE ET DU DÉVELOPPEMENT RURAL, 1995).

Diese Standortcharakteristika entsprechen weitgehend den Ansprüchen der Rotbuche (KRAMER, 1988). So sieht auch der ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG IN DER ARBEITSGEMEINSCHAFT FORSTEINRICHTUNG (1985) den Hainsimsen-Buchenwald mit Birkenbrüchen bzw. den Hainsimsen-Traubeneichen/Buchenwald als potentiell natürliche Vegetation des Idar-Hochwaldes an. In gleicher Weise stellt das luxemburgische Umweltministerium fest, dass Hainsimsen-Buchenwälder heute als natürliche Waldgesellschaften 15 % aller Luxemburger Wälder ausmachen (MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DE LA VITICULTURE ET DU DÉVELOPPEMENT RURAL, 1995).



**Abb. 1:** Bestandesbilder der Abt. 147 a im Forstamt Saar-Hochwald (A) und Abt. 36 im Forstamt Wiltz (B)

Die beiden Abteilungen im Saar-Hunsrück bzw. Hochösling zeigen exemplarisch das Erscheinungsbild der in dieser Studie untersuchten Buchenbestände. Die Bestandeskennwerte können den Tab. 3 und 4 entnommen werden.

Keiner der beprobten Bestände ist nach Süden ausgerichtet. Vielmehr herrschen nördliche Expositionen vor (Tab. 1, 2). Die Bestände reichen vom Hangfuß über schwach bis mittel geneigte Hänge bis in die Plateaulagen der Berge und sind ziemlich frisch bis frisch (Tab. 1, 2). Im Saar-Hunsrück wurden die Probestämme einschichtigen, geschlossenen, 100-158 jährigen Baumhölzern aus 85 % Buchen und 15 % einzelbaumweise eingemischten Fichten entnommen (Abb. 1 A, Tab. 3). Die Luxemburger Bäume stammten aus stufigen, lockeren bis lichten, 160 Jahre alten Baumhölzern aus 75 % Buchen und 25 % einzeln eingemischten Traubeneichen (Abb. 1 B, Tab. 4). Die Bestandeslücken in Luxemburg ließen sich auf den Käferbefall der vergangenen Jahre zurückführen. Die Saar-Hunsrückbestände zeigten bei II. bis III. Ertragsklasse normale Qualitäten mit geringer Wertholzerwartung (FORSTDIREKTION KOBLENZ, 1993, 1997, 2003). Demgegenüber wurden die Hochöslingbestände sowohl hinsichtlich Ertragsklasse als auch qualitativ etwas geringer eingeschätzt (Tab. 3, 4; MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DE LA VITICULTURE ET DU DÉVELOPPEMENT RURAL, 1995). Mit diesen Charakteristika wiesen sich die Probebestände als typisch für die Buchenwälder der Programmregion aus. Ihrem Alter entsprechend wurden sie als mittelstarke Baumhölzer (Forstamt Saar-Hochwald, Abt. 147a) bzw. starke Baumhölzer (alle übrigen Bestände) eingestuft.

| Forstamt      | Bestand | Baumart | Alter | Bestockungsgrad | Ekl.* |
|---------------|---------|---------|-------|-----------------|-------|
| Saar-Hochwald | 132a    | Bu, Fi  | 147   | 0,8             | III   |
|               | 146a    | Bu, Fi  | 116   | 0,9             | III   |
|               | 147a    | Bu      | 128   | 0,9             | III   |
|               | 167a    | Bu, Fi  | 153   | 0,7             | III   |
|               | 167b    | Bu      | 100   | 1,0             | II    |
|               | 168a    | Bu, Fi  | 148   | 0,8             | III   |
|               | 169a    | Bu      | 158   | 0,6             | III   |
|               | 171a    | Bu, Fi  | 158   | 0,9             | III   |
| Hermeskeil    | 94a     | Bu, Fi  | 137   | 0,9             | III   |
|               | 108a    | Bu      | 150   | 0,8             | II,5  |

\* Herleitung entsprechend ARBEITSKREIS STANDORTKARTIERUNG IN DER ARBEITSGEMEINSCHAFT FORSTEINRICHTUNG (1985).

**Tab. 3:** Bestandescharakteristika der Herkunftsbestände im Saar-Hunsrück

Die Daten wurden dem Forsteinrichtungswerk des Forstamtes Saar-Hochwald (FORSTDIREKTION KOBLENZ, 1993, 1997, 2003) entnommen.

| Bestand | Baumart | Alter | Bestockungsgrad | Ekl   |
|---------|---------|-------|-----------------|-------|
| 36      | Bu/TrEi | 160   | 0,5             | III,5 |
| 37      | Bu/TrEi | 160   | 0,5             | III,5 |

**Tab. 4:** Bestandescharakteristika der Herkunftsbestände im Hochösling

Die Daten wurden dem Forsteinrichtungswerk Rambruch (*Inventaire de la forêt de Rambrouch*, 1993) entnommen (MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DE LA VITICULTURE ET DU DÉVELOPPEMENT RURAL, 1995).

## 2.2 Probebäume

Insgesamt wurden im Rahmen dieser Untersuchung 42 unterschiedlich stark geschädigte Buchen eingeschlagen. 20 dieser Bäume wurden 2001 und 22 2003 untersucht. Die Schäden wurden entsprechend örtlichen Erfahrungen geschätzt. Wie eine eingehende Voruntersuchung wasserstrahlentrindeter Erdstammstücke 2001 zeigte, gelang es mit der okularen Schätzung, stark unterschiedliche Befallsdichten zu erfassen (Tab. 5). Mit Hilfe der Probebäume wurden die einjährige, aktuelle Schadensentwicklung in den Bezugsjahren 2001 und 2003, die Bedeutung mehrjährigen Käferbefalls und die Schadensunterschiede zwischen dem Saar-Hunsrück und dem Hochösling beleuchtet.

|                    | Einbohrlöcher (n / Abschnitt) | Befallsdichte (n / m <sup>2</sup> ) |
|--------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| Minimum            | 39                            | 7,4                                 |
| Maximum            | 2423                          | 584,3                               |
| <b>Mittelwert*</b> | <b>313,2 (526,2)</b>          | <b>78,8 (130,0)</b>                 |

\* die Werte in Klammern geben die Standardabweichungen an.

**Tab. 5:** Äußerlich erkennbare Insektenschäden an entrindeten 3 m langen Erdstammstücken einjährig befallener Buchen aus dem Saar-Hunsrück im Jahr 2001

Die Einbohrlöcher auf der Stammoberfläche wurden entsprechend Kap. 2.6.1 gezählt.

In den Beständen des Saar-Hunsrücks waren lediglich einzelne Buchen von Borkenkäfern befallen. Nach okulärer Schätzung betrafen die Käferschäden auf keiner der begutachteten Flächen mehr als 10 % der Bäume. In diesen Beständen wurden 2001 20 und 2003 16 Bäume

eingeschlagen. Von den 16 Bäumen des Jahres 2003 aus dem Saar-Hunsrück hatten 11 einen einjährigen und 5 einen dreijährigen Käferbefall (Tab. 6).

Von den 20 Bäumen des Jahres 2001 wurden per Zufallsauswahl 10 im Hochsommer (Anfang August) und 10 im Herbst (Mitte Oktober) gefällt. Von den 11 Bäumen mit einjährigem Käferbefall des Jahres 2003 wurden fünf im Frühsommer (Anfang Juni) und sechs im Hochsommer (Ende Juli) gefällt (Abb. 2; Tab. 6). Die Erntezeitpunkte dienten dazu, die Verhältnisse im Stamm zu Beginn, während und nach Abschluss des Brutgeschäfts zu verdeutlichen. Alle Buchen mit diesjährigem Befall waren außer den Käferschäden nach äußerer Begutachtung schadensfrei und gesund, die Kambialbereiche des Holzes waren „weiß“. Allerdings machte eine Voruntersuchung im Jahr 2001 darauf aufmerksam, dass jeweils vier Buchen des Sommer- und des Herbstschlags entsprechend der Begutachtung der wasserstrahlentrindeten Erdstammstücke (vgl. Kap. 2.6.1) ein wenig Weißfäule im Bereich der Wurzelanläufe aufwiesen.



**Abb. 2:** Fällung (A) und Aushaltung (B) des Probebaums 3 aus dem Saar-Hunsrück im Frühsommer 2003.

Die Abbildung macht exemplarisch deutlich, dass die Bäume praxisüblich zu Fall gebracht (A) und unmittelbar unter der Krone gezopft wurden (B). Als Kronenansatz galt der Bereich, in dem sich der Stamm in mehrere Starkäste aufteilte.

Zusätzlich wurden Ende Juli 2003 fünf Buchen mit Käferschäden seit 2001 im Saar-Hunsrück eingeschlagen. Auf ihren Stammoberflächen wuchsen zum Erntezeitpunkt erkennbar Pilzfruchtkörper. 2001 dagegen waren auch sie außer dem Käferbefall nach äußerer Begutachtung schadensfrei und gesund. Anhand dieser Bäume wurde der Schadensfortschritt befallener Buchen nach mehreren Jahren beleuchtet. Die mehrjährig geschädigten Buchen unterschieden sich mit ihren Brusthöhendurchmessern von durchschnittlich  $44,2 \text{ cm} \pm 3,7 \text{ cm}$  und Stammvolumina von durchschnittlich  $0,98 \text{ m}^3 \pm 0,29 \text{ m}^3$  nicht signifikant von den diesjährig befallenen Buchen (Tab. 6).

| Jahr              | Herkunft          | Ernte      | Befall     | Anzahl<br>(N) | Brusthöhen-<br>durchmesser* (cm) | Volumen*<br>(m <sup>3</sup> ) |
|-------------------|-------------------|------------|------------|---------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 2001              | Saar-<br>Hunsrück | Hochsommer | einjährig  | 10            | 51,0 <sup>a</sup> (13,3)         | 1,77 <sup>A</sup> (0,97)      |
|                   |                   | Herbst     | einjährig  | 10            | 47,5 <sup>a</sup> (6,7)          | 1,47 <sup>A</sup> (0,57)      |
| 2003              | Saar-<br>Hunsrück | Frühsommer | einjährig  | 5             | 47,0 <sup>a</sup> (10,8)         | 1,49 <sup>A</sup> (0,69)      |
|                   |                   | Hochsommer | einjährig  | 6             | 47,7 <sup>a</sup> (9,0)          | 1,03 <sup>A</sup> (0,63)      |
|                   |                   |            | dreijährig | 5             | 44,2 <sup>a</sup> (3,7)          | 0,98 <sup>A</sup> (0,29)      |
|                   | Hochösling        | Hochsommer | einjährig  | 6             | 45,5 <sup>a</sup> (1,8)          | 1,11 <sup>A</sup> (0,20)      |
| <b>Mittelwert</b> |                   |            |            | <b>42</b>     | <b>47,6 (8,8)</b>                | <b>1,37 (0,69)</b>            |
| <b>Summe</b>      |                   |            |            |               |                                  | <b>57,55</b>                  |

\* die Werte in Klammern geben den Standardfehler an. Die einheitlichen Indices machen deutlich, dass sich die Buchen nicht signifikant voneinander unterscheiden.

**Tab. 6:** Kennwerte der Probebäume aus dem Saar-Hunsrück und dem Hochösling

Im Hochösling wurden sechs Bäume mit diesjährigem Erstbefall aus zwei käferbefallenen Beständen untersucht, um herauszufinden, inwieweit sich die technischen Buchenschäden in Hunsrück und Ösling ähneln. Nach okularer Einschätzung waren die Luxemburger Bestände mit 20–25 % käferbefallenen Bäumen stärker als die im Saar-Hunsrück geschädigt. Vier Probebäume waren nach äußerer Begutachtung außer dem Käferbefall schadensfrei und gesund. Die Stämme von zwei weiteren Buchen waren mit Fruchtkörpern des Gemeinen Spaltblättlings (*Schizophyllum commune* (L. ex) Fries 1821) bewachsen. Dies wies auf eine mögliche Prädisposition des Baumes für den Käferbefall hin. Die sechs Buchen aus dem Hochösling entsprachen hinsichtlich Brusthöhendurchmesser (45,5 cm ± 1,8 cm) und Volumen (1,11 m<sup>3</sup> ± 0,20 m<sup>3</sup>) in etwa denen des Saar-Hunsrücks (Tab. 6).

Die Nord- und Südrichtung aller Stämme wurde vor dem Einschlag dauerhaft markiert. Unmittelbar nach dem Einschlag wurden die Stämme unter dem Kronenansatz gezopft. Die Buchen der Untersuchungsjahre 2001 bzw. 2003 mit ein- bzw. mehrjährigem Befall, aus Frühsommer-, Hochsommer- bzw. Herbsteinschlag und aus dem Saar-Hunsrück bzw. dem Hochösling unterschieden sich nicht signifikant hinsichtlich Brusthöhendurchmesser (47,6 cm ± 8,78 cm) und Stammvolumen (1,37 m<sup>3</sup> ± 0,69 m<sup>3</sup>; Tab. 6). Dementsprechend galten alle untersuchten Bäume nach den „Ziele(n) und Grundsätze(n) einer ökologischen

Waldentwicklung“ als nahezu hiebsreif bis hiebsreif (MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, WEINBAU UND FORSTEN, 1993). Insgesamt standen 57,55 m<sup>3</sup> Buchenstammholz für die Untersuchungen zur Verfügung (Tab. 6).

## 2.3 Einschnitt

Die Stämme wurden unverzüglich innerhalb von drei Tagen nach der Fällung zum Forsttechnischen Stützpunkt Hermeskeil<sup>©</sup> transportiert und dort einlagig auf Unterlagen gepoltert, so dass lagerbedingte Stammholzschäden oder -krankheiten ausgeschlossen werden



können (Abb. 3 A). In Hermeskeil wurden alle Stämme in 3 m-Abschnitte geteilt (Abb. 3 B). Vor dem Trennschnitt wurde die Nord-Süd-Richtung auf alle Stammabschnitte und danach auf alle Stirnflächen übertragen (Abb. 3 C).

**Abb. 3:** Transport der Stämme aus dem Wald (A), Aushaltung der 3 m-Abschnitte (B) und Markierung der Nord-Süd-Richtung auf den Stirnflächen (C)

Die Abbildungen zeigen exemplarisch die Handhabung der Stämme aus dem Saar-Hunsrück, Abt. 147 a<sup>1</sup>. Die Probestämme wurden noch am Tag des Einschlags mit einem praxisüblichen Holztransporter zum forsttechnischen Stützpunkt nach Hermeskeil gebracht (A), in 3 m-Abschnitte geteilt und als einlagige Polter auf Unterlagen für den Einschnitt bereitgehalten. Die Nord-Süd-Richtung wurde mit Forstkreide (C) und schließlich durch einen Kerbschnitt auf alle Stirnflächen übertragen.

<sup>©</sup> Die FAWF bedankt sich bei der Administration des Eaux et Forêts sowie beim Forsttechnischen Stützpunkt Hermeskeil für die Unterstützung beim Einschlag, dem Holztransport und der Untersuchung der Buchen.

| Herkunft          | Jahr | Befalls-<br>dauer (a) | Ernte      | Abschnitte (N)          |            |
|-------------------|------|-----------------------|------------|-------------------------|------------|
|                   |      |                       |            | Je Baum*                | Summe      |
| Saar-Hunsrück     | 2001 | 1                     | Hochsommer | 3,7 <sup>A</sup> (0,48) | 37         |
|                   | 2001 | 1                     | Herbst     | 3,3 <sup>A</sup> (0,48) | 33         |
| Saar-Hunsrück     | 2003 | 3                     | Hochsommer | 3,6 <sup>A</sup> (0,55) | 18         |
|                   | 2003 | 1                     | Frühsommer | 4,0 <sup>A</sup> (0,71) | 20         |
|                   | 2003 | 1                     | Hochsommer | 3,0 <sup>A</sup> (1,27) | 18         |
| Hochösling        | 2003 | 1                     | Hochsommer | 2,8 <sup>A</sup> (0,75) | 17         |
| <b>Summe</b>      |      |                       |            |                         | <b>143</b> |
| <b>Mittelwert</b> |      |                       |            | <b>3,4 (0,77)</b>       |            |

\* Die Werte in Klammern geben die Standardfehler an.

**Tab. 7:** Anzahl der Stammabschnitte je Baum und je Erntegruppe

Die Zahl der Abschnitte je Baum verteilte sich innerhalb der Gruppen normal. Diesbezügliche Unterschiede zwischen den Gruppen wurden anhand einer einfaktoriellen Varianzanalyse untersucht. Die einheitlichen Indices zeigen, dass es zwischen den Gruppen keine signifikanten Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) gab.

| Herkunft      | Befalls-<br>Dauer (a) | Ernte      | Qualität (N) |           |          |
|---------------|-----------------------|------------|--------------|-----------|----------|
|               |                       |            | B            | C         | D        |
| Saar-Hunsrück | 3                     | Hochsommer | 12           | 6         |          |
|               | 1                     | Frühsommer | 12           | 8         |          |
|               | 1                     | Hochsommer | 11           | 7         |          |
| Hochösling    | 1                     | Hochsommer | 5            | 11        | 1        |
| <b>Summe</b>  |                       |            | <b>40</b>    | <b>32</b> | <b>1</b> |

\* Die Werte in Klammern geben die Standardfehler an.

**Tab. 8:** Qualität der Stammabschnitte im Jahr 2003

Auf diese Weise wurden insgesamt 143 Stammabschnitte gewonnen (Tab. 7). Im Durchschnitt aller Versuchsteile ergab jeder Stamm 3,4 Abschnitte. Die einzelnen Versuchsteile unterschieden sich in dieser Hinsicht nicht signifikant voneinander, so dass von einheitlichen

Kronenansätzen in allen untersuchten Beständen ausgegangen werden kann (Tab. 7). Ohne den Käferbefall als Sortierkriterium hätten 2003 ca. zwei Drittel der Stammabschnitte aus dem Saar-Hunsrück normale Handelsklassensortierungs-Qualitäten gehabt. Demgegenüber hätten Holzfehler die Aufnahme von zwei Dritteln aller Stammabschnitte aus dem Hochösling in die Handelsklassensortierungs-Güteklasse B ausgeschlossen (Tab. 8). Anscheinend waren die Probestämme aus dem Saar-Hunsrück etwas hochwertiger als die aus dem Hochösling.

| Herkunft          | Jahr | Befalls-<br>dauer (a) | Ernte      | Mittendurchmesser*         | Volumen* (m <sup>3</sup> ) |              |
|-------------------|------|-----------------------|------------|----------------------------|----------------------------|--------------|
|                   |      |                       |            | (cm <sub>o.R.</sub> )      | je Abschnitt               | Summe        |
| Saar-<br>Hunsrück | 2001 | 1                     | Hochsommer | 43,1 <sup>A</sup> (11,05)  | 0,46 <sup>a</sup> (0,24)   | 17,19        |
|                   |      | 1                     | Herbst     | 41,3 <sup>A,B</sup> (6,09) | 0,44 <sup>a,b</sup> (0,12) | 14,43        |
|                   | 2003 |                       | Frühsommer | 40,3 <sup>A,B</sup> (7,77) | 0,39 <sup>a,b</sup> (0,15) | 7,70         |
|                   |      | 1                     | Hochsommer | 38,4 <sup>A,B</sup> (8,75) | 0,37 <sup>a,b</sup> (0,17) | 5,87         |
|                   |      | 3                     | Hochsommer | 35,1 <sup>B</sup> (4,12)   | 0,29 <sup>b</sup> (0,76)   | 5,14         |
| Hochösling        | 2003 | 1                     | Hochsommer | 40,4 <sup>A,B</sup> (4,24) | 0,39 <sup>a,b</sup> (0,08) | 6,64         |
| <b>Summe</b>      |      |                       |            |                            |                            | <b>56,97</b> |
| <b>Mittelwert</b> |      |                       |            | <b>40,4 (8,17)</b>         | <b>0,36 (0,13)</b>         |              |

\* Die Werte in Klammern geben die Standardfehler an.

**Tab. 9:** Mittendurchmesser und Volumina der Stammabschnitte

Die Mittendurchmesser und Volumina verteilten sich innerhalb der Gruppen normal. Gruppenweise Unterschiede wurden anhand einer einfaktorischen Varianzanalyse untersucht. Homogene Gruppen wurden mittels Scheffés multipler Kontraste definiert. Einheitliche Indices kennzeichnen homogene Gruppen ( $p \leq 0,05$ ).

Insgesamt standen fast 57 fm<sub>o.R.</sub> für den Einschnitt zur Verfügung (Tab. 9). Die Stammabschnitte waren im Durchschnitt 40,4 cm ± 8,2 cm stark und wiesen ein Volumen von 0,41 m<sup>3</sup> ± 0,17 m<sup>3</sup> auf. Allerdings waren die Stammabschnitte vom Hochsommer 2001 signifikant stärker und damit voluminöser als die vom Hochsommer 2003 mit dreijährigem Käferbefall (Tab. 9).



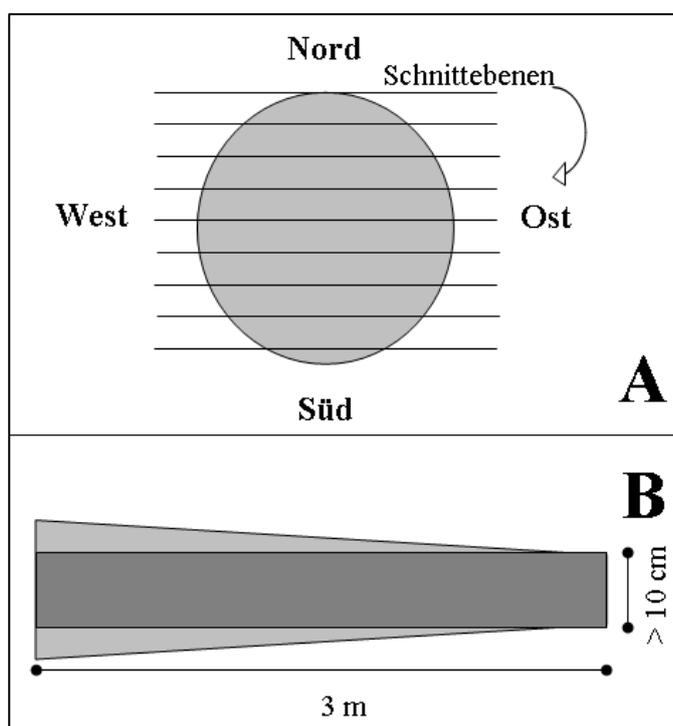
**Abb. 4:** Einschnitt der Stammabschnitte zu Furnierblättern und 32 mm-Blockware (A) und Zwischenlagerung der Blockware (B)

Abb. 4 A macht anhand des Stammabschnitts 3.2, einer Zweitlänge aus dem Saar-Hunsrück, exemplarisch deutlich, dass die Stämme beim Einschnitt anhand der Stirnseitenmarkierungen so auf der Säge ausgerichtet wurden, dass die Schnittfuge immer in Ost-West-Richtung verlief. Die Blockware wurde unmittelbar nach dem Einschnitt mit 10 mm-Stapelleisten stammweise zwischengelagert. Auf den Brett- und Furnieroberflächen waren die Merkmale der käferbedingten Verfärbungen und Pilzerkrankungen sichtbar (B).

Die Stammabschnitte wurden unverzüglich spätestens drei Wochen nach der Anlieferung gesägt, so dass lagerbedingte Stammholzschäden ausgeschlossen werden konnten.

Für den Einschnitt stand eine mobile Bandsäge (Typ: Wimmer-Säge 110, Aschau, Abb. 4 A) mit 2 mm-Schnittfuge zur Verfügung. Die Stämme wurden quer zur Nord-Süd-Markierung zu unbesäumter 32 mm-Blockware eingeschnitten bzw. zu 2 mm-Furnierblättern verarbeitet (Abb. 5 A). Insgesamt wurden 138 Stammabschnitte

zu Blockware zerlegt und fünf zu Furnierblättern (Abb. 4 B).



**Abb. 5:** Schema des Blockeinschnitts der Buchenabschnitte (A) und der waldkantenfreien Mindestmaße der untersuchten Bretter (B)

Die Nordrichtung aller Stammteile wurde vor der Fällung bzw. vor der Einteilung dauerhaft markiert (vgl. Kap. 2.2). Die Stammteile wurden auf der Säge so ausgerichtet, dass sie parallel zu Ost-West-Richtung eingeschnitten wurden (A). In der Untersuchung wurden entsprechend der Praxissortierung nur die mindestens 10 cm breiten Bretter berücksichtigt (B).

Die Schwarten mit weniger als 10 cm waldkantenfreier Deckbreite wurden verworfen (Abb. 5 B). Die anderen Bretter wurde unmittelbar nach dem Einschnitt mit 10 mm-Stapelleisten stammweise aufgesetzt (Abb. 4 B). Je nach Durchmesser ließen sich durchschnittlich  $9,4 \pm 2,8$  Bretter aus jedem Stammabschnitt gewinnen. Insgesamt wurden mehr als 1.100 Bretter analysiert. Davon wurden 700 im Jahr 2001 und der Rest 2003 begutachtet. Für die Charakterisierung des Käferbefalls im Hochsommer und Herbst 2001 standen jeweils über 300 Bretter zur Verfügung. Die Vergleiche zum Jahr 2003, zum dreijährigen Befall, zum Frühsommer- und Herbstbefall liessen sich mit jeweils über 100 Brettern anstellen (Tab. 10).

Neben den Blockwarestämmen wurden fünf Abschnitte zu 2 mm Furnierblätter gesägt (Abb. 4 A). Vier dieser Abschnitte stammten aus Rheinland-Pfalz und einer aus Luxemburg. Ebenfalls vier Abschnitte spiegelten den Befall seit 2003 und einer den Befall seit 2001 wider. Drei Abschnitte waren Erdstammstücke und zwei waren Zweitlängen (Tab. 17).

| Abschnitt     | Bretter (N) |            |            |                                   |                                    |
|---------------|-------------|------------|------------|-----------------------------------|------------------------------------|
|               | 2001        |            | 2003       |                                   |                                    |
|               | Hochsommer  | Herbst     | Frühsommer | Hochsommer<br>Befall<br>einjährig | Hochsommer<br>Befall<br>dreijährig |
| Erdstammstück | 106         | 108        | 49         | 51                                | 41                                 |
| Zweitlänge    | 104         | 97         | 40         | 41                                | 38                                 |
| Drittlänge    | 94          | 93         | 34         | 33                                | 25                                 |
| Viertlänge    | 68          | 30         | 29         | 31                                | 11                                 |
| Fünflänge     |             |            | 7          |                                   |                                    |
| <b>Summe</b>  | <b>372</b>  | <b>328</b> | <b>159</b> | <b>156</b>                        | <b>115</b>                         |

**Tab. 10:** Anzahl der Bretter zur Beurteilung der käferbedingten Schnittholzentwertung aus den Stammabschnitten unterschiedlicher Baumhöhe

Die Mittendurchmesser der furnierten Erdstammstücke unterschieden sich mit durchschnittlich  $41,3 \text{ cm} \pm 9,3 \text{ cm}$  nicht signifikant von den anderen Erdstammstücken mit  $42,6 \text{ cm} \pm 6,3$

cm (Tab. 11). Weil die meisten Erdstammstücke normale Qualität aufwiesen, wurden entsprechende Erdstammstücke zum Furnieren gewählt (Tab. 12). Die Befallsintensität der furnierten Erdstammstücke entsprach in etwa derjenigen der anderen Erdstammstücke (Abb. 6 A, B). Dementsprechend dürfte den furnierten Erdstammstücken exemplarische Bedeutung für alle Erdstammstücke zukommen.

| Abschnitt  | Bearbeitung | Durchmesser              |         |         | N  |
|------------|-------------|--------------------------|---------|---------|----|
|            |             | Mittelwert* (cm)         | Minimum | Maximum |    |
| Erdstamm   | Blockware   | 41,3 <sup>a</sup> (9,29) | 31      | 55      | 19 |
|            | Furnier     | 42,6 <sup>a</sup> (6,34) | 35      | 52      | 3  |
| Zweitlänge | Blockware   | 37,5 (6,13)              | 26      | 53      | 19 |
|            | Furnier     |                          | 44      | 49      | 2  |

\* Die Werte in Klammern geben die Standardabweichung an.

**Tab. 11:** Mittendurchmesser der Erdstammstücke und Zweitlängen für die Blockware und das Furnier

Die Durchmesser verteilten sich innerhalb der Gruppen normal. Unterschiede zwischen den Gruppen wurden anhand einer einfaktoriellen Varianzanalyse untersucht. Die einheitlichen Indices zeigen, dass es zwischen den Gruppen keine signifikanten Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) gab.

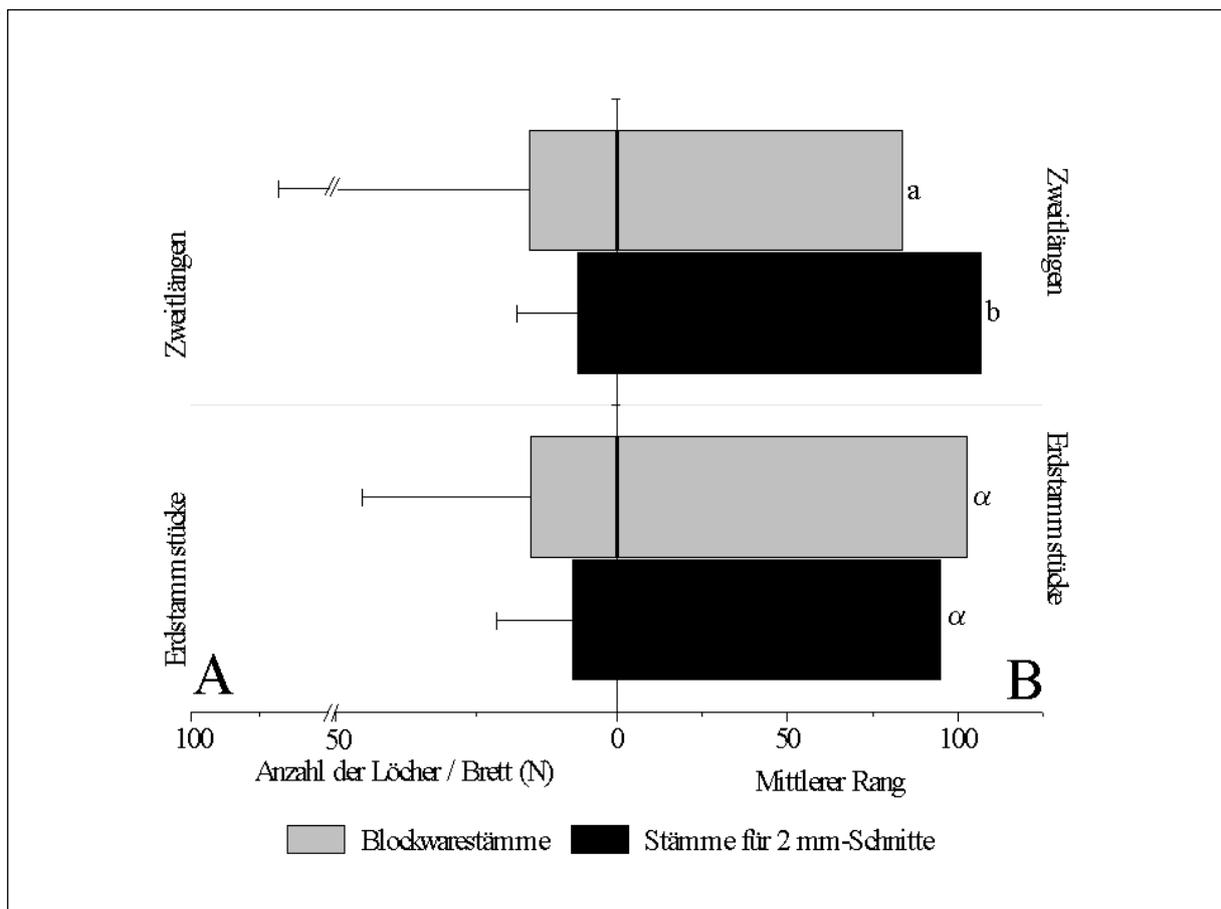
| Abschnitt  | Bearbeitung | Güteklassen nach Handelsklassensortierung |   |   |
|------------|-------------|---|---|---|
|            |             | B   | C | D |
| Erdstamm   | Blockware   | 14  | 6 |   |
|            | Furnier     | 3   |   |   |
| Zweitlänge | Blockware   | 9   | 6 | 1 |
|            | Furnier     | 1   | 1 |   |

**Tab. 12:** Handelsklassensortierungs-Qualitäten der Erdstammstücke und Zweitlängen für die Blockware und das Furnier

Der Einschnitt eines C-Stammstücks zu 2 mm-Furnier berücksichtigte die etwas geringere Qualität der Zweitlängen (Tab. 12). Die Mittendurchmesser der furnierten Zweitlängen orientierten sich am oberen Bereich der Mittendurchmesser der anderen Zweitlängen (Tab. 11). Allerdings wiesen die furnierten Zweitlängen signifikant weniger Käferbefall als die Blockware-

Stammabschnitte auf, weil einzelne Bretter dieser Zweitlängen unter extrem hohem Käferbefall litten (Abb. 6 A, B). Offensichtlich bilden die furnierten Zweitlängen eher schwachen Käferbefall ab.

Die Furnierblätter wurden nach dem Einschnitt stammweise für die fotografischen Aufnahmen bereitgelegt. Insgesamt ergaben die fünf Stammabschnitte im Frühsommer 2003 208 und im Hochsommer 2003 237 Furnierblätter.



**Abb. 6:** Mittlere Anzahl (A) und Ränge (B) der Käferlöcher auf den Brettern der Erdstammstücke und Zweitlängen für die Blockware bzw. die 2 mm-Furnierblätter

Nach dem Einschnitt zu 32 mm-Blockware bzw. 2 mm-Furnier wurden die Bretter bzw. die entsprechenden Furnierblätter auf ihre Käferschäden hin untersucht (vgl. Kap. 2.6.1). Die Stichprobenwerte verteilten sich nicht normal. Deshalb wurden die Käferschäden der furnierten und der anderen Stammabschnitte mit Kruskal-Wallis-Tests miteinander verglichen. Unterschiedliche Indices kennzeichnen signifikante ( $p \leq 0,05$ ) Unterschiede zwischen den Blockware- und den Furnierstämmen.

