



HOLZ
SCHUTZ
TAGUNG



DEUTSCHE HOLZSCHUTZTAGUNG

Trends und Chancen

Organisiert von der
Georg-August-Universität Göttingen

Göttingen | 27. und 28. September 2012



Deutsche Holzschutztagung





DEUTSCHE HOLZSCHUTZTAGUNG

Trends und Chancen

Organisiert von der
Georg-August-Universität Göttingen

Göttingen | 27. und 28. September 2012



Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2012

978-3-95404-185-5

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2012

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

www.cuvillier.de

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

1. Auflage, 2012

Gedruckt auf säurefreiem Papier

978-3-95404-185-5



Veranstalter und Herausgeber: Prof. Dr. Holger Militz
Georg-August-Universität Göttingen
Burckhardt-Institut
Abteilung Holzbiologie und Holzprodukte
Büsgenweg 4
37077 Göttingen

Für den Inhalt der Vorträge sind ausschließlich die Verfasser verantwortlich.



Die Tagung konnte mit freundlicher Unterstützung folgender Firmen realisiert werden



Lonza



■ • BASF Gruppe



Grußwort

Holz ist aufgrund seiner technologischen Eigenschaften, seiner Ästhetik und seiner „natürlichen Nachhaltigkeit“ der Baustoff der Zukunft. Seit vielen Jahren ist die Holzschutztagung das Forum für all diejenigen, die sich für den sachgerechten Schutz des Holzes interessieren.

Vom 27. bis 28. September 2012 treffen sich in Göttingen Holzschützer, Architekten, Bauplaner, Holzanwender und viele andere interessierte Kreise. Die Abteilung Holzbiologie und Holzprodukte der Georg-August-Universität Göttingen richtet in diesem Jahr erneut die Deutsche Holzschutztagung aus, um den fachlichen Austausch über neue Entwicklungen zu ermöglichen.

Das Tagungsprogramm wurde vom Fachausschuss Holzschutz erstellt, in dem alle oben genannten Gruppen auf Freiwilligenbasis vertreten sind.

Ich wünsche allen Tagungsteilnehmern interessante Tage in Göttingen!

Prof. Dr. Holger Militz



Fachausschuss Holzschutz



Korrespondenzadresse:

Dr. Susanne Bollmus
Georg-August-Universität Göttingen
Holzbiologie und Holzprodukte
Büsgenweg 4
37077 Göttingen

1. Vorsitzender:

Prof. Dr. Holger Militz
Georg-August-Universität Göttingen

2. Vorsitzender:

Prof. Dr. Andreas O. Rapp
Leibniz Universität Hannover

Mitglieder:

Dr. Jürgen Fischer:	Umweltbundesamt (UBA) - Umweltprüfung Biozide
Ekkehard Flohr:	Deutscher Holz- und Bautenschutzverband e.V. (DHBV)
Roland Glauner:	Holzbau Deutschland – Bund deutscher Zimmermeister
Dr. Jörg Habicht:	Dr. Wolman GmbH
Uwe Halupczok:	Deutscher Holzschutzverband für Außenholzprodukte e.V.
Dr. Josef Theo Hein:	Dyrup GmbH
Dr. Helmut Härtner:	Rütgers Organics GmbH
Prof. Dr. Martin Illner:	Hochschule Rosenheim
Dr. Peter Jüngel:	Kurt Obermeier GmbH & Co. KG
Dr. Dirk Lukowsky:	Fraunhofer-Institut für Holzforschung (WKI)
Dr. Eckhard Melcher:	Thünen Institut für Holztechnologie und Holzbiologie
Dr. Rudy Plarre:	Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM)
Dr. Peter Reißer:	Deutsche Bauchemie e.V.
Prof. Dr. Klaus Richter:	Technische Universität München
Dr. Wolfram Scheiding:	Institut für Holztechnologie Dresden GmbH (IHD)
Dr. Peter Schumacher:	Materialprüfanstalt Eberswalde (MPA)
Prof. Dr. Wibke Unger:	Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde (FH)



Inhaltsverzeichnis

M. Knaut	Trends und Perspektiven in der Forst- und Holzwirtschaft	7-20
A. Frühwald	Trends und Entwicklungen im Bauen mit Holz, Technische-wirtschaftliche Aspekte und Rahmenbedingungen	21-29
G. Koch	Das neue Holzhandelssicherungsgesetz – Gesetzliche Rege-lungen und Anforderungen an die Holzartenbestimmung und den Herkunftsnachweis	30-35
R. Plarre	Reaktion von Hausbockkäfern auf Bauholz unterschiedlicher, Qualitäten im Labor und Freiland	36-45
S. Hellkamp	Holz im Meerwasserverbau, Schädlinge im Meerwasser, <i>Tere-do</i> ssp. und <i>Limnoria</i> ssp. Lebenszyklus, Schadbilder und Auswirkungen auf Holzkonstruktionen	46-51
A. Klüppel	Dauerhaftigkeit von modifiziertem Holz im Meerwasser	52-62
U. Cordes	Holzschutz bei Holzachterbahnen	63-73
A. Gellerich	Untersuchungen zum Befallsdruck an Freileitungs-Holzmasten – Weiterführende Ergebnisse	74-82
A. Treu	PLEOT: Holzschutz mit Hilfe von Elektropuls	83-91
R. Koch	Möglichkeiten und Grenzen der BPD	92-96
T. Hein	Erste Erfahrungen mit handwerklichen Beschichtungen (nicht industriell) auf modifizierten Hölzern. Belmadur, Thermoholz, Accoya, Kebony	97-108
S. Bollmus	Bestimmung der natürlichen Dauerhaftigkeit von Holz – Teil 1: Stand der aktuellen Diskussion	109-119
C. Brischke	Bestimmung der natürlichen Dauerhaftigkeit von Holz – Teil 2: Ergebnisse eines europäischen Ringversuchs	120-129
M. Altgen	Schnellverfahren zur Qualitätsbestimmung von TMT mittels ESR- und NIR-Spektroskopie	130-140
W. Scheiding	Qualitätssicherung von TMT in der betrieblichen Praxis	141-147
A. Krause	WPC – Allgemeine Charakteristik und Lebensdauer im Ver-gleich zu Holz	148-161



H. Willeitner	Einführung in den Themenblock: DIN 68800 – Spannungsfeld durch neue Richtlinien – Möglichkeiten und Grenzen	162-169
R. Glauner	DIN 68800 – Besonderheiten bei der Ausführung und Planung von baulichen Holzschutzmaßnahmen	170-174
W. Hettler	DIN 68800 – Anwendung von Holzschutzmitteln im Spannungsfeld der neuen Richtlinien?	175-179
U. Halupczok	Die neue DIN 68800 – Fluch oder Segen für Außenholzprodukte?	180-184
D. Lukowsky	DIN 68 800 – Konsequenzen für den Fensterbau	185-188
E. Flohr	DIN 68800, Teil 4 – Auswirkungen auf die Altbausanierung	189-193



Trends und Perspektiven in der Forst- und Holzwirtschaft

Marcus Knauf

Knauf Consulting GbR

Zusammenfassung

Der Beitrag beschreibt auf der Basis einer empirischen Befragung von mehr als 300 Experten (*Delphistudie revisited*) herausragende Entwicklungen der Forst- und Holzwirtschaft bis 2020. Als besonders bedeutsame Trends werden benannt und beschrieben:

- Klimaschutz und Nachhaltigkeit sind normativ-regulatorische Treiber, die auf die Entwicklung der Forst- und Holzwirtschaft die mit Abstand größte Bedeutung haben.
- Die Verknappung ihrer Rohstoffe zwingt die Holzwirtschaft zu neuen Wegen.
- Globaler, bunter, umfassender: Märkte und Strukturen der Holzwirtschaft verändern sich.

Die in diesem Beitrag skizzierte Analyse dieser Trends soll der Holzschutzbranche helfen, die mit den Trends verbundenen Chancen zu nutzen.

1 Trend- und Zukunftsforschung in der Forst- und Holzwirtschaft

1.1 Die wichtigsten Trends der Holzwirtschaft sind omnipräsent

Oftmals liest man in Fachzeitschriften der Holzbranche von einem Megatrend der Holzwirtschaft, z. B. „Leichtbau als Megatrend“. Damit wollen die Autoren ausdrücken, dass es sich um einen bedeutenden Trend handelt, von dem man annimmt, dass er über mehrere Jahre eine große Bedeutung haben wird. Bei aller Bedeutung, die der Leichtbau als Produkttrend in der Holzwirtschaft hat, ist es doch kein Megatrend im Sinne des Namensgebers John Naisbitt, der mit Megatrend Entwicklungen beschrieb, die über mindestens ein Jahrzehnt alle Bereiche des Lebens und Wirtschaftens in einer Gesellschaft beeinflussen¹ (vgl. Naisbitt 1982). Megatrends sind heute z. B. Individualisierung, Globalisierung oder Gesundheit (vgl. Zukunftsinstitut 2004). Sie haben natürlich auch auf für die Holzwirtschaft eine große Bedeutung und können zum Ausgangspunkt genommen werden, um aus ihnen maßgebliche Entwicklungen der Holzwirtschaft abzuleiten (vgl. zu diesem Vorgehen: Knauf 2006). In diesem Beitrag werden jedoch die Entwicklungen aufgegriffen, die zurzeit in der Forst- und Holzwirtschaft diskutiert werden und die wahrscheinlich eine länger anhaltende Bedeutung haben. Es sind wichtige Branchentrends bis 2020 und darüber hinaus. Die hier vorgestellten Trends zeigen sich nicht nur in einem Teil der Branche (z. B. ausschließlich in der Holzwerkstoffindustrie). Sie sind omnipräsent in der Forst- bzw. Holzwirtschaft und spiegeln sich auch im Allgemeinen gesellschaftlichen Diskurs wider.

¹ John Naisbitt und Patricia Aburdene zur Bedeutung der Megatrends der 1990-er Jahre: [Die Megatrends] „werden wichtige Bereiche Ihres Lebens beeinflussen – Ihre Berufswahl, Ihre Reiseziele, Ihre geschäftlichen Transaktionen und Investitionen, Ihre Wohnortwahl und den Bildungsweg Ihrer Kinder. Um das Beste aus diesem außergewöhnlichen Jahrzehnt zu machen, müssen Sie sich der Veränderung bewusst sein, die überall in Ihrer Umwelt stattfindet“ (Naisbitt/Aburdene 1990: 10-11).



1.2 Klimaschutz und Nachhaltigkeit, Rohstoffknappheit und veränderte Märkte/Strukturen sind Entwicklungen mit herausragender Bedeutung

Die verschiedenen Trends der Forst- und Holzwirtschaft bis zum Jahr 2020 sind nicht ohne Weiteres zu hierarchisieren, sodass es schwerfällt, von den *wichtigsten* Trends sprechen kann. Jedoch haben insbesondere drei Trends eine besonders große Bedeutung:

- Klimaschutz und Nachhaltigkeit sind normativ-regulatorische Treiber, die auf die Entwicklung der Forst- und Holzwirtschaft die mit Abstand größte Bedeutung haben.
- Die Verknappung ihrer Rohstoffe zwingt die Holzwirtschaft zu neuen Wegen.
- Globaler, bunter, umfassender: Märkte und Strukturen der Holzwirtschaft verändern sich.

Diese drei Trends sind vor allem deshalb wichtig, weil sie eine gesamtgesellschaftliche Bedeutung haben (Klimawandel, Rohstoffknappheit und Globalisierung), zugleich aber für die Forst- und Holzwirtschaft von großer Bedeutung sind. Es sind verhältnismäßig junge Trends, die noch vor 10 Jahren für die Forst- und Holzwirtschaft keine bzw. eine untergeordnete Bedeutung hatten. Viele Partikularentwicklungen der Forst- und Holzwirtschaft lassen sich ihnen zuordnen. In Kapitel 2 werden sie umfassend beschrieben.

1.3 „Delphistudie revisited“ als empirische Basis der Analyse

Die in diesem Beitrag vorgestellten Trends wurden auf der Basis einer breit angelegten Expertenbefragung zu Entwicklungen in Forst- und Holzwirtschaft bis 2020 erarbeitet. Die Daten wurden im Rahmen der *Delphistudie Holz revisited* erhoben² (Knauf/Frühwald 2011a-e³). An der Studie beteiligten sich mehr als 300 Experten, um Prognosen zur Entwicklung der Holzwirtschaft bis 2020 zu stellen. Die *Delphistudie Holz revisited* setzt die *Trendanalyse Zukunft Holz – Delphistudie zur Entwicklung der deutschen Holzindustrie* (kurz: *Delphistudie Holz*) aus den Jahren 2003/04 fort (u. a. Knauf/Frühwald 2004 und Knauf 2006).

Die Ergebnisse der *Delphistudie Holz revisited* sollen – wie schon die Vorgängeruntersuchung 2004 – die deutsche Holzwirtschaft unterstützen, Veränderungen der Märkte und der technischen und strukturellen Entwicklungen zu antizipieren. Durch die Ergebnisse lassen sich sowohl auf betrieblicher Ebene als auch in politischer Hinsicht zukunftsweisende Strategien fundiert entwickeln. Daneben kann die Studie Anstoß für einen Branchendialog über die Zukunft der deutschen Holzwirtschaft sein. Sie bietet Gelegenheit, neben dem Wahrscheinlichen auch das Wünschenswerte zu diskutieren. Durch das hochkarätige Expertenfeld ermöglicht die Studie sehr aussagekräftige Ergebnisse zur Sicht der Branche auf die Zukunft der deutschen Holzindustrie.

Die in der Studie angewandte Delphimethode ist eine differenzierte Forschungsmethode für prognostische Studien (vgl. Häder 2002). Der Begriff „Delphi“ geht auf das griechische (Apollon-)Orakel von Delphi zurück. Apollon ist der altgriechische Gott der Weissagung. Delphi war über mehrere Jahrhunderte eine mächtige, von Priestern geleitete Anlaufstelle für Ratsuchende – übersetzt in die heutige Zeit eine Mischung aus einer Unternehmensberatung und Think Tank.

Bei der (heute verwendeten) Delphimethode werden Experten zu einer konkreten Fragestellung in mehreren Runden um ihr Urteil zu ausgewählten Fragen gebeten. Zentrales Merkmal der Delphimethode ist das mehrstufige Vorgehen: Die Ergebnisse einer Befragungsrunde werden aus-

² Daneben wurde als Datenbasis der KTR-Monitor (Knauf Trend Research-Monitor), der aktuelle Entwicklungen in der Forst- und Holzwirtschaft analysiert und systematisiert, genutzt.

³ abrufbar unter www.holz2020.de



gewertet, zusammengefasst und erneut den Befragten vorgelegt. So haben die Befragten die Gelegenheit, die Aussagen erneut zu bewerten. In der *Delphistudie Holz* wurden in einem dreistufigen Verfahren Experten befragt. Die hier vorgestellte *Delphistudie Holz revisited* wurde einstufig durchgeführt und ist für einen Teil der Fragen eine zeitversetzte vierte Delphirunde der Studie von 2004. Zugleich wurden aufgrund aktueller Entwicklungen auch neue Fragen in die Untersuchung aufgenommen.

In diesem Beitrag wird die Bewertung von Entwicklungen aus Sicht aller befragten Experten⁴ grafisch dargestellt (Abb.). Die Experten bewerteten die Aussagen auf einer Skala von „sehr unwahrscheinlich“ bis „sehr wahrscheinlich“⁵.

Neben der *Delphistudie Holz revisited* werden auch einige Ergebnisse einer bislang noch unveröffentlichten Befragung von 76 Experten aus der Holzwerkstoffindustrie gezeigt (*Delphibefragung HWI*). Diese Befragung wurde während des 9. Holzwerkstoffkolloquiums des Instituts für Holztechnologie in Dresden (IHD) im Dezember 2011 in Dresden durchgeführt. Während dieser Befragung konnten zusätzliche Fragen gestellt werden, die in der Befragung 2009 offen blieben.

2 Beschreibung herausragender Trends

2.1 Klimaschutz und Nachhaltigkeit sind normativ-regulatorische Treiber die auf die Entwicklung der Forst- und Holzwirtschaft die mit Abstand größte Bedeutung haben.

2.1.1 Die Transformation der Forst- und Holzwirtschaft im Klimawandel und die Bedeutung im Klimaschutz

Der Klimawandel ist seit ca. einem Jahrzehnt eines der großen gesellschaftlichen Themen. Er hat auch für die Forst- und Holzwirtschaft eine große Bedeutung. In einer umfassenden Investorenanalyse der Auswirkung des Klimawandels auf die wichtigsten Wirtschaftsbranchen in Europa kommt eine Studie der Deutschen Bank Research zu dem Fazit, dass die Klimaeffekte für „die ... Forstwirtschaft besonders spürbar“ sein werden (DB Research 2007:1). Die Analyse ist deshalb besonders instruktiv, weil sie die untersuchten Branchen nach den beiden Kategorien „klimatisch-natürliche Dimension“ und „marktwirtschaftlich-regulatorische Dimension“ beurteilt (ebd.). Abb. 1 kombiniert in einem Koordinatensystem beide Dimensionen. Die Größe der Kreise und Ellipsen spiegelt nicht die Bedeutung der Branchen wider, sondern das Ausmaß der Betroffenheit hinsichtlich der beiden Dimensionen des Klimawandels (ebd.: 29). Das Koordinatensystem in Abb. 1 verortet dabei sowohl die (Land- und) Forstwirtschaft als auch die für die Holzwirtschaft bedeutsamen Branchen: die Bauwirtschaft, deren Bewertung auch für den Holzbau zutrifft, die Baustoffindustrie (als „Konkurrenzindustrie“ zur Holzverwendung) bzw. auch die Papierindustrie als Teil des Clusters ForstHolz (die jedoch in diesem Beitrag nicht weiter betrachtet wird).

⁴ In der Studie wurden – neben der Auswertung der Aussagen aller befragten Experten – auch mehrere Expertengruppen gebildet (z. B. die Expertencluster Sägeindustrie, Holzwerkstoffindustrie, Rohstoffmarktexperten).

⁵ Sollte die S/W-Darstellung der Abbildungen unzureichend sein, so sollte für die farbig dargestellten Abbildungen auf die Originalbeiträge unter www.holz2020.de zurückgegriffen werden.

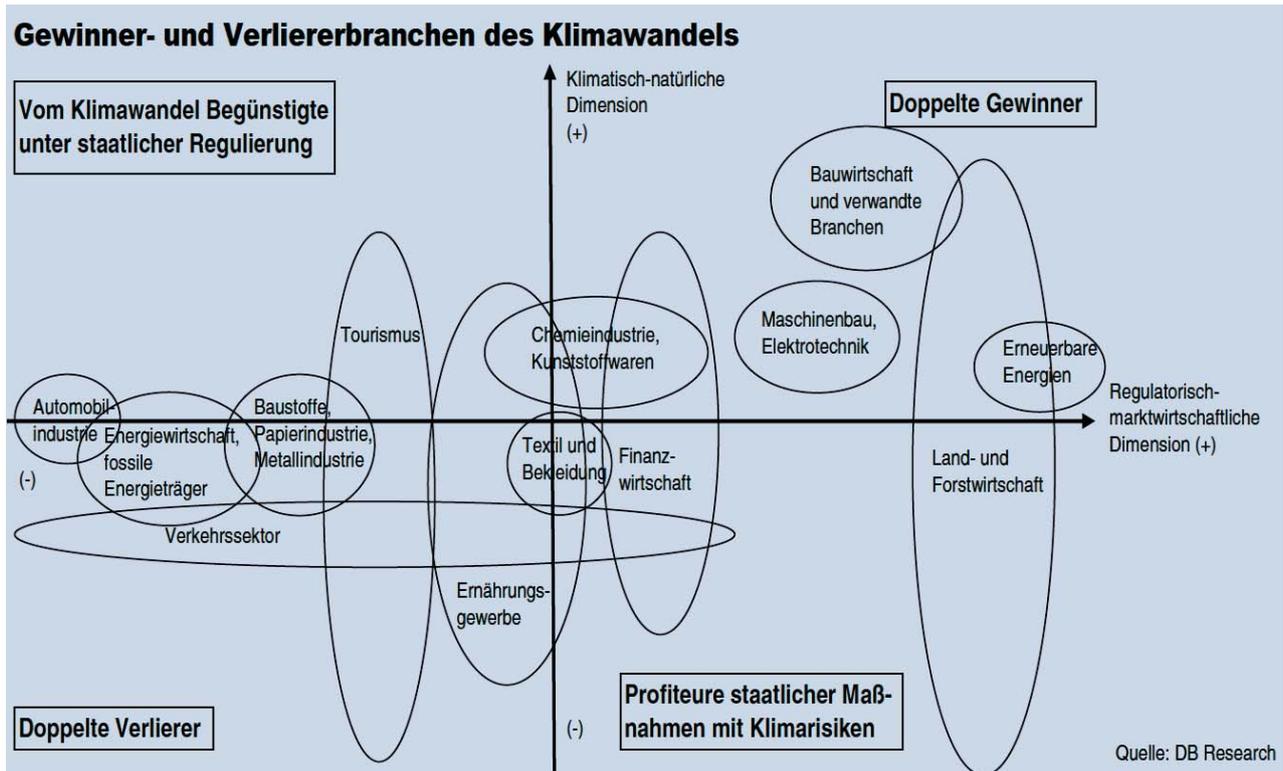


Abb. 1: Gewinner- und Verliererbranchen des Klimawandels (Deutsche Bank Research 2007: 29)

Die klimatisch-natürliche Dimension

Die Forstwirtschaft ist direkt mit der Frage konfrontiert, welche klimatisch-natürlichen Auswirkungen der Klimawandel auf die Wälder haben wird. Durch den Klimawandel werden mehr Sturmergebnisse mit nachfolgenden Kalamitäten und auch zunehmend Waldbrände wegen der Trockenheit im Sommer erwartet. Dies führt zu einem unregelmäßigen Anfallen von größeren Mengen an (Sturm-)Holz. Im Zeitfenster bis 2020 ist jedoch nicht damit zu rechnen, dass es zu einschneidenderen Folgen kommt als bei den großen Stürmen der letzten Jahrzehnte („Kyrill“, „Lothar“, „Wiebke“ etc.). Mögliche negative Auswirkungen werden auf der anderen Seite dadurch kompensiert, dass ein höherer CO₂-Gehalt in der Luft ein höheres Wachstum der Bäume und damit eine höhere Produktivität der Wälder erwarten lässt. Dieser positive Effekt könnte die negativen Effekte durch Kalamitäten etc. sogar aufwiegen.

Die Wachstumsbedingungen der bislang sowohl für die Forst- als auch die Holzwirtschaft wichtigsten Baumart, der Fichte, werden sich durch den Klimawandel verschlechtern (u. a. höhere Temperaturen und Verringerung der Niederschläge im Sommer). Dies ist ein wichtiger Grund für den Anbau anderer Arten, die sich den neuen Klima- und Standortgegebenheiten besser anpassen können. So wird auch aus diesem Grunde ein Waldumbau z. B. zu mehr Laubholz eingeleitet (vgl. dazu auch Kapitel 2.2). Daneben werden auch zunehmend hier nicht heimischen Baumarten angepflanzt werden, z. B. Douglasie oder Küstentanne als Substitute für Fichte. Da waldbauliche Veränderungen auf mehrere Generationen angelegt sind, sind die Waldbesitzer und die sie unterstützenden Institutionen heute zwar in hohem Maße durch den erwarteten Klimawandel gefordert, aber auf Seiten der Holzbereitstellung und damit für die Holzverwendung werden sich Veränderungen erst deutlich in ein bis zwei Generationen zeigen. Aufgrund von Durchforstungen fallen lediglich größere Mengen von Schwachholz an.

Fazit: Betrachtet man die Forstwirtschaft in der ihr angemessenen Zeitdimension mehrerer Generationen (z. B. bis zum Jahr 2100), dann wird sich der deutsche Wald aufgrund des Klimawandels



deutlich verändern. Die Auswirkungen für die Holzwirtschaft sind in den nächsten 20 Jahren jedoch von eher untergeordneter Bedeutung.

Die marktwirtschaftlich-regulatorische Dimension

Wesentlich bedeutsamer als die direkten Auswirkungen des Klimawandels in den nächsten 20 Jahren sind die Auswirkungen, der marktwirtschaftlich-regulatorischen Dimension. Diese Dimension schließt staatliche Maßnahmen ein, die negativen Auswirkungen des Klimawandels bekämpfen sollen. Ein Beispiel für einen staatlichen Eingriff ist z. B. die Förderung der Bioenergien, die zu einem steigenden Preis für Biomasse und damit auch für Holz geführt hat und noch weiter führen wird. Höhere Preise für Rundholz führen auf Seiten der Forstwirtschaft zu höheren Erlösen und auf Seiten der Holzwirtschaft zu höheren Kosten. Damit ist dieser staatliche Eingriff für den Cluster ForstHolz indifferent. Im Gesamten erwartet DB Research, dass die Forst- und Holzwirtschaft in hohem Maße von der marktwirtschaftlich-regulatorischen Dimension profitiert (Bauwirtschaft und damit insbesondere der Holzbau als doppelte Gewinnerbranche, vgl. Abb. 1).

Neben der marktwirtschaftlich-regulatorischen Dimension ist auch das Verhalten der Marktteilnehmer (insbesondere Konsumenten und Investoren) von großer Bedeutung. In der *Delphistudie Holz revisited* wurden diese beiden Dimensionen (staatliche Einflussnahme und Verhalten der Marktteilnehmer) beleuchtet. Dabei stand nicht das Thema Klimawandel und Klimaschutz im Vordergrund, sondern die Fragen fokussierten den Begriff der „Nachhaltigkeit“.

2.1.2 Klimawandel und Klimaschutz als Katalysator für Nachhaltigkeit

Nachhaltigkeit war für die deutsche Forst- und Holzwirtschaft drei Jahrhunderte lang ein identitätsstiftender Begriff. Bis vor ca. 25 Jahren war der Begriff Nachhaltigkeit allein auf die Forst- und Holzwirtschaft bezogen. Erst dann spielte er im gesellschaftlichen und politischen Diskurs eine Rolle. Für Kunden war er damit noch lange kein relevantes Kaufargument, allenfalls der Begriff Ökologie. Aber auch Ökologie war nur für einen kleinen Teil der Kunden ein wichtiges Argument beim Einkauf oder bei Investitionsentscheidungen. Seit ca. fünf Jahren hat der Begriff der Nachhaltigkeit in der Gesellschaft eine erhöhte Bedeutung und auch die Haltung der Kunden verändert sich. Nachhaltigkeit ist zu einem wichtigen Verkaufsargument geworden (vgl. Knauf 2012).

Der wichtigste Grund für die Bedeutungszunahme der Nachhaltigkeit ist dessen Verknüpfung mit Klimawandel und -schutz. Dadurch wird der eher vage Begriff der Nachhaltigkeit fassbar. Die Maßnahmen gegen den Klimawandel operationalisieren und konkretisieren den Begriff der Nachhaltigkeit.

In der *Delphistudie Holz revisited* nahm das Thema Nachhaltigkeit, insbesondere Nachhaltiges Bauen, einen großen Raum ein (Abb. 2). In der *Delphibefragung HWI* wurde speziell auf Aspekte des Nachhaltigen Bauens fokussiert (Abb. 3).