## 2.4 Fotogrammetrie

### 2.4.1 Untersuchungsjahr 2001

In der Sommer- und Herbstuntersuchung des Jahres 2001 wurden die Bretter je eines stark und eines schwach befallenen Baumes zur repräsentativen Beurteilung der Farbfehler begutachtet (Tab. 13). Zu diesem Zweck wurden die Bretter systematisch stichprobenweise abgeleuchtet. In den Fotos wurden die gesamten Bereiche bei den Brettlängen von 40-60 cm, 140-160 cm und 240-260 cm vom unteren Brettende her berücksichtigt. Dies entspricht einem Aufnahmeanteil von ca. 20 %. Wie eine Vorstudie zeigte, führte die Stichprobenaufnahme zu vergleichbaren Ergebnissen wie eine Vollaufnahme (Tab. 14). Die Bilder wurden mit einer Digitalkamera (Olympus Camedia C-2000 ZOOM, Olympus Optical Co. (Europa) GmbH, Hamburg, Deutschland) mit einem F2-F2,8 Objektiv bei einer Brennweite von 6,5 mm mit TTL-Autofokus aus 120 cm Höhe senkrecht zur Brettoberfläche unter Tageslichtbedingungen aufgenommen. Dies ermöglichte es, sowohl die Bohrlöcher als auch die Holzverfärbungen sicher zu erkennen (vgl. Abb. 13). Die Fotos wurden als TIFF-Dateien mit einer Bildauflösung von 1.600 x 1.800 Bildpunkten gespeichert.

| Untersuchungstermin  | Sommer       |            | Herbst       |             |
|--|--------------|------------|--------------|-------------|
| Baum-Nr.   | 22           | 32         | 12           | 15          |
| <i>T. domesticum</i>                                       | 395          | 39         | 784          | 44          |
| Einbohrversuche (N) <i>H. dermestoides</i>                 | 0            | 0          | 5            | 0           |
| <b>Summe</b>   | <b>395</b>   | <b>39</b>  | <b>789</b>   | <b>44</b>   |
| <i>T. domesticum</i>                                       | 116,5        | 7,4        | 231,2        | 10,2        |
| Befallsdichte (n / m <sup>2</sup> ) <i>H. dermestoides</i> | 0            | 0          | 1,5          | 0           |
| <b>Summe</b>   | <b>116,5</b> | <b>7,4</b> | <b>232,7</b> | <b>10,2</b> |

**Tab. 13:** Einbohrversuche und Befallsdichte auf den Erdstammstücken je einer stark bzw. schwach von holzbrütenden Borkenkäfern befallenen Buche im Hochsommer bzw. Herbst 2001

Die Erdstammstücke wurden entsprechend Kap. 2.6.1 mit einem Hartwasserstrahl entrinde. Die Einbohrversuche wurden den beteiligten Käferarten zugeordnet, gezählt und als Befallsdichte auf die Stammoberfläche bezogen. Die beteiligten Käferarten wurden gemäß Abb. 13 bestimmt.

| Erhebung         | Mittelwert*   | Freiheitsgrad | t-Wert        | p            |
|------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| Vollaufnahme     | 1,24          |               |               |              |
| Stichproben      | 1,54 (101)    | 5             |               |              |
| <b>Differenz</b> | <b>-0,297</b> | <b>5</b>      | <b>-0,456</b> | <b>0,661</b> |

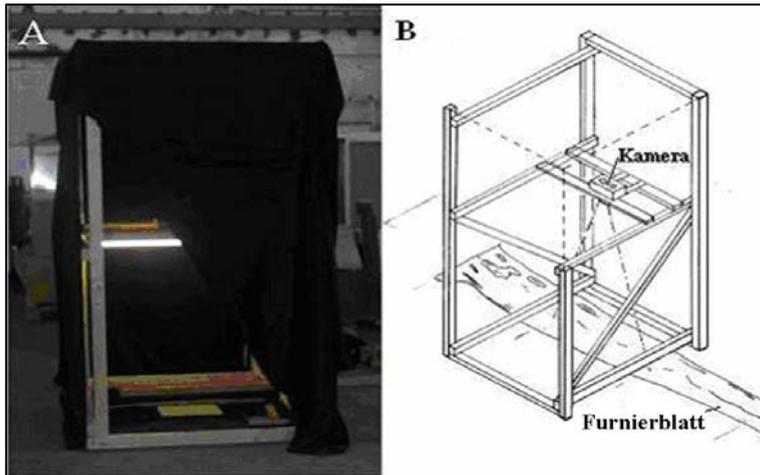
\* der Wert in Klammern gibt den Variationskoeffizienten des Stichprobenmittelwertes an.

**Tab. 14:** Vergleich der anteiligen käferbedingten Schnittholzverfärbung aus Vollaufnahme bzw. auf Stichprobendaten basierend

Sechs zufällig ausgewählte Bretter mit käferbedingten Farbschäden wurden hinsichtlich des Anteils der Verfärbung an der Gesamtoberfläche der Bretter einerseits voll aufgenommen und andererseits mit einem Stichprobenkonzept untersucht. Für die Stichproben wurden Brettabschnitte in den Bereichen 40-60 cm, 140-160 cm und 240-260 cm vom unteren Brettende her über die ganze Brettbreite analysiert. Das Aufnahme prozent lag bei ca. 20. Die drei Stichproben je Brett wurden gemittelt. Diese Daten wurden mit dem Mittelwert der Vollaufnahme in einem t-Test verglichen. Offensichtlich unterscheiden sich die Mittelwerte des Anteils verfärbter Flächen der fünf untersuchten Bretter aus der Stichprobenaufnahme nicht signifikant von der Vollaufnahme.

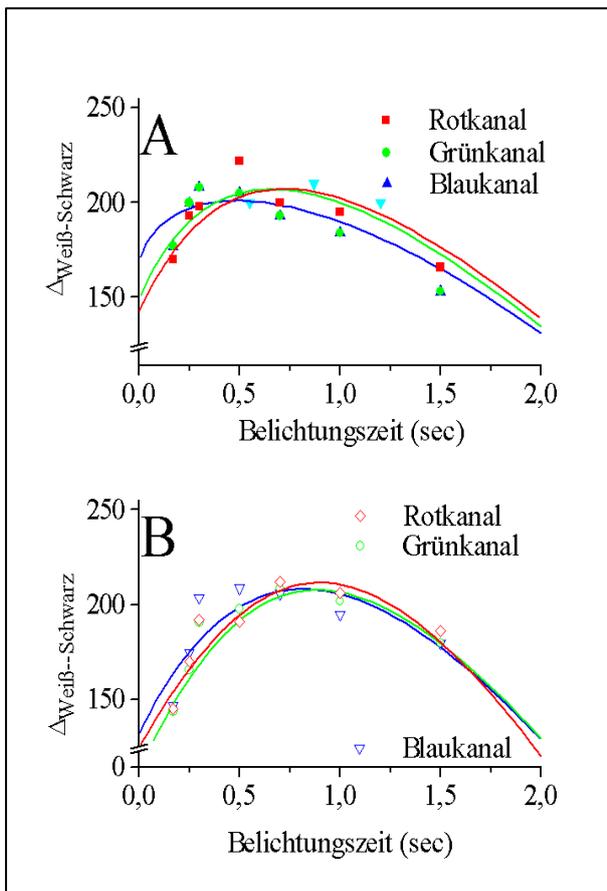
## 2.4.2 Untersuchungsjahr 2003

Im Jahr 2003 wurden die Ober- und Unterseiten aller Furnierblätter unmittelbar nach dem Furnierschnitt fotografiert. Die schnelle Verarbeitung stellte sicher, dass die Aufnahmen nicht durch Lagerschäden wie Vergrauung oder Schimmelpilzwachstum verfälscht wurden. Alle Bilder wurden unter definierten Lichtbedingungen mit einer Digitalkamera aufgenommen, um zu gewährleisten, dass sie sich zu 3D-Modellen kombinieren ließen. Die definierten Lichtbedingungen ließen sich mit einer Fotokammer (1,40 m \* 1,00 m \* 2,00 m) herstellen. Die Fotokammer wurde mit lichtdichtem Stoff bespannt, um Tageslicht unbekannter Tönung von der Bildbelichtung auszuschließen. Stattdessen lieferten 2 Leuchtstoffröhren (Osram L30W/25, Osram GmbH, München) das notwendige Licht. Die Leuchtstoffröhren wurden beidseitig parallel zur Längsachse der Furnierblätter in 120 cm Höhe angeordnet, so dass sie ihr Licht senkrecht auf die Objektoberfläche abstrahlen konnten. Dementsprechend ließen sich im zentralen auswertungsrelevanten Bildbereich keine nennenswerten Ausleuchtungsschwankungen feststellen. (Abb. 7 A, B).



**Abb. 7:** Mit lichtdichtem Stoff bespannte Fotokammer (A) und Risszeichnung der Kammer (B) zur abschnittsweisen Aufnahme der Furnierblätter

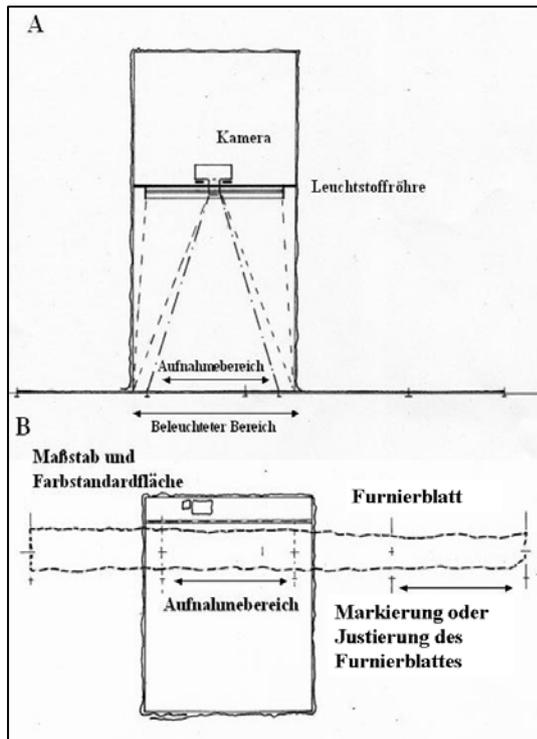
Die Fotos wurden mit einer digitalen Canon EOS D30-Spiegelreflexkamera mit Canon 28-200 mm-Objektiv und CMOS-Bildsensor (Canon Deutschland GmbH, Krefeld) aufgenommen. Der Bildsensor ermöglichte eine Auflösung von ca. 3,4 Mio. Bildpunkten und eine RGB-Farbtiefe von 36 Bit. Im RGB-Farbmodus setzen sich alle Farben aus einem roten, einem grünen und einem blauen Anteil zusammen. Jeder Anteil variiert innerhalb seiner Farbe zwischen weiß und schwarz. Die Bilddateien wurden auf CF-Karten mit jpeg-Komprimierung auf 1,3 MB zwischengespeichert.



**Abb. 8:** RGB-Helligkeitsdifferenzen zwischen weißen und schwarzen Standardflächen bei unterschiedlichen Belichtungszeiten mit Blende 11 (A) bzw. Blende 13 (B)

Ziel der Voruntersuchung war, die Farbkontraste der Bilddateien im RGB-Modus zu maximieren. Zu diesem Zweck wurden eine weiße und eine schwarze Standardfläche unter den gleichen definierten Lichtverhältnissen wie bei der Aufnahme der Furnierblätter mit Blende 11 bzw. 13 und verschiedenen Belichtungszeiten mit einer digitalen Canon EOS D30-Spiegelreflexkamera mit Canon 28-200 mm-Objektiv und CMOS-Bildsensor fotografiert. Die Farbkontraste waren bei Blende 13 geringfügig größer als bei Blende 11 (A, B). 95 % der maximalen Farbkontraste wurden bei Belichtungszeiten zwischen 0,4 und 1,0 sec (Blende 11, A) bzw. 0,6 und 1,2 sec (Blende 13, B) erreicht.

Die Bilder wurden mit Verschlusszeiten von 0,6-1,2 sec (Blende 13) bzw. 0,4-1,0 sec (Blende 11) aufgenommen. Eine Voruntersuchung hatte gezeigt, dass die Differenzen zwischen weiß und schwarz in allen drei Farbanteilen unter diesen Bedingungen gut wiedergegeben werden, so dass sie ein großes Maß an Bildinformationen für die Auswertung bereit hielten (Abb. 8 A, B).



**Abb. 9:** Längs- (A) und Aufriss (B) der Fotokammer zur Aufnahme der Furnierblätter

Der Aufnahmebereich umfasste den inneren Teil des beleuchteten Bereichs (A). In diesem Bereich ließ sich ein jeweils 60 bzw. 80 cm langer Teil der Furnierblätter verzerrungsarm aufnehmen. Die Furnierblätter wurden abschnittsweise vollständig aufgenommen, indem sie sukzessive entsprechend den Markierungen auf dem Boden unter der Kamera entlang geführt wurden (B).

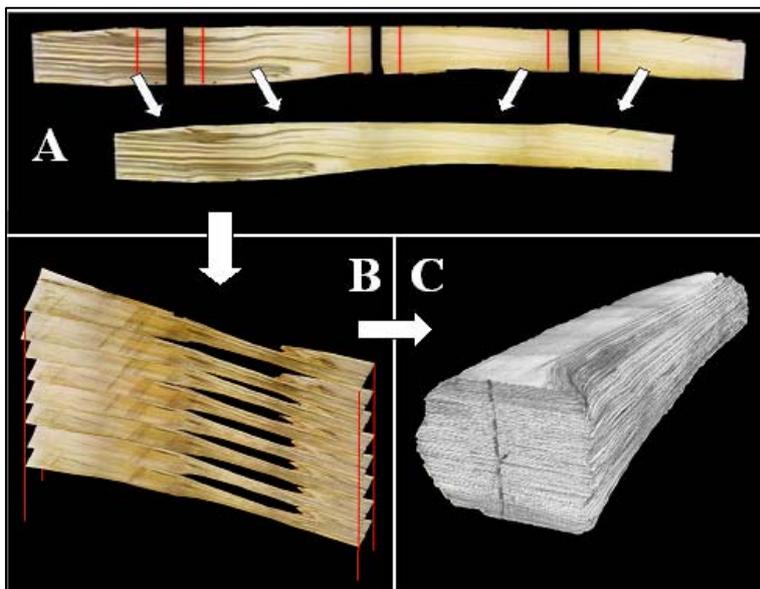
Die Furnierblätter wurden vollständig abschnittsweise aufgenommen. Die Abschnitte umfassten jeweils die Bereiche 0-60cm, 60-140 cm, 140-220 cm und 220-300 cm zuzüglich der nicht ausgewerteten Randbereiche der Fotos. Der erste Fotobereich war aus aufnahmepragmatischen Gründen nur 60 cm lang. Alle Auswertungsabschnitte lagen im inneren

Teil des ausgeleuchteten Bereichs. Dies stellte die verzerrungsarme Wiedergabe der Holzfarben und geometrischen Formen sicher (Abb. 9 A). Alle benachbarten Fotos überlappten sich um jeweils ca. 20 cm. Die Fotobereiche wurden dadurch kontrolliert, dass die Furnierblätter an Bodenmarkierungen der Länge und Mittelkerbe nach ausgerichtet wurden (Abb. 9 B). Alle Fotos wurden mit Maßstab und weiß/schwarzem Farbstandard für die Kalibrierung aufgenommen.

## 2.5 Bearbeitung der Bilder zu 3D-Modellen

### 2.5.1 Bearbeitung der Bilder

Die jeweils vier Abschnittsbilder jeder Furnierblattseite wurden 2003 rechnergestützt zusammengefügt. Zu diesem Zweck wurden die Fotos mit Hilfe des Photo Stitch 3.1-Programms (Canon Deutschland GmbH, Krefeld) in der richtigen Reihenfolge angeordnet, anhand der Überlappungsbereiche aneinander ausgerichtet und miteinander zu einem einzigen Bild verknüpft (Abb. 10 A).



**Abb. 10:** Kombination der Einzelfotos zu Brettbildern (A) und der Brettbilder zu einem 3D-Modell des gesamten Stammes (B, C)

Die Einzelfotos wurden anhand einer Mittellinie aneinander ausgerichtet und mit der Kerbe zur Nord-Süd Markierung punktgenau übereinander gestapelt.

Mit dem Metermaß auf allen Fotos wurde der Maßstab jedes Bildes im Bildbear-

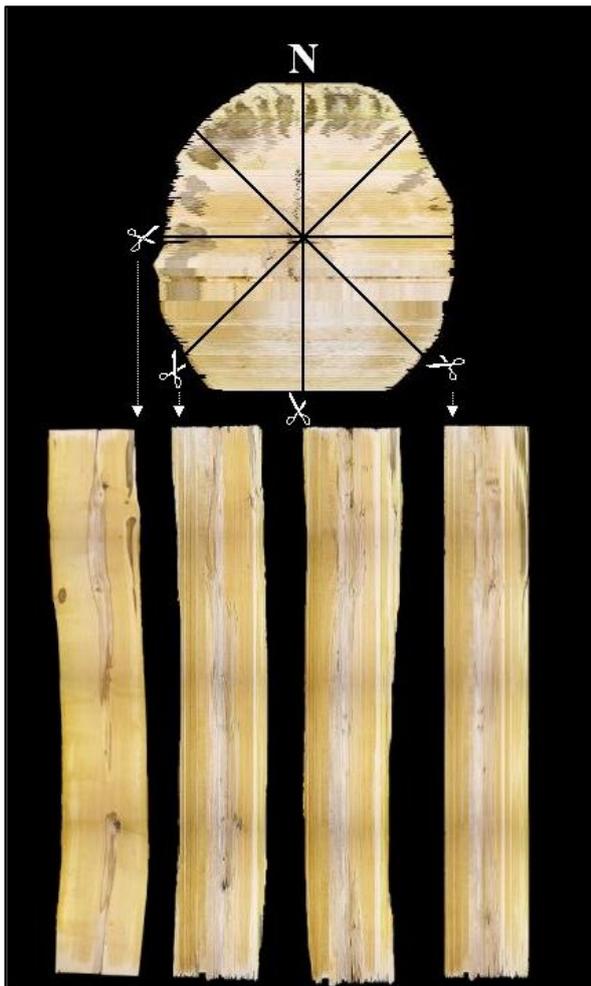
beitungsprogramm Image Pro Plus<sup>®</sup> (Media Cybernetics, Silver Spring, MD, USA) bestimmt. Alle Maßstäbe wurden im Paint Shop Pro<sup>™</sup> 7-Programm aneinander angeglichen (Jask Software, Eden Prairie, MN, USA). Alle Farben wurden im RGB-Standard auf die weiß/schwarzen Bezugsflächen hin standardisiert, so dass die inhaltlichen Bildinformationen aller Fotos den gesamten Farbwertebereich ausfüllten.

Um den Hintergrund anzugleichen, wurden alle Brettbilder im Paint Shop Pro<sup>™</sup> 7-Programm ausgeschnitten und auf einen schwarzen Hintergrund übertragen. Die Bilder der Furnierblatt-rückseiten wurden entlang der Längsachse gespiegelt, um ihre Lage im Stamm für die 3D-Simulation nachzubilden. Gleichzeitig wurden alle Brettoberflächen an ihren Nord/Süd-Markierungen entlang der Längs-Mittelachse der Fotos ausgerichtet.

Die bearbeiteten Fotos jeden Stammes wurden im Vision 5.0-Programm (Impuls computergestützte Bildanalyse GmbH, Gilching) übereinandergestapelt, um ein 3D-Modell der Stämme zu erzeugen. Zu diesem Zweck wurden alle Fotos mit Hilfe ihrer Nord/Süd-Markierung punktgenau übereinander registriert (Abb. 10 B). Die drei räumlichen Achsen wurden einheitlich kalibriert, so dass unverzerrte 3D-Animationen aller Stämme zur Verfügung standen (Abb. 10 c).

### 2.5.2 Schnitte durch die 3D-Modelle

Mit Hilfe der 3D-Modelle ließen sich im Vision 5.0-Programm Längsschnitte durch die Stämme simulieren, um die Wirkungen unterschiedlicher Schnittrichtungen auf die technische



Ausbeute und das wirtschaftliche Ergebnis der Bearbeitung von käfergeschädigtem Buchenholz zu ermitteln. Als Schnittrichtungen wurden Nord-Süd, West-Ost, Südost-Nordwest und Südwest-Nordost gewählt (Abb. 11). Die Schnitte wurden so angelegt, dass sie die Brettoberflächen bei der Herstellung von 32 mm-Blockware mit 2 mm Schnittfuge widerspiegeln. Methodenbedingt lag die Auflösung der Modelle senkrecht zur Ebene der Einzelbilder bei 2 mm. Dies gestattete dennoch die Ansprache der verfärbungsbedingten Oberflächeneigenschaften des Holzes (Abb. 11).

**Abb. 11:** Längsschnitte durch ein 3D-Stammmodell

## 2.6 Aufnahme der käferbedingten Schnittholzschäden

Alle Bretter der entsprechend Kap. 2.3 hergestellten bzw. Kap. 2.5.2 mit O-W-gerichteter Schnittfuge simulierten Blockware wurden hinsichtlich der technischen Schäden durch Bohrlöcher und der ästhetischen bzw. technischen Schäden durch käferbedingte Verfärbungen und Fäuleerscheinungen begutachtet (Kap. 2.6.1, 2.6.2). Mit Hilfe dieser Daten ließ sich ein Einblick in die Ausbeutesituation nehmen (Kap. 2.6.3). Im Jahr 2001 wurde darüber hinaus das Artenspektrum der Buchenkäfer geschätzt (Kap. 2.6.4). Die Untersuchungen der realen Blockware schlossen sich jeweils unmittelbar an den Einschnitt an, so dass die Ergebnisse nicht durch Lagerschäden wie Einlauf oder Vergrauung beeinflusst wurden.

### 2.6.1 Bohrlöcher

Die Einbohrlöcher wurden einerseits auf der Stammoberfläche der Erdstammstücke des Jahres 2001 und andererseits auf dem Schnittholz aller Stammabschnitte gezählt und einer beteiligten Käferart zugeordnet. (Abb. 12 A, B; Abb. 13 A, B). Zusätzlich wurden die Einbohrversuche auf den Brettfotos gezählt, die den markröhrenfernen Brettseiten der 32 mm-Blockware mit Ost-West-Schnittfuge entsprechen.



**Abb. 12:** Einbohrlöcher auf der Stammoberfläche (A) und der Schnittfläche von Buchenbrettern (B) aus dem Saar-Hunsrück

Die Stämme wurden mit einem Hartwasserstrahl entrindet (400 bar; Weidner Waschboy 400-E, Weiden). Die Einbohrversuche bzw. Bohrlöcher wurden zur Vereinfachung der anschließenden Aufnahme mit Stecknadeln markiert.

Die Erdstammstücke wurden zur Begutachtung mit einem Hartwasserstrahl<sup>®</sup> (400 bar; Weidner Waschboy 400-E, Weiden) entrindet. Die Zahl der Einbohrlöcher wurde als Befallsdichte auf die Stammoberfläche der Erdstammstücke bezogen.

Jedes Brett wurde vom unteren Ende her in drei 1 m-Sektionen eingeteilt. In jeder Sektion wurde die Anzahl der Bohrlöcher bzw. Brutbilder gezählt. Diese Daten wurden jeweils nur auf der markröhrenfernen Brettseite erhoben, weil eine Voruntersuchung gezeigt hatte, dass sich die schmale Brettseite nicht signifikant von der nur durch die Schnittfuge von ihr getrennten breiten Brettseite des sie deckenden nächst schmaleren Brettes unterschied (Tab. 15).



**Abb. 13:** Einbohrlöcher von *Trypodendron domesticum* L. (A) und *Hylecoetus dermestoides* L. (B) auf Buchenschnittholz

*T. domesticum* und *H. dermestoides* waren die bedeutendsten Holzschädlinge in dieser Studie (vgl. PETERCORD, 2002). *T. domesticum* legt ausgehend von einem radialen Muttergang tangential Brutgänge mit Larvenwiegen in Faserrichtung an. Das Erscheinungsbild des Brutsystems hängt vom Anchnittwinkel des Brettes ab. Es ist in der Regel durch symbiotische Ambrosiapilze dunkel gefärbt (Abb. 4 A). Die Durchmesser der meist hellen Larvengänge von *H. dermestoides* waren im Beobachtungszeitraum wie im Vergleich von Abb. 4 A und B ca. 1 Größenordnung kleiner als bei *T. domesticum* und mäandrierten unregelmäßig durch den Holzkörper. Weiterführende Informationen finden sich bei PETERCORD (2002).

Mit der Gesamtzahl der Bohrlöcher je Brett (Schnittholz-Befallsdichte) wurden die Bretter entsprechend DIN 68 369 „Rotbuche-Blockware“ sortiert (DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 1988). Diese DI-Norm lässt für die Güteklassen I und II keinen Wurmbefall und in

---

<sup>®</sup> Die Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz bedankt sich an dieser Stelle bei der Firma CDN-Naturhaus GmbH, Hermeskeil, Deutschland, für die kostenfreie Unterstützung bei der Holzentrindung.

der Güteklasse III nur „in geringem Umfang“ zu (DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 1988). Als gering befallen wurden in der vorliegenden Studie Bretter mit bis zu sechs Käferlöchern normativ definiert. Andere Sortierkriterien wurden nicht berücksichtigt.

| Kennwert              | Mittlere Differenz ( $\delta_{xi}$ ) | Standardabweichung ( $s_{\delta_{xi}}$ ) | t-Wert | Irrtumswahrscheinlichkeit (p) |
|-----------------------|--------------------------------------|--|--------|-------------------------------|
| Bohrlöcher/Brett      | 0,73                                 | 4,56                                     | 0,529  | 0,613                         |
| Tiefstes Loch links*  | -1,27                                | 1,49                                     | 2,837  | 0,170                         |
| Tiefstes Loch rechts* | -0,18                                | 0,40                                     | 1,491  | 0,164                         |
| Verwertbare Länge     | 8,18                                 | 21,36                                    | 1,27   | 0,231                         |

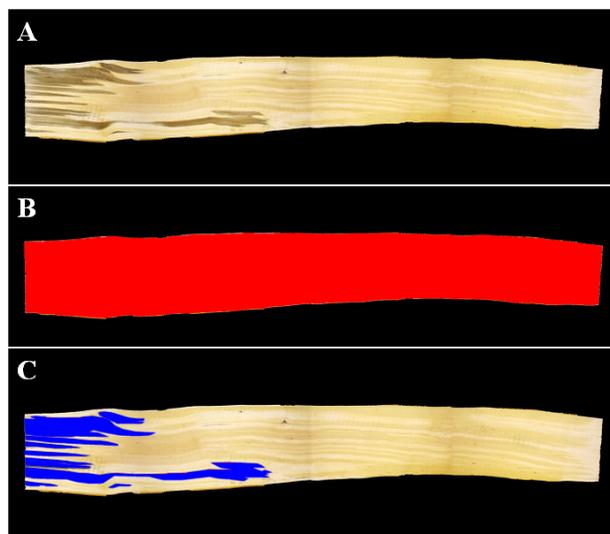
\* vom unteren Brettende aus gemessen

**Tab. 15:** Überprüfung von Unterschieden zwischen den Kennwerten von Brettoberflächen, die nur durch eine 2 mm-Schnittfuge voneinander getrennt waren

Um zu überprüfen, ob sich die Brettoberflächen, die nur durch eine Schnittfuge voneinander getrennt waren, signifikant voneinander unterschieden, wurden die Kennwerte der schmalen Brettseiten und der sie deckenden breiten Brettseiten des nächste schmälere Brettes von 11 Brettpaaren aufgenommen und in einem paarweisen t-Test miteinander verglichen. Für keinen der Kennwerte konnte ein signifikanter Unterschied zwischen der schmalen und der benachbarten breiten Brettseite festgestellt werden.

## 2.6.2 Verfärbungen

Alle Fotos des Jahres 2001 und alle Schnitte durch die 3D-Modelle des Jahres 2003 wurden

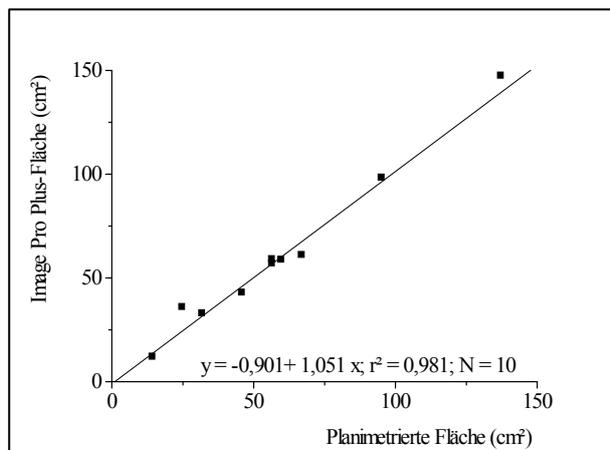


auf die abgelisteten Brettflächen und käferbedingt verfärbten Flächen hin rechnergestützt analysiert. Zu diesem Zweck wurden die Messbereiche im Bildverarbeitungsprogramm Image Pro

**Abb. 14:** Längsschnitt durch ein 3D-Modell (A) und Markierung der Brettoberfläche (B) sowie der Käferfärbungen (C) zur Vermessung mit dem Bildverarbeitungsprogramm Image Pro Plus.

Plus<sup>®</sup> mit einem automatischen Spurensucher anhand ihrer Konturen zur Vermessung definiert. Messbereiche waren die gesamte Brettoberfläche und die verfärbten Bereiche (Abb. 14 B, C). Der Spurensucher wurde so eingestellt, dass er die verfolgte Kontur auch bei geringem Umgebungskontrast erkennen konnte (Threshold = 3). Die markierte Spur wurde leicht geglättet (Smooth = 1). Um die Konturen optimal darzustellen, wurde der Spurensucher bildpunktweise an der Kontur orientiert (Noise = 1).

Die Fotos wurden anhand der mitfotografierten Maßstäbe kalibriert und die Flächen rechnergestützt auf 0,01 cm<sup>2</sup> genau gemessen. In einer Voruntersuchung wurde anhand einer Stichprobe (n = 10) geprüft, ob die rechnergestützte Flächenmessung auf Fotos mit herkömmlich planimetrierten Flächenkennwerten übereinstimmt. Der Vergleich der unterschiedlich erhobenen Flächendaten mittels paarweisem t-Test zeigte, dass Image Pro Plus die tatsächlichen Flächen der Bretter mit großer Sicherheit wirklichkeitsgetreu darstellt ( $t = -0.965$ ;  $t_{9;0,05} = 0.360$ ;  $p \leq 0,05$ ). Das gleiche gilt für die Erkennung der aufgrund des Käferbefalls verfärbten Flächen (Abb. 15).



**Abb. 15:** Herkömmlich planimetrierte und rechnergestützt vermessene käferbedingt verfärbte Flächen im Vergleich

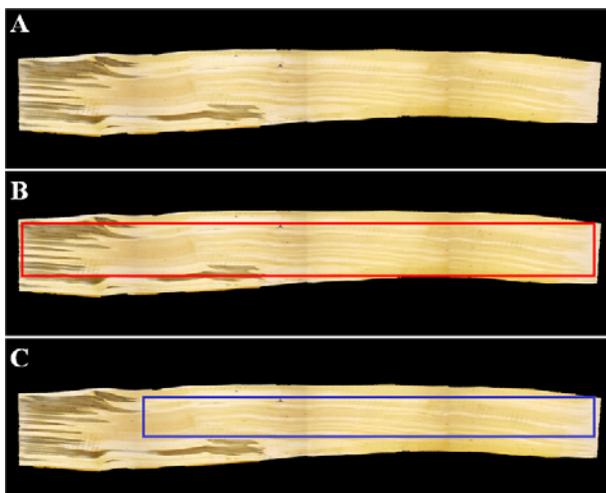
Die käferbedingt verfärbten Fläche wurden einerseits herkömmlich planimetriert und andererseits mittels Image Pro Plus<sup>®</sup> Bildverarbeitungsprogramm rechnergestützt analysiert. Die Ergebnisse wurden mit der Statistiksoftware SPSS einander in einer Regressionsanalyse gegenübergestellt.

Aus den käferbedingt verfärbten Flächen und den Gesamtflächen der Bretter wurde der verfärbte Flächenanteil der Brettoberflächen berechnet. Darüber hinaus wurde die käferspezifische Verfärbung auf die Anzahl der Bohrlöcher bezogen und gab Auskunft über das Ausmaß der einzelnen bohrlochumgebenden Verfärbung.

### 2.6.3 Ausbeute

Als Bezug für die Ausbeute wurden die Gesamtflächen aller Bretter anhand ihrer oberen Breiten und ihrer Längen berechnet. Alle Flächen bezogen sich auf die schmalen Brettseiten. Auf diese rechnerisch maximale Brettfläche wurde die tatsächlich verwertbare Ausbeute bezogen. Für die Schätzung der tatsächlich möglichen Ausbeute wurden die tiefsten Käferschäden eingemessen und mit ihrer Hilfe die innere unbefallene Brettfläche berechnet.

Zusätzlich wurden in den fünf 3D-Modellen (vgl. Kap. 2.5.1) diejenigen Schnittebenen, die der Herstellung von 32 mm-Blockware aus den betreffenden Stämmen entsprochen hätte, auf die gleiche Weise ausgewertet. Zu diesem Zweck wurde im Bildverarbeitungsprogramm Image Pro Plus die maximal mögliche Brettfläche dadurch bestimmt, dass ein rechteckiges Messflächenwerkzeug flächenoptimal an das Brettbild angepasst wurde (Abb. 16 B). Die käferbedingt verringerte Ausbeute wurde simuliert, indem das gleiche Werkzeug so angepasst wurde, dass Käferschäden ausgeschlossen blieben (Abb. 16 C).



**Abb. 16:** Längsschnitt durch ein 3D-Modell (A) und rechnergestützte Simulation der optimalen (B) und käferbedingten Ausbeute an besäumten Brettern (C)

Alle Flächen wurden auf 1 cm<sup>2</sup> genau erhoben. Ein Brett wurde wie in der Praxis üblich als vollständig entwertet angesehen, wenn sein unbefallener

Bereich kleiner als 1,50 m \* 10 cm (Länge \* Breite) maß. Im Rahmen dieser Studie wurden nur die Käferschäden als Sortierkriterium berücksichtigt. Das Ergebnis war der Anteil der verwertbaren Ausbeute am rechnerisch maximal Möglichen (Relative Ausbeute). Mit Hilfe der rechnerisch maximalen Brettvolumina wurden ferner die volumengewichteten mittleren relativen Ausbeuten der Stammstücke hergeleitet.

## **2.7 Einschnittsoptimierung**

Um den Spielraum für die Verwertung von käfergeschädigtem Buchenstammholz abzuschätzen, wurde untersucht, inwieweit die Schnittrichtung durch den Stamm die technische (Kap. 2.7.1) und wirtschaftliche Ausbeute (Kap. 2.7.2) beeinflusst. Insbesondere standen Optimierungsmöglichkeiten durch verschiedene Erntetermine, von unterschiedlichen Stammstücken und von Holz der beiden Herkunftsgebiete im Mittelpunkt des Interesses.

### **2.7.1 Technische Ausbeute**

Die Möglichkeiten, die technischen Ausbeuten anhand der Schnittrichtung durch die Buchenstämmen zu beeinflussen, wurde mit Hilfe der Schnitte durch die 3D-Modelle der fünf repräsentativen Furnierstämmen untersucht (vgl. Kap. 2.5). Die Schnitte entsprachen den Richtungen Nord-Süd, Ost-West, Nordost-Südwest und Nordwest-Südost (vgl. Abb. 11).

Auf dem Schnittholz wurde die käferbedingte Holzqualität im Anhalt an DIN 68 369 „Rotbuche-Blockware“ aufgenommen (vgl. Kap. 2.6.1). Abweichend von der Vorschrift über die „Wurmlöcher“ wurden lediglich Bretter ohne käfertypische Verfärbungen unabhängig von Bohrlöchern als ungeschädigt eingestuft. Solche Blockware wird fehlerfrei genannt, während Bretter mit käfertypischen Verfärbungen als fehlerhaft gelten. Die Zahl aller fehlerfreien und fehlerhaften Bretter der fünf untersuchten 3D-Modelle wurden schnittebenenweise aufgenommen. Mit ihrer Hilfe wurde der Anteil fehlerfreier Bretter an der zahlenmäßigen Gesamtausbeute berechnet. Anhand ihrer Verkernung wurden die Bretter den Qualitätsklassen „weiße Seitenware“ oder „rotkernige Gestellware“ zugewiesen.

Darüberhinaus wurde die Fläche der markröhrenfernen Breitseiten berechnet. Die fehlerfreien und fehlerhaften Flächen jeder Schnittebene wurden erfasst. In Verbindung mit der Verkernung wurde der Flächenanteil fehlerfreier Bretter an der Gesamtfläche und der Flächenanteil der weißen Seitenware an der gesamten fehlerfreien Brettfläche für die verschiedenen Schnittrichtungen berechnet.

Die Brettflächen wurden statt des Volumens als Bezugsmaß gewählt, weil dies zum einen den gängigen Gewohnheiten beim Schnittholzaufmaß entspricht. Zum anderen waren alle Bretter

konstant 32 mm stark, so dass volumenbezogene Ergebnisse nicht von den flächenbezogenen abweichen.

Daneben wurde die Herstellung besäumter fehlerfreier Bretter simuliert. Als Maß für den zusätzlichen Aufwand der Herstellung solcher Produkte aus käfergeschädigtem Stammholz wurde die Zahl der zusätzlichen Kapp- und Besäumschnitte hergeleitet. Dazu wurde unterstellt, dass die Herstellung besäumter Bretter aus fehlerfreiem Material lediglich zweier Besäumschnitte bedarf. Um fehlerhafte Teile auszuschließen, müssen die Bretter zusätzlich gekappt bzw. besäumt werden. Außerdem wurde der technische Erfolg solcher Maßnahmen geschätzt, indem die Volumenausbeute an besäumten fehlerfreien Brettern entsprechend Kap. 2.6.3 im Verhältnis zur potenziellen Gesamtausbeute an solchen Produkten für jede Schnittrichtung geschätzt wurde.

Die technischen Ausbeuten wurden geschätzt, indem die ungeschädigten und gesamten Brettzahlen bzw. -flächen schnittrichtungsweise über alle fünf Modellabschnitte summiert wurden. Die %-Anteile wurden aus den Summen abgeleitet.

Mit Hilfe der 3D-Modelle wurden außerdem die Zusammenhänge des Einschlagszeitpunkts im Früh- bzw. Hochsommer, der Befallsdauer seit einem bzw. drei Jahren, des Erdstammstücks bzw. der Zweitlänge sowie die Herkunft der Bäume aus Luxemburg bzw. dem Saar-Hunsrück mit den fehlerfreien Ausbeuteanteilen bei verschiedenen Schnittrichtungen skizziert. Zu diesem Zweck wurden die 3D-Modelle entsprechend den Einflussfaktoren zu Gruppen zusammengefasst. Für jede Gruppe wurden die %-Anteile fehlerfreier Bretter schnittrichtungsweise als Kennwert hergeleitet.

Um die Zusammenhänge zwischen Schnittrichtung und relativer Ausbeute zweier Gruppen miteinander zu betrachten, wurden die Ausbeuten jeder Gruppe auf die ausbeutemaximale Schnittrichtung hin normalisiert. Die Kalkulationen besitzen dem geringen Stichprobenumfang entsprechend lediglich exemplarischen Charakter.

## **2.7.2 Wirtschaftliche Ausbeute**

Aufbauend auf den technischen Ausbeuten an unbesäumter Blockware und besäumten Brettern wurde geschätzt, inwieweit die verschiedenen Schnittrichtungen den wirtschaftlichen Erfolg der Käferholzverarbeitung beeinflussen könnten. Als Grundlage dafür diente ein Preis

von 300,- € / m<sup>3</sup> für fehlerfreie und 100,- € / m<sup>3</sup> für fehlerhafte Buchenblockware. Dieser Preis scheint nach einer Umfrage bei den deutschen und französischen Sägewerken der Region praxisüblich zu sein. Das Gleiche gilt für die weiteren Schnittholzpreise in dieser Studie.

Jedes Brett wurde in Anhalt an die DIN 68 369-Güteklassen auf seine Fehler hin untersucht. Als fehlerfrei galten verfärbungsfreie Bretter. Als fehlerhaft wurden verfärbte Bretter eingestuft. Dabei wurde unterschieden, ob die Verfärbung vom Rotkern oder vom Käferbefall herührte. Aus den brettweisen Erlösen wurden die volumengewichteten Mittelwerte je Schnitt- richtung über alle fünf Modelle hin gebildet.

Außer als Blockware wird Buchenschnittholz in Form besäumter Bretter gehandelt. Für weiße besäumte Seitenware wurde in der vorliegenden Untersuchung ein Preis von 350,- € / m<sup>3</sup> und für rotkernige und / oder käfergeschädigte ein Preis von 175,- € / m<sup>3</sup> angenommen. Der Preis errechnet sich aus der Zahl von ca. 50 besäumten Brettern fallender Breite je m<sup>3</sup>, dem Mehrpreis für besäumte Buchenbretter gegenüber der Blockware in Höhe von 50,- € / m<sup>3</sup> und dem Produktionskostenanteil von ca. 70 % daran.

Um abzuschätzen, welche Ausgaben die Verarbeitung von Käferbuchen über das Normale hinaus nötig macht, wurden die zusätzlichen Kapp- und Besäumschnitte monetär bewertet. Als Schätzwert für die Kosten eines Schnitts wurden 0,35 € angenommen. Die zusätzlichen Schnittkosten wurden auf das Volumen der besäumten Buchenbretter bezogen.

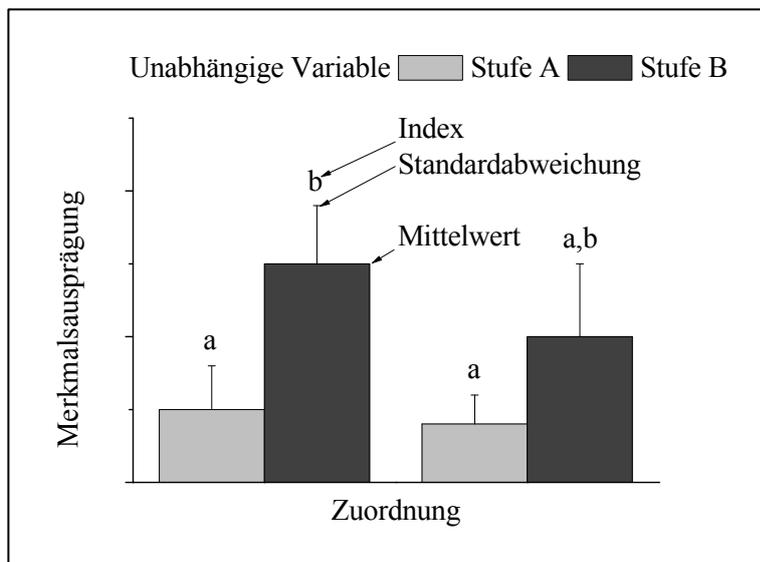
## **2.8            Statistische Auswertung**

Alle Stichproben wurden vor den statistischen Analysen mit Hilfe des nicht parametrischen Kolmogorov-Smirnov-Tests und der Begutachtung ihrer Histogramme auf ihre Normalverteilung hin geprüft. Als normalverteilt galten alle Verteilungsmuster, die sich nicht signifikant von der Normalverteilung unterschieden.

Für normalverteilte Stichproben diskreter unabhängiger Variablen wurden die Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet. Auch wenn diese Verteilungskennwerte für nicht normalverteilte Stichproben verzerrt sind, wurden sie dennoch der Anschaulichkeit halber für diese Stichproben ebenfalls geschätzt, nicht jedoch zu weiteren Aussagen herangezogen.

Unterschiede zwischen normalverteilten diskreten Gruppen wurden mit Hilfe der Varianzanalyse und nicht normalverteilten anhand des Kruskal-Wallis-Tests untersucht. Homogene Gruppen wurden mit Scheffés multiplen Kontrasten, der Student-Neumans-Keuls-Prozedur oder der Duncan-Methode definiert. Als Signifikanzniveau wurde eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von  $p = 0,05$  angenommen. Bei nicht normal verteilten Stichproben geben die Methoden zu Bestimmung homogener Gruppen nur Hinweise auf die wahren Verhältnisse.

Die Ergebnisse wurden in der Regel als Säulendiagramme präsentiert. Jede Säule stellt eine Gruppe dar. Die Höhe der Säulen kennzeichnet die Gruppenmittelwerte (Abb. 17). Die Säulen können senkrecht oder waagrecht angeordnet sein. Senkrecht stellen sie beispielsweise die Schnittholzausbeute über den Stammquerschnitt und waagrecht entlang der Stammachse dar. Die Balken auf den Säulen machen die Standardabweichungen sichtbar (Abb. 17). Die Indices über den Fehlerbalken bezeichnen Gemeinsamkeiten unter bzw. signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen (Abb. 17). Einheitliche Indices stehen für Gemeinsamkeiten und unterschiedliche für Unterschiede.



**Abb. 17:** Skizzierte Ergebnisdarstellung als Säulendiagramm.

In dem Beispiel gibt es vier Gruppen von Stichprobenwerten. Die Gruppen unterscheiden sich beispielsweise nach ihrer Zuordnung zu bestimmten Stammteilen (Ordinate) und einer unabhängigen Variablen mit zwei Ausprägungen (unterschiedliche Balkengrauwerte). Die übereinstimmenden Indices über den Fehlerbalken der ersten, dritten und vierten Säule bzw. der zweiten und vierten Säule kennzeichnen die Gruppen jeweils als homogen. Zwischen der ersten bzw. dritten Säule und der zweiten

dagegen gibt es den unterschiedlichen Indices entsprechend einen signifikanten Unterschied.

Stichproben mit stetigen unabhängigen Variablen in kardinaler oder mindestens ordinaler Skalierung wurden regressionsanalytisch ausgewertet. Dazu wurden sie an lineare, nicht lineare oder polynomiale Grundgleichungen angepasst. Die Anpassung wurde mit Hilfe der Bestimmtheitsmaße beurteilt. Das Bestimmtheitsmaß gibt Auskunft über den Streuungsanteil, den die Regression erklärt.

Wegen des geringen Stichprobenumfangs wurde darauf verzichtet, die Messungen an den 3D-Modellen statistisch auszuwerten. Stattdessen wurden die Daten lediglich gruppiert und aufsummiert.

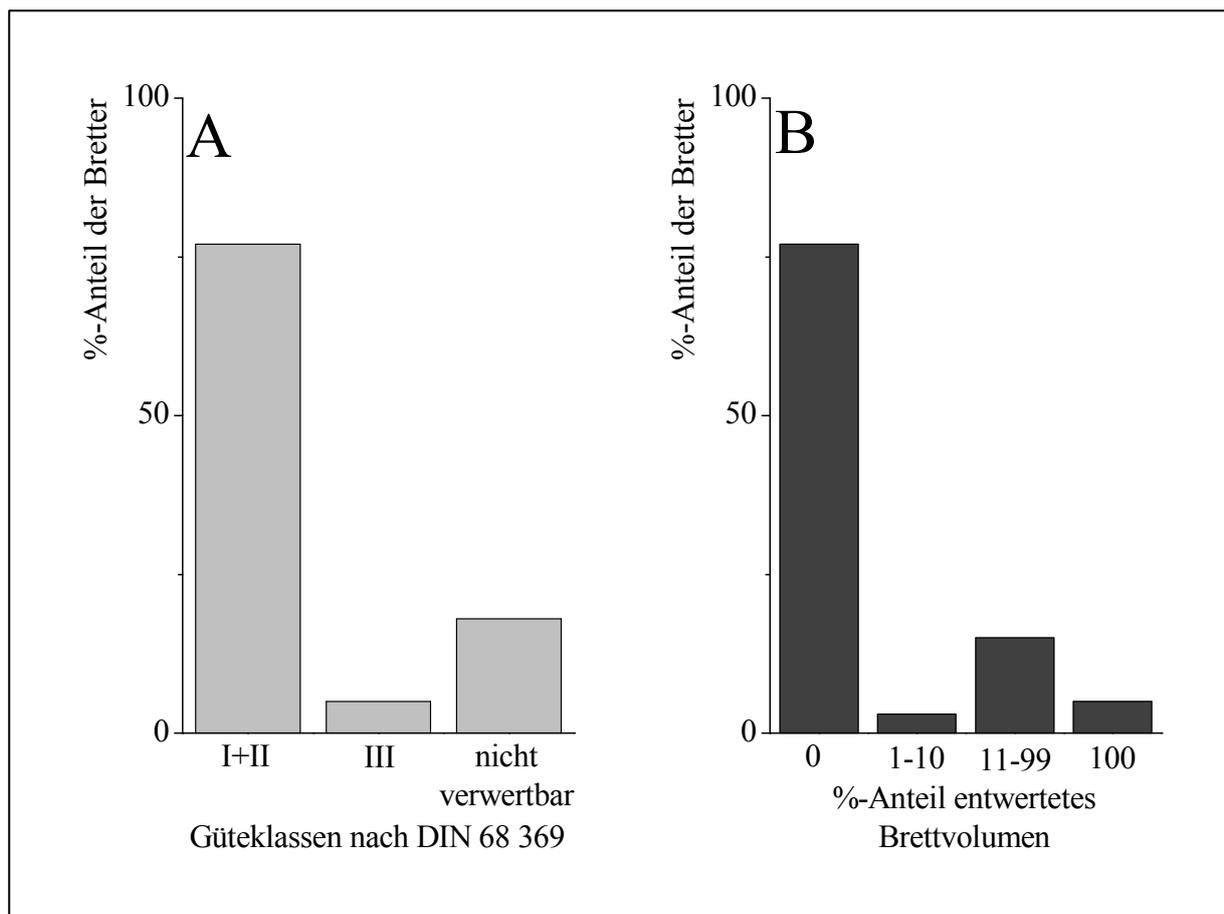
Alle statistischen Kalkulationen wurden mit dem Statistikprogramm SPSS, 11.0 für Windows (SPSS Inc., Chicago, USA) berechnet. Lediglich die Regressionen wurden mit stasy-500 V9.01/P2 (PIC GmbH, München, Deutschland) angepasst.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Technische und optische Wirkungen des Käferbefalls

##### 3.1.1 Charakterisierung der Qualitätseinbußen und Ausbeuteverluste

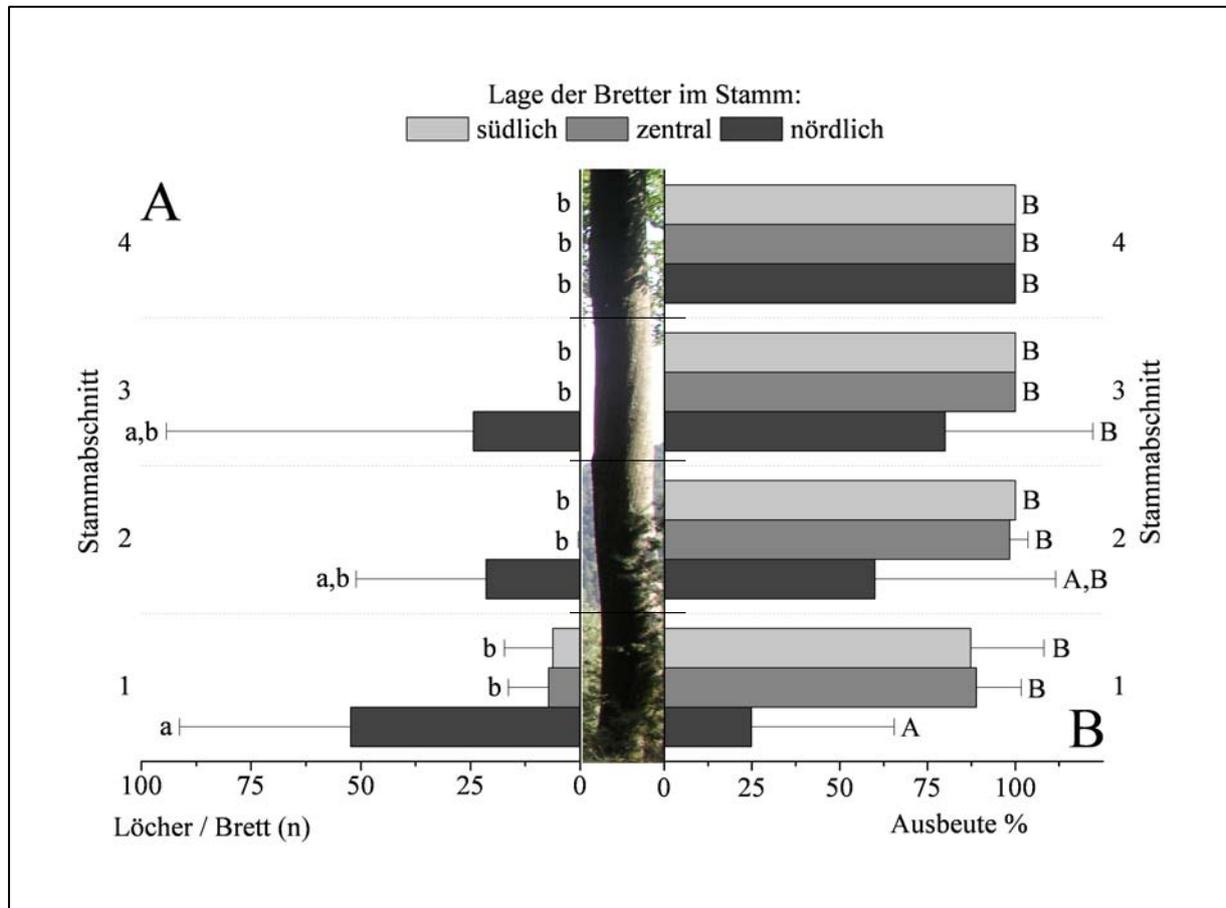
Die Auswirkungen holzbrütender Borkenkäfer auf das Buchenschnittholz wurden im Hochsommer 2001 mit Hilfe von zehn unterschiedlich stark befallenen Buchen aus dem Saar-Hunsrück charakterisiert. Aus den Stämmen wurden 372 Bretter mit 13,4 m<sup>3</sup> Rauminhalt hergestellt (vgl. Kap. 2.3). Der weitaus wichtigste Holzschädling war entsprechend den beobachteten Brutbildern *Trypodendron domesticum*. *Hylecoetus dermestoides* dagegen wurde ausschließlich auf dem Schnittholz der Erdstammstücke beobachtet und machte selbst dort



**Abb. 18:** DIN-Güteklassen (A) und Ausbeuteeinbußen (B) käferbefallener Buchenbretter

Insgesamt wurden im Sommer 2001 372 Bretter von zehn unterschiedlich stark befallenen Buchen untersucht.

nur 2,6 % der Schäden aus. Sein Vorkommen war ausschließlich auf weißfäule Stammbereiche beschränkt. Jedoch auch dort kam er kaum auf einen Anteil von über 7 % am Gesamtbefall. Brutbilder anderer Käfer wurden nur vereinzelt beobachtet. Weitere Informationen zu den biologischen Grundlagen der Buchenschäden hat PETERCORD 2002 veröffentlicht.



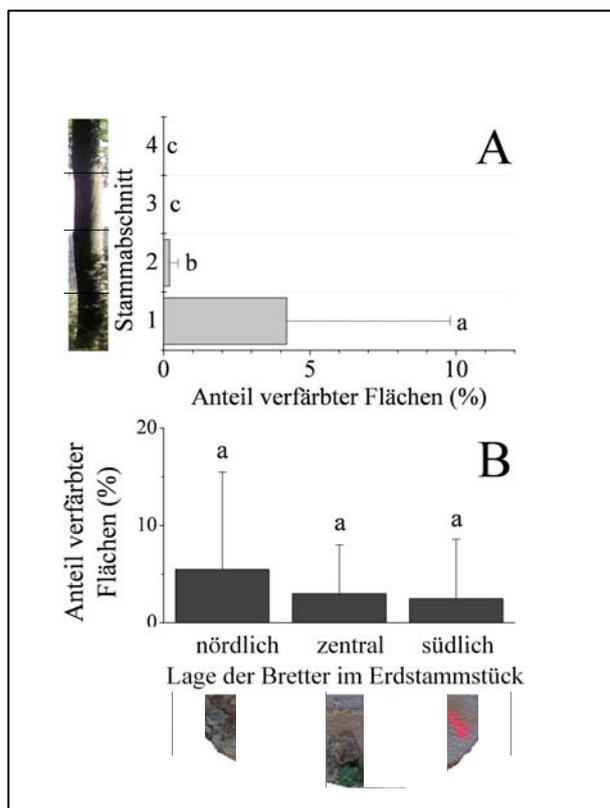
**Abb. 19:** Anzahl der Löcher (A) und Ausbeute an unbeeinträchtigttem Schnittholz (B) über die Stämme käfergeschädigter Buchen hin

Die jeweils nördlichsten und südlichsten Bretter sowie die Markröhrenbretter von zehn käfergeschädigten Buchen aus dem Saar-Hunsrück wurden im Hochsommer 2001 hinsichtlich Anzahl der Bohrlöcher und Ausbeute begutachtet. Die Stichproben waren nicht normalverteilt. Deshalb wurden die Daten mittels Kruskal-Wallis-Test ausgewertet. Homogene Gruppen wurden anhand der Scheffé-Prozedur geschätzt. Unterschiedliche Indices kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen Brettern unterschiedlicher Stammabschnitte und Stammexpositionen.

Die Borkenkäfer haben das Holz technisch durch ihre Brutgalerien bzw. gegebenenfalls durch Weißfäule und optisch durch Verfärbungen um die Brutgalerien herum entwertet. Käferlöcher fanden sich auf knapp 23 % der begutachteten Bretter. Der Anteil verfärbter Bretter zweier exemplarisch untersuchter Buchen lag bei 18 %. Weißfäule ließ sich im Sommer 2001 auf den

Buchenbrettern kaum beobachten. Weniger als 2 % der Bretter waren auf diese Weise erkrankt.

Auch wenn einzelne Exemplare bis zu 223 Einbohrungen aufwiesen, waren ihrer Anzahl nach fast 80 % der Bretter vollständig befallsfrei. Andererseits ließen sich über 15 % der unbesäumten Bretter nicht mehr in Anlehnung an die DI-Norm (> 6 Löcher / Brett) sortieren (Abb. 18 A). Im Vergleich zur theoretisch möglichen Ausbeute an besäumten Brettern (vgl. Kap. 2.6.3) entwerteten die Holzkäfer ca. 7,5 % des Schnittholzvolumens mindestens teilweise, so dass nach fiktiven Kappschnitten und Besäumungen ca. 12,4 m<sup>3</sup> nutzbar geblieben wären. Dementsprechend benötigten 77 % der Bretter keine weitere schadensausschließende Behandlung. Ca. 18 % der Bretter zeigten sich nach der fiktiven Besäumung bzw. Kappung als schadensfrei. Nur ca. 5 % ließen sich auch nach fiktiven Kappschnitten bzw. Besäumungen nicht mehr verwerten (Abb. 18 B).

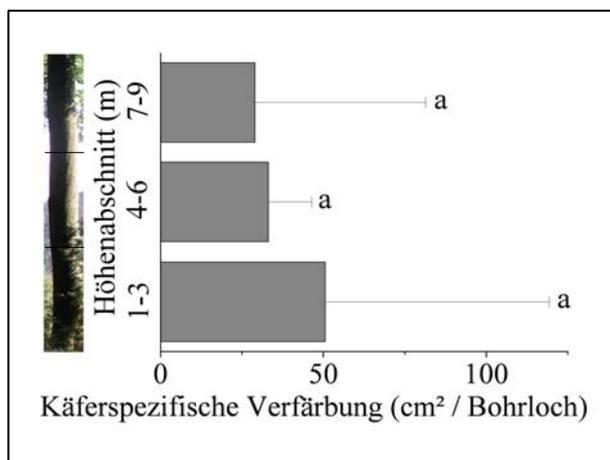


**Abb. 20:** Anteile der käferbedingten Verfärbungen am Buchenschnittholz entlang der Stammachse (A) und über den Stammquerschnitt der Erdstammstücke hin (B)

Die Verfärbungen wurden exemplarisch an zwei unterschiedlich stark befallenen Buchenstämmen mit einem Stichprobenkonzept untersucht (vgl. Kap. 2.4.1). Die Stichproben von 20 cm Länge über die gesamte Deckbreite der Bretter wurden rechnergestützt vermessen. Weil die Messwerte nicht normalverteilt waren, wurden sie mit Hilfe von Kruskal-Wallis-Tests auf signifikante Unterschiede hin untersucht. Homogene Gruppen wurden anhand der Scheffé-Prozedur abgeschätzt. Unterschiedliche Indizes kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Stammpositionen mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von  $p \leq 0,05$ .

Die Schnittholzschäden verteilten sich nicht gleichmäßig über die Stämme. Vielmehr waren die Bretter der unteren Stammbereiche stärker durchlöchert als die der oberen (Abb. 19 A). Damit übereinstimmend wurden auf dem Schnittholz der Erdstammstücke zweier exemplarisch untersuchter Buchenstämmen gegenüber höheren Stammabschnitten signifikant größere Anteile käferbedingt verfärbter Flächen beobachtet (Abb. 20 A). Offensichtlich nimmt die Befallsdichte von unten nach oben deutlich ab.

Allerdings konnten selbst auf der Drittlänge noch einzelne Käferschäden festgestellt werden (Abb. 19 A). Offensichtlich reichten diese Beeinträchtigung in bis zu 9 m Höhe. Dennoch wiesen die Bretter der oberen Stammabschnitte exemplarisch untersuchter Buchen keine Verfärbungen mehr auf (Abb. 20 A).



**Abb. 21:** Käferspezifische Verfärbung der Bretter von Stammabschnitten exemplarisch im Herbst untersuchter Buchen

Für diese Untersuchung wurden nur die Buchen der Herbstuntersuchung berücksichtigt, weil die oberen Stammabschnitte im Sommer keine Verfärbung aufwiesen. In der Analyse wurde nicht nach schwach und stark befallenen Buchen differenziert, weil eine Voruntersuchung keine signifikanten Unterschiede erkennen ließ. Die Verfärbung wurde mit Image Pro Plus<sup>®</sup> ausgewertet und zur Zahl der Bohrlöcher in Beziehung gesetzt (vgl. Kap. 2.4.1, 2.6.1).

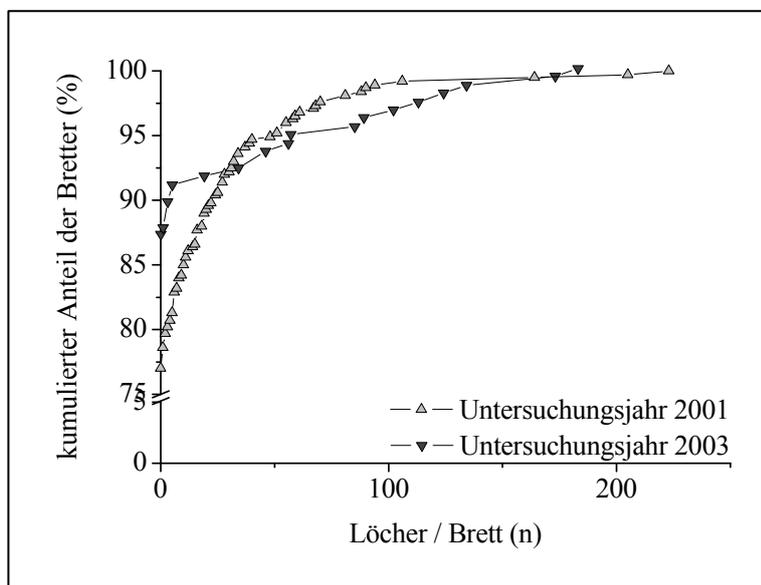
Anders als im Sommer 2001 ließen sich im Herbst auch in größeren Stammhöhen käferbedingte Holzverfärbungen um die Käferlöcher herum feststellen (vgl. hierzu auch Kap. 3.1.3). Diese Verfärbungen maßen entlang der ganzen Stammachse ohne vertikalen Gradienten in etwa 40 bis 50 cm<sup>2</sup> je Bohrloch (Abb. 21).

Die käferbedingten Schnittholzschäden zeigen nicht nur vertikal, sondern auch horizontal ein deutliches Verteilungsmuster. So wurden Bohrlöcher insbesondere in den Brettern gefunden, die aus dem am stehenden Stamm nördlich ausgerichteten Holz gewonnen wurden (Abb. 19 A). Damit übereinstimmend war der Anteil von käferbedingt verfärbtem Holz an den nördlichen Brettern aus dem Erdstammstück zweier exemplarisch untersuchter Buchen gegenüber den zentralen oder südlichen Brettern tendenziell erhöht (Abb. 20 B).

Dementsprechend konzentrierten sich die Ausbeuteeinbußen im Hochsommer 2001 signifikant auf die nördlichen Bretter der Erdstammstücke. Tendenziell weniger ungeschädigte Bretter ergaben auch die nördlichen Bereiche der Zweit- und Drittlängen. Demgegenüber hatten die Käfer das Schnittholz aus den anderen Stammexpositionen oder aus den oberen Stammbereichen nicht merklich in Mitleidenschaft gezogen (Abb. 19 B).

### 3.1.2 Käferschäden 2003 im Vergleich zu 2001

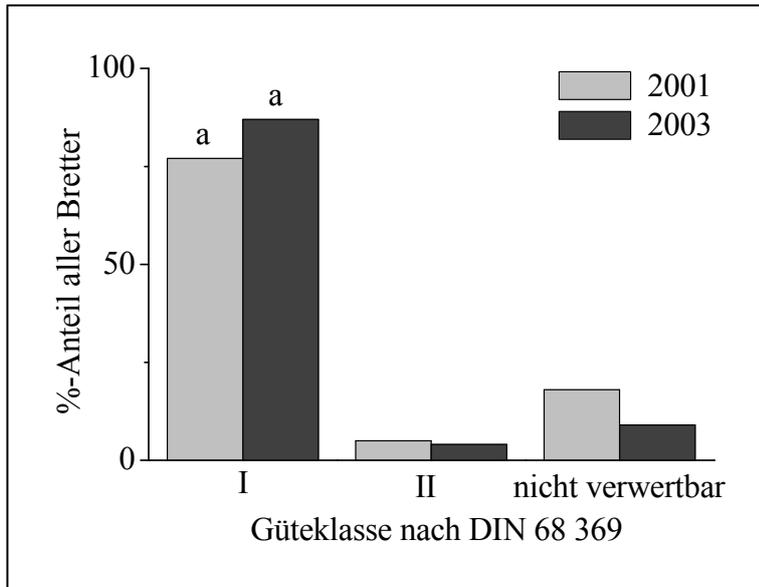
Als Hinweis, inwieweit sich die Beobachtungen des Hochsommers 2001 verallgemeinern lassen, wurden im Hochsommer 2003 sechs Buchen mit einjährigem Käferbefall nach derselben Methodik wie im Jahr 2001 untersucht (vgl. Tab. 6). Insgesamt standen für die Analysen 2003 156 Bretter zur Verfügung (vgl. Tab. 10). Gegenüber 2001 war 2003 ein noch größerer Anteil der Schnittware vollkommen befallsfrei (Abb. 22). Andererseits hatten die Käfer übereinstimmend mit der Untersuchung zwei Jahre zuvor einzelne Bretter sehr stark in Mitleidenschaft gezogen (Abb. 22).



**Abb. 22:** Nach ihrer Befallsdichte kumulierte %-Anteile der Bretter im Hochsommer 2001 bzw. 2003

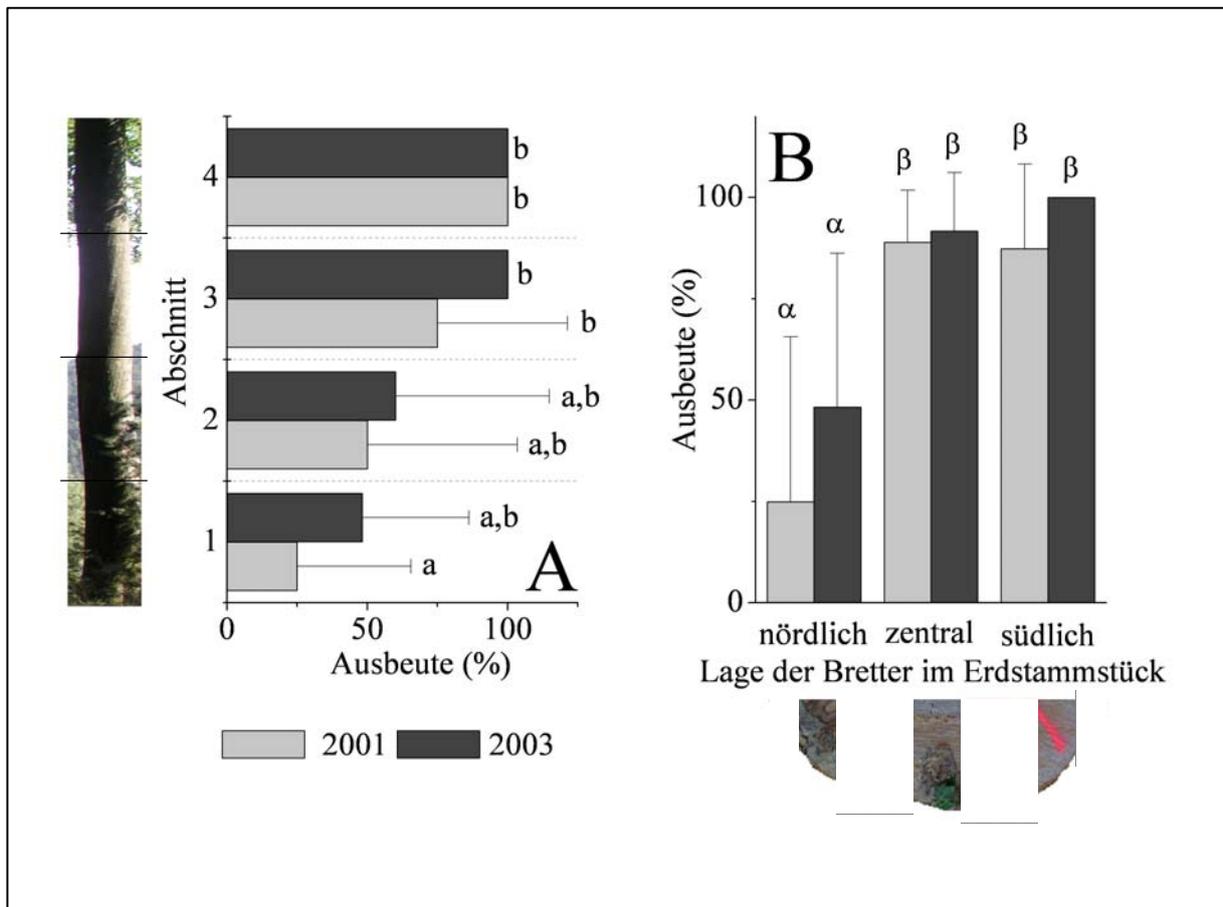
2001 wurden 48 und 2003 lediglich 16 unterschiedliche Befallsdichten festgestellt. Die jeweilige Zahl der Bretter bestimmter Schädigung wurde auf die Gesamtzahl der Bretter des betreffenden Untersuchungsjahres bezogen und die Relativwerte kumuliert.

Im Jahr 2003 wurden die der 32 mm-Blockware entsprechenden Schnitte eines exemplarischen Erdstammstücks mit einjährigem Befall rechnergestützt auf Farbfehler hin untersucht (vgl. Kap. 2.6.2). Das Stammstück wies lediglich geringe Käferschäden auf. Verfärbungen ließen sich nur auf einem Seitenwarebrett beobachten und machten dort 2,4 % der Brettoberfläche aus. Über alle Bretter hin gesehen lag der Verfärbungsanteil im Schnittholz dieser Buche bei 0,1 %. Die Bretter des schwach befallenen Erdstammes aus dem Hochsommer 2001 waren mit 0,15 % ähnlich gering wie 2003 verfärbt. Den höchsten Anteil an verfärbtem Holz wies 2001 ein Brett aus der nördlichen Stammperipherie mit fast 3,5 % auf.