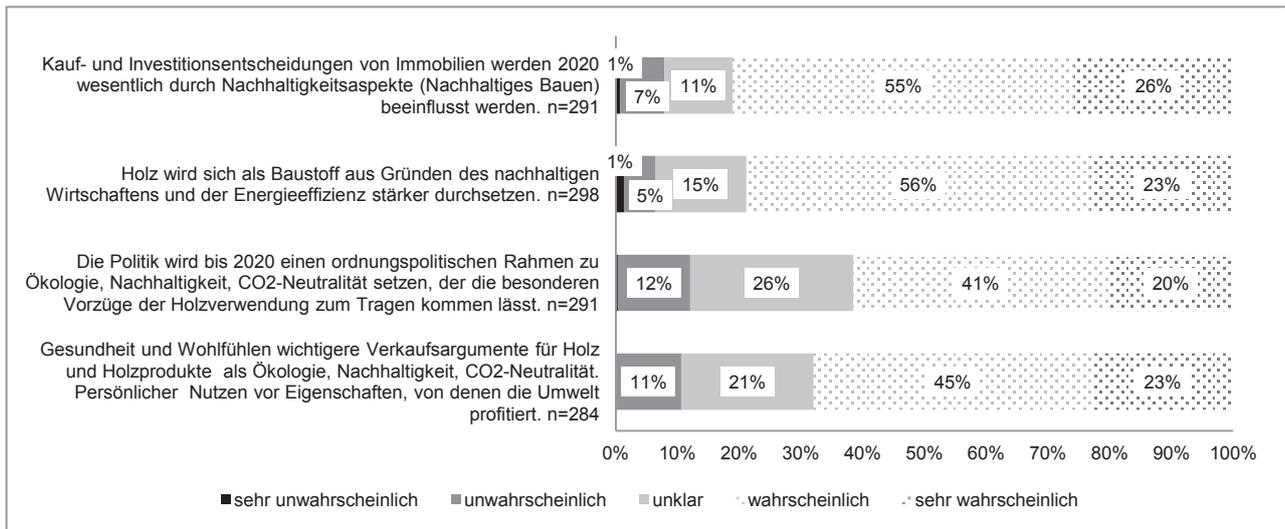


Abb. 2: Die Bedeutung von Nachhaltigkeit für die Holzverwendung (2020) (Delphistudie Holz revisited 2009)

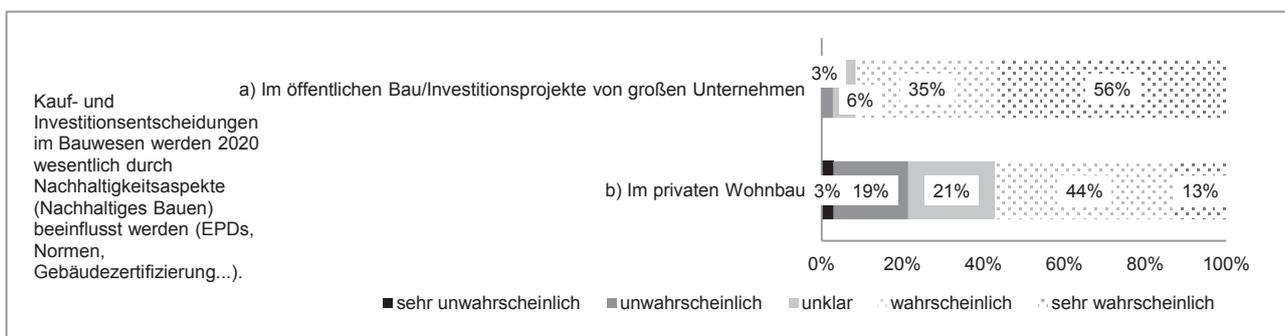


Abb. 3: Die Bedeutung von Nachhaltigkeitsaspekten für die Kauf- und Investitionsentscheidungen im Bauwesen (2020) (Delphibefragung HWI 12/2010)

Die Ergebnisse machen deutlich, dass das Thema „Nachhaltiges Bauen“ nach Ansicht der Experten bis 2020 eine große Bedeutung erlangen wird. Die Bedeutung im institutionellen Bauen wird nach Ansicht der Experten jedoch wesentlich größer sein als im privaten Hausbau. Für den privaten Bereich zeigt sich bei der Analyse der Antworten, dass Holz zwar von der wachsenden Bedeutung von Nachhaltigkeit profitieren kann, aber andere Argumente im Vergleich *wichtiger* bleiben. Die Expertenmeinung entspricht damit dem Konsumverhalten, das Trendforscher in den letzten Jahren beobachten und mit dem Begriff *Lohas* (Lifestyle of Health and Sustainability) beschreiben (vgl. Wenzel et al. 2008 oder Kirig et al. 2009). Das Zukunftsinstitut beschreibt diesen Trend als Neo-Ökologie: „Neo-Ökologie ist mehr als ‚Naturschutz‘ und hat längst nichts mehr mit Birkenstock-Sandalen und kratzigen Wollpullis zu tun. Neu an der Ökologie ist, dass sie Nachhaltigkeit und Effizienz in allen Bereichen bedeutet. Und im moralischen Konsum werden Marken und Produkte nach sozialökologischen Maßstäben bewertet. Was in den vergangenen Jahrzehnten eher eine Beschäftigung für elitäre Minderheiten war, wird jetzt zum Schlüsseltrend für das Konsumverhalten breiter Bevölkerungsgruppen (Zukunftsinstitut o. D.).“

Die befragten Experten erwarten ebenfalls, dass die Holzwirtschaft insbesondere von staatlich-regulatorischen Eingriffen profitieren wird. Sie rechnen damit – im Gegensatz zu den Einschätzungen früherer Jahre – dass die Holzwirtschaft auch von der Politik als wichtiger Wirtschaftsfaktor wahrgenommen wird (Abb. 4). Ein Grund für diese Einschätzung ist neben der volkswirtschaftlichen Bedeutung der Branche, die in zahlreichen Clusterstudien dargestellt wurde (z. B. Mrosek et al. 2005) insbesondere die Bedeutung, die die Holzwirtschaft im Bezug auf Klimawandel und Klimaschutz zukünftig einnehmen kann.

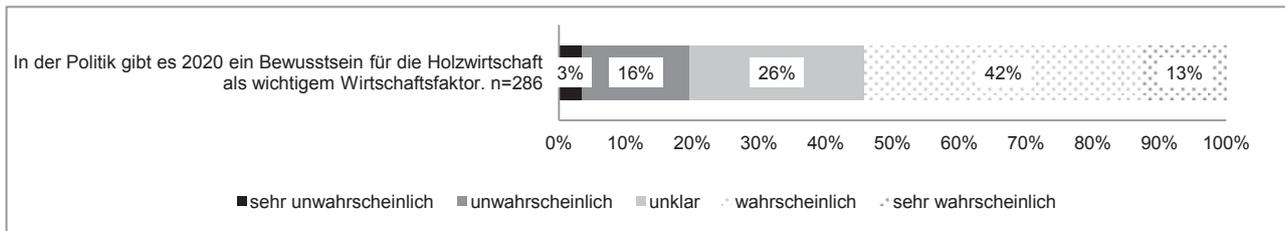


Abb. 4: Anerkennung der Holzwirtschaft als wichtiger Wirtschaftsfaktor durch die Politik (2020) (Delphistudie Holz revisited 2009)

Das von den Experten vermutete gewachsene Bewusstsein der Holzwirtschaft als wichtigem Wirtschaftsfaktor hat nach deren Ansicht auch konkrete Auswirkungen, wie etwa verbesserte Rahmenbedingungen (vgl. Abb. 2) oder eine (verbesserte) Anerkennung der Klimaschutzleistung von langfristig verbautem Holz (Abb. 5).

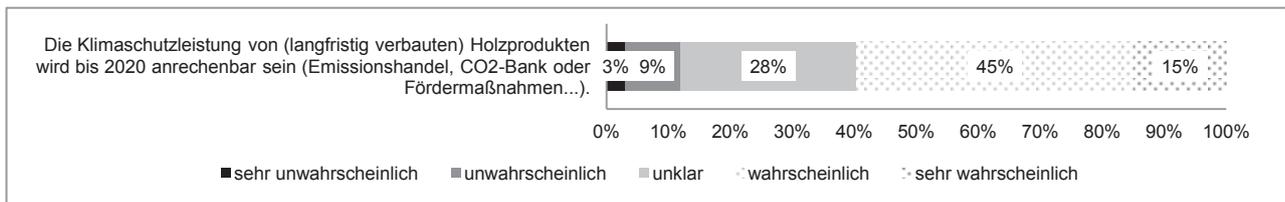


Abb. 5: Anrechnung von Klimaschutzleistungen von Holzprodukten (2020) (Delphibefragung HWI 12/2010)

Vor dem Hintergrund der erwarteten verbesserten Rahmenbedingungen wird auch die Holzwirtschaft gerade in der Produktentwicklung ihren Schwerpunkt bei den Themen „Klimaschutz und Energieeffizienz“ setzen. Diese beiden Themen sind aus Sicht der Experten die wichtigsten Treiber für Produktinnovationen (Abb. 6).

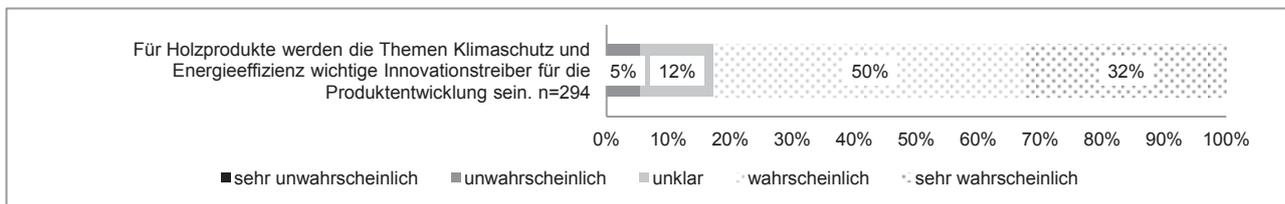


Abb. 6: Klimaschutz und Energieeffizienz als Innovationstreiber für die Produktentwicklung (2020) (Delphistudie Holz revisited 2009)

Die nachhaltigen, an Klimaschutz und Energieeffizienz orientierten Produkte der Holzwirtschaft finden ihre wichtigste Anwendung im Holzbau. Dabei ist jedoch die Sanierung und Modernisierung und nicht der Neubau der wichtigste Anwendungsbereich. Für die befragten Experten ist der Holzbau gerade in der Sanierung aufgrund seiner technischen Eigenschaften besonders wettbewerbsfähig. Sie erwarten, dass sich Holz gerade hier besonders durchsetzen wird (Abb. 7).

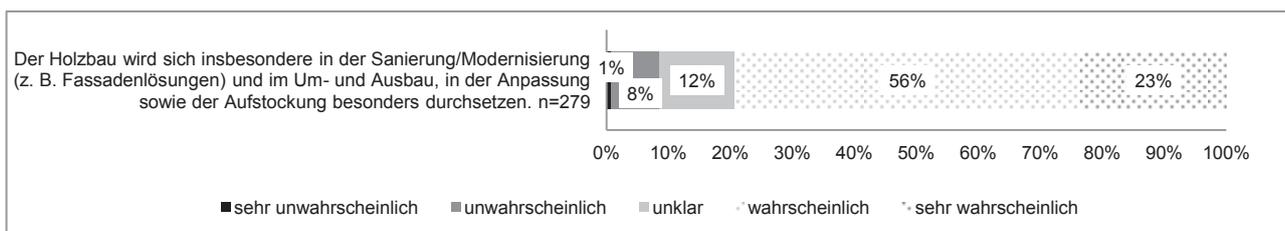


Abb. 7: Die Bedeutung der Sanierung/Modernisierung für den Holzbau (2020) (Delphistudie Holz revisited 2009)

Insgesamt wird sich nach Meinung der Experten in Zukunft eine Situation ergeben, in der Holz auf verschiedenen Ebenen reüssieren kann. Die Holzwirtschaft wird wahrscheinlich einer der Gewinner aufgrund von staatlich-regulatorischen Eingriffen sein. Zugleich kann sie sich auf Grund der technologischen (zum Teil noch zu entwickelnden) Eigenschaften von Holz und Holzprodukten wichtige Märkte (Sanierung) erschließen.

2.2 Die Verknappung ihrer Rohstoffe zwingt die Holzwirtschaft zu neuen Wegen

2.2.1 Holz bleibt bis 2020 knapp – das heißt es wird teurer

Im vorherigen Kapitel wurde ausgeführt, dass insbesondere staatliche Eingriffe auf der Marktseite (Bauen mit Holz) für die Entwicklung der Holzwirtschaft positiv sind. Aufgrund von staatlichen Eingriffen (u. a. wegen des Waldumbaus aufgrund von Klimawandel und Förderung der Bioenergien) wird seit knapp 10 Jahren auf der Seite der Holzverwendung eine Verknappung des Rohstoffes befürchtet. In der *Delphistudie revisited* nahm das Thema Rohstoffversorgung einen relativ breiten Raum ein. Die befragten Experten beurteilten mehrere Aussagen zu Entwicklungen im Bezug auf die zukünftige Rohholzversorgung (Abb. 8).

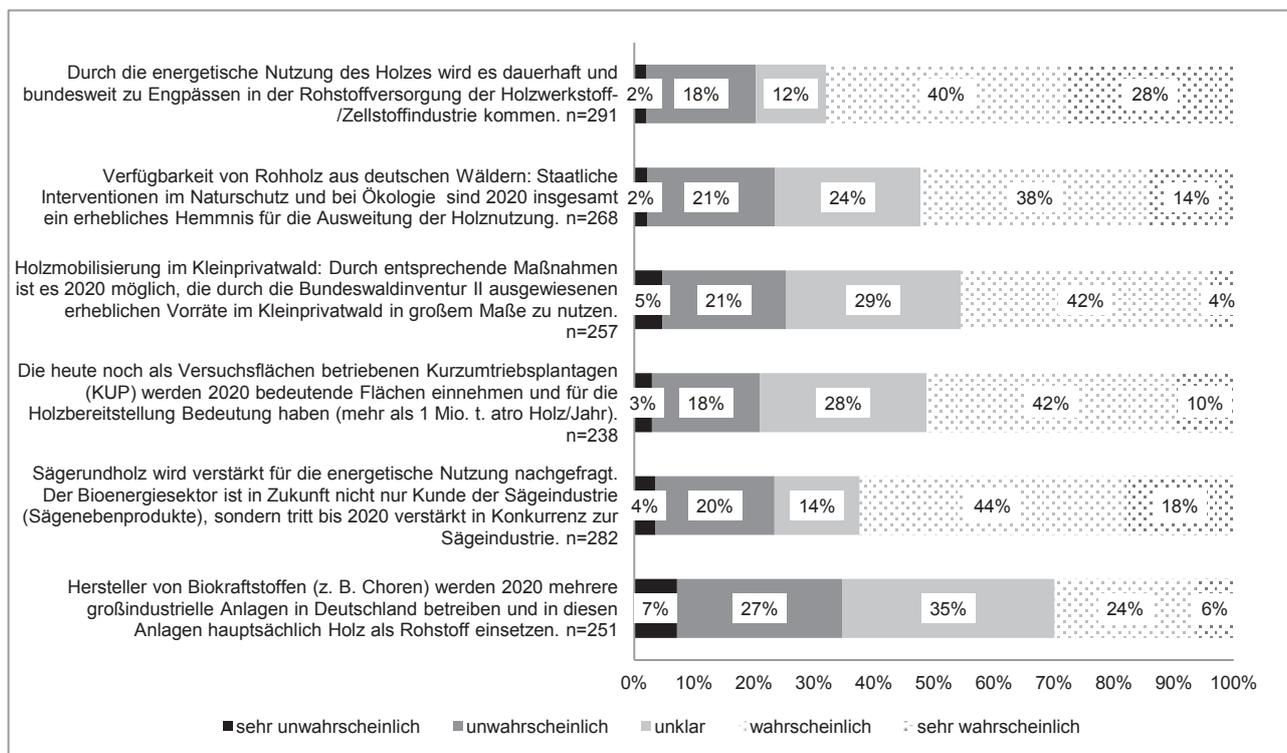


Abb. 8: Veränderung im Bereich Rohstoff (2020) (Delphistudie Holz revisited 2009)

Neben der qualitativen Beurteilung wie sie in Abb. 8 vorgenommen wurde, schätzten die Experten auch quantitativ ab, wie sich die Marktsituation bis 2020 verändern wird. Den Experten wurden als Bezugsgrößen jeweils die Marktzahlen des Jahres 2007 gegeben. Abb. 9 zeigt die quantitative Auswertung dieser Frage. Das Ergebnis lässt sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Moderate Ausweitung des Holzeinschlags in deutschen Wäldern (um ca. 10 %). Dabei kommen die Rohstoffexperten bzw. die Experten aus dem Forstbereich zu einer ähnlichen Einschätzung. Die Experten aus der Sägeindustrie sind etwas skeptischer.
- Klarer Trend zu einer stärkeren energetischen Nutzung des Holzes (Steigerung um ca. 20 %).

- Die Entwicklung der Nadelschnittholzproduktion wird uneindeutig beurteilt, in der Summe eher gleichbleibend (Zu- und Abnahme im Rahmen von ca. 10 %).
- Die Laubschnittholzproduktion wird sich aus Sicht der Experten ausweiten (um ca. 15 %).
- Der Anteil des Holzbaus am Bau von Ein- und Zweifamilienhäusern wird sich bis 2020 nach Einschätzung der Experten erhöhen (um ca. 20 %).
- Der Holzverbrauch (gemessen am Pro-Kopf-Holz-Verbrauch) wird sich erhöhen (um 10 bis 15 %).

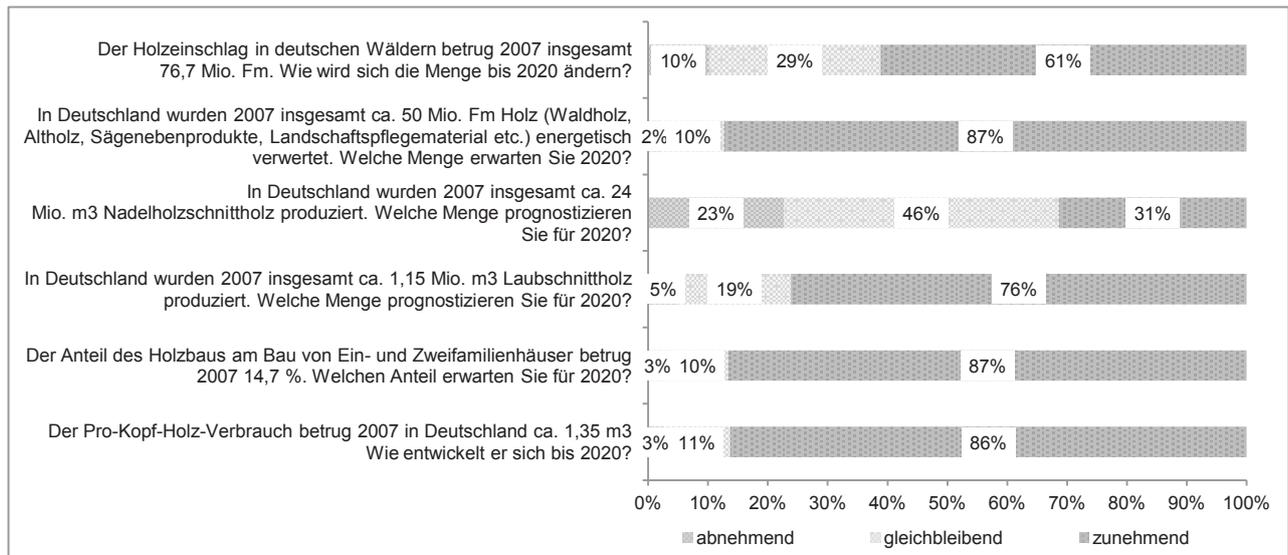


Abb. 9: Entwicklung von Holzaufkommen und -verwendung bis 2020 (Delphistudie Holz revisited 2009)

Die Experten erwarten, dass die Bedeutung von Holz bis 2020 wachsen wird. Rohstoffe für dieses Wachstum werden zu einem großen Teil durch die Ausweitung der Nutzung von Waldholz kommen und durch neue Rohstoffquellen (KUP) ergänzt werden. Dabei wird sich in den kommenden 10 Jahren die Nutzungskonkurrenz zwischen stofflicher und energetischer Nutzung fortsetzen und sich in steigenden Rohholzpreisen niederschlagen. Davon betroffen wird vornehmlich die Holzwerkstoffindustrie sein, aber auch zunehmend die Sägewirtschaft. Treffen die Prognosen der Experten zu, wird die Nutzungskonkurrenz die Existenz der Holzwirtschaft und ihrer traditionellen Segmente jedoch keineswegs gefährden, sondern wird eher dazu führen, dass sich Holzprodukte gegenüber der energetischen Nutzung durch eine höhere Wertschöpfung absetzen müssen. Voraussetzung dafür ist, dass Biokraftstoffe in diesem Zeitraum (wie von den Experten erwartet) keine nennenswerte Rolle spielen (vgl. Knaut/Frühwald 2011 a).

2.2.2 Holzknappheit bedeutet nicht das Ende der deutschen Holzwirtschaft

Im letzten Abschnitt wurde das Fazit gezogen, dass die deutsche Holzwirtschaft insgesamt durch höhere Rohstoffpreise nicht in ihrer Existenz gefährdet ist. Lediglich bestimmte Branchen (wie die Holzwerkstoffindustrie) leiden besonders unter einer Holzverknappung bzw. Preissteigerung. Der Grund hierfür ist auch darin zu suchen, dass sich die Holzwerkstoffindustrie in der Vergangenheit insbesondere auf Commodity-Produkte konzentriert hat, deren größter Wettbewerbsvorteil im Preis lag. Dieser Vorteil wird jedoch zukünftig wegen steigender Rohstoffpreise wegfallen.

Es gibt (auch für die Holzwerkstoffindustrie) zwei Möglichkeiten bzw. Strategien, wie man der Holzknappheit in Deutschland bzw. Mitteleuropa begegnen kann:

- (1) **Materialeinsparung und -effizienz:** Die Holzindustrie wird versuchen, aus dem vorhandenen Holz „mehr herauszuholen“. Neben einer konsequenteren Kaskadennutzung ist es auch möglich, Holzprodukte zu entwickeln, die weniger Material einsetzen. So ist aus Sicht der Experten der Leichtbau weiterhin ein wichtiger Produkttrend der nächsten Jahre (Abb. 10).
- (2) **Weltweiter Bezug von Rohstoffen:** Die im Dezember 2011 befragten Experten der Holzwerkstoffindustrie erwarten, dass die Holzwerkstoffindustrie 2020 ihren Bedarf weltweit decken wird (Abb. 11).

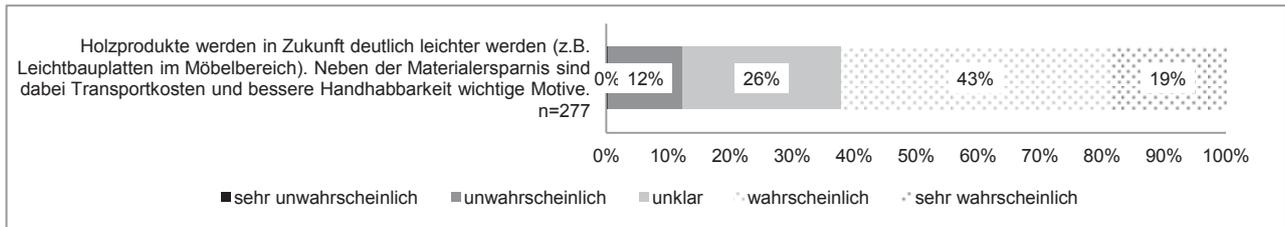


Abb. 10: Leichtbau als Produkttrend (2020) (Delphistudie Holz revisited 2009)

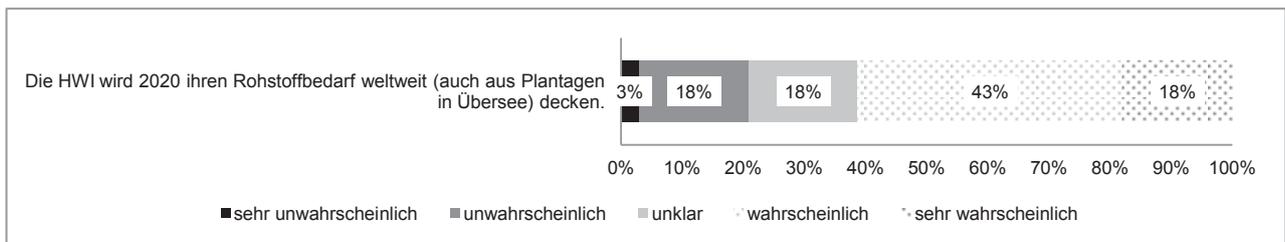


Abb. 11: Weltweiter Bezug von Rohstoffen (2020) (Delphibefragung HWI 12/2010)

Im Bezug auf Rohstoffknappheit und steigende Rohholzpreise haben Knauf und Frühwald (2011 f) eine wichtige Tatsache, die in der Diskussion oftmals vergessen wird, zu bedenken gegeben: „Der Holzpreis steigt ... nicht nur national bzw. in Mitteleuropa sondern weltweit. D. h., international ergeben sich ähnliche Faktorpreise zur Herstellung von Holzprodukten. Gleichzeitig steigen (weltweit) die Energiepreise, was die Produktalternativen zu Holz ebenfalls verteuern wird, so dass Holzprodukte auch bei steigenden Rohstoffpreisen langfristig keinen Wettbewerbsnachteil haben sollten.“

2.2.3 Laubholznutzung ein ganz wichtiges Thema für die deutsche Holzwirtschaft

Der Waldumbau zu einer stärker Laubholz orientierten Waldwirtschaft führt zu einem zukünftig veränderten Rohstoffsortiment für die Holzwirtschaft (Abb. 12). Die Holzwirtschaft ist dabei gefordert, neue und innovative Laubholzprodukte zu entwickeln und herzustellen. Die Entwicklung von neuen innovativen marktauglichen Laubholzprodukten wird dabei eine Schlüsselfrage für die Forschung und Entwicklung der Holzwirtschaft (und damit auch für die Holzwirtschaft selbst) sein (vgl. Knauf/Frühwald 2011 a).

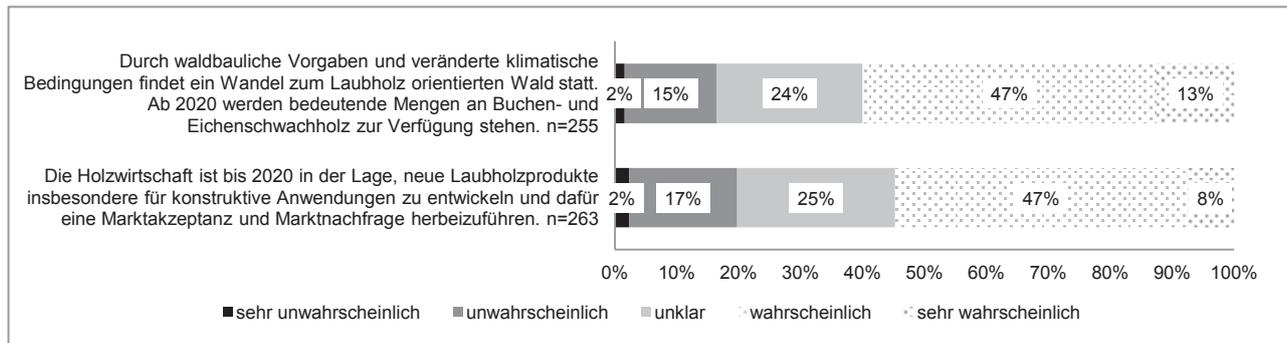


Abb. 12: Laubholznutzung (2020) (Delphistudie Holz revisited 2009)

2.3 Globaler, bunter, umfassender: Märkte und Strukturen verändern sich.

Im Rahmen dieses Beitrags lassen sich die wichtigen Entwicklungen und Trends, die sich für Strukturen und Märkte ergeben, leider nur anreißen und nicht umfassend beschreiben. Da sie jedoch im Vergleich zu den beiden unter Kapitel 2.1 bzw. 2.2 beschriebenen Trends gleichwertig sind, werden sie mitaufgenommen, aber nur kurz beschrieben. Abb. 13 zeigt die Einschätzung der Experten zu einigen wichtigen Trends.