**Abb. 23:** DIN-Gütesortierung von Buchenblockware käfergeschädigter Bäume aus den Jahren 2001 und 2003

Die Güteklassenverteilungen unterschieden sich in beiden Untersuchungsjahren von der Normalverteilung. Deshalb wurden die Güteklassenverteilungen 2001 und 2003 anhand eines Kruskal-Wallis-Tests miteinander verglichen. Die einheitlichen Indices kennzeichnen die einheitlichen Sortierergebnisse der beiden Jahre.



**Abb. 24:** Käferbedingte Ausbeuteeinbußen der nördlichen Bretter entlang der Stammachse 2001 und 2003 (A) und über den Stammquerschnitt der Erdstammstücke hin (B)

Die Ausbeuteverteilungen der Jahre 2001 und 2003 unterschieden sich signifikant von der Normalverteilung. Deshalb wurden die Ausbeuten 2001 und 2003 anhand eines Kruskal-Wallis-Tests miteinander verglichen. Homogene Gruppen wurden mittels Student-Newman-Keuls-Prozedur näherungsweise geschätzt. Unterschiedliche Indices geben Hinweise auf signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) entlang der Stammachse (A) bzw. über den Querschnitt der Erdstammstücke hin (B).

Die einzelnen Farbflächen um die Käferlöcher herum unterschieden sich mit  $27,7 \text{ cm}^2 \pm 26,3 \text{ cm}^2$  2001 bzw.  $64,5 \text{ cm}^2$  2003 deutlich voneinander. Allerdings ließen sich 2003 nur auf einem Brett entsprechende Verfärbungen messen.

Vor diesem Hintergrund ließen sich in beiden Untersuchungsjahren beträchtliche Anteile des Schnittholzes unbeeinflusst von den Käfern nach DIN 68 369 sortieren. 2003 lag der Anteil an Brettern ohne erkennbare Käferschäden, die in die DIN-Güteklasse I sortiert wurden, sogar noch um zehn % höher als 2001. Lediglich einzelne Bretter wurden 2001 bzw. 2003 wegen jeweils beträchtlicher Käferschäden verworfen. In keinem der beiden Jahre überstieg dieser Anteil die Zehn-Prozent-Marke (Abb. 23). Offensichtlich entsprach die Verwertbarkeit des käfergeschädigten Buchenstammholzes 2003 in etwa der des Jahres 2001.

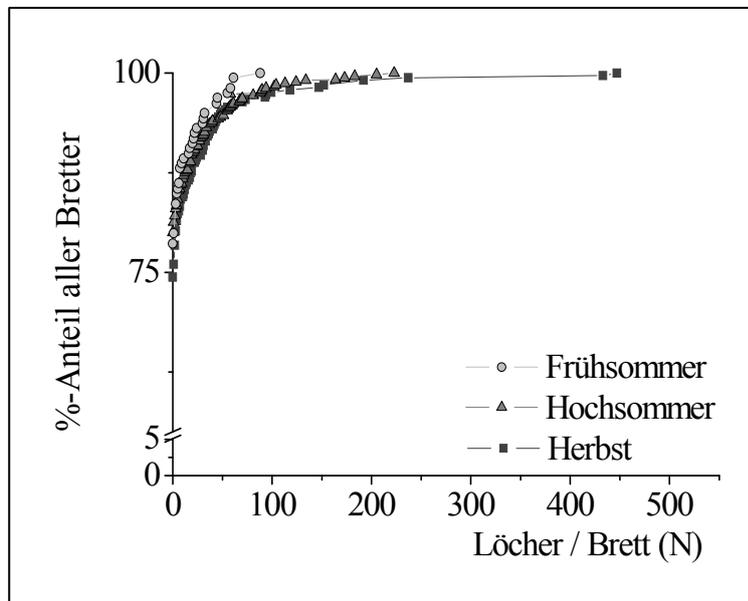
Wie zwei Jahre zuvor konzentrierten sich die Ausbeuteeinbußen auch 2003 auf die Erdstammstücke, während die oberen Stammbereiche nahezu oder vollständig schadensfreies Schnittholz lieferten (Abb. 24 A). Die beiden Beobachtungsjahre unterschieden sich in dieser Hinsicht nicht signifikant voneinander (Abb. 24 A). Im Jahr 2003 traten darüber hinaus ebenso wie 2001 vor allem bei den Brettern aus den nördlich exponierten Stammteilen fühlbare Verluste auf. Die Bretter aus den anderen Stammexpositionen litten während der beiden Beobachtungsjahre nur unwesentlich oder gar nicht unter dem Käferbefall (Abb. 24 B). Im Ausmaß der Nutzungsausfälle waren die beiden Untersuchungsjahre 2001 und 2003 miteinander vergleichbar (Abb. 24 B).

### **3.1.3 Käferbedingte Schnittholzschäden im Jahresverlauf**

Um Hinweise darauf zu erhalten, wie die Käfer das Schnittholz im Jahreslauf beeinträchtigen, wurden Buchen mit einjährigem Befall im Frühsommer 2003, im Hochsommer 2001 und 2003 und im Herbst 2001 vergleichend untersucht. Zwischen den Käferlöchern auf den Brettern des Hochsommereinschlags 2001 und 2003 gab es keine signifikanten Unterschiede (vgl. Kap. 3.1.2). Deshalb wurde bei der Analyse von Käferlöchern, Gütesortierung und Ausbeute nicht zwischen den beiden Untersuchungsjahren unterschieden.

Insgesamt standen der Analyse 159 Bretter aus dem Frühsommer-, 530 aus dem Hochsommer- und 319 Bretter aus dem Herbsteinschlag zur Verfügung. Zu allen Untersuchungszeitpunkten waren 75 bis 80 % aller Bretter vollständig befallsfrei (Abb. 25). Die maximale Be-

fallsdichte von 88 Käferlöchern auf einem Brett im Frühsommer hat sich zum Hochsommer hin auf über 220 Käferlöcher fast verdreifacht und zum Herbst hin auf fast 450 Käferlöcher nahezu verfünffacht (Abb. 25).



**Abb. 25:** Relative Summenhäufigkeit käfergeschädigter Bretter im Jahresverlauf

Insgesamt wurden an den drei Terminen im Frühsommer 2003, Hochsommer 2001 und 2003 und Herbst 2001 1.008 Bretter auf ihren Käferbefall hin begutachtet. Zu den drei Terminen wiesen die Bretter jeweils 25 bis 56 unterschiedliche Befallsdichten auf. Die jeweilige Zahl der Bretter bestimmter Schädigung wurde auf die Gesamtzahl der Bretter des betreffenden Einschlagstermins bezogen und die relativen Häufigkeiten kumuliert.

| Jahreszeit | Verfärbter Anteil der Bretter (%)       |             | Stichprobenumfang (N) |
|------------|---|-------------|-----------------------|
|            | Mittelwert* ( $\pm$ Standardabweichung) | Maximalwert |                       |
| Frühsommer | 5,8 <sup>a</sup> (6,9)                  | 22,1        | 13                    |
| Hochsommer | 4,4 <sup>a</sup> (6,0)                  | 16,5        | 16                    |
| Herbst     | 9,7 <sup>a</sup> (12,8)                 | 45,6        | 21                    |

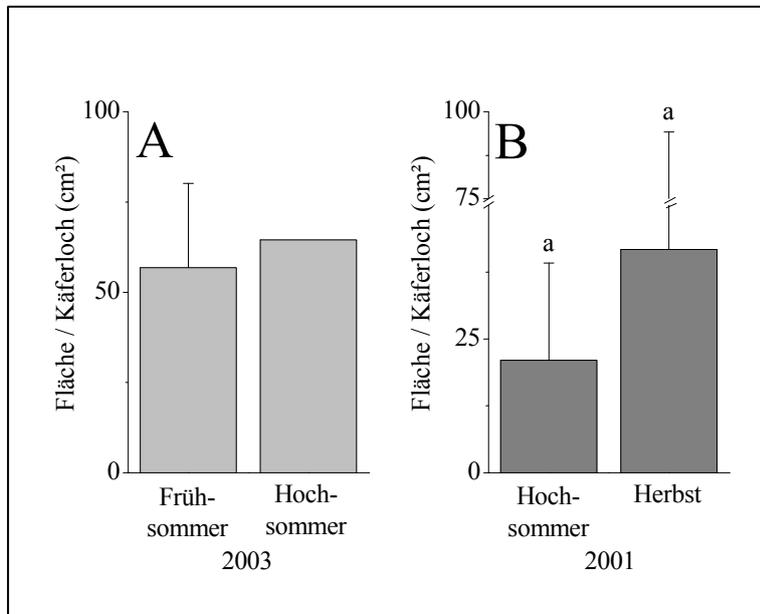
\* die einheitlichen Indizes zeigen, dass sich die drei Termin nicht signifikant voneinander unterschieden haben.

**Tab. 16:** Käferbedingt verfärbter Anteil der Bretter im Jahresverlauf

Die verfärbten Anteile wurden auf den Erdstamm Brettern von einer Buche aus dem Frühjahr 2003, drei Buchen aus dem Hochsommer 2001 bzw. 2003 und zwei Buchen aus dem Herbst 2001 rechnergestützt analysiert (vgl. Kap. 2.3, 2.4). Die Daten waren normalverteilt und wurden mittels einfaktorierter Varianzanalyse untersucht. Die Ergebnisse haben exemplarische Natur und stellen nur Hinweise dar.

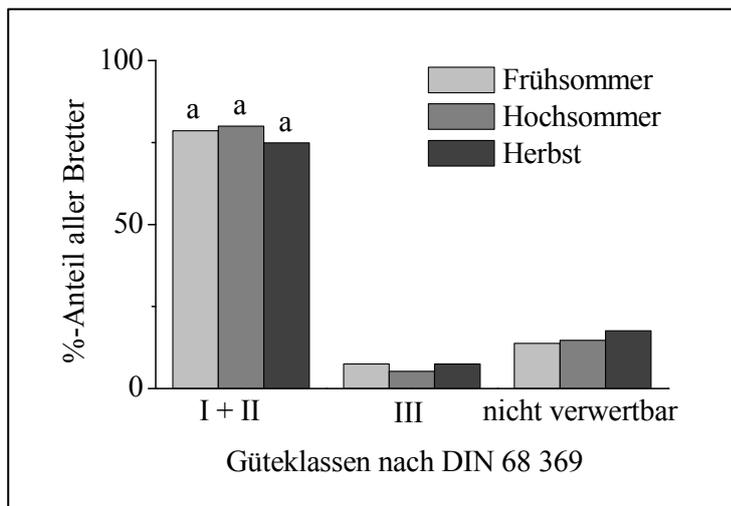
Die Ausbreitung käferbedingter Verfärbungen im Jahresverlauf wurde auf dem Schnittholz exemplarischer Erdstammstücke mit einjährigem Befall aus dem Frühsommer 2003, aus dem Hochsommer 2001 und 2003 sowie aus dem Herbst 2001 beurteilt (vgl. Kap. 2.3, 2.4). Im Früh- und im Hochsommer waren die Bretter zu durchschnittlich 5 % verfärbt. Dieser Anteil

erhöhte sich zum Herbst hin tendenziell auf fast 10 % (Tab. 16). Besonders deutlich veränderten sich offensichtlich die stark verfärbten Bretter zum Herbst hin. Waren im Sommer höchstens um die 20 % der Brettoberfläche käferbedingt farblich entwertet, so verdoppelte sich dieser Anteil im Herbst auf über 45 % (Tab. 16).



**Abb. 26:** Bohrlochumgebende Verfärbungen im Früh- und Hochsommer 2003 (A) und im Hochsommer und Herbst 2001 (B)

Die käferbedingt verfärbten Flächen von Brettern exemplarischer Erdstammstücke wurden rechnergestützt analysiert. Weil im Hochsommer 2003 nur ein Brett Verfärbungen aufwies, wurde auf eine statistische Analyse verzichtet. Die Flächen des Jahres 2001 verteilten sich nicht normal und wurden einem Kruskal-Wallis-Test unterzogen. Die einheitlichen Indices zeigen, dass sich die bohrlochumgebenden Flächen im Herbst nur tendenziell vom Hochsommer abhoben.

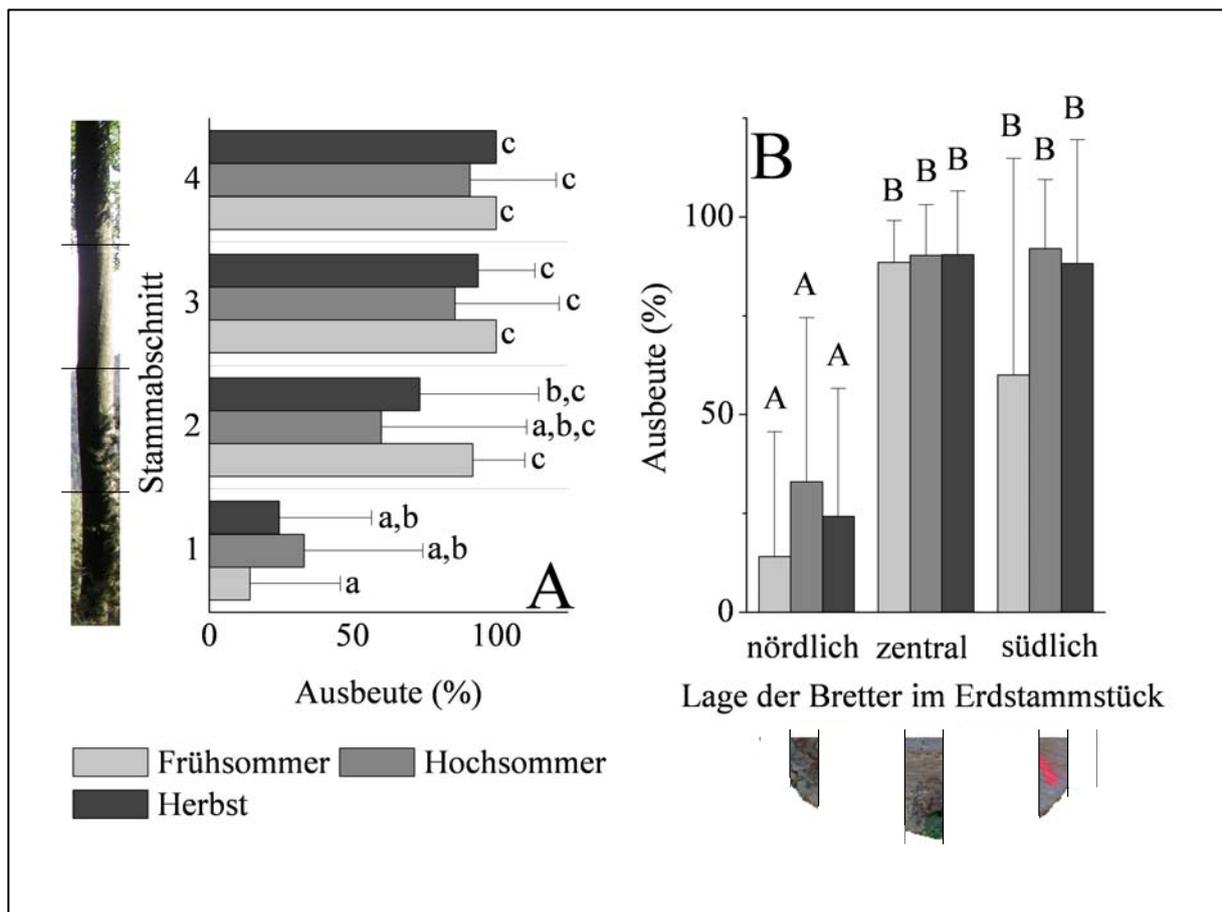


**Abb. 27:** DIN-Gütesortierung von Buchenblockware käfergeschädigter Bäume im Jahresverlauf

Die Güteklassen wurden anhand der Untersuchungsergebnisse 2001 und 2003 dargestellt. Die beiden Jahre haben sich in dieser Hinsicht nicht signifikant voneinander unterschieden (vgl. Kap. 3.1.2). Die Güteklassenverteilungen unterschieden sich zu allen Untersuchungsterminen über das Jahr hin signifikant von der Normalverteilung. Deshalb wurden die Güteklassenverteilungen 2001 und

2003 anhand eines Kruskal-Wallis-Tests miteinander verglichen. Die einheitlichen Sortiererergebnisse der drei Termine.

Diese Zunahme ließ sich tendenziell auf die Ausdehnung der bohrlochumgebenden Farbflächen zurückführen. Entsprechend dem Vergleich des Hochsommereinschlags 2001 und 2003 ließ sich eine Differenz zwischen den spezifischen Farbflächen der beiden Untersuchungsjahre nicht ausschließen (vgl. Auch Kap. 3.1.2). Deshalb wurden die beiden Untersuchungsjahre in dieser Hinsicht getrennt ausgewertet. Weiteten sich die spezifischen Verfärbungen vom Früh- zum Hochsommer 2003 wahrscheinlich nicht wesentlich aus, so verdoppelten sie sich in etwa zwischen Hochsommer und Herbst 2001 (Abb. 26).



**Abb. 28:** Ausbeute unbeeinträchtigtter Bretter aus der nördlichen Stammpерipherie käfergeschädigter Buchen im Jahresverlauf entlang der Stammachse (A) und über den Stammquerschnitt der Erdstammstücke hin (B)

Insgesamt wurden 108 Bretter aus der nördlichen Stammpерipherie entlang der Stammachse und 112 Erdstamm-bretter untersucht. Alle Ausbeuteverteilungen unterschieden sich signifikant von der Normalverteilung. Deshalb wurden die Ausbeuten anhand von Kruskal-Wallis-Tests miteinander verglichen. Homogene Gruppen wurden mit Student-Newman-Keuls-Prozeduren näherungsweise geschätzt. Unterschiedliche Indices geben Hinweise auf signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) entlang der Stammachse bzw. über den Stammquerschnitt der Erdstammstücke hin.

Über das Jahr hin hat der Anteil unbeeinträchtigter Bretter trotz der käferbedingten Verfärbung lediglich tendenziell abgenommen. Selbst im Herbst waren noch ca. drei Viertel aller Bretter vollständig frei von Käferschäden (Abb. 27). Zwar wurden zu Ende der Vegetationszeit mit fast 18 % einige Bretter mehr als im Früh- oder Hochsommer schadensbedingt von der Gütesortierung ausgeschlossen. Dennoch unterschieden sich die Sortiererergebnisse auch dann noch nicht signifikant (Abb. 27).

Zu allen drei Untersuchungsterminen nahm die Ausbeute der nördlichen Bretter entlang der Stammachse von unten nach oben signifikant zu (Abb. 28 A). Demgegenüber unterschieden sich die Ausbeuten übers Jahr hin nicht voneinander. Sie lagen im Bereich der Erdstammstücke bei einheitlich unter 30 %, um bis zu den Viertlängen ohne sichtbaren Einfluss des Erntezeitpunkts auf Ergebnisse von nahezu 100 % anzusteigen (Abb. 28 A).

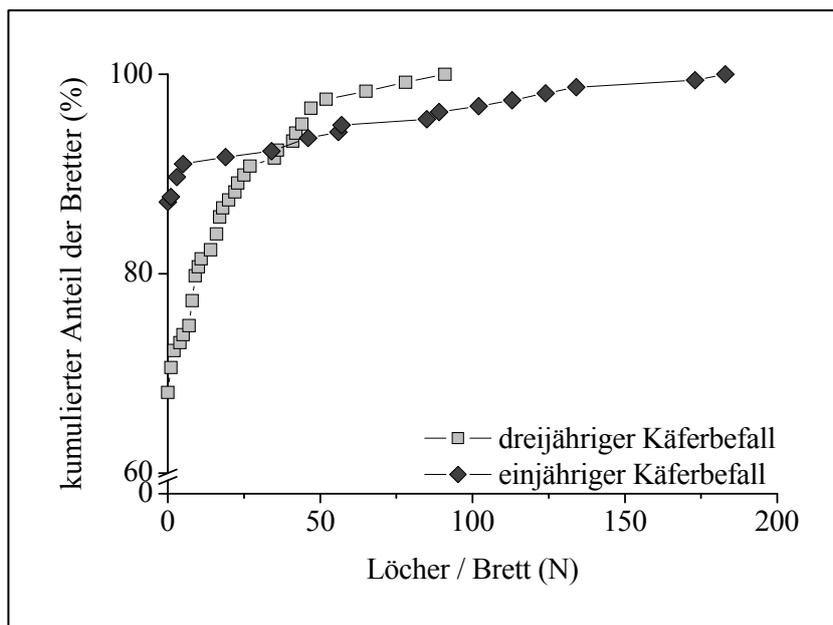
Die Ausbeute der Erdstamm Bretter aus der nördlichen Stammpерipherie war am stärksten durch den Käferbefall beeinträchtigt (Abb. 28 B). Allerdings gab die Untersuchung keinen Hinweis auf eine Veränderung im Schadensniveau übers Jahr hin. Vielmehr lag die Ausbeute der nördlichen Stammteile während des ganzen Jahres bei unter einem Drittel und stieg zum Stammzentrum bzw. zur südlich Stammpерipherie hin auf ca. 90 % an (Abb. 28 B).

#### **3.1.4 Käferschäden nach 1- und 3-jährigem Befall**

Im Hochsommer 2003 wurden neben den fünf Buchenstämmen mit einjährigem Käferbefall fünf weitere Bäume, die bereits 2001 ihren Erstbefall erlitten hatten, auf ihre käferbedingten Holzschäden und -erkrankungen hin untersucht, (vgl. Kap. 2.3). Die Bäume ließen sich in insgesamt 18 Abschnitte einteilen, die 119 Bretter ergaben. Die Bretter wurden entsprechend Kap. 2.6 auf ihre käferbedingten Schäden und Erkrankungen hin untersucht.

Über 80 % der Bretter von Buchen mit dreijährigem Käferbefall wiesen weniger als 10 Brutgalerien auf. In dieser Hinsicht vollkommen schadensfrei waren ca. 68 %. Allerdings lag der Anteil an Brettern ohne Käferlöcher bei den einjährig befallenen Buchen mit über 87 % sichtbar höher, so dass ca. 90 % der Schnittware weniger als 10 Brutgalerien je Brett aufwies (Abb. 29). Andererseits wurden auf 4 % der Bretter mit Erstbefall im Jahr 2003 über 100 Bohrlöcher gezählt. Demgegenüber ließen sich auf keinem Brett der seit 2001 befallenen Buchen über 100 Brutgalerien nachweisen (Abb. 29).

35 von 119 Brettern der Buchen mit dreijährigem Käferbefall wiesen im Untersuchungsjahr sichtbare Weißfäule auf. Offensichtlich hatte diese Holzkrankung nahezu 1/3 des Schnittholzes entwertet. So wiesen auch 4 von 11 Brettern des exemplarisch auf seine Verfärbungen hin begutachteten Erdstammstücks in größerem Umfang Weißfäule auf. Das zufällig ausgewählte Stammstück mit dreijährigem Käferbefall wurde im Hochsommer 2003 entsprechend Kap. 2.3 eingeschnitten und entsprechend Kap. 2.4 und 2.5 fotografiert. Die Fläche der Bretter und der Weißfäule wurde entsprechend Kap. 2.6.2 rechnergestützt vermessen.



**Abb. 29:** Kumulative relative Häufigkeiten käfergeschädigter Bretter von ein- bzw. dreijährig käferbefallenen Buchen im Jahr 2003

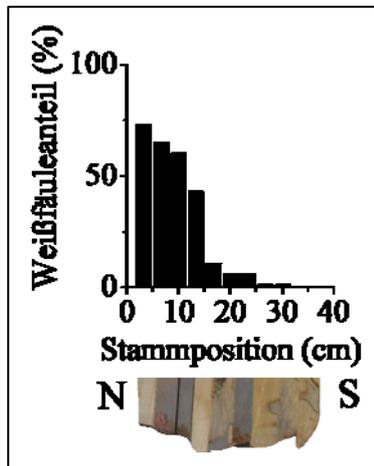
Insgesamt wurden 2003 119 Bretter mit dreijährigem und 156 mit einjährigem Käferbefall begutachtet. Die Bretter mit dreijährigem Befall wiesen 28 und die mit einjährigem 16 unterschiedliche Befallsdichten auf. Die jeweilige Zahl der Bretter bestimmter Schädigung

wurde auf die Gesamtzahl der Bretter des betreffenden Befallsjahres bezogen und die Relativwerte kumuliert.

Die Weißfäule nahm auf den betroffenen Brettern im Mittel  $60,45 \% \pm 12,79 \%$  der Oberfläche ein. Im Vergleich dazu ließ sich auf den Brettern des exemplarisch auf Verfärbungen hin untersuchten Erdstammstücks mit einjährigem Käferbefall im Untersuchungsjahr überhaupt keine Holzfäule erkennen. Damit übereinstimmend waren von den 156 Brettern der Buchen mit einjährigem Käferbefall lediglich zwei sichtbar pilzlich erkrankt. Pilze hatten also erst 1,3 % der Schnittware besiedelt.

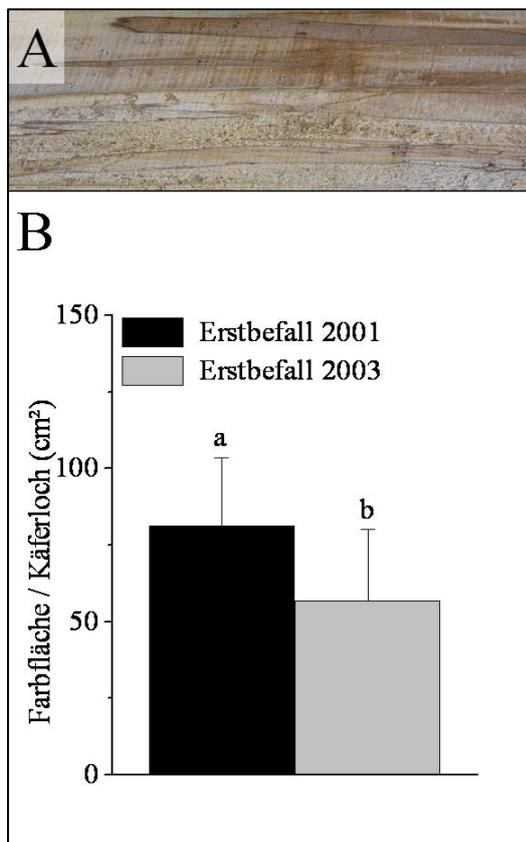
Weißfäule Stammabschnitte ergaben jedoch nicht ausschließlich unverwertbare Bretter. Vielmehr folgte die Weißfäule einem Nord-Süd-Gradienten. Bretter der nördlichen Stammperipherie weißfäuler Stämme waren in der Regel vollständig entwertet, während solche der südlichen Stammperipherie meist optisch gesund erschienen. Dementsprechend waren auch die Bretter der nördlichen Peripherie des exemplarisch untersuchten Erdstammes mit dreijäh-

rigem Käferbefall zwar nahezu vollständig weißfäul, aber bereits im Stammzentrum trat nur noch wenig Fäule auf, während die Bretter der südlichen Stammpерipherie gesund erschienen (Abb. 30). Darüber hinaus waren alle 105 Bretter aus größeren Baumhöhen der dreijährig geschädigten Buchen entsprechend ihrer qualitativen Einschätzung vollständig fäulefrei.



**Abb. 30:** Weißfäuleanteile in einem erkrankten Erdstammstück entlang eines Nord-Süd-Gradienten

Neben der Weißfäule ließen sich auch auf den Brettern der seit drei Jahren befallenen Buchen die käferspezifischen bohrlochumgebenden Verfärbungen zumindest anhand ihrer dunklen Demarkationslinien gegen die umgebende Weißfäule identifizieren (Abb. 31 A). Zu ihrer Charakterisierung wurden jeweils 16 käferbedingte Verfärbungen auf den Brettern der ein- und dreijährig befallenen Buchen zufällig ausgewählt und entsprechend Kap. 2.6.2 rechnergestützt vermessen.

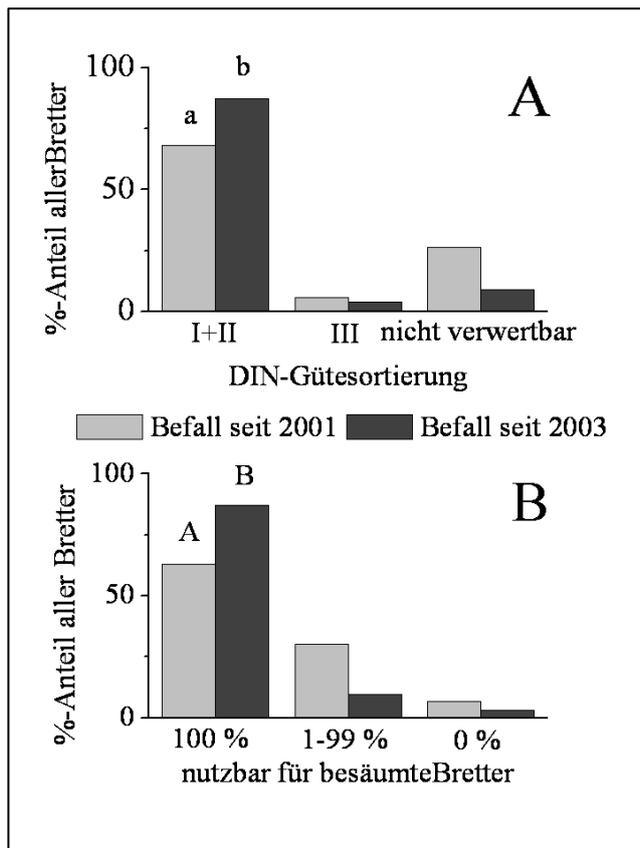


**Abb. 31:** Käferspezifische Holzverfärbung nach drei Jahren Käferbefall (A) und Ausdehnung der Farbflächen im Vergleich zu einjährigem Befall (B).

Die zufällig ausgewählten Stammstücke mit ein- bzw. dreijährigem Käferbefall wurden im Hochsommer 2003 entsprechend Kap. 2.3 eingeschnitten und entsprechend Kap. 2.4 und 2.5 fotografiert. Auf den Brettern beider Stammstücke wurden jeweils 16 käferbedingte Verfärbungen zufällig ausgewählt und entsprechend Kap. 2.6.2 rechnergestützt vermessen.

Die käferbedingten Verfärbungen beider Stichproben waren normalverteilt und wurden in einem t-Test miteinander verglichen. Die unterschiedlichen Indices kennzeichnen einen signifikanten Unterschied ( $p \leq 0,05$ ) zwischen ein- und dreijährigem Käferbefall.

Im Bereich der Holzverfärbungen war die Holzzerstörung meist noch nicht so weit wie in den umgebenden Holzteilen fortgeschritten (Abb. 31 A). Die bohrlochumgebenden Käferverfärbungen nahmen im Untersuchungsjahr bei dreijährigem Befall mit ca.  $81 \text{ cm}^2 \pm 22,2 \text{ cm}^2$  signifikant größere Bereiche als bei einjährigem Befall mit ca.  $56 \text{ cm}^2 \pm 23,4 \text{ cm}^2$  ein (Abb. 31 B).

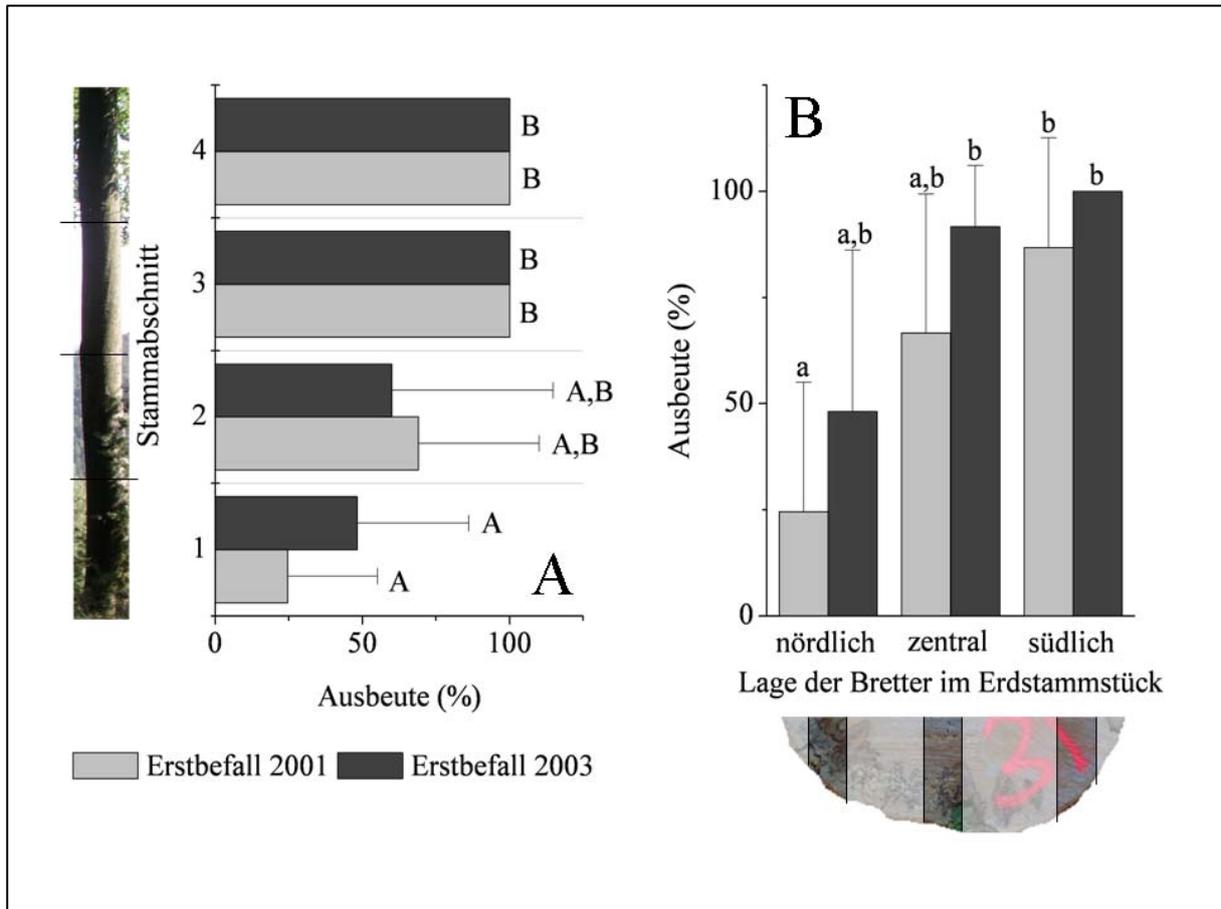


**Abb. 32:** DIN-Gütesortierung (A) und Ausbeute an besäumten schadensfreien Brettern (B) der Brettware von Buchen mit ein- bzw. dreijährigem Käferbefall

Die Messwerte wurden mit Kruskal-Wallis-Tests miteinander verglichen, weil die Ergebnisse nicht normalverteilt waren. Unterschiedliche Indices kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen den Brettern von Buchen mit Käferbefall seit einem bzw. drei Jahren.

Dem Käfer- und Pilzbefall entsprechend ließen sich mit ca. 68 % über 20 % weniger Blockwarebretter von dreijährig käferbefallenen Buchen in die DIN-Güteklassen I und II sortieren, während der Anteil an käferbedingtem Ausschuss um ca. 15 % auf 26 % zunahm (Abb. 32 A). Offensichtlich hat der mehrjährige Käferbefall zu signifikanten Qualitätsschäden des Schnittholzes geführt (Abb. 32 A).

Dies machte sich auch in der möglichen Ausbeute an besäumten Brettern bemerkbar. So sank der Anteil vollständig verwertbarer Bretter im dritten Befallsjahr signifikant um ca. 25 % gegenüber Brettern einjährig befallener Buchen auf 63 % (Abb. 32 B). Die geschädigten Bretter blieben in der Regel jedoch teilweise als besäumtes Schnittholz verwendbar. Selbst nach der längeren Befallszeit wurde kaum über 5 % der Bretter vollständig verworfen (Abb. 32 B).