- **Globalisierung:** Die Internationalisierung der Absatzmärkte und auch des Produktions-Know hows wird sich bis 2020 nach Ansicht der Experten fortsetzen. Die Experten erwarten aber auch, dass die Firmensitze der Unternehmen weiterhin in Deutschland bleiben (vgl. Knauf/Frühwald 2011 e). Als Gegengewicht der Globalisierung gibt es jedoch auch Tendenzen der Regionalisierung (Regionaler Holzhausbau). Es handelt sich um ein Phänomen, das Trendforscher Glokalisierung genannt haben (vgl. Horx 2001: 179).
- **Veränderte Strukturen – es wird bunter:** Bis vor ca. 10 Jahren waren die Märkte von Holzwerkstoffindustrie und Sägeindustrie abgegrenzt. Das hat sich schon in den letzten Jahren geändert und diese Entwicklung wird sich nach Ansicht der Experten auch noch weiterhin fortsetzen. Sie erwarten, dass die Holzwerkstoffindustrie vermehrt Bauprodukte entwickeln und damit in Konkurrenz zur Sägeindustrie stehen wird. Gleichzeitig wird auch erwartet, dass Sägeindustrie und Holzwerkstoffindustrie zusammen Produkte entwickeln und herstellen. Nicht nur die Grenzen innerhalb der Holzwirtschaft verschwimmen. Die Experten erwarten auch, dass holzwirtschaftliche Unternehmen mit nicht-holzwirtschaftlichen Unternehmen Produkte herstellen werden. Produktseitig zeigt sich dies in einer Zunahme von Verbundwerkstoffen. Wood Plastic Composites WPC können auch im weitesten Sinne als ein solches Produkt interpretiert werden.
- **Umfassender – höhere Wertschöpfung durch Vorwärtsintegration:** In Kapitel 2.2.2 wurde ausgeführt, dass es das Ziel der Holzindustrie sein wird, „mehr aus dem Holz herauszuholen“ – damit ist unter anderem eine höhere Materialeffizienz gemeint. Ein anderer Weg ist für die Unternehmen die Erhöhung ihrer Fertigungstiefe durch Vorwärtsintegration. Die Vorwärtsintegration wird von den Experten bis 2020 für Unternehmen der Holzwirtschaft für wahrscheinlich gehalten wird. Diese Entwicklung führt nach Ansicht der Experten auch zu einer Verlagerung von Wertschöpfung vom Handwerk in die Industrie. Auf Seiten des Handwerks trifft dieser Trend auf den Trend der weiteren Zunahme der Montagebetriebe.

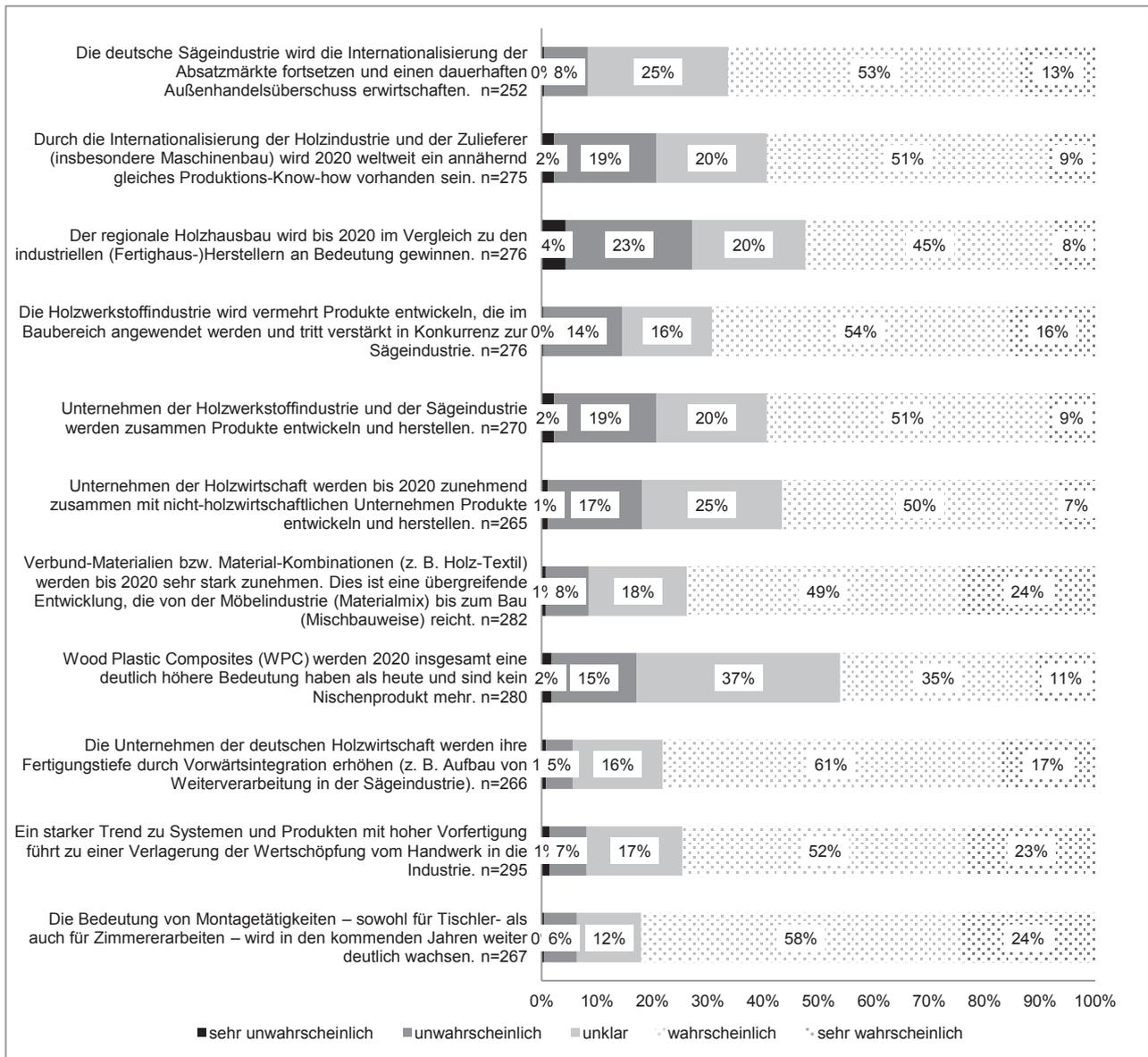


Abb. 13: Veränderungen der Strukturen, Märkte und von Produkten (2020) (Delphistudie revisited 2009)

3 Resümee: Die Trends bis 2020 schaffen Perspektiven – auch für den Holzschutz Holzschutz kann von den Themen Nachhaltigkeit und Klimaschutz profitieren.

Der Holzschutz hat die große Chance, von den in diesem Beitrag beschriebenen Entwicklungen zu profitieren. Dazu soll an dieser Stelle ein Beispiel ausgeführt werden: In vergleichenden Ökobilanzen werden Holzprodukte mit Nicht-Holzprodukten in ihren Umweltwirkungen verglichen. Das in Ökobilanzen ausgewiesene Treibhauspotenzial (Global Warming Potential, GWP) ist neben dem Verbrauch an fossilen Energien der Leitindikator für die Bewertung von Klimaschutzleistungen von Produkten. Auf die Höhe des GWP und damit die Bewertung von Klimaschutzleistungen hat in einer vergleichenden Ökobilanz die Lebensdauer von Produkten einen sehr großen Einfluss. Und gerade auf die Lebensdauer hat Holzschutz einen entscheidenden Einfluss. Der Holzschutz kann damit zur Verbesserung der Klimaschutzleistung der Forst- und Holzwirtschaft einen entscheidenden Beitrag leisten.



Die Themen Nachhaltigkeit, Ökologie, Klimaschutz sind in der öffentlichen Wahrnehmung sensible Themen, die auch verantwortliches ökologisches und nachhaltiges Verhalten erfordern (vgl. Knauf 2012). Wichtig ist es, die Lebens- und Konsumwelt der nachhaltigen Konsumenten zu verstehen. Internetseiten wie www.lohas.de oder www.utopia.de geben einen Hinweis darauf, wie der nachhaltige Kunde, der „Weltverbesserer 2.0“, aussieht. Online-Artikel wie „Die 10 größten Ökosünden im Garten“ und „Das ökokorrekte Sexleben“ nehmen jeden Lebensbereich unter die Lupe. Diese Internetseiten zeigen uns aber auch, dass ein Anbieter, der mit Nachhaltigkeit wirbt und kritische Kunden ansprechen möchte, insgesamt eine hohe Glaubwürdigkeit besitzen muss – und dies auf allen Ebenen (z. B. Verwendung von emissionsfreien Spanplatten, vgl. Knauf 2012). Gerade hier besteht aus Sicht der befragten Experten eine gewisse Gefahr für die Holzwirtschaft (vgl. Knauf/Frühwald 2011 b).

Chancen des Holzschutzes durch Rohstoffknappheiten

Die Rohstoffknappheit stellt die Holzwirtschaft vor besondere Herausforderungen. Für den Holzschutz stellt auch dieser Trend eine Chance dar. Um es auf eine einfache Formel zu bringen: *Ist ein Produkt knapp, dann ist es umso wichtiger, es zu schützen.* Geht der Trend vom kurzlebigen Commodity-Produkt zu langlebigen Konsumgütern, dann ist es notwendig, dass diese langlebigen Güter auch den entsprechenden Schutz tragen.

Literatur

- DEUTSCHE BANK RESEARCH (2007): Klimawandel und Branchen: Manche mögen's heiß! Analyse von dbresearch. Schriftenreihe Aktuelle Themen Nr. 388, Frankfurt.
- HÄDER, M. (2002): Delphi-Befragungen; ein Arbeitsbuch. Westdeutscher Verlag, Wiesbaden.
- HORX, M. (2001): Smart Capitalism. Das Ende der Ausbeutung. Frankfurt: Eichborn Verlag.
- KIRIG, A; WENZEL, E. (2009): LOHAS. Bewusst grün – alles über die neuen Lebenswelten. Redline Verlag. München.
- KNAUF, M. (2006): Die Zukunft der deutschen Holzindustrie – Anwendung der Delphi-Methode zur Entwicklung eines Szenarios zum Profil der deutschen Holzindustrie Im Jahr 2020. Kommissionsverlag Max Wiedebusch, Hamburg.
- KNAUF, M. (2012): Nur noch kurz die Welt retten... Warum Nachhaltigkeit für das Holzhandwerk wirtschaftlich bedeutsam wird. BM Innenausbau, Baulemente, Möbelbau, Ausgabe 01/2012, Januar 2012.
- KNAUF, M.; FRÜHWALD, A. (2004): Trendanalyse Zukunft Holz – Delphistudie zur Entwicklung der deutschen Holzindustrie. Abschlussbericht, Knauf Consulting, Bielefeld.
- KNAUF, M.; FRÜHWALD, A. (2011 a): Die Zukunft der deutschen Holzwirtschaft. „Delphistudie Holz 2020 revisited“ – Rohstoffe: Entwicklung – Verfügbarkeit – Nutzungskonkurrenz bis 2020 (Teil 1). Holz-Zentralblatt, Leinfelden-Echterdingen, 28.01.2011.
- KNAUF, M.; FRÜHWALD, A. (2011 b): Die Zukunft der deutschen Holzwirtschaft. „Delphistudie Holz 2020 revisited“ – Nachhaltigkeit – politischer Einfluss der Holzwirtschaft (Teil II). Holz-Zentralblatt, Leinfelden-Echterdingen, 04.02.2011.



- KNAUF, M.; FRÜHWALD, A. (2011 c): Die Zukunft der deutschen Holzwirtschaft. „Delphistudie Holz 2020 revisited“ – Produktinnovationen (Teil III). Holz-Zentralblatt, Leinfelden-Echterdingen, 18.02.2011.
- KNAUF, M.; FRÜHWALD, A. (2011 d): Die Zukunft der deutschen Holzwirtschaft. „Delphistudie Holz 2020 revisited“ – Entwicklung von Märkten und Strukturen der Holzwirtschaft (Teil IV). Holz-Zentralblatt, Leinfelden-Echterdingen, 25.02.2011.
- KNAUF, M.; FRÜHWALD, A. (2011 e): Die Zukunft der deutschen Holzwirtschaft. „Delphistudie Holz 2020 revisited“ – Fertigungstechnologie – Verfahrenstechnik – Organisation/Personal (Teil V). Holz-Zentralblatt, Leinfelden-Echterdingen, 04.03.2011.
- KNAUF, M.; FRÜHWALD, A. (2011 f): Perspektiven in der Holzwirtschaft - Ergebnisse und Interpretation einer Befragung. Tagungsband des 9. Holzwerkstoffkolloquiums in Dresden, Dezember 2011.
- MROSEK, T.; KIES, U.; SCHULTE, A. (2005): Clusterstudie Forst und Holz Deutschland 2005. Forst- und Holzwirtschaft hat sehr große volkswirtschaftliche und arbeitsmarktpolitische Bedeutung. Holz-Zentralblatt. Ausgabe Nummer 84. Leinfelden-Echterdingen.
- NAISBITT, J. (1982): Megatrends. 10 Perspektiven, die unser Leben verändern. München: Wilhelm Heyne Verlag.
- NAISBITT, J.; ABURDENE, P. (1990): Megatrends 2000. Zehn Perspektiven für den Weg ins nächste Jahrtausend. Vorhersagen für unsere Zukunft. Düsseldorf: Econ Verlag.
- WENZEL, E.; KIRIG, A.; RAUCH, C. (2008): Greenomics. Wie der grüne Lifestyle Märkte und Konsumenten verändert. Redline Verlag. München.
- ZUKUNFTSINSTITUT (2004): Megatrenddokumentation. Kelkheim/Wien.
- ZUKUNFTSINSTITUT (o. D.): Megatrend-Map. Kelkheim/Wien.



Trends und Entwicklungen im Bauen mit Holz Technische-wirtschaftliche Aspekte und Rahmenbedingungen

Arno Frühwald¹, Katja Frühwald²

¹ Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft, Holztechnologie

² Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Labor für Holzbauprodukte und Holzbauproduktion

Zusammenfassung

Im Bausektor werden in Deutschland ca. 19 Mio. m³ Holz und Holzprodukte pro Jahr eingesetzt. Das sind knapp 60 % allen stofflich verwendeten Holzes (~ 35 Mio. m³/Jahr). Der Neubau nimmt davon den kleineren Anteil auf; Sanierung und Instandhaltung, insbesondere unter dem Aspekt der Verringerung des Wärmeenergieverbrauches, ist mengenmäßig deutlich wichtiger. Hier findet das Holz in erster Linie im Bereich Dach größere Verwendung; Fassaden, Fenster und Außentüren sind dagegen nachrangig in der Holzmenge. Bei Innentüren und Fußböden hat Holz eine gute Position. Im Neubau stagniert der Wohnungsneubau generell, der Holzbau gewinnt nur leicht Marktanteile. Im Objektbau sind Schulen, Kindergärten sowie Bürogebäude (neben einigen spektakulären Projekten im mehrgeschossigen Holzbau) derzeit wichtige Bereiche.

Eine Tendenz zu deutlich höherwertigen Bauprodukten gibt es derzeit nur in geringem Umfang. Im Gegensatz zum Neubau existieren für die Sanierung kaum schlüssige Systemlösungen. Klimaschutz, naturnahes Wohnen und geringer Energieeinsatz zum Bauen und steigende Bauqualität sind positive Aspekte für einen vermehrten Einsatz von Holz im Bauen generell.

1 Entwicklung des Bauens

Das Bauen mit Holz wird maßgeblich bestimmt von den Entwicklungen im Bauen insgesamt, besonders im Hochbau. In dem folgenden Beitrag wird punktuell auf die das Bauen mit Holz beeinflussenden Faktoren eingegangen soweit sie den (Hoch)Bau allgemein und das Bauen mit Holz im Speziellen betreffen.

1.1 Wohnbau – Neubau

Als Folge der Zerstörung während der zwei Weltkriege in den letzten 100 Jahren, der wirtschaftlichen Entwicklung seit 1950, der Bevölkerungsentwicklung (besonders der Altersstruktur) und der Wiedervereinigung Deutschlands hat der Bestand an Gebäuden und Infrastruktur (z. B. Verkehrswege) einen weltweit vergleichsweise sehr hohen Stand erreicht. In Tabelle 1 sind einige Kennzahlen für den Bereich Wohnbau zusammengestellt. Entsprechendes würde für die Bereiche Objektbau und öffentlicher Bau sowie für Infrastrukturbau gelten. Bei näherer Betrachtung zeigen die Zahlen, dass z. B. die Entwicklung Wohnfläche je Einwohner nur noch geringfügig steigt, ebenso die Anzahl der Haushalte. Jedoch sind die Zahlen für den Neubau von Ein- und Zweifamilienhäusern sowie kleinen Mehrfamilienhäusern höher als für mittlere und größere Mehrfamilienhäuser. Bei insgesamt ca. 43 Millionen Haushalten in insgesamt ca. 18 Millionen Gebäuden dominiert von der Größe der Wohnfläche, vom umbauten Raum und dem Materialaufwand je Haushalt bzw. dessen Wohnfläche das Ein- und Zweifamilienhaus. Insofern muss das Interesse



der Bauwirtschaft, was den Neubau betrifft, auf diesem Sektor liegen. Dies müsste entsprechend auch für das Bauen mit Holz gelten.

Tabelle 1: Wohnen in Deutschland – ausgewählte Kennwerte (2010, gerundet) (RIEMHOFER 2012, ergänzt)

Einwohner	81.768.000
Bruttoinlandsprodukt	30.600 € / Person
Haushalte gesamt	43.000.000
Bestand Einfamilienhäuser	11.435.000
Bestand Zweifamilienhäuser	3.600.000
Bestand Mehrfamilienhäuser	3.080.000
Gesamt-Wohnfläche	3.498.360.000 m ²
Wohnfläche je Haushalt	86 m ²
Wohnfläche je Einwohner	43 m ²
Wohnfläche je Haushalt - Mehrfamilienhäuser	75 m ²
- Ein-/Zweifamilienhäuser	95 m ²
Baugenehmigungen (Wohnbau / Jahr)	174.600
Baugenehmigungen Wohnbau in % vom Gebäudebestand (Zahl der Gebäude)	0,96 %

Die Bedeutung der Ein- und Zweifamilienhäuser für den Neubau schließt nicht aus, dass auch Konstruktionen wie (mehrgeschossiger) Mehrfamilienhausbau sowie der Objektbau (vgl. unten) interessant sein können, aus der Sicht der Bestands- und Neubaustruktur ist jedoch weniger verständlich warum sich Holzbaukongresse derzeit schwerpunktmäßig mit mehrgeschossigem Bauen und Objektbau beschäftigen. Soweit hiermit die Leistungsfähigkeit des Bauens mit Holz gezeigt wird (viele finanzielle Mittel in Forschung und Entwicklung fließen auch in diesen Bereich) ist das zu begrüßen. Der Investor in ein Einfamilienhaus lässt sich davon aber noch nicht überzeugen. Ein Sonderfall mag hierbei das Bauen von Schulen und Kindergärten aus Holz sein, weil hier Assoziationen geweckt und entwickelt werden (natürlich, angenehm, gesund, flexibel, behaglich usw.), wie sie im individuellen Wohnen eine zunehmend große Rolle spielen.

Insgesamt aber ist jedoch der Wohnungsneubau stagnierend bzw. rückläufig. Deutschland, Europa und die meisten Industrieländer sind auf einem hohen Niveau angekommen. 2010 gab es in Deutschland nur ca. 175.000 Baugenehmigungen im Wohnbau, was weniger als 1 % des Gebäudebestandes entspricht (vgl. Tabelle 1). Das heißt es wird so gebaut, als ob die Wohngebäude eine Lebensdauer von 100 Jahren hätten!

1.2 Wohnbau – Bestandsbau

Unter Bauen im Bestand werden alle Maßnahmen zur Bauwerkserhaltung verstanden, also kleine Maßnahmen wie Erneuerung des Anstriches von Fenstern oder Fassaden oder größere Maßnahmen wie Aufstockungen, Anbauen o. ä. Dabei ist die Unterscheidung zum Neubau gelegentlich nur statistischer oder genehmigungstechnischer Art.

Abb. 1 zeigt für nur für die alten Bundesländer die Altersklassenverteilung für Wohngebäude. Daraus lässt sich bei Annahme einer bestimmten Lebens- bzw. Nutzungsdauer ein grundsätzlicher Erneuerungsbedarf (Neubau) ableiten. Bei z. B. einer durchschnittlich 80 jährigen Nutzungsdauer müssten zwischen 2030 und 2060 nahezu 50 % aller Wohngebäude ersetzt werden, was zu durchschnittlich 500.000 Baugenehmigungen pro Jahr (heute 175.000 Baugenehmigungen pro Jahr) führen müsste – und das ohne Bestandserweiterung. Auch ist hieraus ein Bedarf an Grundsanierungen ableitbar, wie er z. B. beim Eigentümerwechsel (Generationenfolge wird heute nicht mehr strikt realisiert!) oder z. B. bei Wärmeschutzmaßnahmen vorliegt (vgl. Kapitel 4).

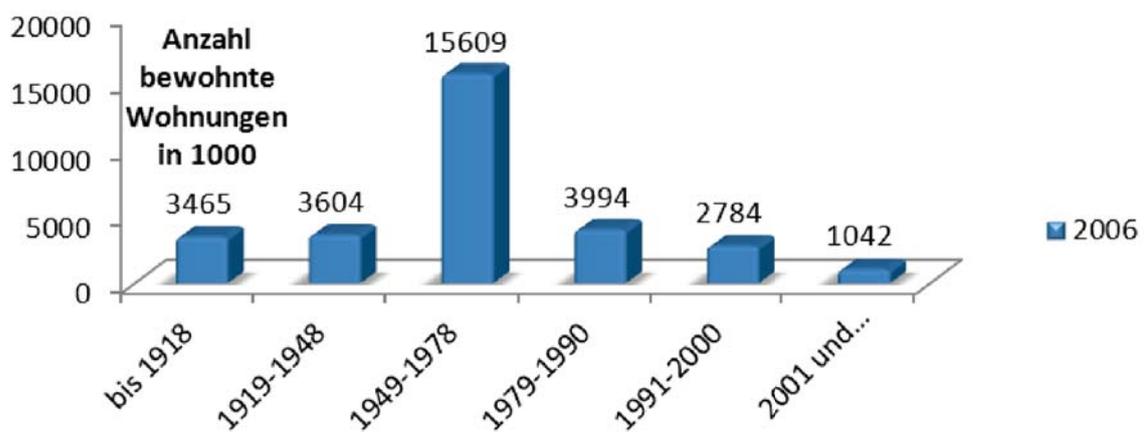


Abb. 1: Gebäudealtersklassen in den alten Bundesländern im Jahr 2006 (BMVBS 2010)

Zwar wird sich ein erhöhter Erneuerungsbedarf auch in der Zahl der Neubauten ausdrücken, sehr viel deutlicher wird dies aber in der Bauunterhaltung / Sanierung deutlich. Schon heute werden (nach unterschiedlichen Quellen) 50 % bzw. deutlich über 50 % aller Bauausgaben für Bauen im Bestand getätigt. Dieser Anteil wird noch weiter zunehmen. Insofern ist Bauen im Bestand schon heute sehr interessant und wird noch interessanter werden. Allerdings steht dies in der Diskussion und der Außendarstellung, nicht aber unbedingt in Forschung und Entwicklung, erst an zweiter Stelle hinter dem Neubau. Gerade für das Bauen mit Holz ergeben sich im Bestandsbau enorme Chancen (vgl. Kapitel 4).

2 Bauen mit Holz – Schwerpunkt Wohnbau

Holz als ältester Baustoff ist grundsätzlich bei Bauherren und Gebäudenutzern sehr anerkannt. Die Natürlichkeit des Baustoffes, sein Erscheinungsbild, seine Eigenschaften, die Normalität ihn zu nutzen und die Gewohnheit mit ihm zu leben, machen ihn zu einer Art Selbstverständlichkeit. Diese ist umso größer, je näher der Entscheider über die Wahl eines Baumaterials oder einer Konstruktion, z. B. als Nutzer, dem Bauwerk ist. Dies gilt z. B. für Ein-/Zweifamilienhäuser, dem Innenausbau, für Möbel und Garten-/Außengestaltung.



Je weiter entfernt der Entscheider vom Bauwerk ist (also keine Eigennutzung), desto weniger spielen emotionale Gründe, sondern (vermeintliche) Sachgründe eine Rolle. Diese sind oder werden begründet mit Kosten, Dauerhaftigkeit, Werterhalt und Pflegeintensität. Daraus folgt für den Mehrfamilien-Wohnbau, für Großprojekte und kommunale Entscheider, dass sie möglichst für „lange Zeiträume bauen“ wollen. Die Holzbauquote im Wohnbau, meist abgeleitet für den Bereich Ein- und Zweifamilienhäuser, gilt als die „magische Zahl“ mit der geklagt und gejubelt wird. Zum Beispiel lag sie 1993 bei ca. 16.000 Einheiten (7,7 % aller entsprechenden Baugenehmigungen) 1999 bei ca. 28.000 Einheiten (12,3 %) und 2010 bei 14.700 Einheiten (15,5 %). In einem stark abnehmenden Markt (Baugenehmigungen 1999 ca. 230.000, 2010 nur noch 95.000) relativ zu gewinnen (12,3 % → 15,5 %) kann einerseits befriedigen, andererseits bedeutet es einen Rückgang auf nahezu die Hälfte der gebauten Einheiten.

Tabelle 2: Baugenehmigungen Wohnbau und Holzbauanteil in Deutschland nach Wohngebäuden (BUNDESAMT FÜR STATISTIK 2011)

Wohngebäudetyp	Genehmigungen insgesamt	davon in Holz- bau	Anteil Holzbau
Gesamt	94.602	14.666	15,5 %
1 Wohneinheit	78.557	31.332	17,0 %
2 Wohneinheiten	8.068	1.148	14,2 %
3 und mehr Wohneinheiten	7.834	176	2,3 %

Die Frage sollte weniger sein „Fertigbau oder zimmermannsmäßiger Holzbau“, sondern Holzbau (d. h. Wohnen und Leben mit Holz) generell. Eine Analyse des Marketings zeigt unterschiedliche Strategien mit (a) Fertigbau mit Schwerpunkten auf Gesamtkonzept und Individualität, kurze Bauzeit, verbindliche Baukosten, ansprechendes Design, und (b) zimmermannsmäßiger Holzwohnbau mit Handwerksqualität und Holz. Worin liegen bei letzterem die Vorteile (soweit sie ein Bauherr sehen kann) gegenüber dem konventionellen Bau?

Aus Sicht der Menge des eingesetzten Holzes spielt der Holzwohnbau eine deutlich geringere Rolle als gemeinhin vermutet wird. Bei ca. 30 – 40 m³ Holz (Massivholz und Holzwerkstoffe) für ein Ein-/Zweifamilienhaus und derzeit 15.000 Einheiten beträgt die gesamte Menge verbauten Holzes mit 500.000 bis 600.000 m³/Jahr etwa 3 – 4 % allen im Bausektor eingesetzten Holzes. Trotzdem ist die Außenwirkung für die Holzverwendung nicht zu unterschätzen.

Zu wenig wird beachtet und herausgestellt, dass auch konventionelles Bauen (Wohnbau) ohne Holz nicht auskommt. Praktisch alle Dachstühle sind aus Holz und die Holzmengen dafür sind beachtlich: für Ein- und Zweifamilienhäuser gibt ADEBAHR (1995) pro 1.000 m³ umbauten Raum einen Holzeinsatz von 22 m³ an, die Hälfte im Dach, die andere Hälfte für den konstruktiven/nicht konstruktiven Ausbau (ohne Möbel). Werden diese Zahlen auf die Bausituation 2010 angewendet ergibt sich das in Tabelle 3 gezeigte Bild.

Aus Sicht der Holzverwendung wird somit ein relativ großes Potenzial deutlich, das über das reine Holzhaus hinaus vermehrte Marketinganstrengungen erfahren sollte.


Tabelle 3: Baugenehmigungen 2010, umbauter Raum und Holzeinsatz (auf Basis von ADEBAHR 1995) für Holzbau und Nicht-Holzbau

Gebäudetyp	Baugenehmigungen 2010	umbauter Raum je Gebäude	Holzeinsatz je 1.000 m ³	Holzeinsatz gesamt
1 Wohnung	78.500	825 m ³		
davon Holzbau	16 %	825 m ³	40 m ³	610.000 m ³
davon Nicht-Holzbau	84 %	825 m ³	19 m ³	1.520.000 m ³
2 Wohnungen	7.800	1.200 m ³		
davon Holzbau	12 %	1.200 m ³	40 m ³	45.000 m ³
davon Nicht-Holzbau	88 %	1.200 m ³	20 m ³	165.000 m ³
3/3 Wohnungen	7.100	4.600 m ³		
davon Holzbau	3 %	4.600 m ³	50 m ³	50.000 m ³
davon Nicht-Holzbau	97 %	4.600 m ³	15 m ³	475.000 m ³
			Gesamt	2.865.000 m ³
			davon Holzbau	705.000 m ³
			davon Nicht-Holzbau	2.160.000 m ³

3 Bauen mit Holz – Nicht-Wohnbau (Hochbau)

Unter Nicht-Wohnbau werden im wesentlichen Objektbau (Büro-, Lager-, Fabrikgebäude) und öffentlicher Bau (Bürogebäude, Sportanlagen, Schulen, sonstiger öffentlicher Bau) verstanden. Die Zahl der Neubaugenehmigungen im Jahr 2010 betrug ca. 80.000. Über umbauten Raum wie auch für Nutzflächen sind Schätzwerte bekannt, keine sicheren Informationen gibt es jedoch über Anteile an Gebäuden mit Tragkonstruktionen aus Holz. Ebenso wenig kann, anders wie im Wohnbau, im Wesentlichen mit Dächern aus Holz gerechnet werden. Insofern ist ein Ansatz zur Ermittlung des Holzbauvolumens aus der Zahl und Größe der Neubauvorhaben nur sehr eingeschränkt möglich.