**Abb. 33:** Vertikale Ausbeuteverteilung der Bretter aus der nördlichen Stammpерipherie (A) und horizontale Ausbeuteverteilung der Erdstamm-bretter (B) von ein- bzw. dreijährig käferbe-fallenen Buchen im Jahr 2003

Insgesamt wurden 36 Bretter aus der nördlichen Stammpерipherie entlang der Stammachse und 33 Erdstamm-bretter untersucht. Alle Ausbeuteverteilungen unterschieden sich signifikant von der Normalverteilung. Deshalb wurden die Ausbeuten anhand von Kruskal-Wallis-Tests miteinander verglichen. Homogene Gruppen wurden mit Student-Newman-Keuls-Prozeduren näherungsweise geschätzt. Unterschiedliche Indices geben Hinweise auf signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) entlang der Stammachse bzw. über den Stammquerschnitt der Erdstamm-stücke hin.

Die Ausbeuteeinbußen verteilten sich auch bei den dreijährig befallenen Buchen nicht gleichmäßig über die Stämme. Vielmehr konzentrierten sie sich wie bei den Buchen mit ein-jährigem Käferbefall auf die nördlichen Bretter der Erdstammstücke (Abb. 33 A, B). Aller-dings ließ sich nach dreijährigem Befall nur noch ein Viertel des Holzes gegenüber etwa der Hälfte bei einjährigem Befall nutzen. Dieser Unterschied war aber nicht signifikant (Abb. 33 A, B).

Die Ausbeuten der nördlichen Bretter höherer Stammteile unterschieden sich nur undeutlich vom maximal Möglichen. So wurden bereits an den nördlichen Brettern der Zweitlängen mit mindestens 69 %iger Ausbeute keine signifikanten Verluste beobachtet. Insbesondere in grös-

seren Stammhöhen eignete sich die gesamte Schnittware zur Herstellung besäumter Bretter. Dies galt selbst nach drei Jahren Käferbefall noch ebenso wie nach einem (Abb. 33 A).

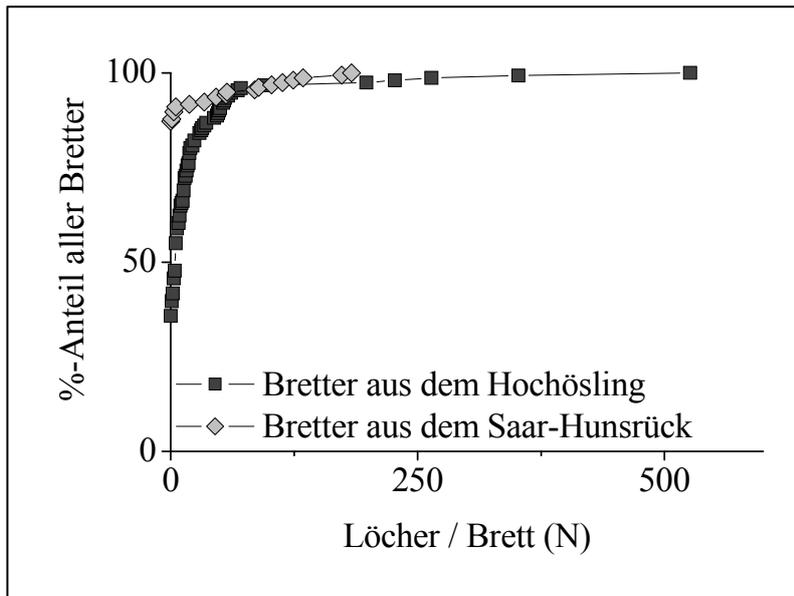
Das gleiche galt für die Horizontalverteilung der Ausbeuten in den Erdstammstücken. Trotz der Weißfäule unterschieden sich die Ausbeuten aus dem Stammzentrum oder den südlichen Stammteilen mit mindestens 70 % nur undeutlich vom maximal Möglichen. Zwischen den ein- und dreijährig befallenen Buchen gab es in dieser Hinsicht keine signifikanten Unterschiede (Abb. 33 B).

### **3.1.5 Käferschäden im Saar-Hunsrück und im Hochösling**

Im Hochsommer 2003 wurden neben den sechs einjährig befallenen Buchen aus dem Saar-Hunsrück sechs weitere Bäume aus dem Hochösling mit ebenfalls einjährigem Käferbefall untersucht, um herauszufinden, inwieweit sich die Schadensmuster regional unterscheiden (vgl. Kap. 2.2). Die Bäume aus dem Hochösling wurden in 17 Abschnitte eingeteilt, die bei etwas geringeren Qualitäten ähnliche Dimensionen wie die Abschnitte aus dem Saar-Hunsrück aufwiesen (vgl. Kap. 2.3). Aus den Stammabschnitten ließen sich 151 Bretter sägen, die entsprechend Kap. 2.6 auf ihre käferbedingten Schäden und Erkrankungen hin untersucht und den 156 Brettern aus dem Saar-Hunsrück gegenübergestellt wurden.

Während fast 90 % der 156 Bretter aus dem Saar-Hunsrück vollständig befallsfrei waren, wiesen lediglich ca. 30 % der 151 Bretter zeitgleich eingeschlagener Buchen aus dem Hochösling mit ebenfalls einjährigem Käferbefall keine Schäden auf (Abb. 34). Auch im Maximalbefall unterschieden sich die Bretter aus dem Hochösling sichtbar von denen aus dem Saar-Hunsrück. So ließen sich auf den luxemburgischen Brettern bis zu über 550 Brutgalerien nachweisen. Die größte Zahl an Brutgalerien auf den Brettern aus der rheinland-pfälzischen Programmregion lag bei unter 200 (Abb. 34).

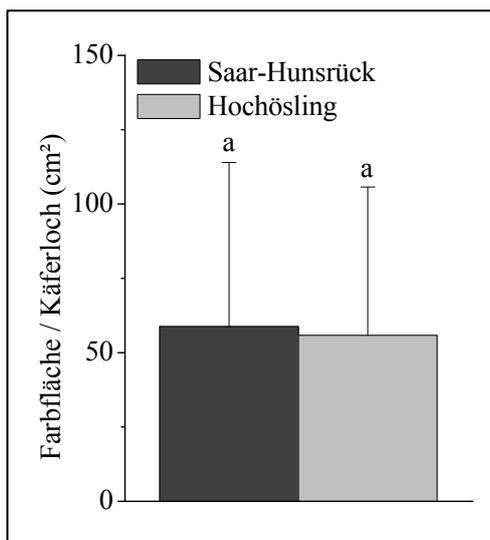
21 der 151 Bretter aus dem Hochösling wiesen sichtbare Weißfäule auf, obwohl sie im Untersuchungsjahr erstmals von Käfern befallen waren. Das stimmt mit der äußeren Einschätzung der Bäume überein, die teilweise mit Rindenpilzen bewachsen waren (vgl. Kap. 2.2). Die einjährig befallenen Buchen aus dem Saar-Hunsrück dagegen waren kaum von Weißfäule betroffen (vgl. Kap. 3.1.1).



**Abb. 34:** Kumulative relative Häufigkeiten käfergeschädigter Bretter von Buchen aus dem Hochösling und dem Saar-Hunsrück

Gemessen an der Zahl der Löcher je Brett traten im Hochösling 44 und im Saar-Hunsrück 16 unterschiedliche Befallsdichten auf. Die jeweilige Zahl der Bretter bestimmter Schädigung wurde auf die Gesamtzahl der Bretter der betreffenden Herkunft bezogen und die Relativwerte kumuliert.

Dementsprechend bezieht sich die Angabe der Stichprobenzahlen auf unterschiedlich stark befallene Bretter.

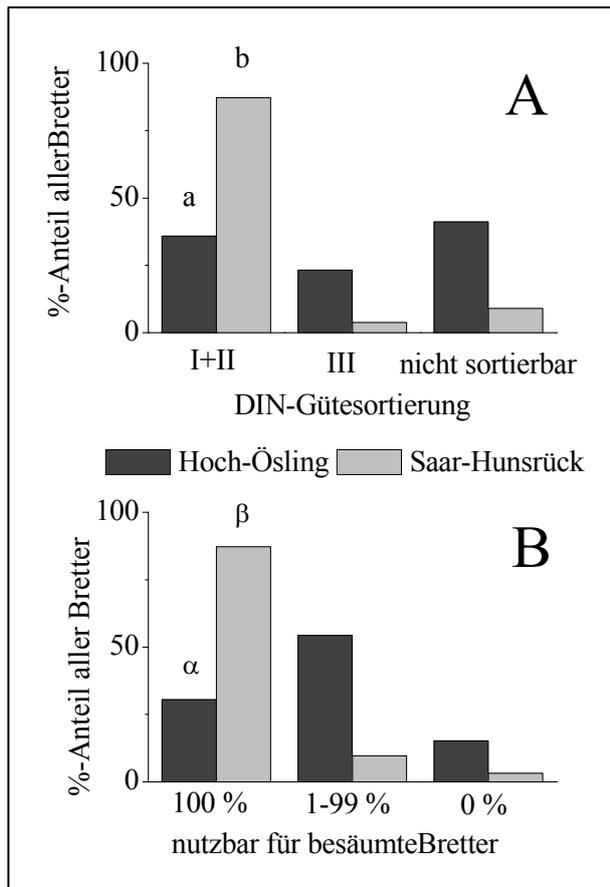


**Abb. 35:** Käferspezifische Holzverfärbung einjährig befallener Buchen aus dem Saar-Hunsrück und dem Hochösling

Die käferbedingten Verfärbungen beider Stichproben waren normalverteilt und wurden in einem t-Test miteinander verglichen. Die einheitlichen Indices weisen darauf hin, dass es keine signifikanten Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen den Verfärbungen im Saar-Hunsrück und im Hochösling gab.

Neben der Weißfäule wurden die Bretter aus dem Hochösling und dem Saar-Hunsrück auf ihre bohrlochumgebenden Verfärbungen hin begutachtet. Zu diesem Zweck wurden zufällig ausgewählten Zweitlängen beider Regionen mit jeweils einjährigem Befall im Hochsommer 2003 entsprechend Kap. 2.3 eingeschnitten und entsprechend Kap. 2.4 und 2.5 fotografiert. Auf den Brettern beider Stammstücke wurden jeweils 16 käferbedingte Verfärbungen zufällig ausgewählt und entsprechend Kap. 2.6.2 rechnergestützt vermessen.

Die beiden Herkünfte unterschieden sich hinsichtlich der käferbedingten bohrlochumgebenden Verfärbungen nicht. So hatten die Käfer im Saar-Hunsrück durchschnittlich  $58,8 \text{ cm}^2 \pm 55,2 \text{ cm}^2$  spindelförmige bläuliche Farbfehler um die Brutgalerien herum verursacht und im Hochösling  $55,9 \text{ cm}^2 \pm 49,9 \text{ cm}^2$  (Abb. 35).

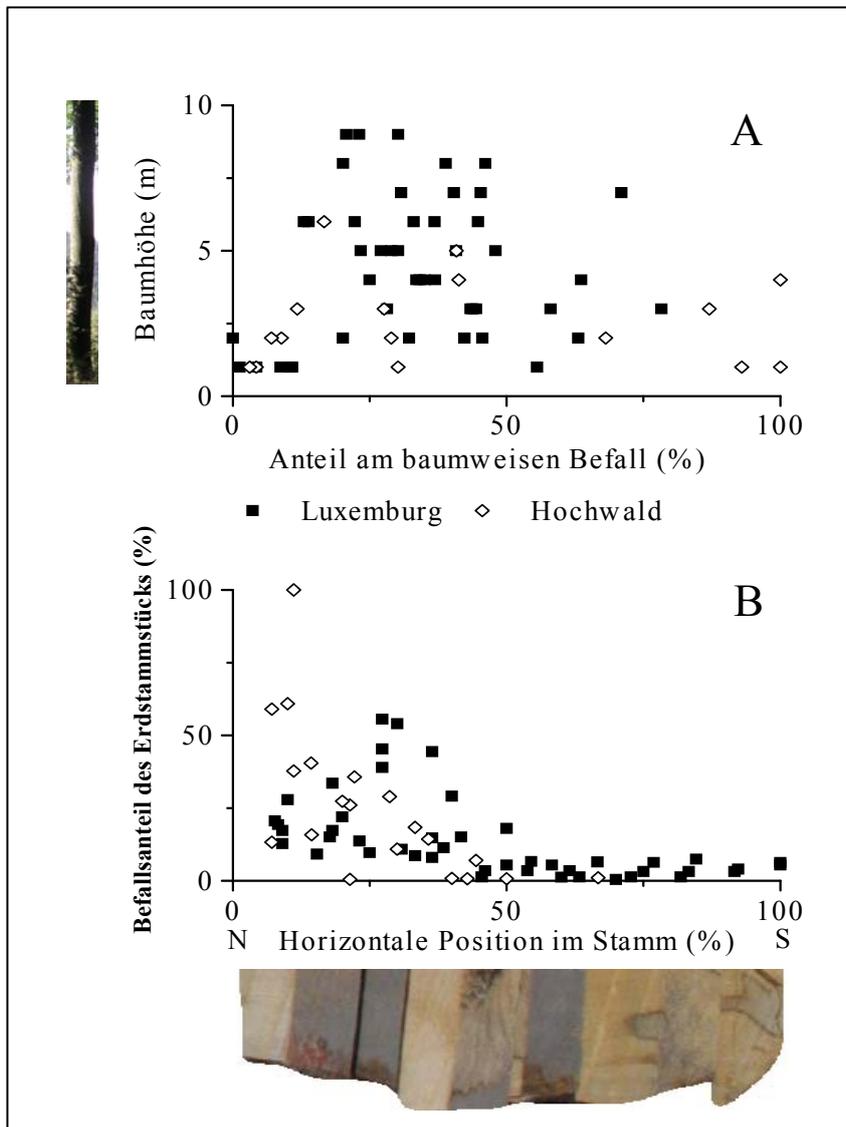


**Abb. 36:** DIN-Gütesortierung (A) und Ausbeute an besäumten schadensfreien Brettern (B) von Buchen aus dem Hochösling und dem Saar-Hunsrück

Die Messwerte wurden mit Kruskal-Wallis-Tests miteinander verglichen, weil die Ergebnisse nicht normalverteilt waren. Unterschiedliche Indices kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zwischen den Brettern von Buchen aus dem Hochösling und dem Saar-Hunsrück.

So haben alleine die Zahl der Käferlöcher und der Weißfäuleeinfluss dafür gesorgt, dass sich mit 35 % der Bretter aus den Hochösling-Buchen gegenüber fast 90 % aus den Saar-Hunsrückbuchen signifikant weniger in die DIN-Güteklassen I und II sortieren ließen. Außerdem ließen sich aus dem gleichen Grund über 40 % der Bretter der luxemburgischen Buchen überhaupt nicht gütesortieren. Der gleiche Wert lag für die Bretter aus der rheinland-pfälzischen Teilregion bei ca. 10 % (Abb. 36 A). Offensichtlich haben die Buchenschäden die Schnittholzqualität in der luxemburgischen Teilregion signifikant stärker beeinträchtigt als in der rheinland-pfälzischen (Abb. 36 A).

Dies machte sich auch in der möglichen Ausbeute an besäumten Brettern bemerkbar. So lag der Anteil vollständig verwertbarer Bretter im Hochösling mit ca. 30 % bei lediglich 1/3 desjenigen im Saar-Hunsrück. Auf der anderen Seite war der Anteil unverwertbarer Bretter im Hochösling mit über 15 % fünfmal so hoch wie im Saar-Hunsrück. Dementsprechend war die Ausbeute an besäumten Brettern im Hochösling signifikant geringer als im Saar-Hunsrück (Abb. 36 B).

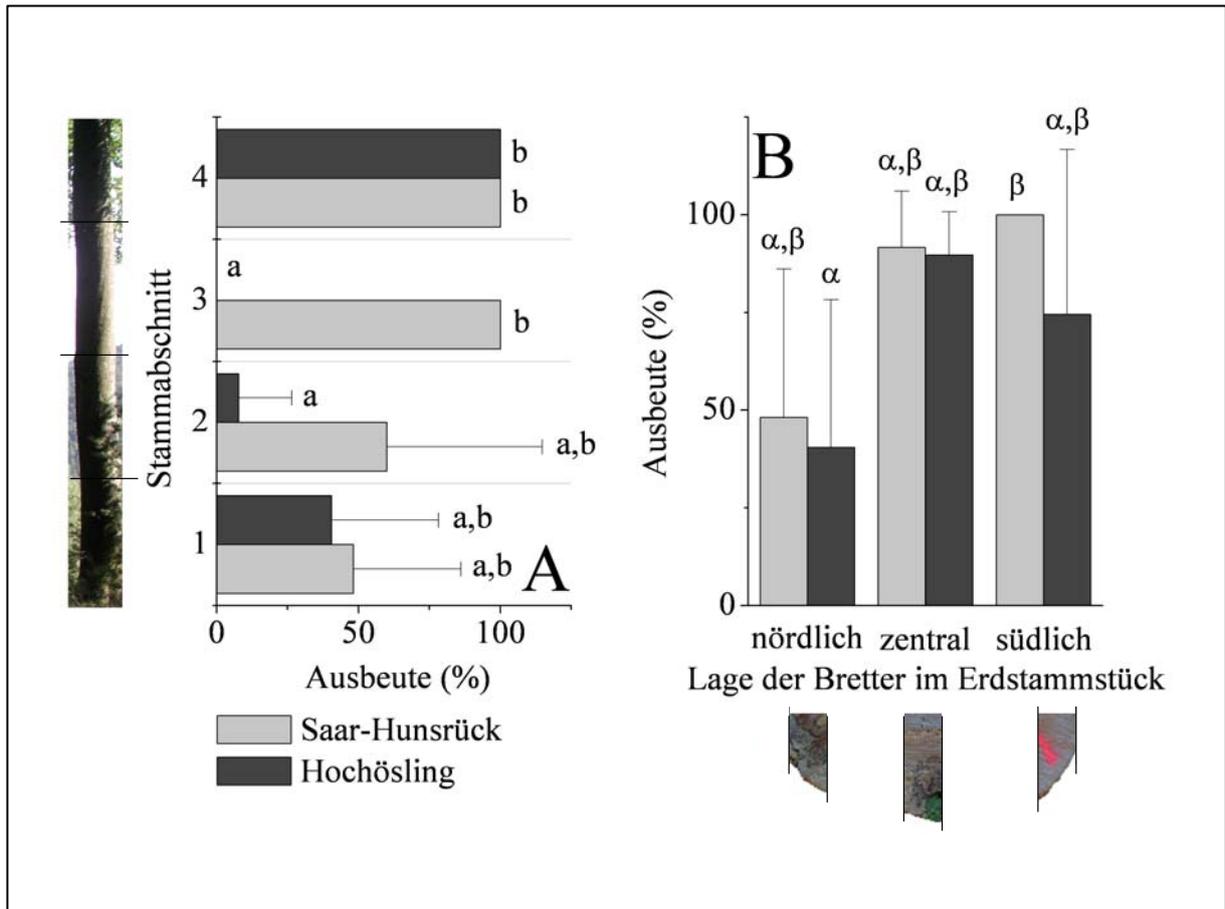


**Abb. 37:** Baumweise Höhenverteilung (A) und Horizontalverteilung (B) der Anteile am Käferbefall auf den Brettern von käferbefallenen Buchen aus dem Saar-Hunsrück und dem Hochösling

Die Gesamtzahl der Käferlöcher wurde baumweise addiert. Auf diese Summe wurden die brettweisen Käferlochzahlen als Prozentwerte bezogen.

Die insgesamt geringere Ausbeute an verwertbarem Schnittholz ließ sich damit in Verbindung bringen, dass sich die Käfer im Hochösling weniger

auf bestimmte Stammteile konzentrierten, sondern sich gleichmäßiger über den gesamten Stamm verteilen. So beschränkte sich der Käferbefall im Saar-Hunsrück weitgehend auf die unteren fünf Meter, während Bretter von Stammteilen weiter oben nur vereinzelt Befallsspuren aufwiesen. Demgegenüber trugen bei den Hochösling-Buchen selbst die Bretter aus neun Meter Höhe noch bis zu einem Drittel des gesamten Käferbefalls entlang der Stammachse (Abb. 37 A). Offensichtlich gab es im Hochösling keinen senkrechten Befallsgradienten wie im Saar-Hunsrück. Vielmehr muss man anders als in der rheinland-pfälzischen Vergleichsregion nicht nur bei den Erdstammstücken, sondern auch bei den höhergelegenen Stammstücken käfergeschädigter Buchen mit merklichen technischen und ästhetischen Einbußen rechnen.



**Abb. 38:** Vertikale Ausbeuteverteilung schadensfreier Bretter aus der nördlichen Stammperipherie (A) und horizontale Ausbeuteverteilung der Erdstamm Bretter (B) von Buchen aus dem Saar-Hunsrück und dem Hochösling

Die nördlichsten Bretter aller Stammabschnitte (A) bzw. die jeweils nördlichsten, zentralen und südlichsten Bretter der Erdstammstücke (B) von jeweils sechs einjährig befallenen Buchen aus dem Saar-Hunsrück und dem Hochösling wurden auf ihre Ausbeute an besäumten schadensfreien Brettern hin begutachtet. Die Daten waren nicht normalverteilt und wurden deshalb mittels Kruskal-Wallis-Tests ausgewertet. Homogene Gruppen wurden anhand der Scheffé-Prozedur geschätzt. Unterschiedliche Indices kennzeichnen signifikant unterschiedliche Ausbeuten an Brettern der beiden Herkünfte und der unterschiedlichen Stammpositionen.

Die Käfer haben im Saar-Hunsrück vor allem die Bretter aus den nördlich exponierten Stammteilen befallen. So finden sich auf den nördlichsten beiden Brettern oftmals sämtliche Schäden, während alle anderen Bretter dieser Stammteile keine Käferspuren aufweisen (Abb. 37 B). Demgegenüber ließen sich selbst den südlichsten Brettern der Hochösling-Buchen regelmäßig noch merkliche Anteile am gesamten Käferbefall zuordnen (Abb. 37 B). Offensichtlich haben die Käfer in der luxemburgischen Region keine Exposition präferiert.

Dies führte dazu, dass die Ausbeute selbst der Bretter aus der südlichen Peripherie von Erdstammstücken aus dem Hochösling zum Teil beschränkt war. Signifikante Ausbeuteeinbußen traten dennoch nur bei den Brettern der nördlichen Stammperipherie auf. Solche Einbußen

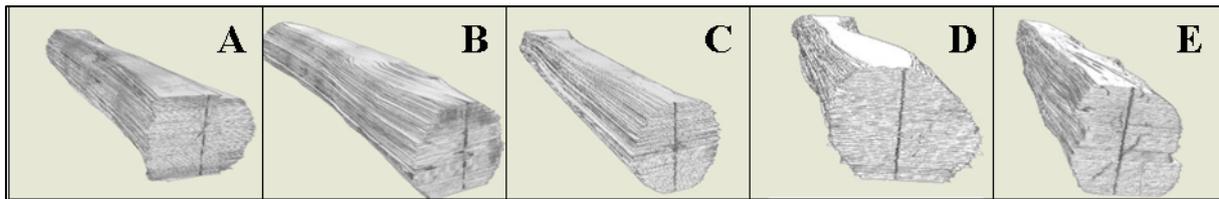
waren bei den Erdstammstücken aus dem Saar-Hunsrück nicht signifikant, während die Bretter der südlich orientierten Stammteile sogar die volle Ausbeute erlaubten (Abb. 38 B).

Der Käferbefall rief im Hochösling gegenüber dem Saar-Hunsrück darüber hinaus eine deutliche Verschiebung der Ausbeute entlang der Stammachse hervor. So erlitten im Hochösling nicht die nördlichen Bretter der Erdstammstücke die größten Einbußen. Vielmehr war die Ausbeute auch bei den Zweit- und selbst bei den Drittlängen signifikant eingeschränkt (Abb. 38 A). Vor allem die nördlichen Bretter der untersuchten Drittlängen ließen überhaupt keine Verwendung als Schnittholz mehr zu (Abb. 38 A). Demgegenüber hat der Käferbefall bei den nördlichen Brettern der Saar-Hunsrückbuchen noch nicht einmal in den Erdstammstücken oder Zweitlängen zu signifikanten Ausbeuteeinbußen geführt (Abb. 38 A).

## **3.2 Technische Einschnittsoptimierung**

Um zu untersuchen, was die Stammausrichtung auf der Säge für die technische Schnittholzausbeute bedeutet, wurden fünf repräsentative Stammabschnitte auf einer Mobilsäge zu 2 mm-Furnieren mit jeweils 2 mm-Schnittfuge gesägt, unter standardisierten Bedingungen vollständig fotografiert und rechnergestützt zu 3D-Modellen wieder zusammengesetzt (Abb. 39 A-E, vgl. Kap. 2.3, 2.4, 2.5). Die 3D-Modelle repräsentieren exemplarisch Erdstammstücke und Zweitlängen aus dem Saar-Hunsrück und dem Hochösling mit ein- und mehrjährigem Käferbefall, die im Früh- oder im Hochsommer geerntet worden sind (vgl. Tab. 17). Sie stimmen hinsichtlich ihrer Dimensionen, Qualitäten und dem Käferbefall mit den Blockwarestämmen überein (vgl. Tab. 11, 12, Abb. 6 A, B). Im Gegensatz zu den Blockwarestämmen wies jedoch jeder Furnierabschnitt Käferbefall auf. Dementsprechend beziehen sich die Ergebnisse der Einschnittsoptimierung ausschließlich auf die Verarbeitung solcher Stammabschnitte, die Käferbefall aufweisen.

In ihrem äußeren Erscheinungsbild zeichnen die 3D-Modelle die Stammformen in allen drei Dimensionen nach. Lediglich die Schwarten mit weniger als 10 cm Deckbreite und die Wurzelanläufe gingen nicht in die Modelle ein (Abb. 39 A-E). Die fünf 3D-Modelle repräsentierten im Mittel je ca. 0,37 m<sup>3</sup> Schnittholz, so dass sich insgesamt etwa 1,84 m<sup>3</sup> Schnittholz virtuell darstellen ließen (Tab. 18). Das Holz hätte sich zu etwa zwei Dritteln als rotkernige Gestellware und zu etwa einem Drittel als weiße Seitenware geeignet.



**Abb. 39:** Äußeres Erscheinungsbild der fünf 3D-Modelle zur Untersuchung der Einschnittsoptimierung

Die Stämme sind in Tab. 17 charakterisiert.

| Abbildung | Herkunft       | Stammabschnitt | Befall     | Erntezeitpunkt |
|-----------|----------------|----------------|------------|----------------|
| 39 A      | Saar-Hunsrück  | Erdstammstück  | einjährig  | Frühsommer     |
| 39 B      | Saar- Hunsrück | Zweitlänge     | einjährig  | Frühsommer     |
| 39 C      | Saar- Hunsrück | Erdstammstück  | einjährig  | Hochsommer     |
| 39 D      | Saar-Hunsrück  | Erdstammstück  | dreijährig | Hochsommer     |
| 39 E      | Hochösling     | Zweitlänge     | einjährig  | Hochsommer     |

**Tab. 17:** Charakteristika der Stammabschnitte für die fünf 3D-Modelle der Abb. 39 A-E

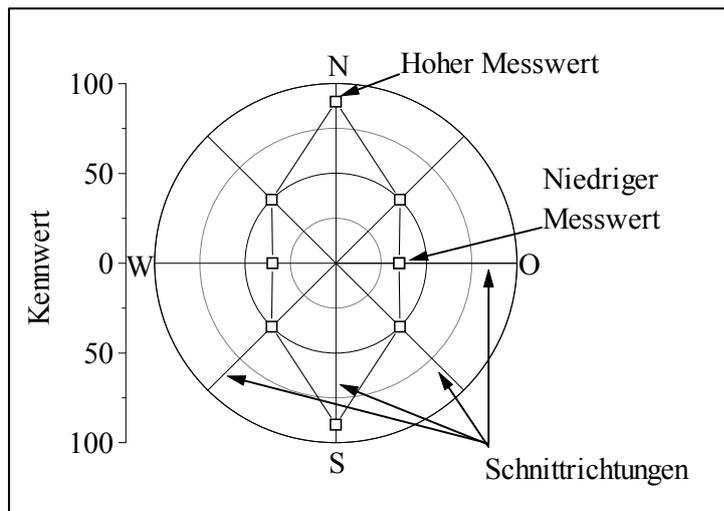
Die mengenmäßige Ausbeute ließ keinen Schnittrichtungseinfluss erkennen. Vielmehr variierten die Schnittholzvolumina der verschiedenen Einschnittsmuster bei keinem Stammabschnitt um mehr als 0,06 m<sup>3</sup> (Tab. 18). Insofern dürften sich die Ausbeuteunterschiede zwischen unterschiedlichen Schnittrichtungen auf die räumlichen Verteilungsmuster des Käferbefalls und nicht auf die Stammform zurückführen lassen.

Vor diesem Hintergrund wurden Schnitte in Nord-Süd, Ost-West, Nordost-Südwest und Nordwest-Südost-Richtung entlang der Längsachse der 3D-Modelle so angefertigt, dass sie den Einschnitt der Stammabschnitte zu 32 mm-Blockware darstellten (vgl. Kap. 2.5.2, Abb. 11). Alle Schnitte wurden auf ihre technischen Ausbeuten an schadensfreier Blockware und besäumten Brettern (Kap. 2.7.1) sowie auf ihre wirtschaftlichen Ausbeuten hin untersucht (Kap. 2.7.2).

| Baum - Nr.        | Schnittrichtung                             |   |   |   |
|-------------------|---|---|---|---|
|                   | Nord-Süd                                    | Nordost-Südwest                             | Nordwest-Südost                             | Ost-West                                    |
| 18.1              | 0,25 m <sup>3</sup>                         | 0,24 m <sup>3</sup>                         | 0,25 m <sup>3</sup>                         | 0,26 m <sup>3</sup>                         |
| 22.1              | 0,27 m <sup>3</sup>                         | 0,23 m <sup>3</sup>                         | 0,25 m <sup>3</sup>                         | 0,29 m <sup>3</sup>                         |
| 3.1               | 0,50 m <sup>3</sup>                         | 0,53 m <sup>3</sup>                         | 0,49 m <sup>3</sup>                         | 0,55 m <sup>3</sup>                         |
| 3.2               | 0,42 m <sup>3</sup>                         | 0,44 m <sup>3</sup>                         | 0,45 m <sup>3</sup>                         | 0,48 m <sup>3</sup>                         |
| L 4.2             | 0,33 m <sup>3</sup>                         | 0,36 m <sup>3</sup>                         | 0,37 m <sup>3</sup>                         | 0,38 m <sup>3</sup>                         |
| <b>Mittelwert</b> | <b>0,35 m<sup>3</sup> <sup>a</sup> (30)</b> | <b>0,36 m<sup>3</sup> <sup>a</sup> (36)</b> | <b>0,36 m<sup>3</sup> <sup>a</sup> (31)</b> | <b>0,39 m<sup>3</sup> <sup>a</sup> (31)</b> |

**Tab. 18:** Modellhafte Gesamtausbeute der untersuchten 3D-Modelle nach unterschiedlichen Schnittrichtungen

Die Werte in Klammern geben die Variationskoeffizienten zwischen den Stämmen an. Die Messwerte waren normalverteilt. Deshalb wurden sie anhand einer einfaktoriellen Varianzanalyse miteinander verglichen. Die einheitlichen Indizes in der Mittelwertszeile machen deutlich, dass sich die Gesamtausbeuten nicht nach der Himmelsrichtung unterscheiden.



**Abb. 40:** Exemplarische Polkarte zur Darstellung des Schnittrichtungseinflusses auf die Kennwerte der technischen und wirtschaftlichen Ausbeute

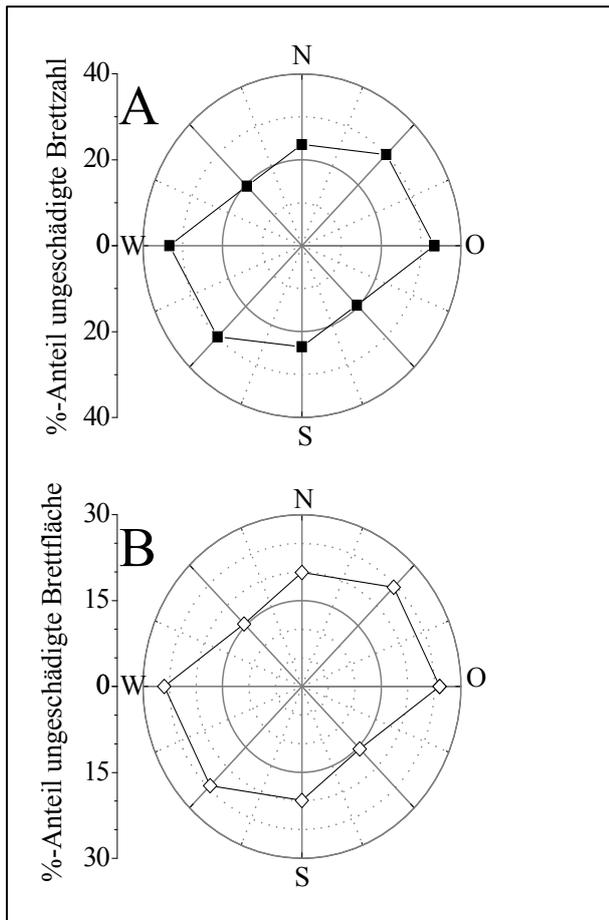
Die Kennwertskalierung hat rein exemplarischen Charakter. Deshalb wurde auf die Angabe einer Einheit verzichtet.

Die Ergebnisse werden meist als Polkarten präsentiert. Diese

Darstellungsform macht die Untersuchungsergebnisse auf strahlenförmigen Abszissen um einen Ursprung herum deutlich, während die Schnittrichtungen als Ordinate kreisförmig um den Ursprung verlaufen (Abb. 40). Eine Kennwertausprägung ist umso größer, je weiter sie sich vom Ursprung entfernt, während der Ursprung dem Abszissenwert 0 entspricht (Abb. 40). Die Messergebnisse der verschiedenen Schnittrichtungen wurden miteinander zu Parallelogrammen verbunden, die im Ursprung gespiegelt sind. Diese Parallelogramme stellen keine Stammformen dar, sondern machen deutlich, wie sich ein Kennwert von Schnittrichtung zu Schnittrichtung verändert (Abb. 40).

### 3.2.1 Schnittrichtungen und technische Ausbeute

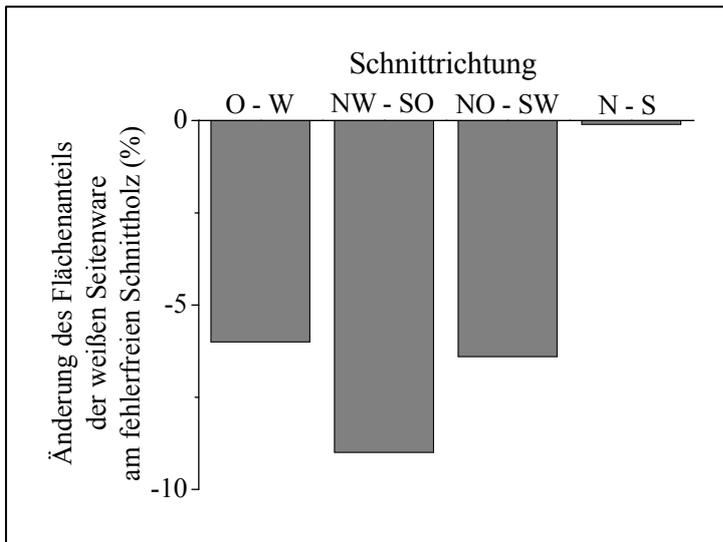
Die technischen Ausbeuten wurden geschätzt, indem die ungeschädigten und gesamten Brettzahlen bzw. -flächen schnittrichtungsweise über alle fünf Modellabschnitte aufsummiert wurden. Die %-Anteile wurden aus den Summen abgeleitet (vgl. Kap. 2.7.1).