Gewisse Anhaltswerte könnte der Verbrauch an „höherwertigen Holzbauprodukten aus Massivholz“ wie Brettschichtholz (größerer Abmessungen und objektbezogen gefertigt) und Brettsperrholz (obwohl dieses gerade auch im Wohnbau zunehmend verwendet wird) dienen. Optimistisch gerechnet könnten 1,5 bis 2,0 Mio. m³ Holzprodukte in diesem Sektor eingesetzt werden, meist höher veredelt und in größeren Abmessungen als im Wohnbau. Ein Trend zum individuellen Bauen mit objektspezifischen Holzbauteilen und -konstruktionen ist hier unverkennbar. Auch wird die Architektur hier (wie auch im mehrgeschossigen Bau) stärker durch das Holz, sowohl innen wie auch außen (z. B. Fassade), betont. Ein sich relativ gut entwickelnder Bereich ist derzeit der Bau von Kindertagesstätten, der wegen der oben beschriebenen Aspekte Gesundheit, Umwelt, Natur, Wohlfühlen für Holz besonders attraktiv ist (siehe MIKADO 2012). Hohe Anforderungen an Dauerhaftigkeit, Funktionsfähigkeit, Holzarten, Gestaltung und Oberfläche der Bauteile prägen diesen Sektor.

Im Tiefbau spielt Holz (mit Ausnahme weniger Holzbrücken – mehr in Österreich und der Schweiz) vor allem eine Rolle als „Hilfsmaterial“, z. B. Betonschalung. Auch im Hochbau (besonders Objekt-



bau und mehrgeschossigem Bau) ist dies von Bedeutung. Die Spanne an Holzprodukten ist außerordentlich groß, von sägerauer Betonschalung (Einweg) bis zur Systemschalung mit höchsten Ansprüchen. Die Menge an Holz ist sicher nicht klein, Mengenschätzungen sind aber schwierig.

4 Instandhaltung und Sanierung

Die Variabilität an Produkten und Einsatzgebieten in der Instandhaltung und Sanierung ist außerordentlich groß. Schwerpunktbereiche sind

- Dächer (Wärmedämmung, Ausbau, Aufstockung).
- Fassaden (Wärmedämmung, Neugestaltung) – ein Problemfeld für Holz und Holzprodukte.
- Fenster (Wärmedämmung, Ersatz), ebenfalls Problemfeld (der Anteil Holzfenster am Fenstermarkt von 13 Mio. Einheiten (2010) pro Jahr betrug 17,5 %, d. h. 2,2 Mio. Einheiten pro Jahr).
- Türen werden ganz überwiegend aus Holz gefertigt, soweit es Innentüren betrifft, hier meist als Systemelemente. Bei Außentüren sind Aluminium und Kunststoffe bedeutende Konkurrenz.
- Fußböden
Der Markt für Bodenbeläge, vor allem in der Sanierung, wird oft unterschätzt. Bei einer Gesamtwohnfläche von ca. 3.500 Mio. m² (80 Mio. Einwohner x 45 m² / Einwohner) und einer mittleren Lebensdauer von Fußbodenbelägen von 18 Jahren (ANONYMUS 2010) ergibt sich rechnerisch ein langfristiger Erneuerungsbedarf von knapp 200 Mio. m²/Jahr. Im Vergleich dazu liegt die Neubau-Wohnfläche bei 17 Mio. m²/Jahr. Die Anteile am Verbrauch an Bodenbelägen 2011 liegen bei (ANONYMUS 2011)

Laminat	32 %
Textil	24 %
Fliesen	20 %
PVC, Vinyl	13 %
Parkett	11 %

Fußböden auf Basis Holzwerkstoffe und Massivholz haben damit über 40 % Marktanteil, wobei sich für die vergleichsweise kürzere Lebensdauer (besser Nutzungsdauer) von Laminat ein erheblicher ständiger Erneuerungsbedarf ergibt.

Die Altersstruktur von Gebäuden zeigt, dass ca. 50 % aller vorhandenen Wohnungen zwischen 1949 und 1978 gebaut sind (Abb. 1). Auch dürften zwischen 40 % und 50 % der knapp 15 Mio. Ein- und Zweifamilienhäuser in diesem Zeitraum gebaut sein. Damit ergibt sich ein aktuell hoher Sanierungsbedarf, auch wegen der Bemühungen um Reduzierung des Wärmeenergieverbrauches.

RIEMHOFER (2012) rechnet in einem Beispiel für die durchschnittliche Dachsanierung eines Einfamilienhauses mit 7 m³ Massivholz, 6 m³ Holzwerkstoffen und 6 m³ leichten Faserplatten (25 % holzbasierte Dämmstoffe, 75 % Mineralwolle und Schäume). Damit würden ca. 16 m³ Holz neu eingebaut. Ähnlich könnten Fassaden kalkuliert werden sowie die Wärmedämmung oberhalb des obersten Wohngeschosses. Damit könnten durchschnittlich 3 m³ (Fassade) und 3 - 5 m³ (Deckendämmung) eingebaut werden. Einschließlich Fenster und Außentüren (Holzanteil zusammen ~ 20 %) ergibt sich für die Sanierung von Ein- und Zweifamilienhäusern ein Bedarf an Holzprodukten



von ca. 20 - 25 m³ je Hauseinheit. Bei ca. 6-7 Mio. Alteinheiten (1949 – 1978) und einem Sanierungszeitraum von 20 Jahren ergeben sich pro Jahr ca. 300.000 – 350.000 Sanierungsfälle mit gesamt 6 – 9 Mio. m³ Holzbedarf. Dies zeigt die enorme Bedeutung der Sanierung generell. Demnach könnte im Bereich Sanierung von Wohngebäuden etwa die Hälfte des im Bauen insgesamt verwendeten Holzes eingesetzt werden (vgl. Tabelle 4).

Tabelle 4: Verbrauch von Holzhalbwaren (z. B. Schnittholz, Platten) im Fertigwarenssektor in Deutschland 2007 (BILITEWSKI & MANTAU 2010)

Baubereich	18.796.000 m ³
Möbel und Einrichtung	9.027.000 m ³
Verpackung, Transport	5.372.000 m ³
Sonstige Halbwaren (Holz)	1.459.000 m ³
Gesamt	34.654.000 m³

5 Technische Aspekte für das Bauen mit Holz

In den letzten Jahren haben eine Reihe von Weiterentwicklungen das Bauen mit Holz positiv beeinflusst, wobei die Wettbewerbsfähigkeit nicht unbedingt zugenommen hat, sondern dadurch die Position allenfalls gehalten wurde. Einige Beispiele verdeutlichen dies:

- Die Tendenz vom nassen Bauholz („Listeneinschnitt“) hin zum Konstruktionsvollholz (getrocknet und gehobelt) sowie dem EDV-gestützten Abbund hat den Holzbau rationeller und qualitativ deutlich besser gemacht. Der Vorfertigungsgrad erlaubt nahezu jede individuelle Konstruktion bei hoher Bauqualität und kurzen Bauzeiten.
- Brettschichtholz, generell verklebtes Holz, als Standardware führt zu höherer Dimensionsstabilität und nahezu rissfreien Sichtoberflächen.
- Brettsperrholz erlaubt sichtbare großflächige Schaulungen in Holzstruktur sowie in dicker Ausführung ein- und zweischichtige Wandkonstruktionen mit hohen Festigkeiten sowie gutem Wärme- und Schallschutz.
- Spezielle Holzwerkstoffe (OSB als tragende Beplankungen, LDF als Dämmstoffe) in formaldehydfreier bzw. -armer Verklebung.

Allerdings hat sich der Gedanke, Bausysteme für die breite Anwendung zu entwickeln und einzusetzen, nicht realisiert. Beispiele:

- Während sich auf dem Sektor Vollholz durch Konstruktionsvollholz, Brettschichtholz, Brettsperrholz und Abbundanlagen ein erheblicher Technologieschub ergeben hat, gibt es im Sektor Holzwerkstoffe außer Laminatparkett eigentlich nicht mehr als die bekannten „Feld-Wald- und Wiesen-Platten“. Wo sind Lösungen als Dach-, Decken- und Wandelemente, als Vorsatzschalen für Fassaden und ähnliches?
- Welche Produkte werden für die Instandhaltung und Sanierung von Gebäuden entwickelt? Wo ist z. B. die „Klick-Fassade“ oder „Aufsteck-Fassade“, die einfach angebracht werden



kann und nach einer Reihe von Jahren ganz oder teilweise in einfacher Technik ausgetauscht wird?

- Welche Innovationen gibt es im Ausbaubereich außer Profildiehlern und -leisten in allen Farben und Formen? Was kommt nach dem Laminatboden („außer billig“)?

Einige möglicherweise noch schwerwiegendere Probleme warten auf umfassende Lösungen:

- Die Problematik VOC in Innenräumen ist bei weitem nicht ausgestanden, einschließlich Formaldehyd.
- Der „konstruktive Holzschutz“, so leicht er möglicherweise in der Theorie aussehen mag, die Umsetzung in die Praxis bei Forderungen nach gesicherter und langer Lebensdauer von Bauwerken sowie möglichst geringer Instandhaltung erfordert noch viel mehr Wissen um das richtige Bauen mit Holz bei allen Beteiligten.

6 Faktoren, die Holz im Bauwesen fördern und hemmen

Eine Reihe aktueller und zukünftiger Entwicklungen müssen beachtet und in geeigneter Weise (auch pro aktiv) reagiert werden:

- Formaldehyd und VOC (sind schon angesprochen).
- Brand- und Schallschutz im mehrgeschossigen Bauen brauchen (noch) mehr Beachtung.
- Die begrenzte Verfügbarkeit von Holz generell und die Preis-/Kostenentwicklungen erschweren derzeit die Konkurrenzfähigkeit der stofflichen Nutzung.
- Mehr Laubhölzer in der Zukunft (nach einem Nutzungsboom für Nadelhölzer infolge des Waldumbaus) erfordern mehr Innovation, um Produkte aus Laubhölzern technisch und wirtschaftlich konkurrenzfähig zu machen.
- Die nachhaltige Verfügbarkeit von Holz ist ein wichtiges Argument für Holz als den Baustoff der Zukunft.
- Kohlenstoffspeicherung und Energiesubstitution (Holz und Holzreststoffe als Energieträger sowie wenig Energieaufwand beim Bauen) sind klare Argumente für ein nachhaltiges Bauen und besonders Klimaschutz (vgl. Leitfaden Nachhaltiges Bauen, Normen zum nachhaltigen Bauen).
- Holz als natürlichen Baustoff mit Individualität, Wirtschaftlichkeit und Langlebigkeit zu verbinden bringt langfristig positive Impulse.
- Die Erwartung des Kunden nach „Produkten seiner eigenen Vorstellung“ muss der Kern des Bauens sein.



Literatur

- ADEBAHR, S. (1995): Stoff- und Energiebilanzen für Konstruktionsholz. Diplomarbeit an der Universität Hamburg, Fachbereich Biologie.
- ANONYMUS (2010): B und L Sanierungsstudie 2010. B+L Marktdaten GmbH, Bonn.
- ANONYMUS (2011): Der Bodenbelagsmarkt. SN Verlag Hamburg.
- MANTAU, U.; BILITEWSKI, B. (2010): Stoffstrom-Modell Holz 2007: Rohstoffströme und CO₂-Speicherung in der Holzverwendung. Forschungsbericht für das Kuratorium für Forschung und Technik des Verbandes der Deutschen Papierfabriken e. V. (VDP), Celle, Germany, 75 p.
- BMVBS (2010): Baustatistik.
- BUNDESAMT FÜR STATISTIK (2011): Wohnen und Bauen in Zahlen 2010/2011.
- MIKADO (2012): Bildung braucht Holz. Mikado Juni 2012, WEKA Media GmbH.
- RIEMHOFER, H. (2012): Aspekte des Kohlenstoffmanagements in der Holzverwendung Nordrhein-Westfalens. Diplomarbeit an der Universität Hamburg, Fachbereich Biologie.



Das neue Holzhandelssicherungsgesetz – Gesetzliche Regelungen und Anforderungen an die Holzartenbestimmung und den Herkunftsnachweis

Gerald Koch

Institut für Holztechnologie und Holzbiologie, Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI)

Zusammenfassung

Am 15. Juli 2011 ist in Deutschland das Gesetz gegen den Handel mit illegal eingeschlagenem Holz (Holzhandels-Sicherungs-Gesetz, HolzSiG) in Kraft getreten. Das Holzhandels-Sicherungs-Gesetz regelt die nationalen Kontrollen von Holzeinfuhren aus Ländern, die mit der EU Partnerschaftsabkommen gegen den illegalen Holzeinschlag abgeschlossen haben (FLEGT-Abkommen). Im Rahmen dieser Abkommen richten die Partnerländer ein Genehmigungs- und Lizenzsystem ein, um so zu gewährleisten, dass nur legal eingeschlagenes Holz in die EU exportiert wird. Da sich aber in absehbarer Zeit nicht mit allen wichtigen Holzerzeugerländern entsprechende Abkommen abschließen lassen, wurde als wirksame Ergänzung auf EU-Ebene am 2. Dezember 2010 die Holzhandelsverordnung erlassen. Sie verbietet die Vermarktung von illegal eingeschlagenem Holz und verpflichtet alle Marktteilnehmer, die innerhalb der EU Holz oder Holzprodukte erstmalig in Verkehr bringen, bestimmte Sorgfaltspflichten einzuhalten. Dazu gehören unter anderem Informationspflichten zur Art und Herkunft des Holzes sowie Verfahren zur Einschätzung und Reduzierung des Risikos, dass das Holz aus illegalem Einschlag stammen könnte. Die Holzhandelsverordnung wird ab 3. März 2013 vollständig angewendet. Um die Einhaltung der Vorschriften in der Praxis kontrollieren zu können, werden parallel wichtige Forschungsvorhaben durchgeführt: So werden am Thünen-Institut (vTI), dem für Forst und Holz zuständigen Forschungsinstitut des BMELV aktuell Methoden zum Art- und Herkunftsnachweis entwickelt und in internationaler Zusammenarbeit erprobt und angewendet.

1 Gesetzliche Regelungen zur Kontrolle von Holzeinfuhren

Infolge globalisierter Märkte, der zunehmenden Übernutzung von v. a. tropischen Wirtschaftsbaumarten und der Verlagerung von industriellen Produktionsstätten nach Asien werden zunehmend neue bzw. noch unbekannte Holzarten, sog. „lesser known species“, auf dem Europäischen Markt eingeführt (Koch & Stienen 2009). Regelmäßige Evaluierungen (*auf der Basis gutachterlicher Holzartenbestimmungen am Thünen-Institut*) zeigen, dass jährlich 20 bis 30 „neue“ Hölzer (v.a. tropische Baumarten) gehandelt werden. Diese Entwicklungen im internationalen Handel mit Holz erfordern die genaue und zweifelsfreie Bestimmung der individuellen Arten und ihrer Herkünfte, um Falschdeklarationen in den Handelsdokumenten und Zertifikaten zu erkennen und um zukünftig die Einfuhr illegal eingeschlagener oder CITES-geschützter Holzarten zu verhindern bzw. einzugrenzen (Koch et al. 2011). Diese Maßnahmen werden umso wichtiger, da die Bundesregierung im Juli 2011 im Rahmen der nationalen Umsetzung der EU-FLEGT Genehmigungsverordnung das Holzhandels-Sicherungsgesetz (HolzSiG) gegen den Handel mit illegal eingeschlagenem Holz verabschiedet hat.



1.1 Das Holzhandels-Sicherungs-Gesetz (HolzSiG)

Das Holzhandels-Sicherungs-Gesetz regelt die nationalen Kontrollen von Holzeinfuhren aus Ländern, die mit der EU Partnerschaftsabkommen gegen den illegalen Holzeinschlag abgeschlossen haben. Entsprechende Abkommen wurden bislang mit sechs Tropenländern ausgehandelt (Ghana, Republik Kongo, Republik Kamerun, Zentralafrikanische Republik, Indonesien und Liberia). Mit weiteren Ländern wie beispielsweise Malaysia führt die EU-Kommission derzeit Verhandlungen. Im Rahmen dieser Abkommen richten die Partnerländer ein Genehmigungs- und Lizenzsystem ein, um so zu gewährleisten, dass nur legal eingeschlagenes Holz in die EU exportiert wird. Im Gegenzug erhalten sie direkte Unterstützung bei der Verbesserung ihrer Kapazitäten in den Bereichen Waldbewirtschaftung und Rechtsdurchsetzung. Auch die Planung alternativer Einkommensmöglichkeiten für die im illegalen Holzeinschlag beschäftigten Menschen, die meist aus der armen Landbevölkerung stammen, wird unterstützt. Das Gesetz stattet die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) als zuständige Behörde mit allen erforderlichen Eingriffsbefugnissen aus. Weiterhin werden die Mitwirkung der Zollbehörden bei Kontrollmaßnahmen an den Außengrenzen sowie Straf- und Bußgeldvorschriften geregelt. Die freiwilligen Partnerschaftsabkommen setzen in den Holzerzeugerländern selbst an und sind daher eine besonders Erfolg versprechende Maßnahme zur Bekämpfung des illegalen Holzeinschlags (BMELV, Pressemitteilung 2012).

1.2 Die EU-Handelsverordnung

Da sich aber in absehbarer Zeit nicht mit allen wichtigen Holzerzeugerländern entsprechende Abkommen abschließen lassen, wurde als wirksame Ergänzung auf EU-Ebene eine Holzhandelsverordnung (Verordnung EU Nr. 995/2010 vom 20. Oktober 2010) erlassen. Sie verbietet die Vermarktung von illegal eingeschlagenem Holz und verpflichtet alle Marktteilnehmer, die innerhalb der EU Holz oder Holzprodukte erstmalig in Verkehr bringen, bestimmte Sorgfaltspflichten einzuhalten. Dazu gehören unter anderem **Informationspflichten zur Art und Herkunft des Holzes** sowie Verfahren zur Einschätzung und Reduzierung des Risikos, dass das Holz aus illegalem Einschlag stammen könnte (BMELV, Pressemitteilung 2012). Die Holzhandelsverordnung wird ab 3. März 2013 vollständig angewendet. In Deutschland wird das Holzhandels-Sicherungs-Gesetz bis März 2013 entsprechend ergänzt.

Auszug aus dem Gesetzestext (BMELV 2012):

„Verordnung (EU) Nr. 995/2010 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Oktober 2010 über die Verpflichtungen von Marktteilnehmern, die Holz und Holzzeugnisse in Verkehr bringen Text von Bedeutung für den EWR“

Artikel 4

Verpflichtungen der Marktteilnehmer

- (1) Das Inverkehrbringen von **Holz oder Holzzeugnissen aus illegalem Einschlag** ist verboten.
- (2) Die Marktteilnehmer lassen die gebotene Sorgfalt walten, wenn sie Holz oder Holzzeugnisse in Verkehr bringen. Zu diesem Zweck wenden sie eine Regelung mit Verfahren und Maßnahmen (nachstehend "**Sorgfaltspflichtregelung**" genannt) an, die in Artikel 6 genauer ausgeführt ist.
- (3) Jeder Marktteilnehmer hält die von ihm angewendete Sorgfaltspflichtregelung auf dem neuesten Stand und bewertet sie regelmäßig, es sei denn, er wendet eine Sorgfaltspflichtregelung an, die von einer Überwachungsorganisation im Sinne des Artikels 8 erstellt wur-



de. Nach einzelstaatlichem Recht bereits bestehende Überwachungsmechanismen sowie etwaige freiwillige Überwachungsmechanismen entlang der Lieferkette, die die Anforderungen dieser Verordnung erfüllen, können der Sorgfaltspflichtregelung zugrunde gelegt werden.

ANHANG (Auflistung der Produktgruppen, die der Verordnung unterliegen)

Unter die vorliegende Verordnung fallende(s) Holz und Holzzeugnisse nach der Einreihung in die Kombinierte Nomenklatur gemäß Anhang I der Verordnung (EWG) Nr. 2658/87 des Rates [1]

- 4401 **Brennholz** in Form von Rundlingen, Scheiten, Zweigen, Reisigbündeln oder ähnlichen Formen; Holz in Form von Plättchen oder Schnitzeln; Sägespäne, Holzabfälle und Holzausschuss, auch zu Pellets, Briketts, Scheiten oder ähnlichen Formen zusammengespreßt;
- 4403 **Rohholz**, auch entrindet, vom Splint befreit oder zwei- oder vierseitig grob zugerichtet;
- 4406 **Bahnschwellen** aus Holz;
- 4407 Holz, in der Längsrichtung gesägt oder gesäumt, gemessert oder geschält, auch gehobelt, geschliffen oder an den Enden verbunden, mit einer Dicke von mehr als 6 mm;
- 4408 **Furnierblätter** (einschließlich der durch Messern von Lagenholz gewonnenen Blätter) für Sperrholz oder ähnliches Lagenholz und anderes Holz, in der Längsrichtung gesägt, gemessert oder geschält, auch gehobelt, geschliffen, an den Kanten oder an den Enden verbunden, mit einer Dicke von 6 mm oder weniger;
- 4409 **Holz** (einschließlich Stäbe und Friese für Parkett, nicht zusammengesetzt), entlang einer oder mehrerer Kanten, Enden oder Flächen profiliert (gekehlt, genutet, gefedert, gefalzt, abgeschrägt, gefriest, gerundet oder in ähnlicher Weise bearbeitet), auch gehobelt, geschliffen oder an den Enden verbunden;
- 4410 **Spanplatten**, "oriented strand board"-Platten und ähnliche Platten (z. B. "waferboard"-Platten) aus Holz oder anderen holzigen Stoffen, auch mit Harz oder anderen organischen Bindemitteln hergestellt;
- 4411 **Faserplatten** aus Holz oder anderen holzigen Stoffen, auch mit Harz oder anderen organischen Stoffen hergestellt;
- 4412 **Sperrholz**, furniertes Holz und ähnliches Lagenholz;
- 4415 **Kisten**, Kistchen, Verschlüge, Trommeln und ähnliche Verpackungsmittel, aus Holz; Kabeltrommeln aus Holz; Flachpaletten, Boxpaletten und andere Ladungsträger, aus Holz; Palettenaufsatzwände aus Holz;
- 4418 **Bautischler- und Zimmermannsarbeiten**, einschließlich Verbundplatten mit Hohlraum-Mittellagen, Parketttafeln, Schindeln ("shingles" und "shakes");
- **Zellstoff und Papier** der Kapitel 47 und 48 der Kombinierten Nomenklatur, ausgenommen Erzeugnisse auf Bambusbasis und Wiedergewinnungsprodukte (Abfälle und Ausschuss);
- 940330, 940340, 94035000, 940360 und 94039030 **Holzmöbel**

Um die Einhaltung der Vorschriften in der Praxis auch kontrollieren zu können, werden aktuell wichtige Forschungsvorhaben durchgeführt: So werden am Thünen-Institut, dem für Forst und Holz zuständigen Forschungsinstitut des BMELV derzeit Methoden zum „Fingerabdruck für Holz“ entwickelt und in internationaler Zusammenarbeit erprobt. Damit soll die Herkunftskennzeichnung von Holz zukünftig zweifelsfrei überprüft werden können (Degen & Höltken 2011).

2 Holzartenbestimmung und den Herkunftsnachweis

Als Grundlage für die Bestimmung der Holzarten und die Entwicklung genetischer Methoden für den Herkunftsnachweis unterhält das vTI eine der weltweit größten wiss. Holzsammlungen mit ca. 37.500 Mustern und 50.000 mikroskopischen Präparaten (Abb. 1). Diese Sammlungen dienen in erster Linie als belegtes Referenzmaterial für die makroskopische und mikroskopische Bestimmung von international gehandelten Hölzern. Das Institut für Holztechnologie und Holzbiologie hat im Jahr 2011 ca. 400 Anfragen zur Bestimmung weltweit gehandelter Hölzer bearbeitet. Die Anfragen kommen in erster Linie aus dem Bereich des Holzhandels (traditionelle Holzhandelsunternehmen aber auch Discounter) und der Warenkontrolle (Zoll und Naturschutzbehörden). Zunehmend fragt aber auch der „verunsicherte“ Verbraucher selbst nach, ob es sich z. B. bei der als Meranti deklarierten Fensterkante auch zweifelsfrei um Meranti handelt (Koch 2006).



Abb. 1: Wissenschaftliche Holzsammlungen am Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI)

2.1 Makroskopische und mikroskopische Holzartenbestimmung

Für die Bestimmung der Hölzer werden mikroskopische Schnitte von den eingesandten Proben hergestellt. Unter dem Lichtmikroskop können die Hölzer anhand von ca. 100 anatomischen Strukturmerkmalen verglichen und bestimmt werden (Abb. 2). Die mikroskopischen Strukturmerkmale der wichtigsten weltweit gehandelten Hölzer (ca. 400 Arten) sind zudem in einem computergestützten Bestimmungsschlüssel (Datenbank Commercial Timbers/Handelshölzer) beschrieben und illustriert (Abb. 3). Weiterhin hat das Institut ein Programm für die computergestützte Bestimmung und Beschreibung von CITES geschützten Handelshölzern (**CITESwoodID** (CITES = Convention in International Trade of Endangered Species)) entwickelt, das international verwendet wird (Koch et al. 2008, Koch et al. 2011). Mit Hilfe der Datenbanken und Programme können die wichtigsten Handelshölzer auf der Gattungsebene (Definition der Handelnamen) sicher unterschieden werden. Eine artgenaue Differenzierung und die Bestimmung der Herkunft sind dagegen anhand makroskopischer und mikroskopischer Strukturmerkmale nicht (immer) möglich.

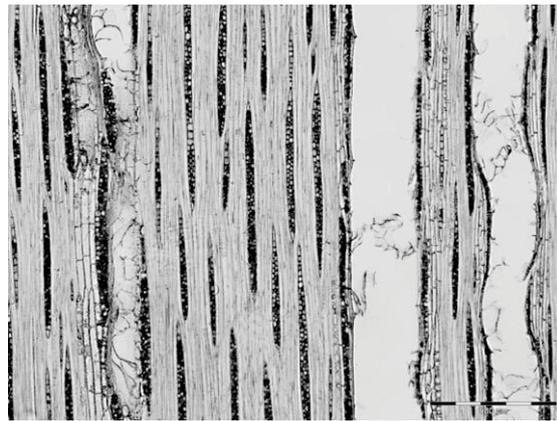
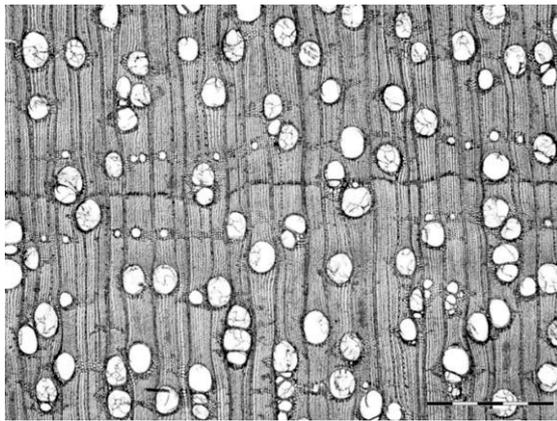


Abb. 2: Mikroskopischer Quer- und Längsschnitt (tangential) für die Bestimmung der Holzart Bangkirai (*Shorea* spp.)

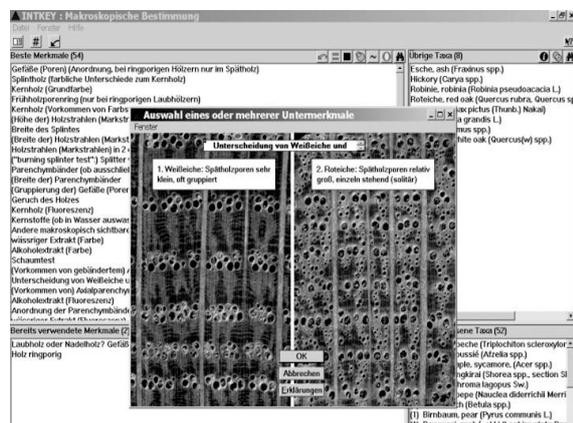


Abb. 3: Computergestützte Datenbanken für die Holzartenbestimmungen

2.2 Genetische Art- und Herkunftsbestimmung

Zur artengenauen Identifizierung der Hölzer werden am Institut für Forstgenetik (FG) praxistaugliche Testverfahren auf der Basis molekularer Marker (genetisches Barcoding) entwickelt. Für den Holzherkunftsnachweis wird zunächst das räumlich-genetische Muster der Bäume in ihrem Verbreitungsgebiet erfasst. Es werden dabei für jede Baumart in der jeweiligen Zielregion systematische Stichproben an Blättern oder Kambium gesammelt und anschließend mit hoch variablen Genmarkern (Mikrosatelliten) untersucht. Die so ermittelten Daten zur geographisch-genetischen Struktur bilden Referenzdaten für die Zuordnung der Genotypen fraglicher Holzproben (Degen 2008, Degen et al. 2010).

2.3 Anforderungen an Zertifizierungssysteme

Neben den analytischen Bestimmungsmethoden müssen auch die Anforderungen an die Zertifizierungssysteme weiterentwickelt werden. Das Institut für Weltforstwirtschaft am vTI ist seit 2007 für die Überprüfung der führenden Zertifizierungssysteme FSC und PEFC und deren Weiterentwicklung bzw. der Anerkennung weiterer Zertifikate und Einzelnachweise im Rahmen der Beschaffungsregelung der Bundesregierung für Holzprodukte zuständig (Gauger 2011). In Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Naturschutz (BfN) hat das Institut 2010 die wissenschaftliche Grundlage für die Revision der deutschen Beschaffungsregelung für Holzprodukte entwickelt. Wesentlicher Aspekt dabei ist, festzustellen, wie die Zertifizierungssysteme als freiwilliges, markt-konformes Instrument für die politisch administrativen Ansätze effektiver genutzt werden können.



3 Ausblick

Mit Einführung der Regelungs- und Kontrollmechanismen im Rahmen des Holzhandelssicherungsgesetzes ist davon auszugehen, dass die Anzahl der behördlichen und gutachterlichen Anfragen in Bezug auf die Holzartenbestimmung und insbesondere den Herkunftsnachweis stark ansteigen werden. Im Detail sollen folgende Ziele innerhalb der nächsten fünf Jahre erreicht werden:

- Erweiterung der computergestützten Programme zur Holzartenbestimmung (insbesondere für neue Holzarten, die unter CITES gelistet werden) und Transfer der Methoden und Kenntnisse zur makroskopischen und mikroskopischen Holzartenbestimmung an die Vollzugsbehörden.
- Erarbeitung der genetischen Barcodes zur Artidentifizierung bei den wichtigsten 25 tropischen Baumarten aus Südostasien, Zentralafrika und Südamerika sowie Entwicklung der genetischen Referenzdaten zur Holzherkunftsidentifizierung von fünf wichtigen Baumarten
- Durchführung von Praxistests und Pilotstudien in Zusammenarbeit mit Holzhändlern und zertifizierten Forstbetrieben zur Überprüfung der statistischen Beweiskraft genetischer Verfahren.

Literatur

- DEGEN, B. (2008): Proceedings of the international workshop "Fingerprinting Methods for the Identification of Timber Origins", October 8-9 2007, Bonn/Germany. Braunschweig: vTI, 66 S., Landbauforschung vTI agriculture and forestry research – Sonderheft 321 S.
- DEGEN, B.; HÖLTKEN, A. (2011): DNA-Methoden zur Kontrolle von Holzart und Holzherkunft: Genetische Merkmale über die gesamte Handelskette rückverfolgbar. Holz-Zentralblatt, 137 (19), 461.
- DEGEN, B.; HÖLTKEN, A.; ROGGE, M. (2010): Use of DNA-fingerprints to control the origin of forest reproductive material. *Silvae genetica* 59 (6), 268-273.
- GAUGER, G. (2011): Forstliche Zertifizierung zur Förderung nachhaltiger Waldbewirtschaftung. Univ Hamburg, Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften, Department Biologie, Bachelorarbeit, 54 S.
- KOCH, G. (2006): Holzarten für Fensterkanteln aus Südostasien. Holz-Zentralblatt 132 (31), 883.
- KOCH, G.; RICHTER, H-G.; SCHMITT, U. (2008): Computer-aided identification and description of CITES protected trade timbers. *Bois et Forêts des Tropiques*, N° 297 (3), 69-73.
- KOCH, G.; RICHTER, H-G.; SCHMITT, U. (2011): The data base CITESwoodID – Computer-aided identification and description of CITES-protected trade timbers *IAWA Journal* 32 (2), 213-220.
- KOCH, G.; STIENEN, T. (2009): Holzarten eingeführter Holzprodukte aus Asien – Vielfalt der verwendeten Holzarten wird immer größer. Holz-Zentralblatt 135 (24), 620-621.
- Pressemitteilung des BMELV: Homepage BMELV, Suchbegriff „HolzSiG“.



Reaktion von Hausbockkäfern auf Bauholz unterschiedlicher Qualitäten im Labor und Freiland

Rudy Plarre

BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

Zusammenfassung

In Labor- und Feldversuchen wurde das Verhalten von männlichen und weiblichen Hausbockkäfern bei der Holzsuche beobachtet. Die ermittelten Ergebnisse zusammen mit bereits publizierten Daten erlauben es, einen Regelkreis der Paarungsbiologie einschließlich der Substratwahl (Neubefall) aufzustellen. Den Männchen kommt dabei eine wesentliche Rolle bei der Holzauswahl zu. Die Attraktivität von Nadelholz ist dabei von der Holzart aber auch von dessen Vorbehandlung wie Trocknungsprozessen abhängig. Eine herbeigeführte grundsätzliche Immunität durch reduzierte Attraktivität konnte bei keiner der getesteten Nadelholzarten bzw. -qualitäten festgestellt werden.

1 Einleitung

1.1 Allgemeines

In Mitteleuropa ist der Hausbockkäfer (*Hylotrupes bajulus*), das wirtschaftlich bedeutendste Schadinsekt an verbautem Nadelholz (Franzke 1938, Körting 1965, Becker 1968, Hickin 1968, Becker 1970a, 1970b, 1976, Cymorek 1981a, Grosser 1985, Sutter 1992). Berichte über einen Befall von Laubhölzern (Hickin 1968, Becker 1977) erwiesen sich im Nachhinein als zweifelhaft, fehlbestimmt oder nicht reproduzierbar (Cymorek 1981b). Die wirtschaftliche Relevanz des Hausbockkäfers setzt sich zum einen aus dem rein materiellen Schaden, den der Käfer bzw. dessen Larve verursacht, aber auch aus den finanziellen Aufwendungen, die im Zuge von schadensvorbeugenden Maßnahmen getroffen werden, zusammen.

Bei einem nachweislich vorliegenden aktiven Befall durch den Hausbockkäfer erfolgt die konventionelle Bekämpfung entweder durch Ausbau befallener Holzteile, Begasung, Wärmebehandlung oder durch den Einsatz bekämpfend wirkender insektizider Holzschutzmittel. Zum vorbeugenden Schutz von Bauholz können ebenfalls ausgewiesene Holzschutzmittel eingesetzt werden. Alternativ sieht die deutsche Regelsetzung im Holzschutz auch den Einsatz von widerstandsfähigen Holzarten (z. B. Laubholz) oder widerstandsfähigen Holzqualitäten (chemisch oder physikalisch modifiziertes Nadelholz) vor. Weiterhin müssen bauphysikalische Rahmenbedingungen geschaffen werden, die die Wahrscheinlichkeit eines Bauschadens durch den Hausbockkäfer minimieren (DIN 68800 Teil 1 bis Teil 4: 2011/2012). Diese Vorgaben seitens der Regelsetzung spiegeln das gesellschaftspolitische Interesse an einem weitgehend biozidfreien Holzschutz wider. Da das Eintreten eines Bauschadens vom Befallsgrad abhängt (Wild 2008), ist ein unbedeutendes Vorkommen des Schädling folglich tolerierbar.

Weitere alternative Schutzverfahren wie z. B. die Manipulation des Verhaltens beim Hausbockkäfer während der Paarung oder während der Holzsuche sind denkbar und zum Teil experimentell nachgewiesen. Grundlage für jegliche Verhaltensmanipulation ist jedoch die genaue Analyse aller Aspekte im Lebenszyklus des Schädling. Die Entwicklung des Käfers vom Ei über diverse Larvenstadien bis hin zur Verpuppung im Holz ist ausreichend biologisch-wissenschaftlich dokumen-



tiert (Becker 1943, 1949, 1963, Cymorek 1974). In den letzten Jahrzehnten wurden nun auch Paarungsbiologie und die Substratsuche bzw. der Neubefall, weitestgehend aufgeklärt.

1.2 Paarungsbiologie

Die Männchen des Hausbockkäfers erscheinen in Mitteleuropa nach einer fakultativen, temperaturabhängigen winterbedingten Kälteruhe zeitlich wenige Tage vor den Weibchen (Weidner 1936, Rasmussen 1967), die dann durch einen Sexuallockstoff der Männchen in Kombination mit Holzgerüchen zur Paarung stimuliert und an den Ort der Eiablage gelockt werden (Fettköther et al. 1995, 2000, Hertel und Plarre 2000). Bei ausreichend hohen Temperaturen und Beleuchtungsstärken zeigen Hausbockkäfer ein ausgeprägtes Flugverhalten (Cymorek 1968, Hertel und Plarre 1999). Bei *H. bajulus* ist also eine Holz- bzw. Nahrungserkennungs- und Paarungsbiologie entstanden, die flickenhaft in Raum und Zeit verteilte Ressourcen effizient nutzen lässt. Da die erwachsenen Käfer keine Nahrung mehr zu sich nehmen, ist der energetische Aufwand für diese Leistung optimal dosiert und auf die Geschlechter verteilt (Plarre und Hertel 2000). Vor Bewitterung geschütztes verbautes Nadelholz, z. B. unter Dach, ist langzeitbeständig, sodass bei einem lokalen Befall durch Hausbockkäfer mehrere Generationen problemlos an diesem Ort quantitativ und qualitativ günstige Fortpflanzungsbedingungen finden. Unter natürlichen Bedingungen im Freiland wäre es dagegen unwahrscheinlich, dass mehrere Generationen erfolgreich an einem Totholzabschnitt brüten können. Unter dem Blickwinkel der Evolution muss die Holzsuche und Partnerfindung beim Hausbockkäfer daher auf knappe Ressourcen abgestimmt sein.

Nach vollzogener Paarung ist der Aktionsradius von Hausbockkäferweibchen stark eingeeengt, und es findet keine qualitative Diskriminierung des Substrates für die Eiablage mehr statt. Sie erkunden meist nur noch die nähere Umgebung nach einem für die Eiablage geeigneten Spalt. Dabei ist die Legeröhre ständig tastend ausgefahren. Ist ein solcher Spalt gefunden, erfolgt ohne weitere Substratdiskriminierung die Eiablage, wenn experimentell manipuliert, auch an gänzlich für die Larvalentwicklung von *H. bajulus* ungeeigneten Substraten (Hertel und Plarre 1999).

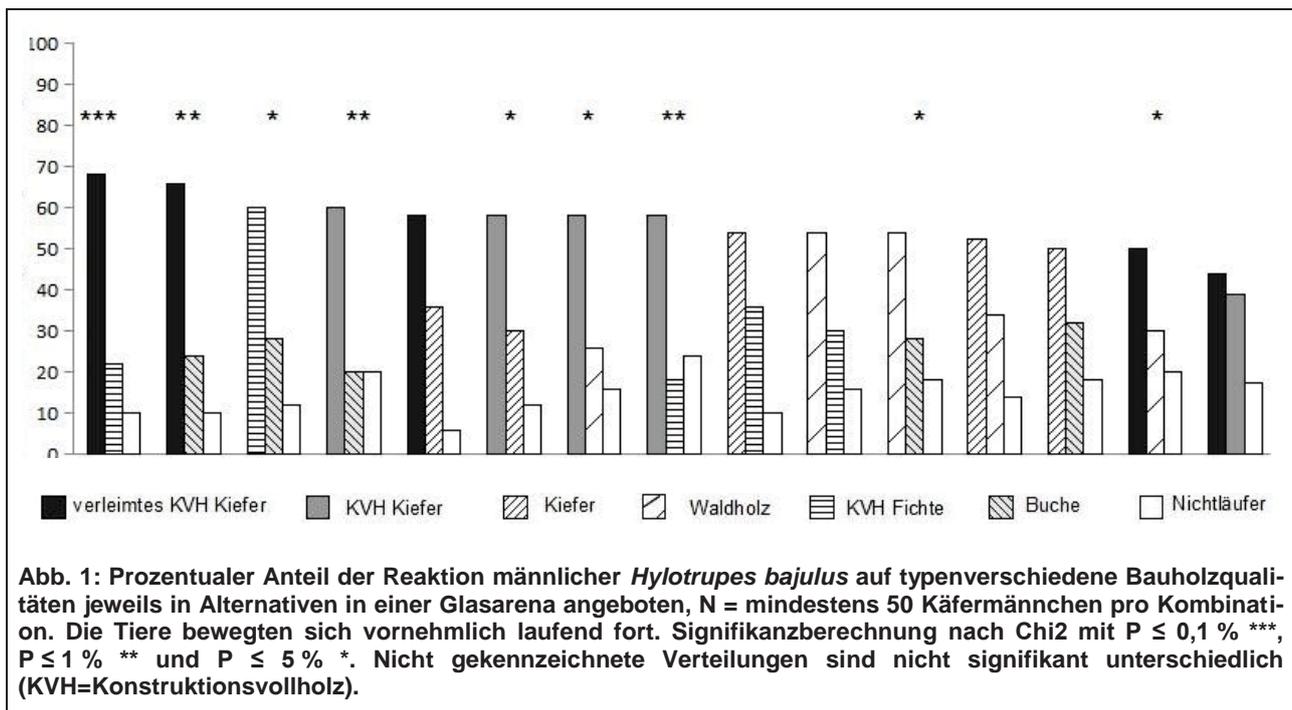
1.3 Substratsuche (Holzauswahl)

Auf die Männchen besteht vor der Partnerwerbung also ein evolutionsbiologisch begründbarer Selektionsdruck, den unmittelbaren Ort des Schlupfes zu verlassen, da dieser mit hoher Wahrscheinlichkeit unter natürlichen Bedingungen im Freiland über den Entwicklungszeitraum der eigenen Generation an ausreichend Qualität für eine erfolgreiche Entwicklung einer weiteren Generation eingebüßt hat. Es gilt daher, neues attraktives trockenes Totholz für die eigene Fortpflanzung zu besetzen und gegen arteigene Konkurrenz zu verteidigen. Rivalenkämpfe zwischen Hausbockmännchen können regelmäßig beobachtet werden (Breidbach 1990, eigene Beobachtungen).

In einem Dachstuhl, bei unmittelbarer nächster Verfügbarkeit qualitativ günstigen Tot(Bau)holzes ist die natürliche Verhaltenskette stark reduziert. Solange eine geruchliche Attraktivität von verbauten Hölzern gegeben ist, verbleiben die Männchen am Ort des Schlupfes oder in dessen unmittelbarer Nähe. Auf diese Weise können mehrere Generationen hintereinander an einem Standort existieren. Erst wenn die Holzoberflächen im Laufe der Zeit oxidieren und eine Patinabildung auftritt, sinkt die Attraktivität des Bauholzes, und neue Standorte werden durch die Männchen erschlossen. Dies erklärt die erfahrungsbedingte aber nicht immer zutreffende Erkenntnis der Befallsabnahme von Hölzern, die länger als 60 bis 80 Jahre verbaut sind (Körting 1961).

2 Laborversuche zur Holz Auswahl

Aufgrund von Erfahrungsberichten liegen derzeit Erkenntnisse vor, dass auch bei physikalisch modifiziertem Holz, z. B. durch den Trocknungsprozess bei Brettschichtholz und Konstruktionsvollholz (KVH), die Befallswahrscheinlichkeit gegenüber dem Hausbockkäfer sinkt (Gersonde und Grinda 1985, Aicher et al. 2000, 2001). Möglicherweise ist dies auf eine künstlich herbeigeführte Duftstoffminimierung, gefolgt von reduzierter Attraktivität des Holzes für Hausbockkäfermännchen, zurückzuführen. Dieser Erklärungsansatz wurde experimentell überprüft (Hertel 2010). In Verhaltensversuchen wurden die Reaktionen männlicher Hausbockkäfer auf fünf unterschiedliche Bauholzqualitäten (Holztypen) vergleichend und gegenüber Buchenholz untersucht (Ueckerdt 2010, Ueckerdt et al. 2012). Darunter befanden sich Nadelholz in Form von Konstruktionsvollholz der Kiefer und der Fichte, schichtverleimtes Konstruktionsvollholz der Kiefer, kammergetrocknetes und luftgetrocknetes Kiefernholz sowie Buche als Laubholzvariante.



Die Analyse des Verhaltens männlicher Hausbockkäfer in Wahlsituationen ergab eine relative Reihung der Präferenz unterschiedlicher Bauholzqualitäten (Abb. 1). Alle Nadelhölzer wurden gegenüber dem Laubholz signifikant bevorzugt aufgesucht. Unter den Nadelholzvarianten wurde das Konstruktionsvollholz der Kiefer präferiert. Aufgrund dieser Ergebnisse ist davon auszugehen, dass die technische Trocknung von Kiefernholz zu Konstruktionsvollholz keine Widerstandsfähigkeit gegenüber einem Neubefall durch *H. bajulus* herbeiführt. Für Konstruktionsvollholz der Fichte dagegen wurde eine geringe relative Attraktivität auf Hausbockkäfermännchen festgestellt, obwohl diese Holzart prinzipiell für die Entwicklung von *H. bajulus* geeignet ist (Becker 1949, Körting 1959, 1964). Möglicherweise wurde die Attraktivität dieses zu Konstruktionsvollholz modifizierten Holztypus durch die Vorbehandlung im Zuge der Herstellung deutlich gesenkt. Flüchtige und attraktiv wirkende Substanzen wie Pinene und Carene (Becker 1962, Fettköther et al. 2000) oder andere Inhaltsstoffe könnten durch das Verfahren der besonderen Kammertrocknung reduziert worden sein (Schmidt und Schneider 1957), ähnlich wie dies bei einer jahrzehntelangen natürlichen Oberflächenalterung auftreten kann (Adelsberger und Petrowitz 1976). Wie bereits oben erwähnt, ist bekannt, dass die Wahrscheinlichkeit eines Neubefalls durch Hausbockkäfer an sehr alten Nadelholzkonstruktionen deutlich sinkt (Körting 1961). Bekannt ist aber auch, dass eine kurzfristige Erwärmung mit der damit einhergehenden Trocknung, wie sie z. B. bei Hausbocklarven bekämpfenden Sanierungen durch sogenannte „Heißluftverfahren“ durchgeführt werden, keinen

anschließenden vorbeugenden Schutz gegen Neubefall herbeiführt (Scholles und Hinterberger 1960).

Eine umfangreiche Erhebung von Schäden an Holzkonstruktionen aus KVH und sogenannten Leimbindern erlauben dennoch durchaus den auf Erfahrung basierenden Rückschluss, dass durch die spezielle mehrere Tage andauernde Vorbehandlung von Konstruktionsvollholz die Wahrscheinlichkeit eines Befalls durch *H. bajulus* deutlich reduziert wird. Besonders wichtig dabei ist allerdings, dass es sich bei diesen untersuchten Objekten ausnahmslos um Konstruktionen aus Fichtenholz handelte (Radovic, mündliche Mitteilung 2011) und, dass derartige Erfahrungen für KVH aus Kiefernholz nicht bekannt sind.

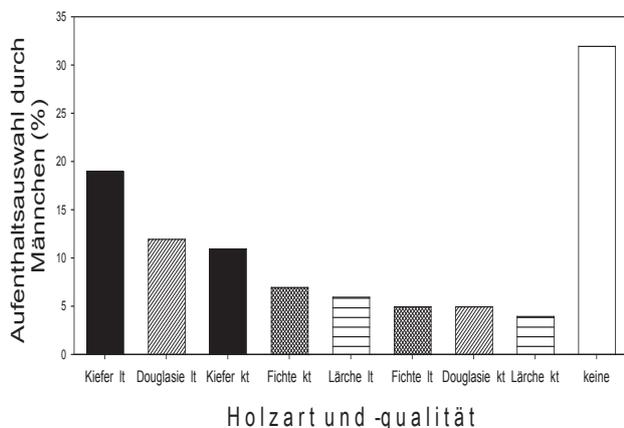
Neue Laboruntersuchungen in einer großräumigen Arena von 20 m³, die dem Hausbockkäfer auch das Fliegen ermöglicht, ergaben, dass Männchen bei gleichzeitigem Angebot von konventionell luftgetrockneten und technisch kammergetrockneten Holzbalkenabschnitten aus Kiefer, Fichte, Douglasie und Lärche zwar eine Präferenz gegenüber der luftgetrockneten Vorbehandlung zeigten, die anderen Holztypen aber nicht grundsätzlich gemieden wurden (Abb. 2). Weiter wurde beobachtet, dass die Holzart einen deutlichen Einfluss auf die Akzeptanz durch Hausbockkäfer-Männchen hat. Kiefer ist deutlich attraktiver als andere Nadelhölzer.



Abb. 2: Laborversuch

oben: Versuchsdesign

Laborversuchsarena aus Glas (20m³) mit gestapelten Balkenabschnitten aus konventionell luftgetrockneter Kiefer, Fichte, Douglasie und Lärche. Gegenüberliegend in dieser Versuchsarena (hier nicht im Bild) befanden sich die gleichen Holzarten nach technisch kammergetrockneter Vorbehandlung.



unten: Ergebnisse

Auswahl der Holzarten und -qualitäten als Verbergeorte durch männliche Hausbockkäfer

N=84 Käfermännchen; lt=luftgetrocknet; kt=kammergetrocknet.

3 Feldversuche

Es ist zu erwarten, dass, wenn Bauholz auf männliche Hausbockkäfer attraktiv wirkt und von ihnen aufgesucht wird, die eingangs beschriebene Verhaltenskette zwischen männlichen und weiblichen Käfern startet. Um zu klären, ob sich die Ergebnisse aus den Laboruntersuchungen im Feld bestätigen, wurden die oben erwähnten unterschiedlichen Bauholzqualitäten in größeren Abschnitten auf der Terrasse eines Blockhauses, das einen massiven Hausbockbefall aufwies (Müller 2011), jeweils dreilagig gestapelt ausgebracht und dem dortigen Hausbockvorkommen als Verberge- und Eiablageorte angeboten (Abb. 3).

Zum Kontrollzeitpunkt im Sommer 2011 wurde jeweils ein Männchen des Hausbockkäfers an luftgetrockneter Fichte und an luftgetrockneter Lärche detektiert. Weiterhin wurden an luftgetrockneter Douglasie 3 Eigelege, an luftgetrockneter Kiefer 2 Eigelege und an kammergetrockneter Lärche ebenfalls 2 Eigelege von Weibchen des Hausbockkäfers gefunden. Eigelege lassen aufgrund der Paarungsbiologie (siehe oben) darauf schließen, dass zuvor an den betreffenden Holzqualitäten Männchen anwesend waren, die Weibchen angelockt und begattet hatten.



Vorbehandlung	luftgetrocknet				kammergetrocknet			
Holzart	Douglasie	Fichte	Kiefer	Lärche	Douglasie	Fichte	Kiefer	Lärche
Befund	3 Eigelege	1 ♂	2 Eigelege	1 ♂	-	-	-	2 Eigelege

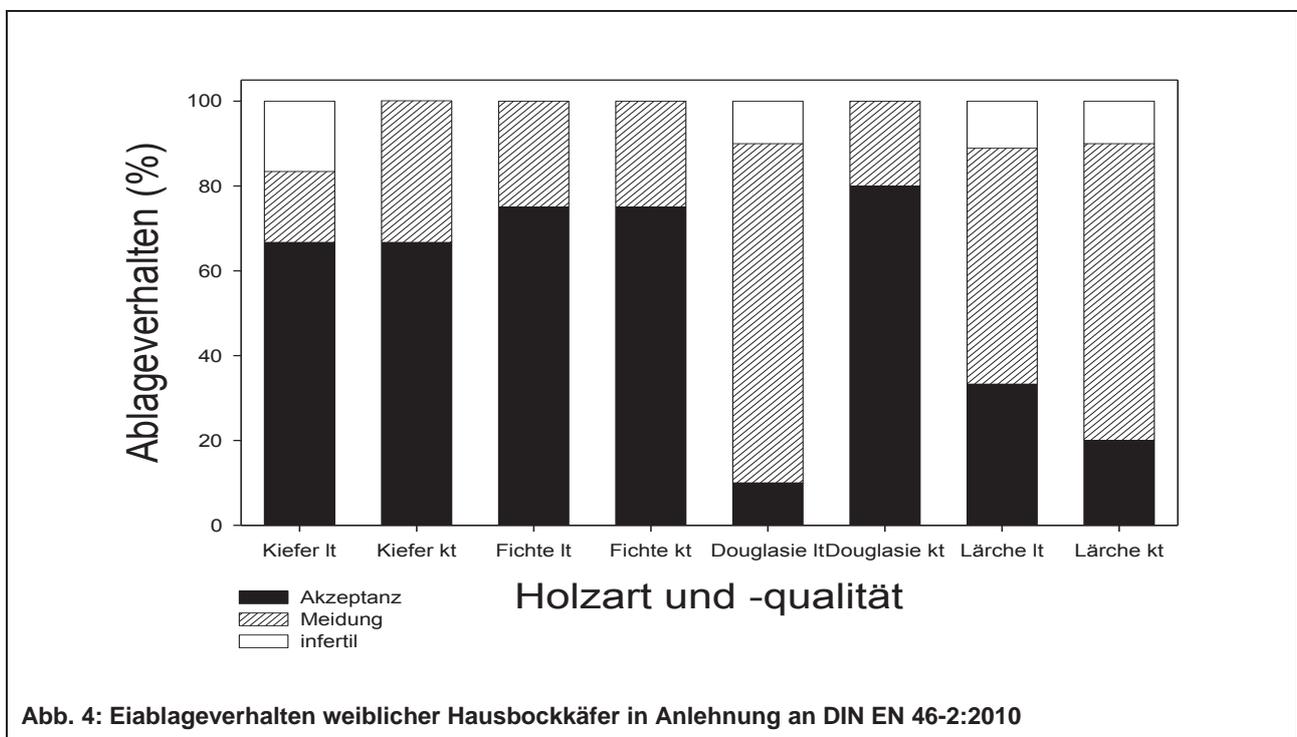
Abb. 3: Feldversuch

oben: Versuchsdesign - Ausrichtung der Holzbalken auf der Terrasse eines Blockhauses, das mit Hausbock befallen war. Holzbalken dreilagig übereinandergestapelt mit von links nach rechts Douglasie, Fichte, Kiefer, Lärche und wiederum Douglasie, Fichte, Kiefer und Lärche. Die linken vier Stapel waren luftgetrocknet, die rechten vier kammergetrocknet.

unten: Ergebnisse - Befund von Käfern bzw. Eigelegen an verschiedenen Holzarten bzw. -qualitäten bei einmaliger Kontrolle im Sommer 2011.

Denkbar ist aber auch ein Wechsel vom Begattungs- zu einem neuen Eiablageort, da im vorliegenden Versuchsdesign die zurückzulegende Strecke durch die Weibchen gering ist. Der Einfluss der Holzqualität auf die Eiablage der Weibchen wurde daher gesondert in Laborversuchen in Anlehnung an DIN EN 46-2:2010 getestet. Überprüft wurden die bereits beschriebenen Holzarten und -qualitäten. DIN EN 46-2 ist jedoch nicht als Wahl- sondern als Akzeptanzversuch ausgelegt, sodass die Hölzer variantengetrennt angeboten wurden. Die Norm sieht vor, wenn ein Weibchen nach einer Woche Versuchszeit kein Eigelege ablegt, es an „Normkiefer“ umgesetzt wird. Erfolgt dann die Ablage, können dem ursprünglich angebotenen Holz ablagehemmende Eigenschaften zugeschrieben werden. Erst wenn auch an „Normkiefer“ keine Eiablage erfolgt, wird dieser Ansatz als ungültig aufgrund vermuteter Infertilität gewertet und wäre bei einer Prüfung nach Norm zu wiederholen.