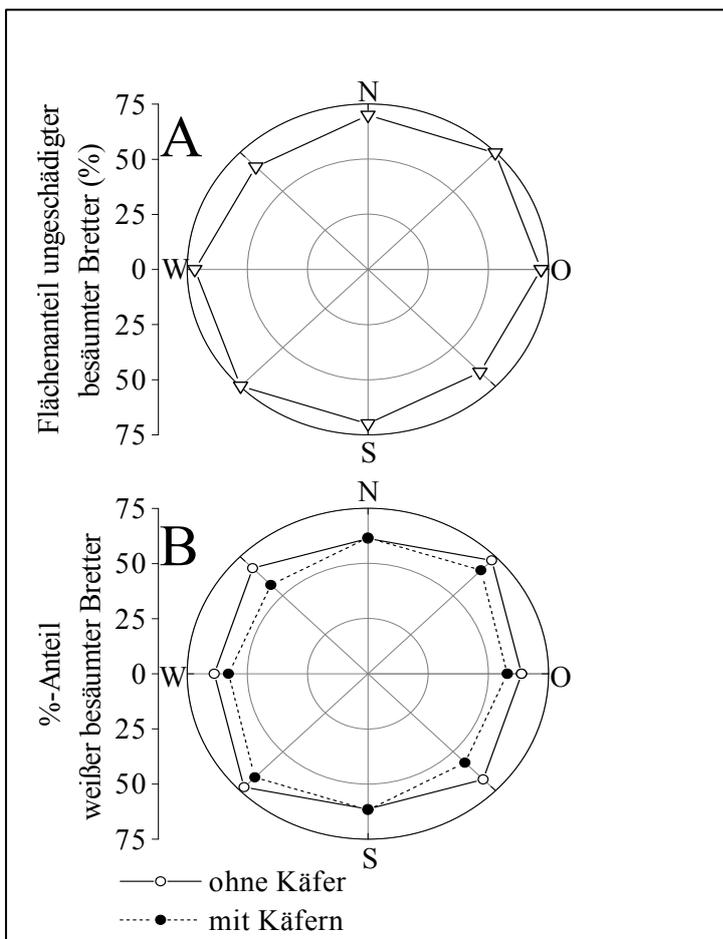
**Abb. 41:** %-Anteil ungeschädigter Bretter an der Gesamtzahl (A) und der Gesamtfläche (B) der Schnittware aus Käferbuchen bei verschiedenen Schnittrichtungen

Je nach Schnittrichtung waren 20-33 %, im Durchschnitt 25,1 % aller Bretter und 15-26 %, im Durchschnitt 21,5 % der Brettflächen frei von Käferschäden (Abb. 41 A, B). Als vorteilhaft für die Ausbeute an fehlerfreien Brettern stellten sich die Ost-West- und die Nordost-Südwest-Schnittrichtungen dar. So steigerten diese Richtungen die zahlenmäßige Ausbeute fehlerfreier Bretter gegenüber den anderen Schnittrichtungen um fast 70 % und die flächenmäßige Ausbeute um ca. 43 % (Abb. 41 A, B).

Für den Schnittholzwert eines Buchenstammes ist ausschlaggebend, wie hoch der Anteil an weißen Brettern ohne Käferschäden ist. Deshalb wurde die Ausbeute an weißer Blockware ohne Käferschäden zur gesamten schadfreien Blockwareausbeute der fünf Stammabschnitte auf der Basis der erzeugten Brettflächen ins Verhältnis gesetzt. Der Flächenbezug entspricht zum einen der gängigen Praxis beim Schnittholzaufmaß. Zum anderen waren alle Bretter konstant 32 mm stark, so dass die volumenbezogenen Ergebnisse nicht von den flächenbezogenen abweichen.



**Abb. 42:** Änderung des Flächenanteils weißer fehlerfreier Bretter an der ungeschädigten Blockware bei verschiedenen Schnittrichtungen



**Abb. 43:** Ausbeute an besäumten Brettern aus Käferbuchen (A) und Anteile an weißen Brettern (B) bei verschiedenen Schnittrichtungen

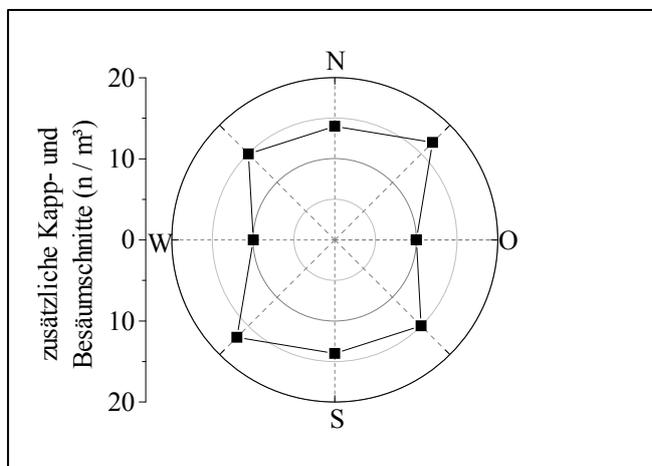
Der Anteil der weißen Bretter an den Brettern ohne Käferschäden lag bei den untersuchten Stämmen bei ca. 66,6 % ± 4,8 %. Während er bei Nord-Süd-gerichtetem Einschnitt kaum vom Käferbefall beeinträchtigt wurde, waren die weißen Seitenwarebretter bei allen anderen Schnittrichtungen offenbar stärker als die rotker-nige Gestellware durch den Käferbefall betroffen. Ihr Anteil an der Gesamtausbeute nahm um sechs bis neun Prozent ab (Abb. 42).

Durch zusätzliche Besäum- und Kappschnitte hätte sich aus den meisten Brettern fehlerfreies besäumtes Schnittholz gewinnen lassen. So wäre es unabhängig von der Ausrichtung der Stämme beim Gattereinschnitt gelungen, das Holz der Käferbuchen zu ca. 71 % ± 3,7 % als ungeschädigte besäumte Bretter in Wert zu setzen (Abb. 43 A). Lediglich knapp 30 % des Holzes wären nach dem Zuschnitt als schadhaft ausgeschieden.

Die besäumten Bretter wurden auf ihren Rotkern hin begut-

achtet. Darauf aufbauend wurden die Anteile weißer besäumter Bretter an der Gesamtausbeute besäumter Bretter auf Flächenbasis berechnet. Dabei wurde unterstellt, dass das Holz frei von Käferschäden sei. Unter dieser Annahme hätten die fünf Stammabschnitte im Mittel der untersuchten Schnittrichtungen einen Anteil von  $66,4 \% \pm 5,0 \%$  an weißen besäumten Brettern gehabt. Die Käferschäden haben das Holz so entwertet, dass nur  $60,8 \% \pm 4,3 \%$  weiße besäumte Bretter aus den fünf Stammabschnitten hätten produziert werden können. Die Schnittrichtungen unterschieden sich nicht systematisch in ihren Ausbeuteanteilen an weißen Brettern (Abb. 43 B).

Um zu untersuchen, ob die Ausrichtung der Stämme auf der Gattersäge beim Ersteinschnitt den Aufwand für das Besäumen beeinflusst, wurden die zusätzlichen Besäum- und Kappschnitte zur Trennung von käferbefallenen und ungeschädigten Bereichen für jedes Brett gezählt und auf das Produktvolumen bezogen. Der technische Aufwand für zusätzliche Kapp- und Besäumschnitte hängt dieser Untersuchung zufolge von der Ausrichtung der Stämme auf der Gattersäge ab. So erfordert Ost-West-ingeschnittenes Holz ca. ein Drittel weniger zusätzliche Kapp- und Besäumschnitte als senkrecht dazu gesägtes (Abb. 44). Aber selbst in dieser Schnittrichtung reichen ca. 13 Kapp- und Besäumschnitte je  $\text{m}^3$  Blockware, um das



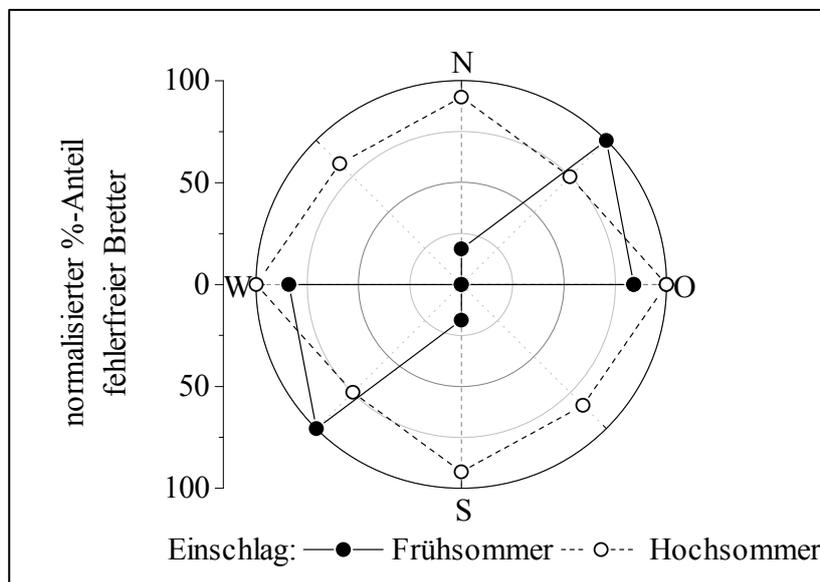
fehlerhafte Schnittholz vom fehlerfreien zu trennen.

**Abb. 44:** Zusätzliche Kapp- und Besäumschnitte zur Herstellung von fehlerfreien besäumten Brettern aus Käferholz bei verschiedenen Richtungen des Gatterschnitts

### 3.2.2 Ausbeuteoptimierung unter verschiedenen Bedingungen

Die 3D-Modelle von fünf repräsentativen Stammabschnitten aus Früh- bzw. Hochsommerein-schlag, mit drei- bzw. einjährigem Befall, aus Erdstammstücken bzw. Zweitlängen und aus dem Saar-Hunsrück und aus Luxemburg lieferten Hinweise, wie verschiedene Einflüsse die fehlerfreien Ausbeuteanteile bei den 4 Schnittrichtungen veränderten. Zu diesem Zweck wurde die Herstellung der Schnittware in unterschiedlichen Schnittrichtungen simuliert (vgl. Kap. 2.7.1). Die technischen Ausbeuten wurden gruppenweise aufsummiert. Die fehlerfreien Brettzahlen wurden auf die Ausbeute der vorteilhaftesten Schnittrichtung bezogen. Weil die fünf Stammabschnitte lediglich exemplarische Einzelfallbeschreibungen zulassen, wurde auf die statistische Auswertung verzichtet.

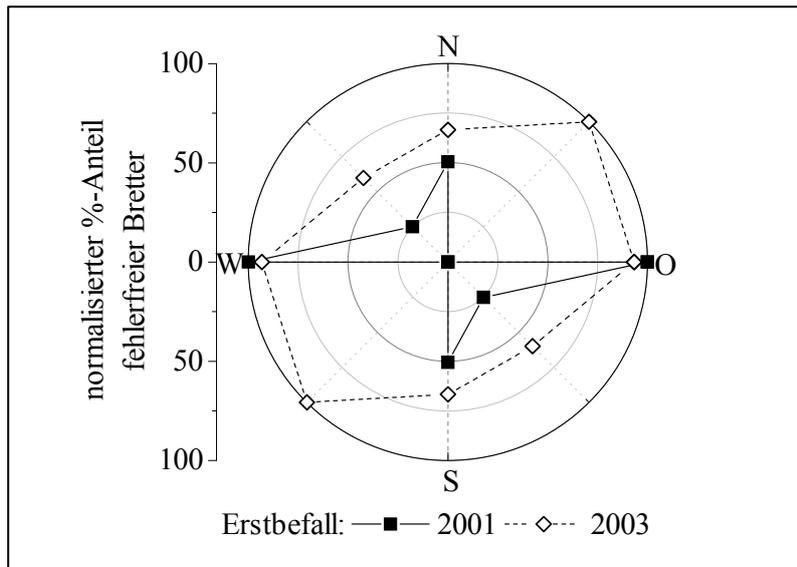
Nur im Frühsommer ließ sich der Ausbeuteanteil an fehlerfreier Blockware steigern, wenn die Schnittfuge von Ost/Nordost nach West/Südwest gerichtet war. Im Gegensatz dazu war der Ausbeuteanteil fehlerfreier Blockware im Hochsommer unabhängig von der Schnittrichtung immer etwa gleich hoch (Abb. 45).



**Abb. 45:** Normalisierte %-Anteile fehlerfreier Blockware bei verschiedenen Schnittrichtungen im Früh- bzw. Hochsommer

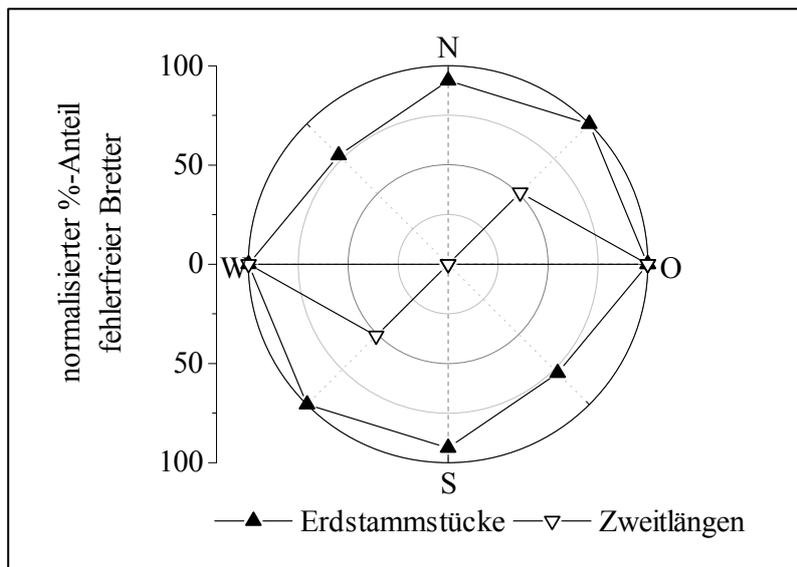
Messwerte im jeweiligen Ursprung der Polkarten machen deutlich, dass es in der betreffenden Schnittrichtung keine Bretter ohne Käferschäden gab.

Die Bäume mit einjährigem Befall erlaubten im Allgemeinen, die Ausbeute zu verbessern, wenn die Schnittrichtung von Ost/Nordost nach West/Südwest verlief. Selbst nach dreijährigem Befall deutete sich dieser Vorteil an. Allerdings ergab die Nordost-Südwest-Schnittrichtung keine fehlerfreien Bretter mehr (Abb. 46).



**Abb. 46:** Normalisierte %-Anteile fehlerfreier Blockware bei verschiedenen Schnittrichtungen von ein- bzw. dreijährig befallenen Buchen

Messwerte im jeweiligen Ursprung der Polkarten machen deutlich, dass es in der betreffenden Schnittrichtung keine Bretter ohne Käferschäden gab.



**Abb. 47:** Normalisierte %-Anteile fehlerfreier Blockware bei verschiedenen Schnittrichtungen durch die Erdstammstücke und Zweitlängen

Messwerte im jeweiligen Ursprung der Polkarten machen deutlich, dass es in der betreffenden Schnittrichtung keine Bretter ohne Käferschäden gab.

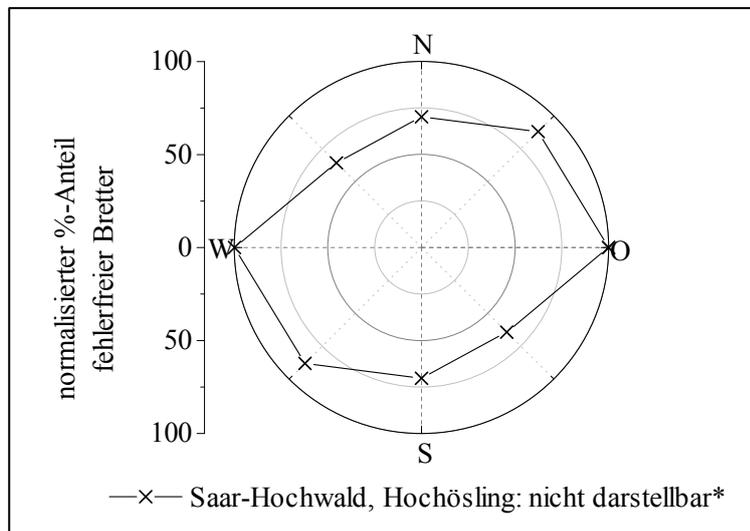
Für den Einschnitt der Erdstammstücke scheint

die Schnittrichtung keine große Bedeutung zu haben. Demgegenüber lässt sich aus den Zweitlängen vor allem dann fehlerfreie Blockware gewinnen, wenn die Schnittfuge von Ost nach West verläuft (Abb. 47).

Die Buchen im Saar-Hunsrück ließen sich anscheinend etwas besser verwerten, wenn die Schnittrichtung von Ost/Nordost nach West/Südwest verlief (Abb. 48). Das Stammstück aus Luxemburg ergab in keiner Richtung fehlerfreie Blockware.

Die kritische Einzelfallwürdigung gibt Hinweise darauf, dass sich die technischen Ausbeuten an fehlerfreier Blockware am ehesten bei Verwendung von Zweitlängen aus dem Hunsrück durch die Wahl der Schnittrichtung verbessern lassen könnten, wenn sie bereits im Frühjahr

geschlagen wurden. Für solche Stämme dürften Schnittrichtungen von Nordost bis Ost nach Südwest bis West am günstigsten sein.



**Abb. 48:** Normalisierte %-Anteile fehlerfreier Blockware bei verschiedenen Schnittrichtungen durch Buchenstämme aus dem Saar-Hunsrück

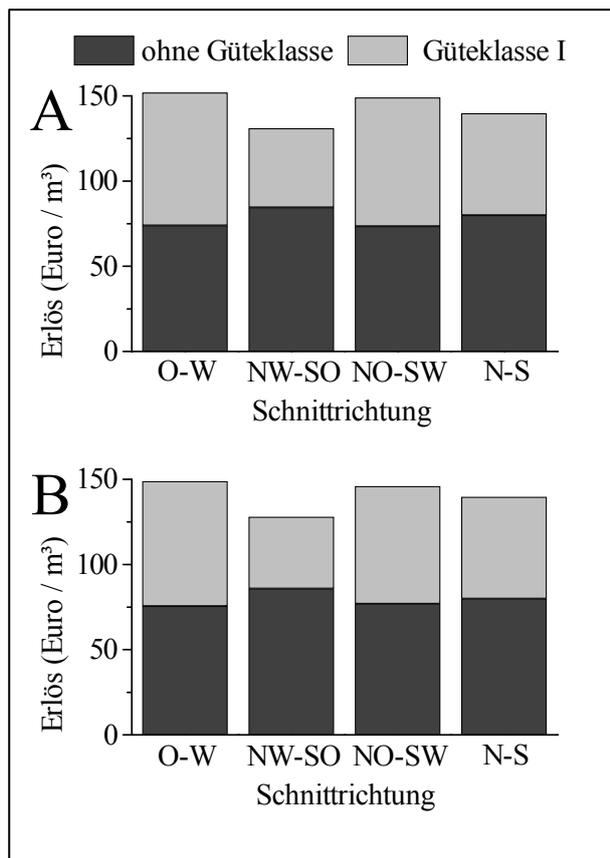
\* Für den Baum aus dem Hochösling ließ sich keine vorteilhafte Schnittrichtung definieren, weil es dort keine fehlerfreien Bretter gab. Deshalb verzichtet der vorliegende Bericht auf eine grafische Darstellung.

### 3.3 Wirtschaftliche Ausbeute verschiedener Einschnittsmuster

Für die exemplarische Erlösberechnung standen die Simulationen von 1,84 m<sup>3</sup> Blockware aus fünf unterschiedlichen Stammabschnitten zur Verfügung (vgl. Tab. 18). Die Stammabschnitte repräsentierten exemplarisch Erdstammstücke und Zweitlängen aus dem Saar-Hunsrück und dem Hochösling mit ein- und mehrjährigem Käferbefall, die im Früh- oder im Hochsommer geerntet worden sind (vgl. Tab. 17). Sie stimmten hinsichtlich ihrer Dimensionen, Qualitäten und dem Käferbefall mit der Gesamtheit der untersuchten Stämme überein (vgl. Tab. 11, 12, Abb. 6 A, B) Im Gegensatz zur Grundgesamtheit wies jedoch jeder Stammabschnitt für die Simulation Käferbefall auf. Dementsprechend beziehen sich die Ergebnisse der Einschnittsoptimierung ausschließlich auf die Verarbeitung solcher Stammabschnitte, die Käferbefall aufweisen.

Die Stammabschnitte wurden virtuell in unterschiedlichen Schnittrichtungen zu 32 mm-Blockware aufgetrennt (vgl. Kap. 2.7.1). Die Blockware wurde schnittrichtungsweise auf ihren Rotkern und/oder Käferbefall hin untersucht. Bretter ohne Rotkern und/oder käfertypische Verfärbungen wurden der DIN 68 369-Güteklasse I zugeordnet. Für die anderen Bretter wurde keine Güteklasse nach DIN 68 369 unterstellt.

Die Erlöse hätten für die Blockware bei 300,- € / m<sup>3</sup> gelegen, wenn das Holz frei von Rotkern und Käferschäden gewesen wäre (vgl. Kap. 2.7.2). Sie schwankten mit der Wahl der Schnitt- richtung um 4,6 % um diesen Mittelwert. Die Blockware aus käfergeschädigten Buchen war durchschnittlich zu lediglich 21,5 % fehlerfrei (vgl. 3.2.1). Für die restliche Blockware wurde der m<sup>3</sup>-Preis wie in der Praxis üblich auf 100,- € verringert (vgl. Kap. 2.7.2). Dementspre- chend wäre der Erlös für die Blockware auf 143,- € / m<sup>3</sup> geschrumpft, wenn käfergeschädigte

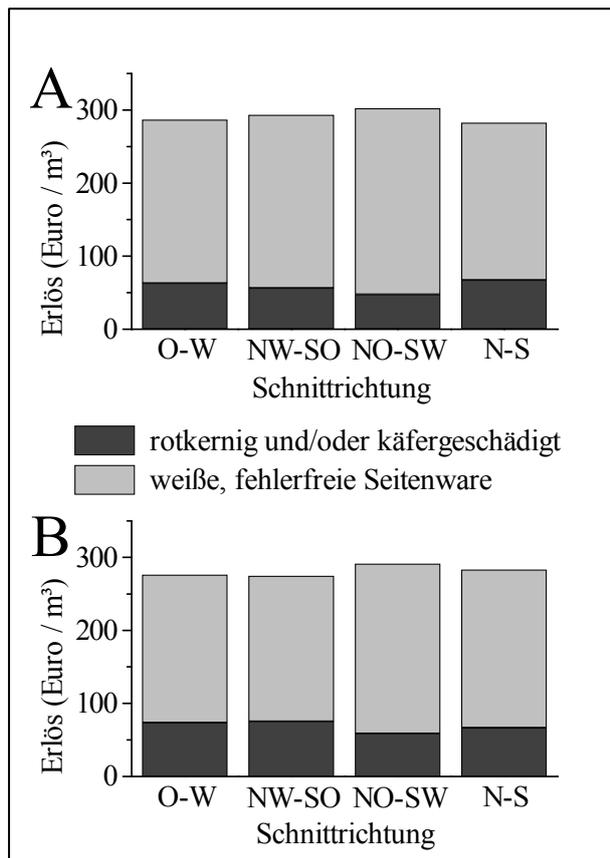


Buchen verwendet worden wären. Die Wahl der Schnitttrichtung veränderte diesen Wert um nahezu 7 %. So ließen sich 131,- € / m<sup>3</sup> erzielen, wenn das Holz in Nordwest-Südost-Richtung eingeschnitten worden wäre, während bei einem Ost-West-gerichteten Einschnitt der gleiche Wert bei 152,- € / m<sup>3</sup> liegen würde (Abb. 49 A). Dies bedeutet eine Erlössteigerung um ca. 16 % gegenüber der ungünstigsten Schnitttrichtung.

**Abb. 49:** Erlöse für gütesortierte Buchenblockware aus Käferholz bei verschiedenen Schnitttrichtungen ohne (A) bzw. mit (B) Rotkern

Im Mittel ergaben die fünf untersuchten Stammabschnitte ca. zwei Drittel rotkernige Gestellware und ein Drittel weiße Seitenware (vgl. Kap. 3.2.1). Für die rotkernige unbesäumte Gestellware wurde ein Preis von 100,- € / m<sup>3</sup> angenommen, so dass sich der Kubikmeterpreis für das Schnittholz der fünf Stammabschnitte unter Berücksichtigung des Rotkerns auf ca. 170,- € / m<sup>3</sup> verringerte. Je nach Schnitttrichtung schwankten die Werte um 1,3 % um diesen Wert.

Die Käferschäden schmälerten diesen Erlös auf durchschnittlich ca. 141,- € / m<sup>3</sup>. Dies bedeutet gegenüber dem rotkernigen Buchenholz ohne Käferschäden einen Wertverlust von ca. 17 %. Gegenüber dem käfergeschädigten Holz ohne Rotkern war das rotkernige käfergeschädigte Buchenholz kaum entwertet (Abb. 49 A, B).



**Abb. 50:** Erlöse für gütensortierte besäumte Bretter unterschiedlicher Gatterschnittrichtung aus rotkernigem Buchenstammholz ohne (A) bzw. mit (B) Käferbefall

Die Holzpreise lagen je nach Schnittrichtung in einem Bereich von  $\pm 7\%$  um den Mittelwert. Am geringsten waren sie mit ca. 128,- €/m<sup>3</sup> bei Nordwest-Südost-gerichtetem Einschnitt, während sie bei Ost-West-gerichtetem Schnitt mit fast 149,- €/m<sup>3</sup> um ca. 16 % höher lagen (Abb. 49 B).

Ein m<sup>3</sup> besäumte Bretter ohne Rotkern kostet in etwa 350,- € (vgl. Kap. 2.7.2).

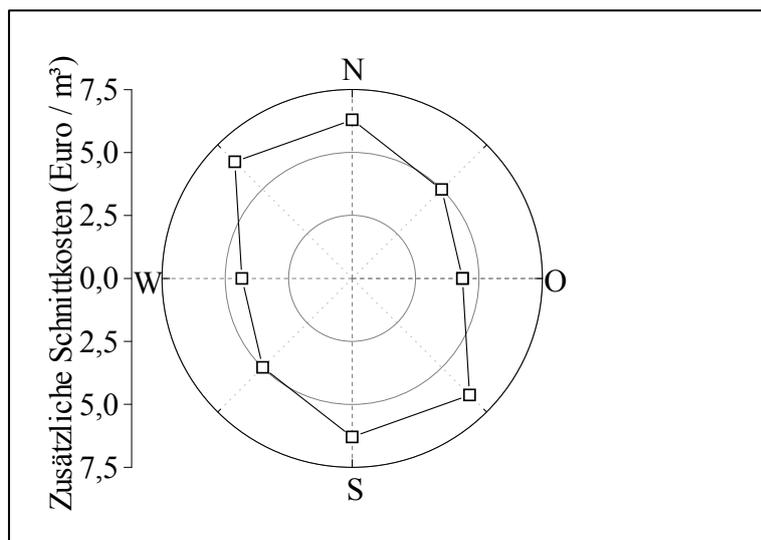
Im Vergleich dazu wäre die Ausbeute an besäumten Brettern unter dem Einfluss der Käferschäden um ca. ein Siebtel auf etwa 300,- €/m<sup>3</sup> zurückgegangen. Die Schnittrichtung hatte darauf keinen nennenswerten Einfluss. Sie variierte die Ausbeute an besäumten Brettern um lediglich 3,7 % um den Mittelwert (Abb. 50 A).

Alle fünf Modellstämme trugen einen Rotkern. Deshalb hätten die Stämme ca. zwei Drittel weiße besäumte Seitenware und ein Drittel rotkernige besäumte Gestellware ergeben (vgl. Kap. 3.2.1). Bei einem Preis von 175,- €/m<sup>3</sup> für rotkernige besäumte Gestellware hätten alleine die Rotkerne den Schnittholzpreis der Modellstämme auf etwa 290,- €/m<sup>3</sup> verringert. Die Schnittrichtung ließ diesen Wert um weniger als 5 % schwanken (Abb. 50 A).

Die Käfer entwerteten abhängig von der Schnittrichtung meist mehr weiße Seitenware als rotkernige Gestellware (vgl. Abb. 42). Für weiße Bretter mit Käferbefall wurde der Wert rotkerniger Gestellware unterstellt. Rotkernige Gestellware wurde durch den Käferbefall nicht weiter entwertet (vgl. Kap. 2.7.2). Unter diesen Voraussetzungen hätte sich mit dem besäumten Schnittholz der fünf Modellstämme im Mittel ca. 281,- €/m<sup>3</sup> erzielen lassen. Dieser Preis unterbietet den Preis für besäumte Bretter der lediglich rotkernigen Buchen nur wenig. Auch hier übte die Schnittrichtung mit einem Variationskoeffizienten von 4,3 % keinen systematischen Einfluss auf die monetären Ausbeuten aus (Abb. 50 B).

Andererseits gab es bei den Produktionskosten je nach der Schnittrichtung spezifische Vor- bzw. Nachteile. Die Kosten für zusätzliche Kapp- und Besäumschnitte wurden nach den verschiedenen Schnittrichtungen anhand der 32 mm-Schnittware von fünf 3D-Modellen repräsentativer Stammabschnitte geschätzt (vgl. Kap. 2.7.2). Als Kosten für die Schnitte wurde 0,50 € / Schnitt angenommen. Die Kosten wurden auf das Schnittholz bezogen. Bei dieser Schätzung wurden die Kosten für die Schnittholzsortierung, die getrennte Lagerung und / oder Weiterverarbeitung nicht einzeln berücksichtigt, weil sie nicht von der Schnittrichtung abhängen dürften.

Die Schnittrichtung beeinflusste die Zahl der zusätzlichen Kapp- und Besäumschnitte für die Trennung von fehlerhaftem und fehlerfreiem Schnittholz. Dazu wären nach der Simulation mit den fünf Stammmodellen durchschnittlich etwa elf Schnitte / m<sup>3</sup> notwendig gewesen (vgl. Kap. 3.1.1). So hätte es im Mittel ca. 5,50 € / m<sup>3</sup> ± 20 % gekostet, die schadhafte Teile von einem m<sup>3</sup> besäumten fehlerfreien Brettern abzutrennen. Mit der Wahl der Ost-West-Richtung ließen sich die Kosten für zusätzliche Kapp- und Besäumschnitte um ca. ein Drittel senken.



Allerdings machte dies die Produktion von besäumten Brettern gegenüber der schlechtesten Variante um lediglich 2,- € / m<sup>3</sup> günstiger (Abb. 50).

**Abb. 50:** Zusätzliche Produktionskosten für besäumte Bretter aus käfergeschädigten Buchen

## 4 Diskussion

### 4.1 Rundholz

Ziel der vorliegenden Studie war es, anhand geeigneten Materials die Auswirkungen der „Buchenkomplexkrankheit“ (entsprechend der Definition von EISENBARTH *et al.*, 2001, vgl. Kap. 1) auf das Schnittholz der betroffenen Bäume und die Möglichkeiten zur Einschnittsoptimierung anzusprechen. Zu diesem Zweck wurden Buchen aus dem Saar-Hunsrück und dem Hochösling untersucht.

In beiden Herkunftsregionen wurden die Symptome der „Buchenkomplexkrankheit“ wie plötzlicher massiver Stehendbefall ansonsten gesund erscheinender Buchen schon im Jahr 2000 beobachtet (EISENBARTH *et al.*, 2001; SCHRÖTER, 2001). Alle Herkunftsbestände stocken in mindestens 500 m Höhe (vgl. Tab. 1, 2). Diese Höhenlage scheint im Schwerpunktbereich der Buchenschäden zu liegen. So wurde die Buchenkomplexkrankheit in Luxemburg zuerst in Lagen oberhalb 400 m beobachtet (SCHRÖTER, 2001). In Nordrhein-Westfalen sieht man in diesen Höhenlagen eine Schadenskonzentration, während tiefergelegene Buchenbestände weniger stark geschädigt sind (NIESAR, 2001). Auch in den belgischen Schadensgebieten wurden Schäden hauptsächlich oberhalb 350 m Höhe festgestellt. Dort konzentrierten sich die Symptome der „Buchenkomplexkrankheit“ auf Plateaulagen oder schwach geneigte Hänge (HUART und RONDEUX, 2001). Auch in der vorliegenden Studie wurden Bestände auf schwach bis mittel geneigten Hängen untersucht (vgl. Tab. 1, 2). Damit scheinen die Standorte der Buchen dieses Berichts denen der „Buchenkomplexkrankheit“ schwerpunktmäßig zu entsprechen.

Nach okularer Begutachtung waren in keinem Saar-Hunsrück-Bestand mehr als 10 % der Buchen durch Käfer beeinträchtigt (vgl. Kap. 2.2). Damit lassen sich die Bestände entsprechend DE PROFT *et al.* (2001) als schwach befallen klassifizieren. Auch EISENBARTH (2001 B) spricht für die in Frage stehende Region von einem sehr geringen Vorkommen der Buchen-Komplexkrankheit im Jahr 2000. Im Hochösling litten bis zu einem Viertel der Buchen unter dem Käferbefall (vgl. Kap. 2.2). Dies dürfte einem mittelschweren Befall entsprechen (DE PROFT *et al.*, 2001). In schwer befallenen Beständen Belgiens dagegen können bis zu 80 % der Bäume Käferschäden aufweisen (ANONYMUS, 2001 A).

Die 42 untersuchten Stämme wiesen einen BHD von durchschnittlich  $48 \text{ cm}_{0,0} \pm 18 \%$  auf (vgl. Tab. 6). Ziel dieser Studie war es, hiebsreife oder nahezu hiebsreife Buchen zu untersuchen. In Rheinland-Pfalz wird für eine Buche bei Ertragsklassen von II,0 – III,0 eine Zielstär-

ke von ca. 50 cm BHD angestrebt (MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, WEINBAU UND FORSTEN, 1993). Offensichtlich hatten die Buchen ihre Zielstärken mindestens nahezu erreicht, so dass sie als hiebsreif gelten konnten und sich für die vorliegende Untersuchung eigneten.

Ziel der Baumauswahl war die Untersuchung von Buchen, die nicht die Symptome des „Buchenrindensterbens“ (vgl. hierzu PETERCORD, 2001), sondern der „Buchenkomplexkrankheit“ (vgl. EISENBARTH *et al.*, 2001) zeigten. Für dieses Krankheitsbild scheint typisch, dass ansonsten äußerlich gesund erscheinende Bäume wie in Belgien, Luxemburg und im Rheinland beobachtet einem massiven Befall bisher als sekundär eingestufte Holzbrütender Käfer ausgesetzt sind (SCHRÖTER, 2001; DIRECTION GENERALE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE L'ENVIRONNEMENT, DIVISION DE LA NATURE ET DES FORÊTS, 2001). Vor diesem Hintergrund stellten DE PROFT *et al.* (2001) die Hypothese eines primären Scolytidenbefalls auf. In Übereinstimmung mit dieser Symptomatik waren alle einjährig befallenen Buchen dieser Untersuchung außer zweien aus dem Hoch-Ösling nach äußerer Begutachtung bis auf den Käferbefall gesund. Dennoch ließen jeweils 4 Buchen des Sommer- und Herbsteinschlags 2001 nach der Entrindung der Erdstammstücke Weißfäule erkennen (vgl. Kap. 2.2). Offensichtlich muss zumindest für einen Teil der Bäume von einer Prädisposition für den Käferbefall ausgegangen werden. Auch RAMISCH (1984) geht entsprechend den bisherigen Kenntnissen zur Wirtsfindung von *Trypodendron domesticum* und *Hylecoetus dermestoides* von einer Prädisposition aller Buchen für den Käferbefall aus. Allerdings kann der prädisponierende Faktor oft nicht identifiziert werden.