Die Ergebnisse in Abb. 4 zeigen, dass begattete Weibchen prinzipiell alle angebotenen Holzarten und -qualitäten zur Eiablage akzeptierten. Luftgetrocknete Douglasie ließ jedoch eine Hemmung der Ablage erkennen, die nach technischer Trocknung nicht mehr erkennbar war.





4 Schlussfolgerung

Anhand zahlreicher empirischer Verhaltensstudien zur Paarung und Substratsuche beim Hausbockkäfer erscheint es evident, dass die Männchen die Auswahl des Brutsubstrates treffen und über ein Sexdualpheromon in Kombination mit Substratgerüchen die Weibchen zur Paarung anlocken. Letztere legen nach vollzogener Paarung ihre Eier ohne weitere Diskriminierung der jeweiligen Holzqualität ab. Nur bei räumlicher Nähe kann ein Wechsel vom Paarungs- zu einem neuen Eiablageort erfolgen, dabei kann möglicherweise auch die Holzart und -qualität durch die Weibchen aktiv erschlossen werden. Das kann unter Umständen bedeuten, dass für Männchen primär relativ unattraktives Holz von Weibchen sekundär zur Eiablage genutzt wird, wenn es lokal zusammen verbaut wurde (Grimm 2005). Wenn dieses Holz dann prinzipiell für die Entwicklung von Larven von *H. bajulus* geeignet ist, kann der Entwicklungszyklus auch beendet werden (Cymorek 1982). Dies gilt es, bei Sanierungsarbeiten zu bedenken. Dass unterschiedliche Nadelholzarten unterschiedlich gut für die Entwicklung von Hausbockkäfern geeignet sind, ist seit Längerem bekannt. So ergaben z. B. entwicklungsphysiologische Untersuchungen mit Hausbocklarven in verschiedenen zu Bauzwecken eingesetzten Koniferenhölzern für die Fichte im Vergleich zu Kiefer, Lärche oder Tanne längere Entwicklungszeiten und meist geringere Nachkommenszahlen des Schädlings (Schuch 1937, Körting 1964, Graf et al. 1989). Dies spiegelt sich auch in der Präferenz bei holzsuchenden Männchen wider, die Kiefer deutlich bevorzugten. Neu ist, dass eine relative Reduktion der Attraktivität der jeweiligen Holzart für Männchen nach technischer Trocknung des Holzes erkennbar ist, eine grundsätzliche Immunität erfährt das Holz durch diese Vorbehandlung jedoch nicht.

Literatur

- ADELSBERG, U.; PETROWITZ, H.-J. (1976): Gehalt und Zusammensetzung der Proteine verschieden lange gelagerten Kiefernholzes (*Pinus sylvestris* L.). *Holzforschung* 30, 109-113.
- AICHER, S.; RADOVIC, B.; VOLLAND, G. (2000): Befallswahrscheinlichkeit durch Hausbock bei Brettschichtholz. Untersuchungsbericht Otto-Graf-Institut Universität Stuttgart.
- AICHER, S.; RADOVIC, B.; VOLLAND, G. (2001): Untersuchungen zur Befallswahrscheinlichkeit von Brettschichtholz durch Hausbock. *Bauen mit Holz* 12.
- BECKER, G. (1943): Zur Ökologie und Physiologie holzerstörender Käfer. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 30, 104-118.
- BECKER, G. (1949): Beiträge zur Ökologie der Hausbockkäfer-Larven. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 31, 135-174.
- BECKER, G. (1962): Nahrungsfindung und Chemotaxien bei holzbewohnenden Käfern. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 50, 88-93.
- BECKER, G. (1963): Der Einfluß des Eiweiß-Gehaltes von Holz auf das Hausbocklarven-Wachstum. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 52, 368-390.
- BECKER, G. (1977): *Hylotrupes bajulus* (L) in Laubholz in West Afrika. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 83, 282-285.



- BECKER, H. (1968): Über die Verbreitung des Hausbockkäfers *Hylotrupes bajulus* (L.) Serville (Col., Cerambycidae). Zeitschrift für Angewandte Entomologie 61, 253-281.
- BECKER, H. (1970a): Die heutige Verbreitung des Hausbockkäfers in der Bundesrepublik Deutschland. Der Praktische Schädlingbekämpfer 22, 122-124.
- BECKER, H. (1970b): Über die Verbreitung des Hausbockkäfers *Hylotrupes bajulus* (L.) Serville (Col., Cerambycidae). II. Mitteilung. Zeitschrift für Angewandte Entomologie 67, 99-102.
- BECKER, H. (1976): Über die Verbreitung des Hausbockkäfers *Hylotrupes bajulus* (L.) Serville (Col., Cerambycidae). III. Mitteilung. Zeitschrift für Angewandte Entomologie 80, 272-275.
- BREIDBACH, O. (1990): Zur Struktur des Aggressionsverhalten des Cerambyciden *Hylotrupes bajulus* L. (COL. Cermabycidae). Deutsche Entomologische Zeitschrift 37, 23-30.
- CYMOREK, S. (1968): *Hylotrupes bajulus* –Verpuppung und –Flug, deren Klimaabhängigkeit und Beziehung zur Artverbreitung. Zeitschrift für Angewandte Entomologie 62, 316-344.
- CYMOREK, S. (1974): Über die Verbreitung des Hausbockkäfers *Hylotrupes bajulus* (L.) (Coleoptera, Cerambycidae) in Europa in Abhängigkeit von Nahrung, Wasser, Wärme und Kälte. Jahresbericht des Naturwissenschaftlichen Vereins Wuppertal 27, 2-17.
- CYMOREK, S. (1981a): Schäden durch Pilze und Insekten - Vorbeugende Maßnahmen und Bekämpfung. - Bautenschutz und Bausanierung 4, 12-17.
- CYMOREK, S. (1981b): Über Hausbockkäfer *Hylotrupes bajulus* (L.), (Col., Cerambycidae), in Laubholz: Versuche mit Laubholzarten, Prüfung der Wirkung von Ligninstoffen und von Ginkgo biloba, Beobachtungen an Hesperophanes. Mitteilung Deutsche Gesellschaft für Angewandte Entomologie 3, 90–96.
- CYMOREK, S. (1982): Zur Befallswahrscheinlichkeit von Brettschichtholzträgern durch den Hausbock. Holz-Zentralblatt 108, 1509.
- DIN 68800 (2011/2012): Holzschutz. Deutsches Institut für Normung. Beuth Verlag, Berlin.
- DIN EN 46-2 (2010): Holzschutzmittel – Bestimmung der vorbeugenden Wirkung gegenüber frisch geschlüpften Larven von *Hylotrupes bajulus* (Linnaeus) – Teil 2: Ovizide Wirkung (Laboratoriumsverfahren); Deutsche Fassung EN 46-2:2009. Deutsches Institut für Normung. Beuth Verlag, Berlin.
- FETTKÖTHER, R.; DETTNER, K.; SCHRÖDER, F.; MEYER, H.; FRANCKE, W.; NOLDT, U. (1995): The male pheromone of the old house borer *Hylotrupes bajulus* (L.) (Coleoptera: Cerambycidae): identification and female response. Experientia 51, 270-277.
- FETTKÖTHER, R.; REDDY, G. V. P.; NOLDT, U.; DETTNER, K. (2000): Effect of host and larval frass volatiles on behavioural response of the old house borer, *Hylotrupes bajulus* (L.) (Coleoptera: Cerambycidae), in a wind tunnel bioassay. Chemoecology 10, 1-10.
- FRANZKE, A. (1938): Die Hausbockkäferfrage im Jahre 1938. - Verband öffentlicher Feuerversicherungsanstalten in Deutschland, 5-17.



- GERSONDE, M.; GRINDA, M. (1985): Untersuchungen über das Vorkommen von Schäden durch holzerstörende Pilze und Insekten an Holzleimbaukonstruktionen. Kurzberichte aus der Forschung. Raum und Bau 126, 535-536.
- GRAF, E.; MANSER, P.; SCHMITTER, M. (1989): Einfluß der Vitalität von Fichten (*Picea abies* (L.) Karst.) und Tannen (*Abies alba*) auf die Resistenz des Bauholzes gegen Eilarven des Hausbockes (*Hylotrupes bajulus* L.). Material und Organismen 24, 93-105.
- GRIMM, M. (2005): Incursion of *Hylotrupes bajulus* Linnaeus (European house Borer) into Western Australia. IRG/WP 05-10558.
- GROSSER, D. (1985): Pflanzliche und tierische Bau- und Werkholzschädlinge. DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen.
- HERTEL, H. (2010) Anfälligkeit von Holz nach unterschiedlicher Vorbehandlung gegenüber dem Hausbockkäfer. In: Militz, H. (ed), 26. Holzschutztagung, Göttingen, 84-92.
- HERTEL, H.; PLARRE, R. (1999): Entwicklung eines Prüf- und Bewertungsverfahrens für einen biologisch basierten Holzschutz. Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) Projekt Az. 08039.
- HERTEL, H.; PLARRE, R. (2000): Incorporating insect behaviour in standard tests of wood preservatives – a possible way to reduce pesticide loadings. Proceedings 31st Annual Meeting International Research Group on Wood Preservation, Kona, USA, WP 00-20190.
- HICKIN, N. E. (1968): The Insect Factor in Wood Decay. Hutchinson & Co. Publisher, London.
- KÖRTING, A. (1959): Biologische Untersuchungen über die Entwicklung von *Hylotrupes bajulus* L. (Hausbockkäfer). Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft 96.
- KÖRTING, A. (1961): Zur Entwicklung und Schadtätigkeit des Hausbockkäfers (*Hylotrupes bajulus* L.) in Dachstühlen verschieden Alters. Anzeiger für Schädlingskunde 24, 150-153.
- KÖRTING, A. (1964): Vergleichende Untersuchungen über die Entwicklung des Hausbockkäfers (*Hylotrupes bajulus* L.) in Lärchen- und Fichtenholz. Holzforschung und Holzverwertung 16, 41-46.
- KÖRTING, A. (1965): Wichtigster Hausschädling - der Hausbockkäfer. Umschau 4, 116-119.
- MÜLLER, J. (2011): Insektenbefall erfordert sogar einen Abriss. Holzzentralblatt 9/2011, 236.
- PLARRE, R.; HERTEL, H. (2000): Wirtssuche beim Hausbockkäfer *Hylotrupes bajulus* (L.) (Coleoptera: Cerambycidae). Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Allgemeine und Angewandte Entomologie 12, 493-497.
- RASMUSSEN, S. (1967): Parring og æglægning hos husbuk. Særtryk Efter Naturens Verden Martes 1967, 72-75.
- SCHMIDT, H.; SCHNEIDER, A. (1957): Abtötende und vorbeugende Wirkung bei der Hausbockbekämpfung mit Heißluft. Holz als Roh- und Werkstoff 15, 406-410.
- SCHOLLES, W.; HINTERBERGER, H. (1960): Schützt die Hausbockbekämpfung durch Heißluft vor Neubefall? Der Praktische Schädlingsbekämpfer 12, 36.



- SCHUCH, K. (1937): Experimentelle Untersuchungen über den Nahrungswert von Kiefern- und Fichtenholz für die Larven des Hausbockkäfers *Hylotrupes bajulus* L. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten 47, 572–585.
- SUTTER, H.-P. (1992) Holzschädlinge an Kulturgütern erkennen und bekämpfen. Verlag Paul Haupt, Bern.
- UECKERDT, C. (2010): Das Verhalten des Hausbockkäfers, *Hylotrupes bajulus* (L.), beim Befall unterschiedlicher Bauholzqualitäten. Diplomarbeit Fachbereich Biologie, Chemie, Pharmazie der Freien Universität Berlin.
- UECKERDT, C.; PLARRE, R.; HERTEL, H. (2012): Attraktivität unterschiedlicher Bauholzqualitäten auf männliche Hausbockkäfer *Hylotrupes bajulus* (L.) (Coleoptera: Cerambycidae). Holztechnologie 53, 18-23.
- WEIDNER, H. (1936): Der Hausbock. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz 40, 305–326.
- WILD, U. (2008): Lexikon Holzschutz. Baulino Verlag, Waldshut-Tiengen.



Holz im Meerwasserverbau Schädlinge im Meerwasser, *Teredo* ssp. und *Limnoria* ssp. Lebenszyklus, Schadbilder und Auswirkungen auf Holzkonstruktionen.

Sascha Hellkamp

Kurt Obermeier GmbH & Co. KG

Zusammenfassung

Holz im Meerwasser ist einer seit Jahrhunderten bekannten Bedrohung durch holzabbauende Meeresorganismen ausgesetzt. *Teredo* ssp. und *Limnoria* ssp. haben die durch Menschenhand eingebrachten Holzkonstruktionen dankbar als Lebensraum und Nahrungsquelle angenommen und sind die Hauptverursacher für Schäden an Holz im Meerwasserverbau. Beide haben sich in ihrer Entwicklung zu Spezialisten im Holzabbau entwickelt und es steht eine schwindende Anzahl Werkzeuge zur Verfügung, um diesem Angriff entgegenzutreten.

1 Generelles

1.1 Holz im Meerwasserverbau

Es ist kaum möglich, eine vollständige Liste aller Bauelemente für die Anwendung von Holz im Meerwasser aufzuführen, jedoch soll ein kurzer Ausschnitt verdeutlichen, in welchen Variationen Holz verwendet wird und welche Konstruktionen somit einem Angriff durch holzerstörende Meeresbewohner ausgesetzt sind.

Rundholz in der Verwendung als Rammpfähle wird in verschiedensten Dimensionen genutzt. Als Fundamente für weitere Aufbauten, als Stützkonstruktionen in der Uferbefestigung, als Dalben (Unterteilungen und Anlegepunkte) in Häfen, als statisch beanspruchte Bauteile bei Stegen und Brücken oder als Bühnen, welche im Strandbereich in den Meeresuntergrund getrieben, dem Küstenschutz dienen. Ein Angriff durch holzerstörende Meeresbewohner kann in diesen Bereichen neben höheren Instandhaltungskosten zu gravierenden Folgeschäden führen.

Schnittholz wird z. B. im Fenderbau oder als Verkleidung von Hafenanlagen verwendet. Die Aufgabe des Holzes besteht häufig darin, den direkten Kontakt zwischen Schiff und Anlegepunkt abzupuffern, um Beschädigungen durch Stöße und Scheuern zu vermeiden. Teilweise werden sogenannte Reibhölzer in den Konstruktionen vorgesehen, welche durch den Abrieb an Schiffsrümpfen verschleißt und schnell ersetzt werden können. Versuche, diese Konstruktionen durch Kunststoffe zu ersetzen, können daran scheitern, dass die Scheuerwirkung von großen Schiffen Kunststoffe nicht nur sehr viel schneller verschleißt lässt als Holz, sondern die Reibungshitze teilweise ausreicht, um Kunststoffe zu schmelzen oder gar zu entzünden. Hier hat sich in der Vergangenheit Holz, häufig Eiche, als deutlich besser geeignetes Baumaterial erwiesen. Eine frühzeitige Zerstörung der Holzkonstruktionen durch biologischen Abbau führt zu verkürzten Wartungsintervallen und hohen Instandhaltungskosten. Im Bootsbau, als weiterem großen Bereich, in dem Schnittholz Verwendung findet, werden hölzerne Rümpfe in der Regel vorbeugend durch Anstriche oder Beschichtungen gegen unerwünschte Meeresbewohner geschützt.



Selbst dünne Äste in Form von Reisig werden im Meerwasserverbau verwendet. Gebündelt und um Pfähle geflochten finden sie als Faschinen Einsatz im Erosionsschutz und zur Uferbefestigung.

1.2 Gefährdungszonen

Holz im Meerwasserverbau wird gemäß DIN 68800-1:2011-10 in die Gebrauchsklasse 5 eingestuft und unterliegt einer Gefährdung durch Insekten, Pilze, Moderfäulen und Holzschädlinge im Meerwasser.

Wird ein Holzbauteil im Meerwasser genauer betrachtet, wie zum Beispiel eine Dalbe, lässt sich der Gefährdungsbereich in vier Segmente aufteilen (Informationsdienst Holz 1990):

- A. Der Bereich außerhalb des Wassers.
 - In diesen Zonen ist analog der GK 3-4 mit Pilz- und Insektenangriffen zu rechnen.
- B. Der Tidenbereich, welcher je nach Wasserstand unter oder über der Wasseroberfläche liegen kann.
 - In dieser Zone besteht aufgrund der permanenten Feuchte ein erhöhter Befallsdruck durch holzerstörende Moderfäulen. Aber auch die ersten Meeresbewohner, meist Krebstiere, wie die Holzbohrassel (Crustaceen wie z. B. *Limnoria*), beginnen in diesem Bereich mit dem Holzabbau.
- C. Der Bereich unterhalb der Wasseroberfläche.
 - In dieser Zone sind Teredien und Crustaceen die größten Gegner des Holzes.
- D. Im Schlickbereich bzw. unterhalb der Sedimentschicht ist das Holz in der Regel unter Sauerstoffabschluss ausreichend gegen Holzerstörer geschützt.

2 *Teredo navalis*

Der im Englischen als „shipworm“ oder niederländisch „Paalworm“ bekannte Holzerstörer tritt in Deutschland unter verschiedensten Namen, wie zum Beispiel Holzbohrmuschel, Pfahlwurm, Schiffsbohrwurm oder um Spiegel Online (Schröder 2008) zu zitieren, als „Die Termiten der Meere“ auf. Dabei bezieht sich der häufig verwendete Namensbestandteil „... wurm“ auf das äußere Erscheinungsbild der tatsächlich zu den Muscheln zählenden Teredien. In tropischen Gewässern können Teredien eine Länge von bis zu 60 cm bei einem Körperdurchmesser von 1-2 cm erreichen. In allen europäischen Gewässern ab einem Salzgehalt von 0.7–0.9 ‰ und einer Temperatur > +5 °C sind Teredien anzutreffen, wobei diese Vertreter meist bei einem Körperdurchmesser bis zu einem Zentimeter auf eine Körperlänge von bis zu 20 cm heranwachsen (Baumhauer 1878).

Diese Tiere haben ihre Anatomie und die ursprünglichen Muschelschalen vollständig ihrer hoch spezialisierten Lebensweise angepasst. Die Larven, welche sich im ersten Stadium frei im Meerwasser bewegen, weisen den „typischen“ Aufbau einer Muschel auf (Fuller et al. 1989). Zwei symmetrisch geformte Muschelschalen dienen dem Körper, welcher sich vollständig in die Schalen zurückziehen kann, als Schutz. Nach wenigen Wochen und bei Erreichen einer Schalengröße von ca. 230 x 195 µm setzt sich die Larve mittels eines Haltefadens an einem Stück Holz fest und es beginnt die Metarmorphose der schützenden Muschelschale zu einem bezahnten Werkzeug, mit dem sich die Larve langsam durch Bewegen der Schalenklappen in das Holz einfräsen kann. Dabei bleibt auf der Holzoberfläche nur eine Öffnung von ca. 1 mm zu erkennen, aus der zwei kleine



Atem-Siphone ragen. Von nun ab verbringt die Teredie das restliche Leben, immerhin bis zu drei Jahre, im Holz, wobei die Bohrröhre entsprechend der Körperlänge erweitert wird und deren Wände mit einer dünnen Kalkschicht auskleidet werden. Der Schiffsbohrwurm ernährt sich in dieser Zeit hauptsächlich von Cellulose und Holzzuckern aus dem abgeraspelten Holz. Weitere, im Holz nicht vorkommende Nährstoffe, erhält die Teredie durch symbiotische Bakterien im Kiemenbereich und durch Abfiltern von Plankton aus dem Atemwasser. Kommt es zu einer Änderung der Außenbedingungen, z. B. durch Süßwasserlagerung befallenen Holzes als mögliche Bekämpfungsmaßnahme, kann die Teredie die Atemöffnung mittels zweier spezieller Kalkplättchen hermetisch verschließen und lebensfeindliche Umgebungen für mehrere Wochen unbeschadet überstehen.

2.1 Historische Schäden

In den Jahren 1919 bis 1921 kam es in der San Francisco Bay aufgrund des Einschleppens von *Teredo navalis* zu erheblichen Schäden an der bis dato aufgrund des Brackwassers als „Teredosicher“ betrachteten Hafenanlage.

Aufzeichnungen belegen das Auftreten des Schiffsbohrwurms in der Gegend von Warnemünde bereits im Jahr 1875.

Angesichts der immensen Zerstörungskraft begann die British Navy im Jahre 1761 damit, ihre Schiffe mit Kupferblechen zu verkleiden, um einen Angriff durch den „shipworm“ zu vereiteln.

Ein verheerender Dammbbruch an der holländischen Küste im Jahr 1731 wurde ebenfalls dem „Paalworm“ zugeschrieben.

Christopher Kolumbus verlor um 1490 auf seinen Reisen insgesamt neun Schiffe, welche ihm in den wärmeren Gewässern buchstäblich unter den Füßen weggefressen wurden.

2.2 Nutzen

Teredien, in den tropischen Gewässern weit verbreitet, leisten ihren Beitrag beim Abbau von Biomaterialien in den Meeren. Im Ökosystem der Mangrovenwälder stellen sie einen wichtigen Schritt im Biomassekreislauf dar.

Das Verkleiden der Fraßgänge durch Kalkablagerungen inspirierte den französischen Ingenieur Marc Brunel zur Entwicklung des Konzepts, beim Tunnelbau durch unsichere Untergründe die Wände mittels eiserner Tunnelbohrschilde zu verstärken und dadurch parallel zum Tunnelfortschritt die Wände zu verkleiden. Anwendung fand diese Technologie beim Bau des ersten Themse Tunnels 1825.

3 *Limnoria*

Limnoria lignorum, auch bekannt als Holzbohrassel oder englisch „gribble“, wurde 1799 von Rathke erstmals beschrieben. Es handelt sich um meist in sehr großer Anzahl auftretende bis zu 5 mm kleine Krebstiere (Crustaceen), welche sich in kreisrunden und reich verzweigten Gängen durch das Holz bohren. Das Holz dient den Bohrasseln als Lebensraum und Nahrungsquelle durch den enzymatischen Abbau von Cellulose. Dabei gibt es eine ernährungsphysiologische Beziehung zwischen *Limnoria* und den im Tidenbereich vorkommenden niederen Pilzen und Bakterien (Seifert 1964). Während die Mikroorganismen die für die tierische Cellulase schwer angreifbare Cellulose in eine für das Tier günstigere Form überführen und selbst als Eiweißlieferant für die Bohrassel erhalten müssen, nutzen die Pilze und Bakterien die Bohrtätigkeit der Assel und profitieren von den großen dadurch freigelegten Holzoberflächen. Der Holzabbau durch *Limnoria* erfolgt von der



Oberfläche aus bis in eine Tiefe von 1-2 cm, sodass ein befallenes Stück Holz einfach an den Gängen zu erkennen ist. Durch die meist dicht an dicht liegenden Fraßgänge verliert das Holz rapide an Stabilität und büßt durch Abrasion schnell an Dimension ein, sodass es Schicht für Schicht durch die Bohrasseln abgebaut werden kann. Ein daraus resultierendes typisches Schadbild ist die Sanduhrsilhouette bei Pfählen und Buhnen im Tidenbereich. *Limnoria* bevorzugt zu Beginn des Angriffs eher weiches Holz, was dazu führen kann, dass Kernholz, Äste oder auch Spätholzjahre kurzzeitig erhalten bleiben. Anders als die Teredien, welche im Inneren des Holzes leben, sind die Bohrasseln Änderungen der Außenbedingungen stärker ausgesetzt, sodass die Lagerung von Holzbooten in Süßwasser in der Geschichte eine bewährte Methode war, die kleinen Holzzerstörer los zu werden. Jedoch kann die Bohrassel, da sie sich frei im Holz bewegt, dieses bei Bedarf auch verlassen, um Gefahren zu begegnen (z. B. Trockenfallen des Holzes) oder um sich neue Nahrungsquellen zu erschließen.

4 Maßnahmen zur Vorbeugung

Im Jahre 1882 beschreibt Martin Murphy drei mögliche Vorgehensweisen, um Holz im Meerwasser zu schützen (Murphy 1882):

- (1) Aufbringen von Beschichtungen, wie zum Beispiel metallhaltige Farben, Aufbringen einer heißen Mischung aus Harzen, Schwefel und Glaspulver, Behandlung mit Paraffinen oder Steinkohlenteeröl oder Modifizierung der Oberfläche, z. B. durch Verkohlen.
- (2) Imprägnierung des Holzes mit verschiedensten Substanzen, wie zum Beispiel Kupfersulfat, Eisensulfat, Bleiacetat, Calciumchlorid, Wasserglas, Paraffinöl oder Creosot.
- (3) Prüfung der Eigenschaften exotischer Holzarten.

Im Ergebnis wurde damals erkannt, dass Oberflächenbehandlungen keinen ausreichenden Schutz bieten. Auch die Imprägnierung mit wasserlöslichen anorganischen Salzen führte nicht zum Erfolg. Bei der Untersuchung von exotischen Hölzern stellte sich heraus, dass die Härte des Holzes keinen Einfluss auf den Angriff durch Teredien zu haben schien. Einzig die Creosotbehandlung stellte sich in Versuchen zwischen 1839 und 1859 als erfolgversprechend heraus.

An diesen Ansätzen hat sich in den letzten 130 Jahren nicht viel geändert. Auch heute wird auf diese drei möglichen Wege zurückgegriffen:

4.1 Physikalische Barrieren

In einer Patentschrift aus dem Jahr 1877 (Cullver 1877) wird ein Verfahren beschrieben, bei dem mit einem Schutzmittel gestrichene Pfähle anschließend mit einer heißen Schicht aus Teer überzogen werden. Eine in Teer getränkte und heiß verarbeitete Binde verstärkt diesen Schutzmantel und erzeugt eine geschlossene, elastische und „*Teredo* sichere“ Barriere. Eine modernere Variante ist die Ummantelung von Pfählen mit Kunststofffolien oder das Ummanteln eines Pfahles mit einem Kunststoffrohr und ggf. Ausfüllen der Zwischenräume mit Zement. Problematisch ist bei diesen Methoden, dass die positiven Eigenschaften des Holzes (Flexibilität, Oberflächenhärte als Reibholz) teilweise verloren gehen.

4.2 Holzschutz

Bereits seit über hundert Jahren ist die Verwendung von Steinkohlenteeröl als wirksamer Cocktail gegen den gefräßigen Holzzerstörer bekannt. Und auch Chrom-Kupfer-Arsen Verbindungen wurden jahrzehntelang im Meerwasserverbau erfolgreich eingesetzt. Moderne Holzschutzmittel (ACQ-



Salze) könnten, wie es im Rahmen eines Monitorings des StAUN („Staatliches Amt für Umwelt und Natur“ in Rostock) dargelegt wurde (Bugenhagen 2010), im Meerwasserverbau durchaus eine Berechtigung haben und die Verwendungsdauer von einheimischem Kiefern- oder Fichtenholz über Jahre verlängern. Jedoch schränken die aktuellen Gesetzgebungen und Verordnungen die Verwendung von chemischen Holzschutzmitteln in der GK5 stark ein, sodass die alt bewährten Mittel nicht mehr verwendet werden dürfen und vonseiten des chemischen Holzschutzes in absehbarer Zeit kaum mit einer Lösung gerechnet werden kann.

4.3 Alternativen

4.3.1 Tropenholz

Ein 2008 durchgeführtes Monitoring der StAUN hat gezeigt, dass fast alle im Bühnenbau verwendeten Tropenhölzer innerhalb kurzer Zeit einen Teredobefall aufweisen, wobei der Befall meist auf das Splintholz beschränkt bleibt. Auch die erst seit kurzer Zeit verwendeten Holzarten *Eucalyptus camaldulensis* var. *rostrata* und *Eucalyptus cloeziana* zeigten sich als nicht *Teredo*-resistent. Nur *Acariguara* zeigte zum Zeitpunkt des Monitorings eine natürliche Resistenz gegen *Teredo navalis*. Auch hier, wie in anderen Bereichen, in denen Tropenholz Verwendung findet, muss die nachhaltige Forstwirtschaft im Mittelpunkt stehen und mögliche Einflüsse auf natürliche Resistenzen durch Plantagenanbau beobachtet und untersucht werden.

4.3.2 Beton, Stahl, Kunststoff

Auch im Bereich des Meerwasserverbaus rücken alternative Baumaterialien immer mehr in den Fokus: Stege aus WPC, Anleger in Sporthäfen aus kunststoffummantelten Stahlbetonkonstruktionen oder Wellblechkonstruktionen zur Uferbefestigung. Allerdings besitzt der Baustoff Holz einige Vorteile, welche eine Substitution schwierig machen: Flexibilität bei Sturm, Eis- oder Wellengang, hohe chemische Beständigkeit gegenüber Meerwasser und die Abriebeigenschaften im Fenderbau sind neben Optik und Haptik nur einige Punkte.

5 Ausblick

Aufgrund der aktuellen Gesetzgebungen und Verordnungen und dem damit verbundenen Wegfall von bewährten oder modernen Holzschutzmitteln, der noch nicht mit erfolggekrönten Suche nach resistenten und verfügbaren Holzarten und der Lückenindikation für den Werkstoff Holz ohne ernsthafte Alternativen an Substitutionswerkstoffen, werden wir uns auch in den nächsten Jahrzehnten mit der Gefahr durch *Teredo* und *Limnoria* beschäftigen müssen, solange noch Holz im Meerwasser verbaut werden sollte.

Literatur

SCHRÖDER, T. (2008): <http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/schiffsbohrwuermer-die-terminen-der-meere-a-560115.html> vom 23.06.2008.

INFORMATIONSDIENST HOLZ (1990): Entwicklungsgemeinschaft Holzbau in der deutschen Gesellschaft für Holzforschung; Heimisches Holz im Wasserbau; Informationsdienst Holz der Arbeitsgemeinschaft Holz e. V.



- FULLER, S. C.; HU, Y.; LUTZ, R. A.; CASTAGNA, M. (1989): Shell and Palle Morphology in Early Developmental Stages of *Teredo navalis* Linné (Bivalvia: Teredinidae); *The Nautilus* 103; S. 24–35.
- MURPHY, M. C. E. (1882): The *Teredo Navalis* and *Limnoria lignorum* in Nova Scotia; Halifax, N. S.; S. 355–379.
- CULVER, J. P. (1877): Patent for protecting wood from sea worms and *limnoria* also an illustrated treatise on the apperance and habit of the *teredo* and wood boring shrimps; San Francisco.
- BUGENHAGEN, M. (2010): Küstenschutz Mecklenburg-Vorpommern, Dauerhaftigkeit von Bühnen; Präsentation im Rahmen des Symposiums “Holz im Meerwasserverbau”, Universität Rostock.
- SEIFERT, K. (1964): Über den Abbau der Holzsubstanz durch die Bohrrassel *Limnoria*; Holz als Roh und Werkstoff, 22. Jahrgang, Heft 6, S. 209–215.
- VON BAUMHAUER; E. H. (1878): The *Teredo* and its Depredations; *The popular science monthly*; Volume 13; S. 400–410.



Dauerhaftigkeit von modifiziertem Holz im Meerwasser

André Klüppel¹, Simon Cragg², Gerd Liebezeit³, Johann Müller, Holger Militz⁴, Carsten Mai⁴

¹ Georg-August-Universität Göttingen, Abteilung Holztechnologie und Holzwerkstoffe

² University of Portsmouth (UK), Institute of Marine Sciences

³ Universität Oldenburg, Institut für Chemie und Biologie des Meeres

⁴ Georg-August-Universität Göttingen, Abteilung Holzbiologie und Holzprodukte

Zusammenfassung

In einem Feldtest (DIN EN 275, 1992) und einem Labortest wurde die Resistenz verschiedener Materialien gegen die Meerwasserschädlinge *Teredo navalis* und *Limnoria quadripunctata* bestimmt. Der Feldtest wurde an jeweils einem Standort in der Nord- und Ostsee über einen Zeitraum von drei bzw. vier Jahren durchgeführt. An beiden Prüffeldern wurde *Teredo navalis* als einziger Holzzerstörer identifiziert. Bei dem Labortest handelte es um einen Fütterungsversuch, bei dem die Kotwalzenproduktionsrate der Asseln als Maß für die Resistenz des entsprechenden Materials diente. Kiefer (*Pinus sylvestris*) Splintholz wurde mit verschiedenen Kondensationsharzen (Phenol-Formaldehyd, PF; methyliertes Melamin-Formaldehyd, MMF; Dimethylol-di-hydroxy-ethylen-harnstoff, DMDHEU), Tetraethoxysilan (TEOS) oder einem kupferorganischen Holzschutzmittel behandelt. Zusätzlich wurden acetylierte Radiata Kiefer (*Pinus radiata*) und WPC (Holz Kunststoffkomposite) mit einem Holzanteil von 50 % und 60 % getestet. In beiden Versuchen zeigten die meisten Materialien eine hohe Resistenz. Nur mit TEOS und 10%-igem MMF behandelte Proben wurden bereits nach kurzer Prüfdauer befallen. Von den so behandelten Hölzern wurden auch die meisten Kotwalzen produziert. Ein effektiver Schutz gegen Meerwasserschädlinge durch Holzmodifizierung scheint nur bei ausreichend hohen Beladungsgraden und Zellwandeindringung gewährleistet zu sein. Die mit dem kupferorganischen Holzschutzmittel behandelten Proben wurden im Feldtest ebenfalls stark befallen. Dies ist wahrscheinlich auf die Auswaschung des Mittels zurückzuführen. Der Labortest eignet sich nicht zur Prüfung von Materialien, die auswaschbare Substanzen enthalten, da deren Anreicherung im Wasser das Ergebnis beeinflusst.

1 Einleitung

Für Holzkonstruktionen in ständigem Kontakt mit Meerwasser (GK 5, EN 335) kann derzeit eine angemessene Lebensdauer nur durch den Einsatz biozider Holzschutzmittel oder tropischer Holzarten mit hoher natürlicher Dauerhaftigkeit sichergestellt werden. Der Einsatz von Holzschutzmitteln wird in der Öffentlichkeit zunehmend kritisch diskutiert und vom Gesetzgeber eingeschränkt. Die Verwendung von Tropenholz trägt möglicherweise zum Raubbau an den Tropenwäldern bei und ist daher ebenso umstritten.

Eine Alternative zum herkömmlichen Holzschutz und Tropenholz bietet die Holzmodifizierung. Dieser allgemeine Begriff umfasst verschiedene chemische, physikalische und biologische Verfahren zur Veränderung der Holzeigenschaften. Das Ziel dieser Verfahren ist die Verbesserung



der Dimensionsstabilität, Dauerhaftigkeit, Witterungsbeständigkeit usw. Grundlegendes Merkmal der Holzmodifizierung ist, dass das Holz beim Gebrauch ungiftig ist und am Ende der Lebensdauer bei der Entsorgung keine giftigen Rückstände entstehen. Die derzeit kommerziell eingesetzten Prozesse können eingeteilt werden in thermische Modifizierung, Methoden, bei welchen die Modifizierungschemikalie mit der Holzsubstanz chemisch reagiert (chemische Modifizierung) und Verfahren, bei welchen die (inerte) Modifizierungschemikalie in den Poren des Holzes abgelagert wird (Imprägnierungsmodifizierung). Die in dieser Studie untersuchten Verfahren gehören, mit Ausnahme der Acetylierung, zur letztgenannten Gruppe. Zusätzlich wurden WPC (Wood plastic composites; Holz-Kunststoff-Komposite) und ein chromfreies, kupferorganisches Holzschutzmittel in den Test einbezogen.

Im gemäßigten Klima gibt es zwei Gruppen ökonomisch bedeutender Holzzerstörer im Meerwasser: Schiffbohrmuscheln (Terediniden; *Teredinidae*) und Holzbohrasseln der Gattung *Limnoria*. Die Fortpflanzungsstrategien beider Gruppen unterscheiden sich grundsätzlich. Als typische K-Strategen zeichnen sich die Holzbohrasseln durch eine geringere Vermehrungsrate, lange Geburtenabstände und ausgeprägte Brutpflege aus. Dadurch sind sie auf die dauerhafte Besiedlung eines Habitats spezialisiert. Bei der Erschließung neuer Standorte sind sie weniger erfolgreich (Cragg 2003). Im Unterschied zu den Holzbohrasseln produzieren die meisten Terediniden Hunderttausende planktischer Larven (r-Strategen), die ohne vorherige Brutpflege ausschwärmen und in ihrer planktischen Phase durch die Meeresströmung auf weite Gebiete verteilt werden. Dies ermöglicht die rasche Besiedlung neuer Lebensräume.

Der in DIN EN 275 (1992) beschriebene Feldtest ist derzeit das einzige genormte Verfahren zur Bestimmung der Wirksamkeit von Holzschutzmitteln gegenüber marinen Schädlingen. Da das Verfahren mehrere Jahre dauert und eine jährliche Auswertung der Proben durch Röntgen erfordert, ist es relativ teuer und zeitaufwendig. Außerdem kann naturgemäß nur die Schutzwirkung der Behandlungen gegenüber Organismen beurteilt werden, die an dem entsprechenden Standort aktiv sind. Aufgrund der oben beschriebenen Fortpflanzungsstrategien sind Terediniden-Larven in ausgedehnten Gebieten quasi ubiquitär. In diesen Gebieten ist ein gewisser Befallsdruck auf Probekörper garantiert. Dass ausreichend Holzbohrasseln einen Probenaushang finden, kann an den meisten Standorten hingegen nur schwer sichergestellt werden. Andererseits erleichtert die Fortpflanzungsstrategie der Asseln deren Verwendung für Laborversuche. In der vorliegenden Untersuchung wurde daher die Resistenz der o. g. Materialien gegen Schiffsbohrmuscheln im Feldtest und gegen Holzbohrasseln in einem Labortest bestimmt.

2 Material und Methoden

2.1 Behandlung des Holzes

Alle hier untersuchten Materialien sind in Tabelle 3 aufgeführt. Bei Accoya® (Titanwood Ltd., Niederlande) und Belmadur® (BASF AG) handelt es sich um acetylierte Radiata-Kiefer (*Pinus radiata*) bzw. mit DMDHEU (Di-methylol-dihydroxy-ethylen-harnstoff) behandelte Kiefer (*Pinus sylvestris*; Splintholz). Dieses Holz wurde von den entsprechenden Herstellern zur Verfügung gestellt. Die Werzalit GmbH & Co. KG lieferte zwei WPC-Varianten (Holz-Kunststoff-Komposite) mit einem Polypropylen-Anteil (PP) von 40 % bzw. 50 %. Alle weiteren Behandlungen wurden im Technikumsmaßstab an Kiefern-Splintholz durchgeführt. Die Modifizierung mit Kondensationsharzen umfasst grundsätzlich zwei Schritte: Zuerst wird das Holz mit einer wässrigen Lösung des Harzes imprägniert und anschließend wird durch Wärme das Harz ausgehärtet und das Holz getrocknet. Mit 10%-igem MMF (methylverethertes Melamin-Formaldehyd) behandeltes Holz wurde in einem Pilotprozess in einer Trockenkammer ausgehärtet



und getrocknet. Für 25%-iges MMF und PF (Phenol-Formaldehyd) fand dieser Schritt im Trockenofen statt. Die PF-imprägnierten Proben wurden zuerst unter nicht-trocknenden Bedingungen im Ofen gelagert, um das Harz auszufällen und dessen Migration an die Holzoberfläche bei der anschließenden Trocknung zu verhindern. TEOS (Tetraethoxysilan) wurde wie von Donath et al. (2004) beschrieben im vorhydrolysierten Zustand in das Holz eingebracht und danach durch Trocknen zu Silikat vernetzt. Als Referenz-Holzschutzmittel diente abweichend von der DIN EN 275 eine Formulierung aus Kupfer(II)-oxid und Chrom(VI)-oxid. Die Cu- bzw. Cr-Gehalte wurden durch Zugabe von Wasser entsprechend eingestellt (Tabelle 1). Zusätzlich wurde ein chromfreies kupferorganisches Holzschutzmittel getestet, dessen Cu-Gehalt mit dem des höher konzentrierten Referenzmittels vergleichbar war. Die angegebenen Konzentrationen (1,2 %; 5,0 %) beziehen sich auf die in Tabelle 1 angegebene Formulierung. Die mit den Holzschutzmitteln imprägnierten Proben wurden bei Raumklima acht Wochen getrocknet.

Tabelle 1: Als Referenz-Holzschutzmittel verwendete Formulierung

Referenzholzschutzmittel		Anteile der Elemente	verwendete Formulierung	
Bestandteil	Anteil [% (m/m)]		Bestandteil	Anteil [% (m/m)]
CuSO ₄ *5H ₂ O	50.0	=> 12.7 % Cu =>	CuO	15.9
K ₂ Cr ₂ O ₇	48.0	=> 18.0 % Cr =>	CrO ₃	34.6
CrO ₃	2.0		H ₂ O	49.4

2.2 Feldtest

2.2.1 Bestimmung der Resistenz gegen *Teredo navalis*

Als Versuchsfelder dienten zwei Sportboothäfen, von welchen einer in der Nordsee (Wilhelmshaven; 53° 31' N, 8° 09' O) und einer in der Ostsee (Hejlsminde, Dänemark; 55° 21' N, 9° 36' O) liegt. Das Wasser am Standort Wilhelmshaven hat eine Salinität von 28 ... 33 PSU¹ und in Hejlsminde von 15 ... 25 PSU. An beiden Standorten schwankt die Wassertemperatur (an der Oberfläche) zwischen 0 ... 5 °C im Januar und 20 ... 25 °C im August, wobei die für das Ausschwärmen der Teredolarven notwendige Temperatur von ca. 14 °C in vier bis fünf Monaten pro Jahr überschritten wird (Nair und Saaraswathy 1971; NERI 2009).

Die ungehobelten Probehölzer (200 x 75 x 25 mm³; l x t x r) wurden durch ein Loch in der Mitte auf die Sprossen eines leiterartiges Gestells aus Baustahl aufgefädelt. Als Abstandhalter dienten 25 mm lange Abschnitte aus Kunststoffrohr. Die Prüfeinrichtungen wurden von einem Steg so in das Wasser gehängt, dass sie sich 2 ... 4 m unterhalb des mittleren Hochwassers befanden.

Nach der Ausbringung der Proben im Mai 2008 wurden die Proben nach jeder Saison während der kalten Jahreszeit (Oktober bis April) kontrolliert. Dazu wurde der Oberflächenbewuchs vorsichtig mit einem Spachtel entfernt. Die Proben wurden dann geröntgt und wieder exponiert. Zusätzlich wurden jedes Jahr neue, unbehandelte Kontrollen eingesetzt. Zerstörte Kontrollen wurden entnommen und zur Bestimmung der Schädlinge benutzt. Der Befall durch Bohrmuscheln wird anhand der prozentualen Fläche der Bohrgänge auf dem Röntgenbild entsprechend Tabelle 2 bewertet. Der Mittelwert aller Proben einer Behandlung ergibt deren durchschnittliche Bewertungsziffer. Bisher wurde an keinem der Standorte holzerstörende Crustaceen gefunden, so dass sich die Bewertung auf den Befall durch Bohrmuscheln beschränkt. Der Test in Wilhelmshaven wurde nach drei Jahren (2010) abgebrochen. In Hejlsminde wird der Versuch fortgeführt, so dass hier bislang Ergebnisse aus insgesamt vier Jahren vorliegen.

¹ PSU steht für „practical salinity unit“. Die Einheit für Salinität basiert auf der elektrischen Leitfähigkeit des Wassers und entspricht ungefähr der Salinität in Promille [‰].



Tabelle 2: Bewertungssystem für den Angriff durch Terediniden und andere Muscheln gemäß DIN EN 275

Bewertungsziffer	Einstufung	Zustand und Erscheinungsbild der Probehölzer
0	kein Angriff	Keine Anzeichen eines Angriffs
1	leichter Angriff	Einzelne oder wenige zerstreute Bohrgänge, die nicht mehr als 15 % des Probekholzes im Röntgenbild bedecken
2	mäßiger Angriff	Die Bohrgänge bedecken nicht mehr als ungefähr 25 % des Probekholzes im Röntgenbild
3	starker Angriff	Die Bohrgänge bedecken zwischen 25 % und 50 % des Probekholzes im Röntgenbild
4	zerstört	Die Bohrgänge bedecken mehr als 50 % des Probekholzes im Röntgenbild

2.2.2 Bestimmung der Behandlungsstabilität

Der Chemikaliengehalt der Probehölzer wurde vor Ausbringung und nach jeweils ein, zwei und drei Jahren im Rahmen der Probenkontrolle bestimmt. Aus organisatorischen Gründen handelt es sich um drei verschiedene Gruppen von Proben, die allerdings gemeinsam in einer Charge behandelt wurden: Chemikaliengehalte wurden an nicht exponierten Proben, Proben eines hier nicht behandelten Standortes (1 Jahr) und an den in Heijlsminde exponierten Proben (2 Jahre und 3 Jahre) bestimmt. Um zu berücksichtigen, dass die Proben aus den unterschiedlichen Gruppen vor der Wasserlagerung unterschiedliche Chemikaliengehalte aufwiesen, wurde bei den Behandlungen, bei welchen die Proben einzeln imprägniert wurden, der Chemikaliengehalt jeder Probe zuerst auf die entsprechende Lösungsaufnahme bezogen (25%-iges MMF, PF, TEOS, Holzschutzmittel). Beim Zuschnitt von Proben aus behandelten Brettern wurden jeweils longitudinal zugeordnete Kappstücke aufbewahrt (10%-iges MMF, DMDHEU). Der Chemikaliengehalt der Proben wurde hier auf den der Kappstücke bezogen. Eine Ausnahme bildet hier das acetylierte Holz, dessen Acetylgehalt insgesamt wenig variierte und bei dem die Gruppen direkt verglichen wurden. Um die Behandlungen vergleichbar zu machen, wurden die verschiedenen Quotienten bzw. Maßeinheiten der exponierten Proben auf den entsprechenden Median der nicht exponierten Gruppe indiziert.

Zur Probennahme wurde jedes Brettchen mit einem Holzbohrer (Durchmesser: 10 mm) an einer Ecke durchbohrt und das Bohrmehl aufgefangen. Die N-Methylol-Verbindungen DMDHEU und MMF wurden auf Basis ihres hohen Stickstoffgehaltes im Holz mit Hilfe des Elementaranalysators EA 1108 (Carlo Erba Instruments) quantifiziert. Zur Bestimmung des Acetylgehalts der Accoya-Proben wurden die Acetylgruppen zunächst mit Natronlauge verseift, die entstehende Essigsäure dann per HPLC (Hochleistungsflüssigchromatographie, Breeze System, Waters Corporation, Milford, USA mit Aminex HPX-87H Säule, Bio-Rad Laboratories Inc., Hercules, USA) bestimmt und auf die Trockenmasse des eingesetzten Holzes bezogen. Das Bohrmehl der mit Holzschutzmitteln behandelten Hölzer wurde verascht. Die Asche wurde dann mittels Säureaufschluss gelöst und die Kupferkonzentration per optischer Emissionsspektrometrie (ICP-OES, Ciro CCD, SPECTRO Analytical Instruments GmbH, Kleve) bestimmt. TEOS (Tetraethoxysilan) reagiert im Holz zu dreidimensionalen Silikat-Strukturen. Der Silikatgehalt des Holzes wird daher über die säureunlösliche Asche nach DIN 54373 (1989) bestimmt.



2.3 Labortest

2.3.1 Fütterungsversuch

Aus jeweils einem behandelten EN-275-Probekörper wurden Proben von 20,0 (Faserrichtung) x 2,5 x 4,0 mm³ gesägt. Vor dem Test wurden die Stäbchen mit Meerwasser vakuumimprägniert und für 14 Tage im Wasser gelagert. Asseln (*L. quadripunctata*) wurden aus einem befallenen Stück Kiefernholz entnommen und zunächst in einem Becherglas bei 20°C zwei Tage akklimatisiert. In dieser Zeit starben auch die bei der Entnahme verletzte Tiere, so dass der Test unbeeinflusst von den Folgen dieser Prozedur durchgeführt werden konnte. Der Test wurde in 12-Well-Zellkulturschalen durchgeführt. In jede Kavität wurden ein Holzstäbchen mit einem Tier und 4 ml Meerwasser gegeben. Für jedes Material wurde eine Mehrfachkulturschale bestückt, d. h. es wurden 12 Parallelen getestet.

Zweimal pro Woche, d. h. nach einem Zeitraum von drei oder vier Tagen, wurden Tiere und Stäbchen in einen zweiten Satz Kulturschalen mit frischem Meerwasser überführt. In der Mitte des 4-Tage-Zeitraumes wurde die Hälfte des Wassers in jeder Kavität ausgetauscht, um die Akkumulation ausgewaschener Substanzen zu verringern. Insgesamt dauerte der Test 3 Wochen, damit die Ergebnisse ggf. auf zeitliche Tendenzen überprüft werden konnten. Nach jedem Wechsel der Kulturschalen wurden die im zurückliegenden Zeitraum produzierten Kotwalzen gezählt. Ebenso wurde erfasst, welche Tiere sich während der Phase gehäutet hatten oder gestorben waren. Die Anzahl der Kotwalzen wurde in beiden Fällen nicht berücksichtigt. Tote Tiere wurden durch lebende ersetzt.

Für die rechnergestützte Zählung der Kotwalzen wurde zunächst jede Kavität bei geringer Vergrößerung unter einem Mikroskop fotografiert, um die Bilder dann mit Hilfe des Bildverarbeitungsprogramms ImageJ (Abramoff, Magelhaes et al. 2004) auszuwerten.

2.3.2 Auswahltest

Mit 1,2%-igem Referenzholzschutzmittel behandelte und unbehandelte Kontrollproben wurden für den Auswahltest auf 1 cm Länge halbiert. Der Test wurde in fünf identisch beladenen Zellkulturschalen durchgeführt: In jeweils vier Kavitäten jeder Schale wurden behandelte Proben, unbehandelte Kontrollen und eine Probe und eine Kontrolle getestet. Nach drei und sieben Tagen wurden die Kotwalzen, wie oben beschrieben, gezählt. Außerdem wurden nach drei Tagen die Cu- und Cr-Konzentrationen im Wasser durch ICP-OES bestimmt.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Feldtest

3.1.1 Bestimmung der Behandlungsstabilität

Keine der getesteten Modifizierungschemikalien wurde eindeutig ausgewaschen (Abb. 1). Zwar liegen einige Werte bei nur 80 ... 90 % der Chemikalienkonzentration der nicht exponierten Proben. Aufgrund der oben beschriebenen Ungenauigkeiten kann dies jedoch nicht sicher auf Auswaschung zurückgeführt werden. Der Kupfergehalt der niedrig-konzentrierten Referenzproben und besonders der mit dem kupferorganischen Holzschutzmittel imprägnierten Proben ist während der Exposition deutlich gesunken. Es ist zu beachten, dass bei geringerer Ausgangskonzentration die Auswaschung der gleichen (absoluten) Menge an Kupfer zu einer stärkeren prozentualen Reduzierung des Kupfergehaltes führt.

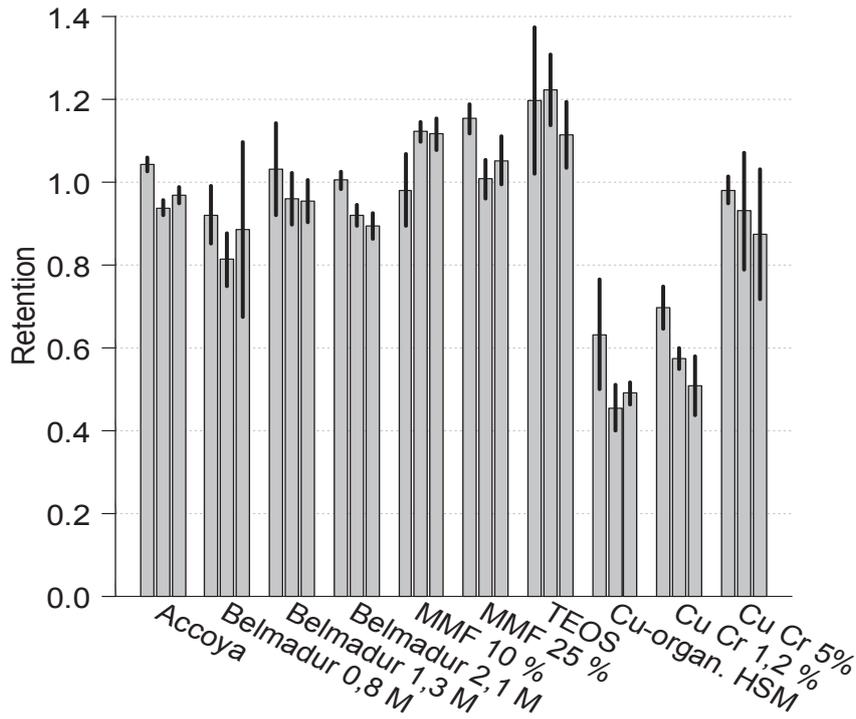


Abb. 1: Verbliebener Gehalt an Modifizierungsschemikalie bzw. Holzschutzmittel der im Feldtest exponierten Proben nach ein, zwei und drei Jahren Laufzeit. Die Werte sind indiziert auf den Gehalt nicht exponierter Proben (Median \pm 95 %-Konfidenzintervall).

Dies bedeutet bei ungefähr gleicher relativer Auswaschung, dass von dem kupferorganischen Mittel einerseits eine deutlich größere Menge ausgewaschen wurde. Andererseits war die Cu-Konzentration in diesen Probehölzern nach drei Jahren immer noch höher als in den niedrig konzentrierten Referenzproben. Überraschenderweise war die prozentuale Auswaschung aus den höher konzentrierten Referenzproben viel geringer als bei niedriger Konzentration. Dies kann nur z. T. auf die Indizierung zurückgeführt werden, da auch in absoluten Zahlen weniger Kupfer ausgewaschen wurde.

3.1.2 Bestimmung der Resistenz gegen *Teredo navalis*

An beiden Standorten wurden die Proben ausschließlich durch den Schiffsbohrwurm *Teredo navalis* befallen. Krebstiere (*Crustaceae*) und andere Holz abbauende Muscheln wurden nicht gefunden. Der Befall durch die Schiffsbohrwürmer war dabei so stark, dass unbehandelte Kontrollen jeweils innerhalb von höchstens zwei Jahren zerstört wurden (Tabelle 3). Wie zu erwarten, wurden die Proben in der Nordsee insgesamt stärker angegriffen. Eine Ausnahme bildet die Saison 2009, in der allgemein relativ wenige Muschellarven vorhanden waren. Mit dem Referenzholzschutzmittel behandelte Proben zeigen bei hoher Konzentration fast keinen Angriff, während bei geringer Konzentration die Hölzer bereits deutlich befallen sind und voraussichtlich nach einer Testdauer von fünf oder sechs Jahren ausfallen werden. Das chromfreie Holzschutzmittel wurde stärker angegriffen als das niedrig konzentrierte Referenzmittel. Von den anderen Materialien sind die meisten sehr resistent. Allein die mit TEOS und 10%-igem MMF modifizierten Proben sind bereits stark befallen. Außerdem fällt auf, dass die mit 25%-igem PF behandelten Proben am Standort Wilhelmshaven schon im ersten Jahr angegriffen wurden. Bei Betrachtung der Röntgenbilder fällt auf, dass die bisher angegriffenen Hölzer je nach Behandlung unterschiedliche Befallsmuster aufweisen (Abb. 2).



Tabelle 3: Durchschnittliche Bewertungsziffern der im Feldtest geprüften Materialien. Die Jahreszahlen entsprechen dem Jahr der Ausbringung (in Klammern; im Frühjahr) bzw. dem Jahr der Kontrolle (Spaltenüberschriften; im Herbst); die Ergebnisse nach dem ersten Jahr sind nicht aufgeführt.