Auf den entrindeten Erdstammstücken wurden vor allem Einbohrversuche von *T. domesticum* und *H. dermestoides* beobachtet (vgl. Tab. 13, Kap.3.1.1). Insbesondere die Dominanz von *T. domesticum* wird von DELB (2001) für das Untersuchungsgebiet bestätigt. Daneben stellte HUART (2001) übereinstimmend mit den vorliegenden Ergebnissen eine Beteiligung von *H. dermestoides* in den belgischen Schadgebieten fest. SCHWERDTFEGGER (1981) nennt diese Käferart als wichtigen Folgeschädling des Buchensterbens. Die von HUART (2001) darüberhinaus aufgeführten Käferarten *T. signatum* und *Anisandrus dispar* wurden im Rahmen dieser Studie nur vereinzelt bzw. nicht gefunden.

Durchschnittlich wurden im Jahr 2001 auf den entrindeten Erdstammstücken von 20 untersuchten Buchen 313 Einbohrlöcher gezählt. Der hohe Variationskoeffizient von fast 170 % zeigt, dass es gelungen ist, unterschiedlich stark befallene Buchen in die Untersuchung einzubeziehen (vgl. Tab. 5). Dies dürfte nicht nur die Befallssituation im Wald widerspiegeln,

sondern stellt auch eine wichtige Voraussetzung dar, eine Reihe von Beziehungen zwischen käferbedingten Schnittholzschäden und Baummerkmalen quantitativ zu analysieren.

## 4.2 Schnittholzschäden

Übereinstimmend mit seiner Dominanz bei den Einbohrlöchern auf den Erdstammstücken ließen sich die käferbedingten Buchenschnittholz-Schäden in dieser Studie überwiegend auf den Laubnutzholzborkenkäfer (*T. domesticum*) zurückführen (vgl. Kap. 3.1.1; vgl. auch PETERCORD, 2002). Dieser Käfer wird im allgemeinen als der wichtigste holzbrütende Buchenschädling beschrieben (SCHÖNHERR *et al.*, 1983, DELB, 2001). Daneben kam lediglich dem Bohrkäfer (*H. dermestoides*) eine gewisse Bedeutung für die Schnittholzschäden zu. Allerdings wurden Einbohrlöcher dieser Käferart nur in deutlich vorgeschädigten Stammbereichen gefunden (vgl. Kap. 3.1.1). Der disponierende Faktor kann für diese Art damit eindeutig benannt werden. Die Larven haben sich ausschließlich aus den Eiern auf den Rindenpartien über weißfäuletotem Kambium entwickelt. Dies unterstreicht den sekundären Charakter dieser Art, die als technischer Schädling große Bedeutung hat, weil ihre Larvengänge in bisher unzerstörte Stammbereiche vordringen und Weißfäulepilzen Eintrittspforten eröffnen (SCHWERDTFEGER, 1981).

Sowohl im Hochsommer 2001 als auch im Hochsommer 2003 wies der größte Teil des Schnittholzes keine Schäden durch Bohrlöcher auf. Weniger als 10 % der Bretter waren vollständig entwertet (vgl. Abb. 18 A). Im Vergleich dazu entwerteten die Käfer in Belgien 20-25 % des Holzes der befallenen Stämme (DIRECTION GENERALE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE L'ENVIRONNEMENT, DIVISION DE LA NATURE ET DES FORÊTS, 2001). BLOCK *et al.* (1997) fanden in einer ähnlich ausgerichteten Untersuchung (Schnittholzqualität geschwächter und abgestorbener Eichen im Bienwald) mit ca. 15 % Holzbrüter-entwerteten Eichenholzes Schäden in vergleichbarer Größenordnung. Damit übereinstimmend könnten nach Waldbesitzerangaben 60-80 % des Käferholzes als Sägeholz verwendet werden (ANONYMUS, 2001 B). Demgegenüber berichten belgische Quellen von über 90 % Wertverlust (DIRECTION GENERALE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE L'ENVIRONNEMENT, DIVISION DE LA NATURE ET DES FORETS, 2001; ANONYMUS, 2001 A). Dies könnte unter Umständen darauf zurückgeführt werden, dass sich insbesondere größere Sägewerke derzeit außerstande sehen, Käferholz in ihren Verarbeitungsprozess zu integrieren und daher jegliches Holz mit Bohrlö-

chern als vollständig entwertet ablehnen (ANONYMUS, 2001 B). In diesem Zusammenhang weist GFELLER (1998) darauf hin, dass die intensive Sortierung die Wertschöpfungsgrundlage für solches Holz darstellt. Dies erfordere eine hohe Arbeitsintensität und verursache beträchtliche Lohnkosten.

Auch wenn die maximalen Befallsdichten zum Herbst hin zugenommen haben, so waren die Buchenbretter im Hochsommer und Herbst nicht wesentlich anders als im Frühsommer geschädigt (vgl. Abb. 27). Anscheinend war das Brutgeschäft des wichtigsten Holzbrüters, *T. domesticum*, selbst im Frühsommer, also Anfang Juni, bereits weitgehend abgeschlossen. Damit übereinstimmend hat *T. domesticum* mindestens zwei Maxima im jährlichen Flugverlauf, von denen das zweite Ende Mai, Anfang Juni zu beobachten ist (PARINI & PETERCORD, 2006). Allerdings spricht SCHWERDTFEGER (1981) für diese Käferart von lediglich einer einfachen Generation, die ihre Entwicklung zum Jungkäfer im Juli nach einem Larvenfraß im Frühsommer abgeschlossen hat.

Neben den technischen Schäden durch die Brutbilder und Weißfäule erleidet käferbefallenes Schnittholz ästhetische Schäden durch Bläuepilze (GRAF, 1993). Auch in dieser Studie wurde beobachtet, dass die Brutbilder von *T. domesticum* in der Regel von blauvioletten spindelförmigen Verfärbungen umgeben waren (vgl. Abb. 13 A; 26 A, B; 31 A, B). Diese Verfärbungen hängen nach SCHWERDTFEGER (1981) mit den symbiotischen Ambrosiapilzen der Gattung Moniliales, von denen die Käfer leben, zusammen. Andererseits isolierten BABUDER & POHLEVEN (1995) aus *T. lineatum*-Brutbildern in Fichtenholz sowie KAJIMURA & HIJII (1992) aus *Xylosandrus mutilatus* (Blandford)-Brutbildern im Holz einer ostasiatischen Laubbaumart (*Parabenzoin trilobum* (Sieb. et Zucc.) Nakai (Lauraceae)) neben Ambrosiella-Arten auch bläueverursachende *Ceratocystis*-Arten.

Die blauvioletten Verfärbungen um die Bohrlöcher herum haben sich zum Hochsommer hin nicht ausgebreitet (vgl. Abb. 26 A). Dies widerspricht der Auffassung, dass diese Verfärbungen mit Luftembolien um die Brutgalerien herum zusammenhängen (LAMPSON, 1992). Solche oxidativen Vorgänge müssten unmittelbar einsetzen, nachdem Luft über die Brutgalerien in das Xylem eingedrungen ist. Demgegenüber haben sich die blauvioletten Verfärbungen vom Hochsommer zum Herbst hin um mehr als das Doppelte im Holz ausgedehnt (vgl. Abb. 26 B). Darüberhinaus macht die vorliegende Untersuchung deutlich, dass die Verfärbungen auch zum dritten Befallsjahr hin weiter gewachsen sind (vgl. Abb. 31 B). Anscheinend war das Pilzwachstum nach dem Ende des Brutgeschäfts nicht abgeschlossen, sondern dauerte bis zum Herbst und darüber hinaus fort. Ähnliche Beobachtungen machten KAJIMURA & HIJII

(1992) in den Fraßgängen von *X. mutilatus*. Dort breiteten sich, ähnlich wie offensichtlich im Buchenholz auch, die *Ceratocystis*-Arten vor allem im Herbst nach dem Ende des Brutgeschäfts aus.

SCHÖNHERR *et al.* (1983) stellten *T. domesticum* an Altbuchen oft in Verbindung mit beginnender oder fortgeschrittener Weißfäule fest. Demgegenüber trat in der vorliegenden Untersuchung zumindest im ersten Befallsjahr nur vereinzelt Weißfäule auf den untersuchten Brettern auf, während die Käfer in der Regel gesundes Holz angegriffen haben. Nennenswerte pilzliche Abbauerscheinungen konnten sich erst in den folgenden Befallsjahren im Holz ausbreiten (vgl. Kap. 3.1.4). Auch in den Fraßgängen von *X. mutilatus* traten erst im 2. Jahr nach dem Befall Weißfäuleerreger auf (KAJIMURA & HIJII, 1992). Insofern dürfte die Weißfäule, die 2001 auf einigen Erdstammstücken festgestellt wurde, in keinem direkt ursächlichen Zusammenhang zum Käferbefall stehen (vgl. Kap. 2.2).

Die Pilze haben die Stämme selbst nach drei Jahren noch nicht vollständig entwertet. Vielmehr konzentrierten sich die Krankheitssymptome immer noch auf die nördlichen Bereiche der Erdstammstücke, so dass die Ausbeute an fehlerfreier Blockware um lediglich 20 % zurückging (vgl. Abb. 30, 32 A, B, 33 A, B). Dies macht deutlich, dass käfergeschädigtes Buchenstammholz selbst dann noch teilweise technisch verwertbar sein dürfte, wenn Weißfäule über die Brutgalerien eindringen konnte. Dementsprechend dürfte es sich besonders bei wertvollerem Holz mit Weißfäuleschäden lohnen, gesunde und erkrankte Baumteile getrennt zu verarbeiten. Davon geht auch PETERCORD (2002) aus, der modellhaft vorrechnet, dass es sich trotz der erhöhten Aufarbeitungskosten gegenüber dem Brennholzpreis lohnt, Buchenstämme mit mindestens B-Qualität gesund zu schneiden, solange ein verwertbares Stammstück übrig bleibt. Demgegenüber sind EISENBARTH (2001 A) und NAGELEISEN & HUART (2005) der Auffassung, dass die Weißfäule das Holz so schnell entwertet, dass es nach DE WOUTERS (2001) und WILHELM *et al.* (2001) nur noch als Brennholz taugt.

Holzbrütende Borkenkäfer haben die Buchen im Hochösling bereits im ersten Befallsjahr eher stammumfassend und über die ganze Stammlänge hin geschädigt (vgl. Kap. 3.1.5, Abb. 37 A, B). Oft begleitete Weißfäule die Käferschäden. Deshalb waren anders als im Hunsrück nur ein Drittel der Bretter aus dem Hochösling schadensfrei (vgl. Abb. 36 A, B, 38 A, B). Möglicherweise leiden die Buchen in dem luxemburgischen Mittelgebirge unter einer anderen Krankheit als im Hunsrück, lässt sich doch das „Buchenrindensterben“ (PETERCORD, 2001) in diesem Sinne von einer „Buchenkomplexkrankheit“ (EISENBARTH *et al.*, 2001) abgrenzen. Das Buchenrindensterben geht auf massiven Befall durch die Buchenwollschildlaus (*Cryptococcus*

*fagusuga*) zurück, die großflächige Kambialnekrosen hervorrufen kann. Holzbrütende Borkenkäfer besiedeln die erkrankten Bäume erst im Endstadium der Krankheit. Sie treten stammumfassend zusammen mit Weißfäule auf (PETERCORD, 2001). Dies entspricht den Beobachtungen im Hochösling. In ähnlicher Weise diagnostizierten PETERCORD (2001) die Buchenkrankheit in der Eifel. Allerdings nennt EISENBARTH (2001 B) diese Symptomatik in der Eifel Buchenkomplexkrankheit.

Demgegenüber verstehen EISENBARTH *et al.* (2001) unter der Buchenkomplexkrankheit einen massiven Befall von holzbrütenden Borkenkäfern ansonsten gesund erscheinender Bäume. Typisch ist, dass die Käfer vor allem die nördlichen Teile der Erdstammstücke auch ohne Weißfäule besiedeln (NAGELEISEN & HUART, 2005). Auf solche Befallsmuster weisen die Schnittholzschäden der Hunsrücker Buchen hin. Ähnliche Schäden finden sich in den Ardennen, wurden erstmals 1942/43 in Belgien beobachtet und traten in den 80er Jahren in Teilen der Vogesen auf (NAGELEISEN & HUART, 2005). 2003 wurden solche Schäden aus dem Westerwald und 2004 aus Baden-Württemberg berichtet (SCHRÖTER *et al.*, 2004, 2006). 2006 wurde der Stehendbefall auf immerhin 825 ha in Eifel und Hunsrück und 387 ha in Baden-Württemberg diagnostiziert (SCHRÖTER *et al.*, 2007 A, B).

Den bisherigen Ergebnissen folgend dürften die Buchen aus dem Hochösling am Buchenrindensterben und die Buchen aus dem Hunsrück an der Buchenkomplexkrankheit leiden. Beide Krankheiten wirken sich augenscheinlich unterschiedlich auf die technische Verwertbarkeit des Stammholzes aus. Deshalb sollten die Erkenntnisse über die technische und ästhetische Nutzbarkeit des Schnittholzes käfergeschädigter Buchen aus dem Hunsrück nicht auf das Holz aus dem Hochösling übertragen werden. Vielmehr machen es die geringeren Ausbeuten wahrscheinlich, dass dieses Holz wohl nur noch als Brennholz verwendet werden kann. Ausschlaggebend für seine Nutzung sind dann vor allem auch die Erfordernisse der Verkehrssicherungspflicht und möglicherweise der Waldhygiene (WILHELM *et al.*, 2001).

### **4.3 Räumliche Verteilung der Schäden**

Käferbedingte Holzschäden ließen sich vor allem am Erdstammstück (0-3 m Höhe) beobachten. Allerdings konnten einzelne Schäden bis in 9 m Höhe festgestellt werden (vgl. Abb. 19 A, B; 20 A). Davon abweichend waren in den belgischen Schadensgebieten im Jahr 2000 bei we-

sentlich anderer Schadenssymptomatik hauptsächlich höhere Stammteile betroffen. Erst als 2001 ähnliche Symptome wie in Rheinland-Pfalz auftraten, wurden wie in der vorliegenden Untersuchung Schäden an den Stammfüßen beobachtet (EISENBARTH *et al.*, 2001; HUART & RONDEUX, 2001).

Anders als die technischen Schäden durch Bohrlöcher zeigten die spindelförmigen Verfärbungen keinen Höhengradienten (vgl. Abb. 21). Dies weist darauf hin, dass *T. domesticum* alle Stammhöhen etwa gleichzeitig befallen hat. Damit übereinstimmend stellte PETERCORD (2002) an den im Jahr 2001 untersuchten Buchen dieses Berichts ausschließlich diesjährigen Befall fest. Demgegenüber ist KERCK (1972) nach Untersuchungen in chemisch geläuterten Buchenbeständen der Auffassung, dass sich Schäden durch *T. domesticum* vor allem im ersten Jahr auf die unteren Stammabschnitte beschränken, während sie in den Folgejahren auch in den oberen Stammabschnitten zu finden sind.

Die größten Schäden wiesen die Bretter aus den nördlich ausgerichteten Stammteilen auf (Abb. 19 A, B). Ähnliche Beobachtungen wurden bei allerdings zum Teil unterschiedlicher Symptomatik auch aus anderen Teilen des Befallsgebietes berichtet (EISENBARTH *et al.*, 2001; HUART, 2001). Dies kann auf das Brutverhalten der Laubnutzholzborkenkäfer zurückgeführt werden. Die Käfer werden primär durch Ethanol-Ausdünstungen befallsdisponierter Buchen angelockt und im Nahbereich durch die kombinierte Wirkung der olfaktorischen Reize und der optische Komponente der Stammsilhouette zur Landung veranlasst (KERCK, 1972, 1976). Nach einer Hypothese von HUART & RONDEUX (2001) suchen die Käfer nach der Landung vorgeschädigte Rindenbereiche auf. Die Autoren erklären die Vorschädigung in Belgien mit einem putativen Temperatursturz im Winter 1998/99, der vor allem auf den Nordseiten der Stämme kambiale Läsionen hervorgerufen habe. Allerdings ließ die Analyse der Klimadaten einer Messstation in unmittelbarer Nachbarschaft der untersuchten Saar-Hunsrück-Bestände der vorliegenden Untersuchung bei einer maximalen Temperaturabnahme von 5 °C / d (10.11.1998: von + 7 °C auf + 2 °C) keinen Temperatursturz in der Zeit zwischen November 1998 und Mai 1999 erkennen. In derselben Zeit wehten an 21 Tagen Winde mit maximal 2,5 m / s aus nördlichen Richtungen (WNW – ONO) (HUCKSCHLAG, pers. Mitt., 2002). Die untersuchten Klimadaten tragen offensichtlich nicht zur Bestätigung der Hypothese von HUART & RONDEUX (2001) bei.

Deshalb könnte angenommen werden, dass im Befallsgebiet während der Käferflugzeit Winde aus südlich orientierten Himmelsrichtungen vorgeherrscht und die Käfer sich im Lee der Bäume eingebohrt haben. Diese Annahme wird dadurch unterstützt, dass die Wahrscheinlich-

keit für Wind aus südlichen Richtungen (WSW-OSO) während der Eiablagezeit von *T. domesticum* (April-Juni) bzw. *H. dermestoides* (Mai-Juni) im Befallsjahr 2001 ca. 1,5 mal so groß wie für Wind aus anderen Himmelsrichtungen war (HUCKSCHLAG, pers. Mitt., 2002).

Wie die Ergebnisse zeigen, beschränken sich die Käferschäden auf eng umgrenzte Bereiche der Buchenstämme. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass sich die Laubnutzholzborkenkäfer mittels des käferspezifischen Lineatins sekundär im Holz bruttauglicher Buchen aggregieren (FRANCKE & HEEMANN, 1974, RAMISCH und BOMBOSCH, 1986). Allerdings weist HUART (2001) darauf hin, dass in späteren Befallsstadien das Buchenholz gleichmäßig von den Käfern angegriffen wird.

Dennoch macht der ungleichmäßige Käferbefall über den Stamm hin auf die Möglichkeiten aufmerksam, solches Holz unter Umständen mit Hilfe einer geeigneten Sägetechnik verwerten zu können. Um diese Annahme zu untersuchen, wurden Versuche zur Einschnittsoptimierung von käfergeschädigtem Buchenholz unternommen.

#### **4.4 Einschnittsoptimierung**

Weil sich die Käferschäden nicht gleichmäßig über den Stammquerschnitt verteilen, wurde anhand von fünf 3D-Modellen untersucht, ob sich die Schnittholzausbeute aus Käferbuchen über die Schnittrichtung verbessern lässt. Die 3D-Modelle wurden erzeugt, indem die Stämme zu 2 mm-Furnieren gesägt, vollständig fotografiert und rechnergestützt wieder zusammengesetzt wurden. Ein ähnliches Verfahren wenden auch MOSCH & KLÄDTKE (2006) an. Allerdings dürfte die Verwendung von 42 mm-Blockware zur Modellbildung die Darstellungsgenauigkeit in deren Versuch beeinträchtigt haben. Demgegenüber ließ die Verwendung von 2 mm-Sägefurnieren in der vorliegenden Untersuchung die genaue Ansprache von Farbflächen in allen Schnittrichtungen durch den Stamm zu.

Eine andere Methode, die innere Qualität von Holzstämmen darzustellen, ist die computergestützte Tomografie mittels Schallwellen oder des elektrischen Widerstands. Sie macht innere Darrdichte- und Holzfeuchteunterschiede über den Stammquerschnitt sichtbar (HABERMEHL & RIDDER, 1996; RINN, 2007; RUST *et al.*, 2007). Dies kann beispielsweise dazu beitragen, Farbkerne und Holzfäule abzuschätzen (WEIHS *et al.*, 1999). Bisher stellen die Tomografieanwendungen in der Regel zweidimensionale Stammquerschnitte dar (RINN, 2007; RUST *et*

al., 2007). Sofern solche Querschnitte maßstabsgetreu übereinander gestapelt werden, ergibt dies ebenfalls ein 3D-Modell (SCHWARZE *et al.*, 2004). Allerdings sind die Tomogramme in der Regel nicht eindeutig und selbstredend, sondern bedürfen der Interpretation. Deshalb stimmen die Computertomografiebilder nicht immer mit den optischen Eindrücken des Holzes überein (Rinn, 2007). Dies ist jedoch notwendig, um verfärbungsbedingte Güteeigenschaften von Buchenschnittholz zuverlässig vorherzusagen.

Die Methode der Furnierstapel stellt ein zerstörendes Verfahren dar. Demgegenüber ist die Computertomografie eine zerstörungsfreie Methode (HABERMEHL & RIDDER, 1996). Solche Methoden sind eine wichtige Hilfe, um die Bruchsicherheit stehender Bäume zu untersuchen (RUST *et al.*, 2007). Im Vergleich dazu kann die Methode der vorliegenden Untersuchung nur angewandt werden, wenn eindeutige Aussagen über exemplarische Stichproben interessieren. So stand es auch in der vorliegenden Untersuchung im Mittelpunkt des Interesses, an Beispielen zu klären, inwieweit sich Ausbeuteinbußen durch ungleich verteilte Käferschäden im Holzkörper anhand der Wahl des Einschnitts grundsätzlich vermeiden lassen.

Wegen des geringen Stichprobenumfangs wurden nur solche Stammabschnitte für die Modellbildung ausgewählt, die hinsichtlich Durchmesser, Lage im Stamm und regionaler Herkunft repräsentativ für den Käferbefall im Untersuchungsgebiet waren (vgl. Tab. 11, 12) und unterschiedliche Befallsgrade widerspiegelten. Außerdem wurden die Ergebnisse nicht statistisch analysiert, sondern lediglich deskriptiv vorgestellt. Insofern können die Erkenntnisse aus der Modellanalyse nur Hinweise sein.

Durchschnittlich hätten die Käfer den Schnittholzerlös der fünf Stammabschnitte unter Berücksichtigung des Rotkerns um fast 30,- € verringert. Hätten die Stammabschnitte keinen Rotkern gehabt, so hätten die Käfer den Schnittholzwert sogar um fast 160,- € geschmälert. Dies entspricht je nach Holzqualität Einbußen von ca. 20 bis über 50 % (vgl. Kap. 3.2.2). Mit diesen Ergebnissen übereinstimmend hält VITÉ (1952) *T. domesticum* für wirtschaftlich nicht unbedeutend. Im Vergleich dazu schädigte beispielsweise der gestreifte Nutzholzborkenkäfer (*T. lineatum*) in British Columbia das Nadelschnittholz um 3,- bis 39,- € / m<sup>3</sup> (ORBAY *et al.*, 1994). Auch wenn weiterführende Untersuchungen zu diesem Thema im deutschsprachigen Raum anscheinend fehlen, so übertreffen die spezifischen Schäden des Laubnutzholzborkenkäfers offensichtlich die Einbußen, die der gestreifte Nutzholzborkenkäfer hervorruft. Damit übereinstimmend geht auch SCHWERDTFEGER (1981) davon aus, dass der Laubnutzholzborkenkäfer durchaus fühlbare Schäden im Laubholz verursacht.

Wie die vorliegende Untersuchung deutlich gemacht hat, beeinflusst die Schnittebene der Stammabschnitte das Einschnittsergebnis merklich. So übten Ost-West bis Nordost-Südwest gerichtete Schnittrichtungen den günstigsten Einfluss auf die Ausbeute an verwertbarem Schnittholz aus. Beispielsweise waren bei Ost-West gerichtetem Schnitt gegenüber der schlechtesten Variante fast 70 % mehr Blockwarebretter und über 40 % mehr Brettfläche schadensfrei (vgl. Kap. 3.2.1, Abb. 41 A, B). Darüber hinaus ersparte diese Schnittrichtung etwa ein Drittel der zusätzlichen Kapp- und Besäumschnitte für die Herstellung schadensfreier besäumter Bretter gegenüber der ungünstigsten Schnittrichtung (vgl. Abb. 44). Dies hängt damit zusammen, dass beim Stehendbefall ansonsten vital erscheinender Buchen vor allem die Nord bis Nordostseiten der Stämme unter dem Käferbefall leiden (vgl. Abb. 19 A, B, SEEGMÜLLER & JOCHUM, 2003). Weil die wichtigste beteiligte Käferart, der Laubnutzholzborkenkäfer (*T. domesticum*), nur bis zu 10 cm weit in das Holz eindringt, bleiben die südexponierten Teile der Stammquerschnitte frei von Brutgalerien (VITÉ, 1952). Aus diesen Bereichen lassen sich beim Ost-West-gerichteten Einschnitt schadensfreie Bretter gewinnen, während sich beim Nord-Süd-gerichteten Einschnitt zumindest einige Schäden am nördlichen Rand der meisten Bretter nachweisen lassen.

Bisher wurden eher äußere Stammmerkmale wie beispielsweise die Krümmung herangezogen, um die Einschnittstechnik so zu verbessern, dass die Schnittholzausbeute steigt. So haben SKATTER *et al.* (1998) gezeigt, dass Kiefern- und Fichtenstämme gegenüber handvermessenen Holz bis zu 4 % mehr Schnittholz ergeben, wenn sich ihr Einschnitt automatisiert an 3D-Scans unter der Rinde orientiert. VUORILEHTO *et al.* (2004) sind der Meinung, dass die Schnittholzausbeute aus Kiefern-sägeblöcken sogar um bis zu 10 % steigt, wenn das Holz seiner Krümmung nach optimal auf der Säge ausgerichtet wird.

Darüber hinaus beeinflusst die Schnitttechnik auch dann die Ausbeute, wenn typische innere Stammmerkmale zu unterschiedlichen Schnittholzqualitäten führen. In dieser Hinsicht erlaubt der Blockwareschnitt von Buchenstammholz mit einer Gattersäge bei geringem Rotkernanteil zwar die höchste Ausbeute an guten Schnittholzqualitäten. Allerdings zeitigen die Tangential- und Modellschnitttechnik bei hohen Rotkernanteilen die besseren Ergebnisse (HAPLA & OHNESORGE, 2005). Folglich ist es übereinstimmend mit der vorliegenden Studie nicht nur von Vorteil, vor dem Einschnitt Hinweise zu den äußeren Stammmerkmalen zu berücksichtigen. Vielmehr könnten auch Informationen zu den inneren Holzeigenschaften dazu beitragen, über eine angepasste Sägetechnik die quantitative und qualitative Schnittholzausbeute zu heben. Allerdings ist es bisher nicht möglich, die Farbeigenschaften des Stamminnern zerstörungsfrei zu erkennen. Lediglich die Anwendung der Ergebnisse einer Modellanalyse könnte

Hinweise liefern. So verspricht die Ausrichtung der Käferholzstämmen auf der Säge entsprechend des Modells der üblichen Befallsbilder durchaus technische und betriebswirtschaftliche Vorteile.

Käfergeschädigte Abschnitte machen zwar nur geringe Teile des Stammholzes der Käferbuchen aus. Allerdings hätte der Käferbefall die Erlöse für die Blockware von rotkernfreiem Stammholz in etwa auf ca. 150,- € / m<sup>3</sup> halbiert (vgl. Kap. 3.3). Erlöse in dieser Größenordnung dürften die Produktionskosten nicht mehr decken (HAPLA & OHNESORGE, 2005). Deshalb dürfte es nicht sinnvoll sein, ausschließlich aus käfergeschädigten Stammteilen Blockware herzustellen. Vor diesem Hintergrund tritt die Möglichkeit, die Schnittholzerlöse aus käfergeschädigtem Buchenstammholz bei Ost-West-gerichtetem Einschnitt gegenüber einem Nord-Süd-gerichteten um 16 % zu steigern, in den Hintergrund (vgl. Abb. 49 A, B). Vielmehr müsste der Preis für solches Stammholz deutlich unter dem B-Holzpreis liegen. Ein Abschlag von 20 % dürfte nur dann ausreichen, wenn große ungeschädigte Stammbereiche die Entwertung geringer käfergeschädigter Teile ausgleichen (PETERCORD, 2002).

Besäumtes Schnittholz hätten die Käfer um ca. ein Siebtel entwertet, wenn das Holz keinen Rotkern gehabt hätte. Unter Berücksichtigung des Rotkerns hätten die Käfer lediglich 3 % zusätzliche Werteinbußen gegenüber dem käferfreien Schnittholz verursacht (Abb. 50 A, B). Die käferbedingten Erlöseinbußen sind bei der Herstellung von besäumten Brettern aus rotkernigem Stammholz nicht so hoch wie bei weißem. Dies ergibt sich aus dem Preisunterschied zwischen weißem und rotem Buchenholz. Deshalb dürfte es bei der Verwendung von rotkernigem Buchenstammholz einfacher als bei weißem sein, Käferschäden zu tolerieren. Allerdings setzt dies einen Stammholzpreis voraus, der an die Schnittholzerlöse angepasst ist. Dies bedeutet, dass sich für rotkerniges Buchenholz mit Käferschäden derzeit kaum mehr als für anderes D-Holz Erlösen lässt. Dennoch dürfte der Verkauf von käfergeschädigtem Buchenstammholz als Brennholz dem Wertschöpfungspotenzial dieses Holzes nicht gerecht werden.

Der Käferbefall würde im Falle der fünf exemplarisch untersuchten Buchenstämmen den Wert der Blockware in etwa halbieren. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass sich viele unbesäumte Bretter nicht nach der Güte sortieren lassen, weil sie Beeinträchtigungen aufweisen, wenn auch meist nur auf Teilflächen. Demgegenüber wäre der Wert der besäumten Bretter trotz ihrer Herkunft aus dem Stammholz käferbefallener Buchen um lediglich 3 bis 10 % zurückgegangen. Offensichtlich gelingt es durch zehn bis fünfzehn Kapp- und Besäumschnitte je m<sup>3</sup> Blockware, käfergeschädigtes und ungeschädigtes Holz so zu trennen, dass der größte

Teil des Schnittholzes einer Gütesortierung zugänglich wird (vgl. Abb. 49, 50). Dies gibt Hinweise darauf, wie sich die Produktveredelung durch zusätzliche Holzsortierung bezahlt machen könnte. In ähnlicher Weise berechnet SCHNEIDER (1978), dass sich die Erlöse für Fichtenholz durch eine Feinsortierung deutlich steigern lassen, während die Aufarbeitungskosten nur vergleichsweise wenig wachsen. In der vorliegenden Untersuchung lag der Aufwand für eine solche Veredelung bei unter 6,- €. Eine vorteilhafte Schnitttrichtung würde diesen Aufwand sogar noch weiter auf 2,- € absenken (vgl. Abb. 50). Demzufolge könnte es die Herstellung besäumter Bretter ermöglichen, selbst käferbefallene Stammholzabschnitte mit positivem Deckungsbeitrag zu verarbeiten (HAPLA & OHNESORGE, 2005).

## 5 Zusammenfassung

Seit den 90er Jahren des vergangenen Jahrhunderts hat der massenhafte Käferbefall ansonsten gesund erscheinender Buchen in den Ardennen und der Gaume nicht nur die Waldbesitzer, sondern auch viele Stammholzkunden erheblich verunsichert. Dies gefährdet das Ziel, die Buche als wichtigste Baumart der potenziell natürlichen Vegetation der Wälder in der rheinland-pfälzisch-luxemburgischen Grenzregion wegen ihrer vorteilhaften Wirkung für den Naturhaushalt, das Landschaftsbild und den wirtschaftlichen Wert zu fördern.

Deshalb geht die vorliegende Untersuchung der Frage nach, wie die beteiligten holzbrütenden Borkenkäfer das Stammholz technisch und ästhetisch schädigen. So wurden die Schäden nach Abschluss des Brutgeschäfts im Hochsommer während zweier Untersuchungsjahre charakterisiert. Der Schadensfortschritt im Jahreslauf wurde ebenso untersucht wie bei mehrjährigem Käferbefall. Außerdem wurden die Befallsbilder im Saar-Hunsrück und im Hochösling miteinander verglichen.

Zu diesem Zweck wurden 2001 im Saar-Hunsrück und 2003 in beiden Teilen der DeLux-Region repräsentative Buchen gefällt und zu 32 mm-Blockware verarbeitet. Die Buchen stammen aus hiebsreifen oder nahezu hiebsreifen Beständen und sind im Buchenoptimum gewachsen. Sie litten unter ein- bzw. dreijährigem Käferbefall. Die einjährig befallenen Buchen waren der äußeren Einschätzung nach bis auf den Käferbefall weitgehend schadensfrei und gesund, während auf den Stämmen der dreijährigen meist bereits Pilzkonsolen auftraten. Die Bäume wurden Anfang August und Ende Oktober 2001 bzw. Anfang Juni und Ende Juli 2003 geerntet, unmittelbar danach in 3 m-Abschnitte eingeteilt und auf einer Horizontalbandsäge zu Blockware verarbeitet.

Alle Bretter wurden auf Käferbefall, käferbedingte Verfärbungen und Weißfäule hin untersucht. Der Käferbefall wurde anhand der Bohrlöcher eingeschätzt. Als käferbedingt galten die blauvioletten, spindelförmigen bohrlochumgebenden Verfärbungen. Weißfäule wurde anhand der sichtbaren Ausbleichung des Holzes und der Demarkationslinien festgestellt.

Einjährig befallene Buchen aus dem Hunsrück ergaben im Hochsommer 2001 fast 80 % und im Hochsommer 2003 fast 90 % beeinträchtigungsfreies Schnittholz. Signifikante Holzschäden durch Bohrlöcher ließen sich lediglich auf den Brettern von der Nordseite der Erdstammstücke feststellen. Die Befallscharakteristika der beiden Untersuchungsjahre unterschieden sich nicht voneinander. Allerdings waren 2003 die bohrlochumgebenden blauvioletten Verfärbungen signifikant größer als 2001.

Im Frühsommer 2003 ließ sich noch keine Weißfäule und im Hochsommer geringe Weißfäule beobachten. Die Holzerkrankung hat auf den Brettern einjährig befallener Buchen 2001 vom Hochsommer zum Herbst hin nicht zugenommen.

Auf den käfergeschädigten Brettern hat die Zahl der Käferlöcher vom Früh- zum Hochsommer 2003 hin signifikant zugenommen. Vom Hochsommer zum Herbst 2001 hin hat sie sich dagegen nicht wesentlich verändert. Der Befall hat sich im Jahresverlauf nicht weiter über die Stämme ausgebreitet. Vielmehr haben die Käfer offensichtlich alle befallenen Stammteile bereits im Frühsommer besiedelt.

Die käferbedingten Holzverfärbungen haben sich vom Früh- zum Hochsommer 2003 nicht signifikant verändert. Demgegenüber haben sie vom Hochsommer zum Herbst 2001 hin zugenommen. Dies lässt sich damit in Verbindung bringen, dass sich die bohrlochumgebenden Verfärbungen nach dem Hochsommer im Holz ausgebreitet haben.

Selbst nach dreijährigem Käferbefall hatten zwei Drittel aller Bretter keine käferbedingten Schäden oder Erkrankungen. Allerdings war etwa ein Drittel der Bretter mit Käferbefall weißfaul. Dieser Anteil war bei einjährigem Käferbefall sehr gering. Auch die befallsbedingte Verfärbung hat sich während der drei Jahre signifikant um ca. ein Drittel weiter um die Bohrlöcher herum ausgebreitet. Dennoch haben sich die Schäden und Erkrankungen selbst nach drei Jahren auf die nördlichen Bereiche der Erdstammstücke konzentriert, so dass immer noch nahezu 70 % der Bretter nach der DIN 68 369 in die Güteklassen I und II sortiert werden konnten.

Anders als im Hunsrück waren im Hochösling ca 70 % der Bretter durch Käfer geschädigt und/oder an Weißfäule erkrankt. Deshalb ließ sich nur ein Drittel der Bretter aus dem Hochösling der DIN 68 369-Güteklassen I und II zuordnen.

Vor dem Hintergrund der überwiegend räumlich gerichteten Käferschäden im Buchenstammholz wurde untersucht, ob sich die Ausbeute an schadensfreiem und gesundem Buchenschnittholz durch die Wahl der Schnittebene optimieren lässt. Zu diesem Zweck wurden fünf 3D-Modelle repräsentativer Buchenstammstücke angefertigt. Dazu wurden die Stammstücke zu Furnieren zerlegt, vollständig fotografiert und die Fotos rechnergestützt wieder zusammengesetzt. Die virtuellen Stammstücke erlaubten beliebige Schnitte und stellten die optischen Holzeigenschaften unmittelbar dar.

Die Ausbeute an Buchenblockwarebrettern ohne Käferschäden der fünf untersuchten Stämme wäre bei Ost-West-gerichtetem Einschnitt um fast 70 % höher als bei Nord-Süd-gerichtetem gewesen. Die fehlerfreien Bretter repräsentierten gegenüber der nachteiligen Variante ca. 40

% mehr kumulierte Brettfläche. Außerdem hätte die Ost-West-Sägerichtung etwa ein Drittel weniger zusätzliche Kapp- und Besäumschnitte erfordert, wenn die Blockware zu besäumten Brettern verarbeitet worden wäre. Als „zusätzlich“ wurden solche Schnitte definiert, mit denen fehlerfreies von geschädigtem Holz getrennt wurde. Nach der Veredelung lässt sich unabhängig von der Schnittrichtung ca. 75 % des Holzes als fehlerfreie besäumte Bretter nutzen. Die kritische Einzelfallwürdigung der 3D-Modelle gibt Hinweise darauf, dass die gezielte Wahl der besten Schnittrichtung die Ausbeuten am ehesten bei der Verwendung von Zweitlängen aus dem Hunsrück verbessern kann, die bereits im Frühsommer des Erstbefalls geschlagen wurden.

Um die Auswirkungen des Käferbefalls auf den Schnittholzerlös zu untersuchen, wurden die Blockware und die besäumten Bretter der 3D-Modelle zu praxisüblichen Preisen bewertet. Der Käferbefall hätte die Erlöse für Blockware weißer Buchen von 300,- € / m<sup>3</sup> in etwa halbiert. In diesem Rahmen könnte der Ost-West-gerichtete Einschnitt die Erlöse gegenüber der Nord-Süd-Ausrichtung um ca. 16 % erhöhen.

Unabhängig von der Schnittrichtung wäre der Erlös für besäumte Bretter weißer käferbefallener Buchen mit ca. 300,- € / m<sup>3</sup> um ca. ein Siebtel geringer als derjenige für die Bretter ungeschädigter Bäume gewesen. Demgegenüber hätten alleine die konkreten Rotkerne der untersuchten Stämme das besäumte Schnittholz auf 290,- € / m<sup>3</sup> entwertet. Für solches Holz wären die käferbedingten Werteinbußen von zusätzlich ca. 10,- € / m<sup>3</sup> von untergeordneter Bedeutung. Die Ost-West-Schnittrichtung hätte die Herstellungskosten für besäumte Bretter leicht um 2,- € / m<sup>3</sup> verbilligt.



## 6 Summary

From the late nineties of the last century on a massive beetle attack of otherwise healthy appearing beech trees troubled forest owners and wood customers in the Rhenish-luxemburgish border region. This endangered the objective to reinforce beech trees as the most important tree species in regional forests. Therefore it was the objective of this study to assess the technical and optical beetle damages.

To this purpose 42 beetle damaged beech trees from the Saar-Hunsrück and Hochösling mountains with one or three years of beetle attack were assessed. The trees were analysed in 2001 or 2003. They were analysed in early summer, midsummer or autumn. Trees were harvested, cut into 3 m logs and processed into 32 mm boards. The boards were analysed for beetle galleries and beetle related discolouration.

In midsummer, about 80 to 90 % of all boards from Saar-Hunsrück beech trees were free of any beetle damage. Less than 10 % were heavily damaged. Apparently gallery density increased from early to midsummer, but didn't change towards autumn. Discolourations, though being visible in early summer, spread over the boards in autumn and even in the following years after initial beetle attack. Damages mostly concentrated on the boards from northerly exposed parts of the lower stems.

After three years of beetle attack there was substantial white rot damage on the boards. However, there was still a 60 % chance to produce damage free boards. Damages were still concentrated on the boards from northerly exposed parts of the lower stems. Beetle damages were substantially different in beech trees from the Hochösling mountains, with only 30 % undamaged boards and no clear spatial damage distribution.

Spatial beetle damage distribution in the Saar-Hunsrück made it probable to improve the use of beetle damaged beech timber through appropriate trunk orientation on the frame saw. To test this assumption, five exemplary 3 m logs were sliced into 2 mm veneers, photographed and computer aided recomposed to three dimensional models allowing to vary cutting orientation and checking virtual results both qualitatively and quantitatively. The logs represented different tree origins, parts of the trunks, duration of beetle attack and time of harvest. The models were virtually sliced in four different longitudinal directions into 32 mm boards, checked for beetle related damages and beech red heart discolouration.

Assuming the production of untrimmed beech boards east-west oriented cutting improved the production of undamaged boards by 70 % as compared to north-south-oriented cutting. Furthermore east-west-oriented cutting saved one third of additional trimmings in order to produce damage free trimmed boards. However, after trimming, there was no influence of the cutting direction on the yield of undamaged boards. Apparently the effect of the cuttings direction was most prominent for second length logs with one year's beetle attack when harvested in early summer.

Calculated with common market prices the east-west cutting direction improved the economic performance of the damaged trees for untrimmed boards by 16 % as compared to the north-south cutting direction. There was a further minor cost saving through saved trimming operations in order to produce trimmed boards. The calculation made it clear, that beetle damage is more acceptable in red heart beech trees and that it is less severe when producing trimmed boards. Though there is no need to regard beetle damaged beech timber as mere fuel wood, there seems to be the need for substantial price abatements for such timber.

## 7 Literatur

**ANONYMUS (2001 A):** Buchensterben in Südbelgien führt zu Unruhe am Laubrundholzmarkt. *EUWID* 40/2001.

**ANONYMUS (2001 B):** Le point sur la mortalité du hêtre en Wallonie. *Quelle* unbekannt: S. 3.

**ANONYMUS (2004):** *Buchenwälder Gut für uns*. Trippstadt: Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz. 2 S.

### ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG IN DER ARBEITSGEMEINSCHAFT

**FORSTEINRICHTUNG (Hrsg.) (1985):** *Forstliche Wuchsgebiete und Wuchsbezirke in der Bundesrepublik Deutschland*. Hilstrup: Landwirtschaftsverlag GmbH. 170 S. + 2 Karten. S. 101-103.

**AREND, J.-P., BLOCK, J., DELB, H., EISENBARTH, E., MAURER, W., PARINI, C., PETERCORD, R. & SEEGMÜLLER, S. (2004):** *Projekt „Entwicklung von Strategien zur Sicherung von Buchenwäldern“*. Trippstadt: Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft. 52 S.

**BABUDER, G. & POHLEVEN, F. (1995):** *Evaluation of fungi isolated from the galleries of the striped ambrosia beetle *Xyloterus lineatus* (Ol.) (Col., Scolytidae)*. Stockholm: The International Research Group on Wood Preservation Secretariat. 5 S.

**BLOCK, J., FISCHER, H. & WIRTH, P. (1997):** Die Holzqualität absterbender und abgestorbener Stieleichen. *Holz-Zentralblatt* 123: S. 562-564.

**DELB, H. (2001):** Rinden- und holzbrütende Käfer im Zusammenhang mit der Buchenkomplexkrankheit. In: STRUKTUR- UND GENEHMIGUNGSDIREKTION SÜD (Hrsg.): *Wissenschaftliches Symposium zur Buchenkomplexkrankheit in der Eifel*. Neustadt an der Weinstraße: Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd - Zentralstelle der Forstverwaltung - Fachbereich Produktion. 16 S.

**DE PROFT, M., GREGOIRE, J.-C. & HUART, O. (2001):** Scolytes du hêtre: confection des arbres-pièges. *Silva belgica* 03/2001: S. 15-17.

**DE WOUTERS, P. (2001):** *Mortalité du hêtre – quelques suggestions pour vendre et exploiter les bois*. Brüssel: Société Royale Forestière de Belgique. 3 S.

**DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (Hrsg.) (1988):** *Normen über Holz*. Berlin und Köln: Beuth Verlag GmbH. 240 S.

**DIRECTION GENERALE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE L'ENVIRONNEMENT, DIVISION DE LA NATURE ET DES FORETS (Hrsg.) (2001):** *Maladie du hêtre wallon*. Jambes: Dossier des Ministère de la region wallon, direction régional des ressources naturelles et des forêts. 5 S.

**EHLEBRACHT, V. (1995):** *Alternative Bearbeitungsmöglichkeiten für schwaches Buchenstammholz als Voraussetzung einer besseren Vermarktung*. Göttingen: Institut für Forstbenutzung. 117 S. + 2 Anhänge.

**EISENBARTH, E. (2001 A):** Schwerpunkt Eifel. *ForstInfo* **4.01**: S. 12.

**EISENBARTH, E. (2001 B):** Buchen-Komplexkrankheit in Rheinland-Pfalz. *Allgemeine Forstzeitschrift / Der Wald* **56**: S. 1220-1221.

**EISENBARTH, E., WILHELM, G. J. & BERENS, A. (2001):** Buchen-Komplexkrankheit in der Eifel und den angrenzenden Regionen. *Allgemeine Forstzeitschrift/Der Wald* **56**: S. 1212-1217.

**EUROPÄISCHE ORGANISATION DER SÄGEWERKE (Hrsg.) (2001):** *Note on the belgian wood market*. Selbstverlag. 1 S.

**FORSTDIREKTION KOBLENZ (Hrsg.) (1993):** *Forsteinrichtung des Staatswaldes Saar-Hochwald*. Koblenz: Forstdirektion Koblenz.

**FORSTDIREKTION KOBLENZ (Hrsg.) (1997):** *Forsteinrichtung des Staatswaldes Hermeskeil*. Koblenz: Forstdirektion Koblenz.

**FORSTDIREKTION KOBLENZ (Hrsg.) (2003):** *Forsteinrichtung des Staatswaldes Saar-Hochwald*. Koblenz: Forstdirektion Koblenz.

**FRANCKE, W. & HEEMANN, V. (1974):** Lockversuche bei *Xyloterus domesticus* L. und *X. lineatus* Oliv. (Coleoptera: Scolytidae) mit 3-Hydroxy-3-methylbutan-2-on. *Zeitschrift für angewandte Entomologie* **75**: S. 67-72.

**GFELLER, B. (1998):** Weisses und verkerntes Buchenholz in der Holzwirtschaft. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* **149**: S. 943-953.

**GRAF, E. (1993):** Einfluss von Forstinsekten auf die Holzqualität. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* **144**: S. 789-802.

**GRAMMEL, R. (1989) :** *Forstbenutzung*. Hamburg und Berlin : Verlag Paul Parey. 195 S.

**HABERMEHL, A. & RIDDER, H.-W. (1996):** Computer-Tomographie in der Forstwirtschaft und Baumpflege. *Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung-Zeitung* **55**: S. 48-55.

- HAPLA, F. & OHNESORGE, D. (2005):** Qualitätsorientierte Schnittholzausbeute in Abhängigkeit von Durchmesser und Rotkernanteil bei Buchenstammholz - ein Modellansatz mit unterschiedlichen Einschnittarten. *Holztechnologie* **46**: S. 5-9.
- HUART, O. (2001):** Mortalités du hêtres en forêts wallone: synthèse illustrée des principaux symptômes observés et conseils d'intervention lors du martelage. Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux – Gestion et Economie forestières: *Note d'Information* n° 2. 3 S.
- HUART, O. & RONDEUX, J. (2001):** Genèse, évolution et multiples facettes d'une maladie inhabituelle affectant le hêtre en région wallonne. *Forêt Wallonne* **52** (Mai/Juni): S. 8-19.
- KAJIMURA, H. & HIJII, N. (1992):** Dynamics of the fungal symbionts in the gallery system and the mycangia of the ambrosia beetle, *Xylosandrus mutilatus* (Blandford) (Coleoptera: Scolytidae) in relation to its life history. *Ecological Research* **7**: S. 107-117.
- KERCK, K. (1972):** Chemische Läuterung – Buchenstammholzschildlinge. *Der Forst- und Holzwirt* **27**: S. 59-60.
- KERCK, K. (1976):** Zur Bedeutung der primären und sekundären Anlockung von *Xyloterus domesticus* L. (Col., Scolytidae). *Zeitschrift für angewandte Entomologie* **82**: S. 119-123.
- KLIMETZEK, D., VITÉ, J. P. & MORI, K. (1980):** Zur Wirkung und Formulierung des Populationslockstoffes des Nutzholzborkenkäfers *Trypodendron* (= *Xyloterus*) *lineatum*. *Zeitschrift für angewandte Entomologie* **89**: S. 57-63.
- LAMPSON, P. (1992):** Zur Verkernung der Rotbuche. *Holz-Zentralblatt* **118**: S. 678, 682.
- LONSDALE, D. (1980):** Nectria infection of beech bark in relation to infestation by *Cryptococcus fagisuga* Lindner. *European Journal of Forest Pathology* **10**: S. 161-168.
- MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT, MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE LA VITICULTURE ET DU DEVELOPPEMENT RURAL (Hrsg.) (1995):** *Naturräumliche Gliederung Luxemburgs – Ausweisung ökologischer Regionen für den Waldbau, mit Karte der Wuchsgebiete und Wuchsbezirke*. Luxemburg: Administration des Eaux et Forêts. 65 S.
- MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, WEINBAU UND FORSTEN (Hrsg.) (1993):** *Richtlinien und Vorschriften für Waldbau und Forsteinrichtung; hier: Umsetzung und Grundsätze einer ökologischen Waldentwicklung*“, AZ.: 735-5001/5501. Mainz: Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und Forsten (Heute: Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz). 4 S. + 1 S. Anlage.

- MOSCH, M. & KLÄDTKE, J. (2006):** *Dreidimensionale Modellierung von Fichtenabschnitten und digitale Erfassung charakteristischer Merkmale am Rund- und Schnittholz.* Freiburg: Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft. 22 S.
- NAGELEISEN, L.-M. (2005):** Dépérissement du Hêtre: Présentation d'une Méthode Symptomatologique de Suivi. *Revue Forestière Française* **57**: S. 255-262.
- NAGELEISEN, L.-M. & HUART, O. (2005):** Problèmes sanitaires d'Actualité en Hêtraie: La Maladie du Hêtre dans les Ardennes. *Revue Forestière Française* **57**: S. 249-254.
- NIESAR, M. (2001):** Buchenerkrankung in Nordrhein-Westfalen. In: STRUKTUR- UND GENEHMIGUNGSDIREKTION SÜD (Hrsg.): *Wissenschaftliches Symposium zur Buchenkomplexkrankheit in der Eifel.* Neustadt an der Weinstraße: Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd - Zentralstelle der Forstverwaltung. 16 S.
- ORBAY, L., McLEAN, J. A., SAUDER, B. J. & COTTELL, P. L. (1994):** Economic losses from ambrosia beetles in coastal British Columbia, Canada. *Canadian Journal for Forest Research* **24**: S. 1266-1276.
- PANKERT, C. (2001):** Stand der Buchenkrankheit in der wallonischen Region. In: STRUKTUR- UND GENEHMIGUNGSDIREKTION SÜD (Hrsg.): *Wissenschaftliches Symposium zur Buchenkomplexkrankheit in der Eifel.* Neustadt an der Weinstraße: Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd - Zentralstelle der Forstverwaltung - Fachbereich Produktion. 16 S.
- PARINI, C. & PETERCORD, R. (2006):** Der Laubnutzholzborkenkäfer *Trypodendron domesticum* L. als Schädling der Rotbuche. *Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz* **59**: S. 63-77.
- PETERCORD, R. (2001):** Buchenrindensterben in der Eifel. *Der Waldbauer* **34/2001**: S. 56-58.
- PETERCORD, R. (2002):** *Vorbereitende Untersuchungen zu einer ökonomischen Bewertung der Folgen eines Befalls von Buchen durch holzbrütende Insekten.* Trippstadt: Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft. 58 S.
- RAMISCH, H. (1984):** *Zur Wirtsfindung von Trypodendron domesticum und Trypodendron lineatum (Coleoptera: Scolytidae).* Dissertation an der Universität Göttingen. Göttingen: Institut für Standortlehre und Waldhygiene – Abteilung Forstzoologie – der Universität Göttingen. 288 S.

- RAMISCH, H. & BOMBOSCH, S. (1986):** Ein Beitrag zur Brutbaumerkennung von *Trypodendron lineatum* (Ol.) und *Trypodendron domesticum* (L.). *Journal for applied entomology* **102**: S. 422-431.
- RINN, F. (2007):** Die Bedeutung eines Schalltomogramms. *Allgemeine Forstzeitschrift / Der Wald* **62**: S. 404-405.
- RUST, S., WEIHS, U. & BIEKER, D. (2007):** Zerstörungsfreie Baumdiagnose. *Allgemeine Forstzeitschrift / Der Wald* **62**: S. 400-402.
- SCHNEIDER, H.-J. (1978):** Gewinnsteigerung durch Feinsortierung des Fichten-Schwachholzes. *Allgemeine Forstzeitschrift* **33**: S. 104-105.
- SCHÖNHERR, J., KRAUTWURST, K & RÖBLER, W. (1983):** Schadinsekten in Buchenalt-holzbeständen. *Allgemeine Forstzeitschrift* **38**: S. 1361-1363.
- SCHRÖTER, H. (2001):** Belgische Buchenerkrankung gibt Rätsel auf. *Holz-Zentralblatt* **127**: S. 1800.
- SCHRÖTER, H., DELB, H. & METZLER, B. (2004):** Waldschutzsituation 2003/2004 in Rheinland-Pfalz. *Allgemeine Forstzeitschrift / Der Wald* **59**: S. 343-345.
- SCHRÖTER, H., DELB, H. & METZLER, B. (2006):** Waldschutzsituation 2005/2006 in Baden-Württemberg. *Allgemeine Forstzeitschrift / Der Wald* **61**: S. 338-341.
- SCHRÖTER, H., DELB, H & METZLER, B. (2007 A):** Waldschutzsituation 2006/2007 in Rheinland-Pfalz. *Allgemeine Forstzeitschrift / Der Wald* **62**: S. 344-346.
- SCHRÖTER, H., DELB, H. & METZLER, B. (2007 B):** Waldschutzsituation 2006/2007 in Baden Württemberg. *Allgemeine Forstzeitschrift / Der Wald* **62**: S. 336-339.
- SCHWARZE, F., RABE, C., FERNER, D. & FINK, S. (2004):** Schalltomografische Untersuchungen an pilzinfizierten Bäumen. *Allgemeine Forstzeitschrift / Der Wald* **59**: S. 55-60.
- SCHWERDTFEGER, F. (1981):** *Die Waldkrankheiten*. Hamburg und Berlin: Verlag Paul Parey. 486 S.
- SEEGMÜLLER, S. & JOCHUM, M. (2003):** Schäden an stehendem Buchen-Stammholz. *Allgemeine Forstzeitschrift / Der Wald* **58**: S. 204-206.
- SKATTER, S., HØIBØ, O. & GJERDRUM, P. (1998):** Simulated yield in a sawmill using different measurement technologies. *Holz als Roh- und Werkstoff* **56**: S. 267-274.

**STRUKTUR- UND GENEHMIGUNGSDIREKTION SÜD (Hrsg.) (2001):** *Wissenschaftliches Symposium zur Buchenkomplexkrankheit in der Eifel*. Neustadt an der Weinstraße: Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd - Zentralstelle der Forstverwaltung - Fachbereich Produktion. 15 S.

**VITÉ, J. P. (1952):** *Die holzzerstörenden Insekten Mitteleuropas*. Textband. Göttingen: „Musterschmidt“ Wissenschaftlicher Verlag. 155 S.

**VUORILEHTO, J., TULOKAS, T. & MÜLLER, T. (2004):** Optimale Stammeindrehung verbessert Ausbeute. *Holz-Zentralblatt* **130**: S. 1235-1236.

**WEIHS, U., DUBBEL, V. KRUMMHEUER, F. & JUST, A. (1999):** Die elektrische Widerstandstomographie. *Forst und Holz* **54**: S. 166-170.

**WILHELM, G. J., EISENBARTH, E. & HEIDINGSFELD, N. (2001):** Hinweise zur Vorgehensweise bezüglich der Buchenerkrankung. *Allgemeine Forstzeitschrift/Der Wald* **56**: S. 1218-1219.





**Bisher sind folgende Mitteilungen aus der *Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz* erschienen:**

|         |  |        |
|---------|--|--------|
| 67/2009 | PHAN HOANG DONG (Hrsg.):<br>Zum Anbau und Wachstum von Vogelkirsche und Birke<br>ISSN 0931-9662  | €10,-- |
| 66/2008 | WERNER D. MAURER und BOLKO HAASE (Hrsg.):<br>Walnuss-Tagung 2008<br>ISSN 1610-7705   | €10,-- |
| 65/2008 | BLOCK (Hrsg.)<br>Forstliche Forschung<br>Grundlage für eine zukunftsfähige Forstwirtschaft<br>ISSN 1610-7705   | €10,-- |
| 64/2007 | SCHÜLER, GELLWEILER und SEELING (Hrsg.)<br>Dezentraler Wasserrückhalt in der Landschaft durch vorbeugende<br>Maßnahmen der Waldwirtschaft, der Landwirtschaft und im<br>Siedlungswesen<br>ISSN 1610-7705 | €15,-- |
| 63/2007 | DONG (Hrsg.)<br>Eiche im Pfälzerwald<br>ISSN 0931-9662   | €10,-- |
| 62/2007 | BÜCKING, MOSHAMMER und ROEDER<br>Wertholzproduktion bei der Fichte mittels kronenspannungsarm<br>gewachsener Z-Bäume<br>ISSN 0931-9622   | €15,-- |
| 61/2007 | JAHRESBERICHT 2006<br>ISSN 1610-7705<br>ISSN 1610-7713   |        |
| 60/2006 | BLOCK und SCHÜLER (Hrsg.)<br>Stickstoffbelastung der rheinland-pfälzischen Wälder;<br>Erschließung von Sekundärrohstoffen als Puffersubstanzen für<br>Bodenmaßnahmen im Wald<br>ISSN 1610-7705           | €10,-- |
| 59/2006 | PETERCORD und BLOCK (Hrsg.)<br>Strategien zur Sicherung von Buchenwäldern<br>ISSN 0931-9662  | €10,-- |
| 58/2006 | JAHRESBERICHT 2005<br>ISSN 0931-9662<br>ISSN 0936-6067   |        |
| 57/2005 | SEEGMÜLLER (Hrsg.)<br>Die Forst-, Holz- und Papierwirtschaft in Rheinland-Pfalz<br>ISSN 0931-9662  | €10,-- |
| 56/2005 | JAHRESBERICHT 2004<br>ISSN 0931-9662<br>ISSN 0936-6067   |        |
| 55/2005 | DONG (Hrsg.)<br>Zum Aufbau und Wachstum der Douglasie<br>ISSN 0931-9662  | €10,-- |

|         |  |                        |
|---------|--|------------------------|
| 54/2004 | DONG (Hrsg.)<br>Kiefer im Pfälzerwald<br>ISSN 0931-9662  | €10,--<br>vergriffen   |
| 53/2004 | JAHRESBERICHT 2003<br>ISSN 0931-9662<br>ISSN 0936-6067   |                        |
| 52/2004 | MAURER (Hrsg.)<br>Zwei Jahrzehnte Genressourcen-Forschung in Rheinland-Pfalz<br>ISSN 1610-7705   | €15,--<br>(vergriffen) |
| 51/2003 | JAHRESBERICHT 2002<br>ISSN 0931-9662<br>ISSN 0936-6067   |                        |
| 50/2003 | MAURER (Hrsg.)<br>Ökologie und Waldbau der Weißtanne – <i>Tagungsbericht zum 10. Internationalen IUFRO Tannensymposium</i> am 16-20. September 2002 an der FAWF in Trippstadt<br>ISSN 1610-7705      | €15,--                 |
| 49/2002 | MAURER (Hrsg.)<br>Vom genetischen Fingerabdruck zum gesicherten Vermehrungsgut: Untersuchungen zur Erhaltung und nachhaltigen Nutzung forstlicher Genressourcen in Rheinland-Pfalz<br>ISSN 1610-7705 | €15,--<br>(vergriffen) |
| 48/2002 | JAHRESBERICHT 2001<br>ISSN 0931-9662<br>ISSN 0936-6067   |                        |
| 47/2001 | JAHRESBERICHT 2000<br>ISSN 0931-9662<br>ISSN 0936-6067   |                        |
| 46/1999 | JAHRESBERICHT 1999<br>ISSN 0931-9662<br>ISSN 0936-6067   |                        |
| 45/1999 | DELB und BLOCK<br>Untersuchungen zur Schwammspinnerkalamität von 1992–1994 in Rheinland-Pfalz<br>ISSN 0931-9662  | €13,--                 |
| 44/1998 | JAHRESBERICHT 1998<br>ISSN 0931-9662<br>ISSN 0936-6067   |                        |
| 43/1997 | JAHRESBERICHT 1997<br>ISSN 0931-9662<br>ISSN 0936-6067   |                        |
| 42/1997 | BÜCKING, EISENBARTH und JOCHUM<br>Untersuchungen zur Lebendlagerung von Sturmwurfholz der Baumarten Fichte, Kiefer, Douglasie und Eiche<br>ISSN 0931-9662  | €10,--                 |
| 41/1997 | MAURER und TABEL (Hrsg.)<br>Stand der Ursachenforschung zu Douglasienschäden – derzeitige Empfehlungen für die Praxis<br>ISSN 0931-9662  | €10,--                 |

|         |   |        |
|---------|---|--------|
| 40/1997 | SCHRÖCK (Hrsg.)<br>Untersuchungen an Waldökosystemdauerbeobachtungsflächen in<br>Rheinland-Pfalz – <i>Tagungsbericht zum Kolloquium am 04. Juni 1996<br/>in Trippstadt</i> -<br>ISSN 0931-9662                            | € 8,-- |
| 39/1997 | JAHRESBERICHT 1996<br>ISSN 0931-9662<br>ISSN 0936-6067  |        |
| 38/1996 | BALCAR (Hrsg.)<br>Naturwaldreservate in Rheinland-Pfalz: Erste Ergebnisse aus dem<br>Naturwaldreservat Rotenberghang im Forstamt Landstuhl<br>ISSN 0931-9662  | €13,-- |
| 37/1996 | HUNKE<br>Differenzierte Absatzgestaltung im Forstbetrieb - Ein Beitrag zu<br>Strategie und Steuerung der Rundholzvermarktung<br>ISSN 0931-9662  | €10,-- |
| 36/1996 | JAHRESBERICHT 1995<br>ISSN 0931-9662<br>ISSN 0936-6067  |        |
| 35/1995 | BLOCK, BOPP, BUTZ-BRAUN und WUNN<br>Sensitivität rheinland-pfälzischer Waldböden gegenüber<br>Bodendegradation durch Luftschadstoffbelastung<br>ISSN 0931-9662  | € 8,-- |
| 34/1995 | MAURER und TABEL (Hrsg.)<br>Genetik und Waldbau unter besonderer Berücksichtigung der<br>heimischen Eichenarten<br>ISSN 0931-9662   | € 8,-- |
| 33/1995 | EISENBARTH<br>Schnittholzeigenschaften bei Lebendlagerung von Rotbuche ( <i>Fagus<br/>sylvatica</i> L.) aus Wintersturmwurf 1990 in Abhängigkeit von Lagerart<br>und Lagerdauer<br>ISSN 0931-9662                         | € 6,-- |
| 32/1995 | AUTORENKOLLEKTIV<br>Untersuchungen an Waldökosystem-Dauerbeobachtungsflächen in<br>Rheinland-Pfalz<br>ISSN 0931-9662  | € 6,-- |
| 31/1995 | JAHRESBERICHT 1994<br>ISSN 0931-9662<br>ISSN 0936-6067  |        |
| 30/1994 | SCHÜLER<br>Ergebnisse forstmeteorologischer Messungen für den Zeitraum 1988<br>bis 1992<br>ISSN 0931-9662   | € 6,-- |
| 29/1994 | FISCHER<br>Untersuchung der Qualitätseigenschaften, insbesondere der Festigkeit<br>von Douglasien-Schnittholz ( <i>Pseudotsuga Menziesii</i> (Mirb.)Franco),<br>erzeugt aus nicht-wertgeästeten Stämmen<br>ISSN 0931-9662 | € 6,-- |

|         |  |                      |
|---------|--|----------------------|
| 28/1994 | SCHRÖCK<br>Kronenzustand auf Dauerbeobachtungsflächen in Rheinland-Pfalz<br>- Entwicklung und Einflußfaktoren -<br>ISSN 0931-9662  | € 6,--               |
| 27/1994 | OESTEN und ROEDER<br>Zur Wertschätzung der Infrastrukturleistungen des Pfälzerwaldes<br>ISSN 0931-9662   | € 6,--               |
| 26/1994 | JAHRESBERICHT 1993<br>ISSN 0931-9662<br>ISSN 0936-6067   |                      |
| 25/1994 | WIERLING<br>Zur Ausweisung von Wasserschutzgebieten und den Konsequenzen für<br>die Forstwirtschaft am Beispiel des Pfälzerwaldes<br>ISSN 0931-9662  | € 6,--               |
| 24/1993 | BLOCK<br>Verteilung und Verlagerung von Radiocäsium in zwei<br>Waldökosystemen in Rheinland-Pfalz insbesondere nach Kalk- und<br>Kaliumdüngungen<br>ISSN 0931-9662   | € 6,--               |
| 23/1993 | HEIDINGSFELD<br>Neue Konzepte zum Luftbildeinsatz für großräumig permanente<br>Waldzustandserhebungen und zur bestandesbezogenen Kartierung<br>flächenhafter Waldschäden<br>ISSN 0931-9662   | €10,--               |
| 22/1993 | JAHRESBERICHT 1992<br>ISSN 0931-9662<br>ISSN 0936-6067   |                      |
| 21/1992 | AUTORENKOLLEKTIV<br>Der vergleichende Kompensationsversuch mit verschiedenen<br>Puffersubstanzen zur Minderung der Auswirkungen von<br>Luftschadstoffeinträgen in Waldökosystemen<br>- Zwischenergebnisse aus den Versuchsjahren 1988 - 1991 -<br>ISSN 0931-9662 | € 6,--<br>vergriffen |
| 20/1992 | JAHRESBERICHT 1991<br>ISSN 0931-9662<br>ISSN 0936-6067   |                      |
| 19/1991 | AUTORENKOLLEKTIV<br>Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Sturm- und<br>Immissionsschäden im Vorderen Hunsrück - "SIMS" -<br>ISSN 0931-9662   | € 6,--               |
| 18/1991 | SCHÜLER, BUTZ-BRAUN und SCHÖNE<br>Versuche zum Bodenschutz und zur Düngung von Waldbeständen<br>ISSN 0931-9662   | € 6,--               |
| 17/1991 | BLOCK, BOPP, GATTI, HEIDINGSFELD und ZOTH<br>Waldschäden, Nähr- und Schadstoffgehalte in Nadeln und Waldböden<br>in Rheinland-Pfalz<br>ISSN 0931-9662  | € 6,--               |

|         |  |                      |
|---------|--|----------------------|
| 16/1991 | BLOCK, BOCKHOLT, BORCHERT, FINGERHUT, HEIDINGSFELD und<br>SCHRÖCK<br>Immissions-, Wirkungs- und Zustandsuntersuchungen in Waldgebieten<br>von Rheinland-Pfalz - Sondermeßprogramm Wald, Ergebnisse 1983-<br>1989<br>ISSN 0931-9662 | € 6,--               |
| 15/1991 | JAHRESBERICHT 1990<br>ISSN 0931-9662<br>ISSN 0936-6067   |                      |
| 14/1990 | BLOCK<br>Ergebnisse der Stoffdepositionsmessungen in rheinland-pfälzischen<br>Waldgebieten 1984 - 1989<br>ISSN 0931-9662   | € 6,--<br>vergriffen |
| 13/1990 | SCHÜLER<br>Der kombinierte Durchforstungs- und Düngungsversuch Kastellaun -<br>angelegt 1959 - heute noch aktuell ?<br>ISSN 0931-9662  | € 6,--               |
| 12/1990 | JAHRESBERICHT 1989<br>ISSN 0931-9662<br>ISSN 0936-6067   |                      |
| 11/1989 | BLOCK, DEINET, HEUPEL, ROEDER und WUNN<br>Empirische, betriebswirtschaftliche und mathematische<br>Untersuchungen zur Wipfelköpfung der Fichte<br>ISSN 0931-9662   | € 6,--               |
| 10/1989 | HEIDINGSFELD<br>Verfahren zur luftbildgestützten Intensiv-Waldschadenserhebung in<br>Rheinland-Pfalz<br>ISSN 0931-9662   | €13,--               |
| 9/1989  | JAHRESBERICHT 1988<br>ISSN 0936-6067   |                      |
| 8/1988  | GERECKE<br>Zum Wachstumsgang von Buchen in der Nordpfalz<br>ISSN 0931-9662   | €13,--               |
| 7/1988  | BEUTEL und BLOCK<br>Terrestrische Parkgehölzschadenserhebung (TPGE 1987)<br>ISSN 0931-9662   | € 6,--               |
| 6/1988  | JAHRESBERICHT 1987<br>ISSN 0931-9662   |                      |
| 5/1988  | Die Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz im Dienste von Wald<br>und Forstwirtschaft<br>- Reden anlässlich der Übergabe des Schlosses Trippstadt als Dienstsitz<br>am 10.04.1987 -<br>ISSN 0931-9662                          | € 6,--               |
| 4/1987  | BEUTEL und BLOCK<br>Terrestrische Feldgehölzschadenserhebung (TFGE 1986)<br>ISSN 0931-9662   | € 6,--<br>vergriffen |
| 3/1987  | BLOCK, FRAUDE und HEIDINGSFELD<br>Sondermeßprogramm Wald (SMW)<br>ISSN 0931-9662   | € 6,--               |

|        |   |            |
|--------|---|------------|
| 2/1987 | BLOCK und STELZER<br>Radioökologische Untersuchungen in Waldbeständen<br>ISSN 0931-9662 | € 6,--     |
| 1/1987 | JAHRESBERICHT 1984-1986<br>ISSN 0931-9662   | vergriffen |









Rheinland-Pfalz

MINISTERIUM FÜR  
UMWELT, FORSTEN UND  
VERBRAUCHERSCHUTZ

Kaisers-Friedrich-Straße 1

55116 Mainz

[www.mufv.rlp.de](http://www.mufv.rlp.de)

[www.wald-rlp.de](http://www.wald-rlp.de)