Behandlung	Konzentration	Heijlsminde			Wilhelmshaven	
		2009	2010	2011	2009	2010
Accoya		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DMDHEU 0.8 M	0.8 M	0.0	0.0	0.0		
DMDHEU 1.3 M	1.3 M	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
DMDHEU 2.1 M	2.1 M	0.0	0.0	0.0		
MMF 10 %	10 %	1.9	2.9	3.6	2.5	3.3
MMF 25 %	25 %	0.0	0.0	0.1		
PF (2010)	25 %		0.0	0.0		0.4
TEOS	ca. 25 %	1.5	2.2	2.3		
WPC 50	50 % (PP)	0.0	0.0	0.0		
WPC 60	40 % (PP)	0.0	0.0	0.0		
Cu-organisches HSM		0.0	1.1	3.4	0.1	1.9
CC 1.2 %		0.0	0.1	1.9	0.8	1.9
CC 5.0 %		0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
P. sylvestris (2008)		4.0	---	---	4.0	---
P. sylvestris (2009)		3.2	4.0	---	2.5	4.0
P. sylvestris (2010)			3.9	4.0		4.0
P. sylvestris (2011)				4.0		

In den mit TEOS behandelten Proben befanden sich sehr viele Larven, die allerdings relativ klein blieben. Mit 10%-igem MMF modifizierte Proben wurden von nur wenigen Schiffsbohrwürmern befallen. Diese wuchsen allerdings ebenso schnell wie in den unbehandelten Kontrollen. Die mit dem kupferorganischen Holzschutzmittel imprägnierten Proben wurden bevorzugt in der Mitte befallen.

Nach einer Laufzeit von drei bzw. vier Jahren ist bereits erkennbar, dass die meisten hier geprüften Modifizierungen die Resistenz gegen *Teredo navalis* deutlich erhöhen. Die unterschiedlichen Befallsmuster deuten darauf hin, dass die Behandlungen mit TEOS, 10%-igem MMF und dem kupferorganischen Holzschutzmittel aus verschiedenen Gründen weniger wirksam waren.

Wenn TEOS vorhydrolysiert (als Sol) in das Holz eingebracht wird, sind die Solpartikel bereits so groß, dass sie nicht in die Zellwand eindringen. Über einen Sol-Gel-Prozess bildet sich ein Silikat in den Zelllumen. Das Befallsmuster deutet darauf hin, dass diese Silikatablagerungen zwar das Wachstum der Bohrwürmer im Holz verlangsamen, die Besiedlung des Holzes durch die Larven wird durch das Silikat aber offensichtlich nicht beeinflusst.

Alle hier verwendeten Kondensationsharze (DMDHEU, MMF, PF) waren bei der Imprägnierung ausreichend gering vorkondensiert, so dass die Moleküle grundsätzlich in die Zellwand eindringen konnten. Wie viel Harz in die Zellwand eingelagert wird, hängt dann vom Feststoffanteil in der Imprägnierlösung, der Lösungsstabilität und den Aushärtungsbedingungen ab. Nach der Imprägnierung sind sowohl die Zellwandporen als auch die Lumen des Holzes mit der Imprägnierlösung gefüllt. Wenn bei der Trocknung Wasser zuerst aus den Lumen entweicht, erhöht sich die Harzkonzentration und zusätzliche Harzmoleküle diffundieren durch den entstehenden Konzentrationsgradienten in die Zellwand. Auf makroskopischer Ebene entsteht bei der Trocknung ein Feuchtegefälle vom Probeninneren zur Oberfläche, entlang dessen Imprägnierlösung strömt. Hieraus resultiert eine Ungleichverteilung des Harzes im Holz, die zu



Spannungen und Rissen führen kann. Dies kann verhindert werden, wenn das Harz zunächst unter nicht-trocknenden Bedingungen durch Wärme ausgehärtet/ausgefällt und damit immobilisiert wird. Durch ein sog. Naßcuring erreicht man eine gleichmäßige Verteilung des Harzes in der Probe. Allerdings kann das Harz dann bei der anschließenden Trocknung nicht mehr in die Zellwand nachdiffundieren. Es ist unmittelbar einleuchtend, dass die Harzverteilung im Holz im Zeitraum zwischen der Imprägnierung und der Ausfällung des Harzes aus der Lösung festgelegt wird. Je milder (d. h. feucht, kalt) die Prozessbedingungen in diesem Zeitraum sind, desto gleichmäßiger ist einerseits die makroskopische Verteilung des Harzes in der Probe und umso geringer ist andererseits der in der Zellwand abgelagerte Anteil. Die in der vorliegenden Untersuchung angewendeten Prozesse können entsprechend von „mild“ zu „streng“ folgendermaßen eingeordnet werden: PF – MMF (10 %) – DMDHEU – MMF (25 %).

Die hier untersuchten Harzmodifizierungen unterschieden sich nicht nur durch den Harztyp, sondern auch hinsichtlich des Beladungsgrades (WPG) und der Prozessparameter. Die Behandlung mit 10%-igem MMF führte zu der geringsten Harzkonzentration. Zusätzlich verhinderten die relativ milden Prozessbedingungen eine Akkumulation des Harzes an der Probenoberfläche und eine möglichst weitgehende Eindringung in die Zellwand. Erwartungsgemäß zeigten so behandelten Proben die geringste Resistenz gegen Teredo. Um die Ansiedlung von Larven im Holz zu verhindern, scheint die Ablagerung der Modifizierungskemikalie in der Zellwand notwendig zu sein. Ist diese Bedingung erfüllt, lässt sich die Ansiedlung von Larven offenbar bereits mit geringeren Beladungsgraden reduzieren, als die Wachstumsgeschwindigkeit der Bohrwürmer nach der Metamorphose. Überraschenderweise wurden mit PF behandelte Proben am Standort Wilhelmshaven trotz der relativ hohen Lösungskonzentration schon im ersten Jahr befallen. Möglicherweise wirken sich hier die Prozessbedingungen besonders deutlich aus. Allerdings wurde das Ergebnis am Standort Hejlsminde bisher noch nicht bestätigt.

Die mit dem kupferorganischen Holzschutzmittel behandelten Hölzer wurden stärker angegriffen als die niedrig konzentrierten Referenzproben, obwohl ihr Cu-Gehalt deutlich höher war. Dies kann einerseits bedeuten, dass auch das Chrom gegen Holzbohrmuscheln wirkt. Es fällt allerdings auf, dass mit dem kupferorganischen Holzschutzmittel behandelte Proben bevorzugt in der Probenmitte befallen wurden (Der Cu-Gehalt wurde in einer Ecke bestimmt). Daher ist zu vermuten, dass das chromfreie Mittel bei der Trocknung stärker zu den Rändern migrierte als die chromhaltigen Formulierungen. In Verbindung mit der hohen Auswaschung könnte dies zu sehr geringen Cu-Gehalten in der Probenmitte geführt haben.

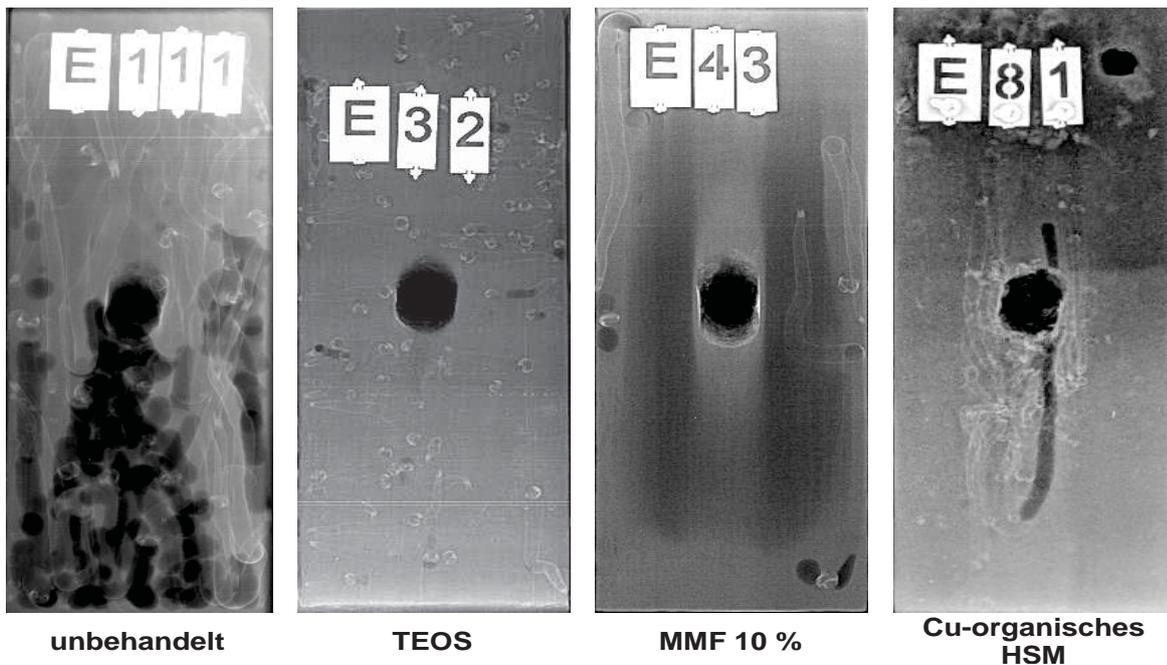


Abb. 2: Röntgenbilder mit unterschiedlichen Befallsmustern

3.2 Labortest

3.2.1 Fütterungsversuch

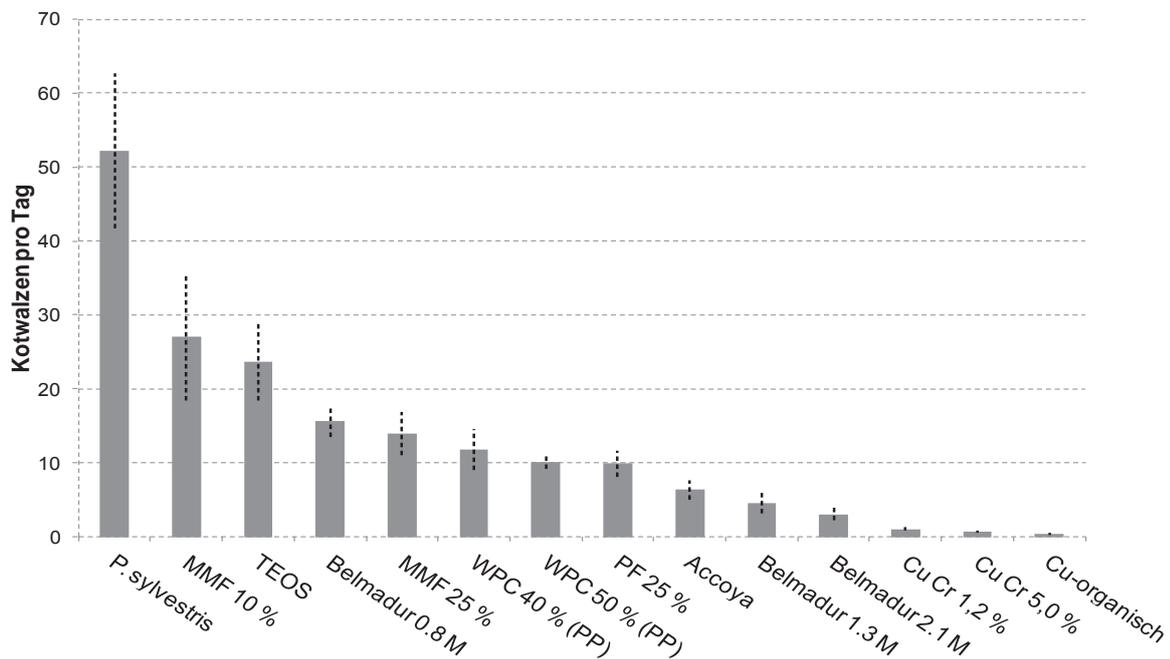


Abb. 3: Kotwalzenproduktionsrate im Fütterungstest (Median 95 %-Konfidenzintervall)

Die Kotwalzenproduktionsrate hing eindeutig von dem Material ab, mit dem die Holzbohrasseln gefüttert wurden (Abb. 3). Während der Testdauer von drei Wochen war keine zeitliche Tendenz zu erkennen. Es wurde daher für jedes Probestäbchen die durchschnittliche Kotwalzenzahl pro Tag berechnet. Die Mediane der zwölf Wiederholungen jeder Behandlung sind in Abb. 3 dargestellt. Tiere, die mit den unbehandelten Kontrollen gefüttert wurden, produzierten die meisten Kotwalzen. Die Ergebnisse für die Modifizierungen ähneln denen des Feldtests: 10%-iges MMF

und TEOS verringerten die Kotwalzenproduktionsrate am wenigsten. Die wenigsten Kotwalzen wurden auf Accoya und – bei hoher Konzentration – Belmadur produziert. 25%-iges MMF und PF lagen mit den WPC-Proben im mittleren Bereich. Dabei ist bemerkenswert, dass die aus WPC produzierten Kotwalzen nicht nur Holz sondern auch Polypropylen (PP) – Teilchen enthielten. Die Asseln sind also grundsätzlich fähig, Bohrgänge in der PP-Matrix anzulegen. Kupferhaltige Holzschutzmittel verhinderten die Kotwalzenproduktion fast vollständig.

3.2.2 Auswahltest

Wie zu erwarten entsprachen die Kotwalzenproduktionsraten auf unbehandelten Referenzen und kupferhaltigen Proben jeweils ungefähr denen im Fütterungsversuch (Abb. 4). In den Kavitäten mit sowohl einer unbehandelten als auch einer behandelten Probe produzierten die Asseln ebenso wenig Kotwalzen wie bei den mit Holzschutzmittel behandelten Proben. Im Wasser der Kavitäten, in welchen sich behandelte Proben befanden, war die Cu-Konzentration deutlich erhöht. Dieses Ergebnis lässt vermuten, dass aus den Proben ausgewaschenes Kupfer toxisch auf die Tiere wirkte und so die Kotwalzenproduktion beeinflusste. Da bei der tatsächlichen Anwendung von behandeltem Holz im Meerwasser ausgewaschenes Kupfer schnell verdünnt und abtransportiert würde, sollten aus diesem Testergebnis keine Rückschlüsse auf Dauerhaftigkeit der entsprechenden Proben in realen Situationen gezogen werden.

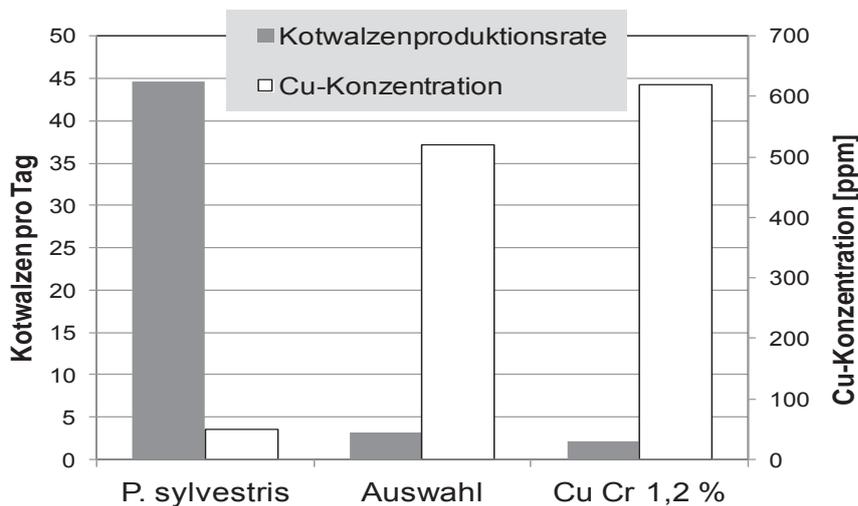


Abb. 4: Kotwalzenproduktionsrate und Cu-Konzentration im Wasser beim Auswahltest

4 Schlussfolgerungen

Holzmodifizierung mit Kondensationsharzen und durch Acetylierung erhöht die Resistenz sowohl gegen die Schiffsbohrmuschel *Teredo navalis* als auch gegen die Holzbohrassel *Limnoria quadripunctata*. Voraussetzung für einen effektiven Schutz ist wahrscheinlich die Ablagerung einer ausreichenden Menge der Modifizierungschemikalie in der Zellwand. Deshalb wird bei der Modifizierung mit Kondensationsharzen die Dauerhaftigkeit des Holzes nicht nur durch die Art und Konzentration des Harzes sondern auch durch die Prozessparameter bestimmt.

Die beiden hier durchgeführten Tests ergaben für die meisten Materialien vergleichbare Ergebnisse. Dies deutet darauf hin, dass ähnliche Materialeigenschaften für die Resistenz gegen Asseln und Muscheln verantwortlich sind.



Wegen der Verwendung relativ großer Proben hat die Chemikalienverteilung innerhalb der Hölzer einen besonders großen Einfluss auf die Ergebnisse des Feldtests. Der hier beschriebene Labortest ist hingegen nicht geeignet für Materialien, die auswaschbare Substanzen enthalten. Hierzu ist ein abweichender Aufbau zu wählen (Borges et al. 2008).

Literatur

- ABRAMOFF, M. D.; MAGELHAES, P. J.; RAM, S. J. (2004): Image Processing with ImageJ. *Biophotonics International* 11(7): 36-42.
- BORGES, L. M. S.; CRAGG, S. M.; BERGOT, J.; WILLIAMS, J. R.; SHAYLER, B.; SAWYER, G. S. (2008): Laboratory screening of tropical hardwoods for natural resistance to the marine borer *Limnoria quadripunctata*: The role of leachable and non-leachable factors. *Holzforschung* 62(1): 99-111.
- CRAGG, S. M. (2003): Marine wood boring arthropods: Ecology, functional anatomy, and control measures. *Wood deterioration and preservation: Advances in our changing world*. B. Goodell, D. D. Nicholas and T. P. Schultz, American Chemical Society: 272-286.
- DONATH, S.; MILITZ, H.; MAI, C. (2004): Wood modification with alkoxy-silanes. *Wood Science Technology* 38: 555-566.
- NAIR, N. B.; SAARASWATHY, M. (1971): The biology of wood boring teredid molluscs. *Advances in marine biology* 9: 335-509.
- NERI (2009) MADS Online database, National Environmental Research Institute.
- DIN EN 275 (1992): Holzschutzmittel - Bestimmung der Schutzwirkung gegenüber marinen Organismen.
- DIN 54373 (1989): Prüfung von Zellstoff, Papier und Pappe - Bestimmung des säureunlöslichen Anteils im Glührückstand.

Holzschutz bei Holzachterbahnen

Ulf Cordes

Ing.-Holzbau Cordes GmbH & Co. KG

1 Zur Geschichte der Holzachterbahnen



Die Ursprünge der modernen Achterbahn sind zurückzuführen auf das Russland des 15. und 16. Jahrhunderts. Vor allem um die Städte St. Petersburg und Moskau wurden in der zumeist flachen Landschaft künstliche, über 21 m hohe Berge aus Holzgebälk errichtet, von denen man im Winter auf vereisten Bahnen hinunter rutschen konnte. Um auch einen sommerlichen Betrieb zu ermöglichen, wurden im Jahre 1784 an mittlerweile gebräuchlichen Schlitten Steinräder angebracht, die in einer Rille zu Tal liefen. Die Beliebtheit dieser Rutschbahnen führte zu einer Verbreitung in ganz Europa. 1884 entstand am Strand von Coney Island in Brooklyn, New York, die erste hölzerne Rutschbahn Amerikas, bei der schon zehnsitzige Wagen auf einen 183 m langen Weg geschickt wurden.

Ebenfalls in Amerika wurden Ende des 19. Jh. erste Anlagen entwickelt („Roller Toboggans“), die aufgrund ihrer achtförmigen Streckenführung den Namen Achterbahn verdient hatten und für Schausteller in Serie produziert wurden. In dieser Zeit vollzog sich eine rasante Entwicklung der beliebten Bahnen. Rechenprogramme oder mathematische Herangehensweisen zur Ermittlung von dynamischen Kräften steckten allerdings in den Kinderschuhen, sodass immer noch viel Gefühl und Erfahrung dazugehörten, den optimalen Schienenverlauf festzulegen. Seit den 50er Jahren des 20. Jh. ist allerdings ein technischer Entwicklungsschub weltweit zu beobachten, dem nur noch die zumutbare Belastung des menschlichen Körpers Grenzen setzt.

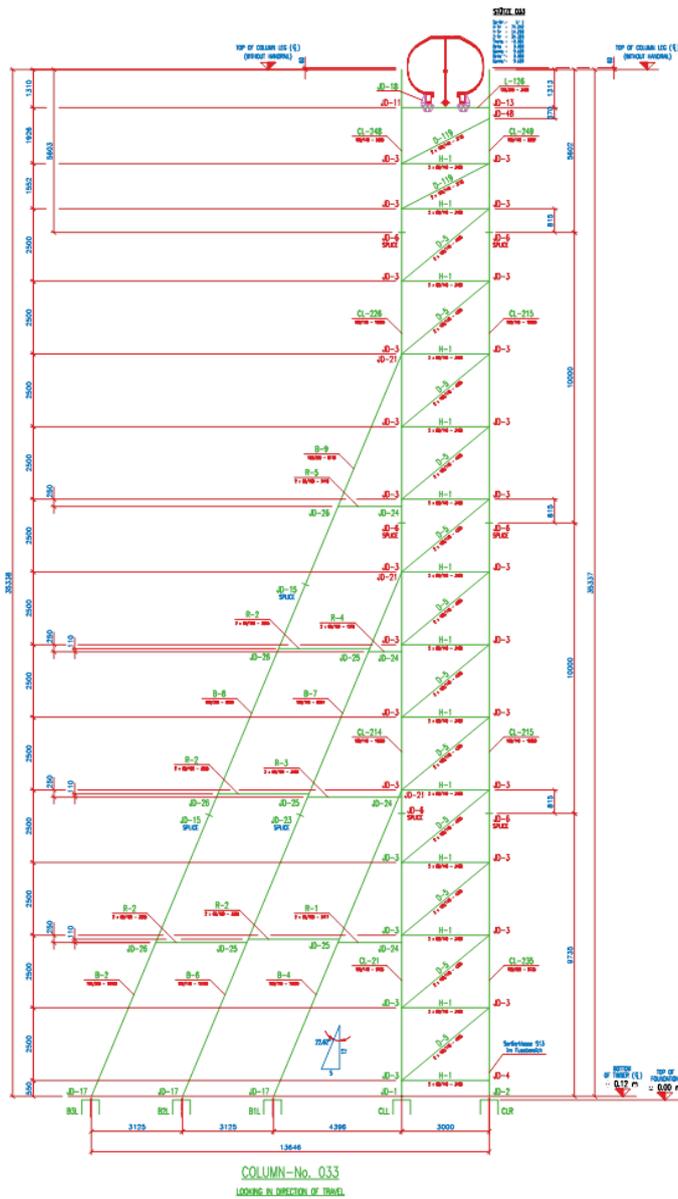
1953 entstand in dem unter Holzarmut leidenden Italien die erste Holzachterbahn in vollständiger Stahlbauweise. Eine transportierbare Bahn dieser Art („Wild Cat“) konstruierte 1964 bereits der junge Werner Stengel – der Planer von Colossos im Heide-Park ist seitdem ein weltweit gefragter Star der Branche. Leider verschwanden sehr schnell sämtliche Holzachterbahnen von den europäischen Festplätzen, da sich die Auf- und Abbauzeiten sowie die Transportkosten durch die Stahlvarianten extrem verkürzten. Bei stationären Anlagen erwachte allerdings ausgehend von Amerika in den 70er Jahren des 20. Jh. eine Renaissance moderner hölzerner Achterbahnen, die trotz spektakulärer Stahlloopingbahnen bis heute anhält.



Die Popularität dieser Holzgiganten ist nicht zuletzt in der Schönheit der Konstruktionen begründet. Als grafisch prägnante Kulisse wird die opulente Menge der Streben und Abstützungen in Werbespots und Spielfilmen eingesetzt. Seit Anfang des 20. Jh. wurden weltweit etwa 4.000 Holzachterbahnen gebaut, derzeit entstehen weltweit jährlich etwa 5 Anlagen. Colossos im Heide-Park Soltau war zum Zeitpunkt des Baus die weltgrößte Holzachterbahn und ist derzeit die zweitgrößte Holzachterbahn der Welt. An ihrer steilsten Stelle hat sie eine Neigung von 61° ; wenn man aus 60 m Höhe hier herunterfährt, fühlt sich der Fahrgast fast schwerelos und empfindet die Abfahrt als freien Fall. In den engen Passaden andererseits wirken Kräfte bis zum Vierfachen des eigenen Körpergewichts auf die Passagiere.

2 Konstruktion

Das Primärtragwerk der Achterbahn besteht aus Fachwerkträgern mit zug- und druckfest angeschlossenen Vollholzdiagonalen. Diese Fachwerkträger stehen in Bahnrichtung in Abständen zwischen 1,60 und 3,20 m. In Bereichen größerer Fliehkraft- oder Windbeanspruchungen werden in Abständen von etwa 7,50 m Fachwerkträger auf unterschiedlicher Höhe ein- oder beidseitig abgestrebt. Die Vertikalen der Fachwerkträger sind aus bis zu 11,60 m langen Einzelstäben zusammengesetzt, die über Laschenverbindungen stumpf gestoßen werden. Im Stoß werden Druckkräfte über Kontakt, Zugkräfte über die Bolzen und Laschen übertragen.



Die Schienenschwellen, auch „ledger“ genannt, sind im Primärtragwerk integriert. Daraus resultierte die Notwendigkeit sehr strenger Toleranzvorgaben bezüglich der Höhe und der Lage des Primärtragwerkes, die durchweg eingehalten werden konnten. So wurde eine Höhenabweichung von maximal 5 mm bei annähernd 60 m Gesamthöhe der Bahn gemessen. Fachwerkträger und Abstreben werden über geschweißte, feuerverzinkte Stahlschuhe auf Einzelfundamenten aufgelagert.

Das Sekundärtragwerk wird wie folgt ausgebildet: In Bahnrichtung verbinden horizontale verlegte Hölzer die einzelnen Fachwerkträger. Ein rautenförmiges Netz aus quer über die Fachwerkträger verlaufenden Hölzern vervollständigt die Aussteifung in Bahnrichtung. Die Abstreben der Primärträger werden zur Knicklängenreduzierung über horizontale Tragglieder gegenüber den Primärträgern abgestützt. Die schräg verlaufenden Abstützungen der Primärträger werden zudem in ihrer Ebene durch horizontal und diagonal verlegte Kanthölzer zu einem Fachwerk ergänzt. Für alle hölzernen Bauteile wurden kleine Querschnitte gewählt, um Zwängungen oder Verformungen infolge Quellen und Schwinden zu minimieren.



Die Schienen bestehen aus gekrümmten und tordierten Furnierschichtholzträgern mit Querschnittsmaßen von circa 200 x 400 mm. Die Schienenabschnitte sind durchimprägniert und mittels CNC-Fräsen aus größeren Rohlingen herausgefräst. Die einzelnen Abschnitte werden scharnierartig ausgebildete Anschlüsse verbunden. Der Furnierschichtholzquerschnitt ist oberseitig mit einer etwa 10 mm dicken Stahlblechabdeckung versehen. Die Verbindung mit den „Jedgern“ erfolgt über geschweißte, feuerverzinkte Stahlteile.

Alle Schienenabschnitte wurden mit hoher Präzision und auf Basis geometrischer Daten des Konstruktionsprogrammes gefertigt. Bei anderen Bahnen sind die Schienenträger bislang erst nach Fertigstellung des Traggerüstes aus Vollholzbohlen vor Ort erstellt worden. Die Stahlschienen wurden danach montiert. Beim Bau von Colossos konnten aufgrund der hohen Passgenauigkeit Gerüst und hölzerne Schiene zugleich angebracht werden. Dadurch reduzierte sich die Bauzeit deutlich. Die sehr genaue Anpassung an die sogenannte Herzlinie führt zu einer wesentlich ruhigeren Fahrt als bei anderen Holzachterbahnen. Von Vorteil erweist sich auch die Formsta-



bilität und Lebenserwartung der Furnierschichtholzträger, die deutlich höher als bei bislang ausgeführten Vollholzkonstruktionen liegen.

Mit nur 43 Detailpunkten (allerdings mit zahlreichen Variationen der Winkel- und Stabmessungen) konnte eine sehr weitreichende Standardisierung der Konstruktion erreicht werden.

Für die Konstruktion der Achterbahn kamen etwa 120.000 Hölzer beziehungsweise 3.000 cbm imprägnierte niedersächsische Kiefer zum Einsatz. Bauteile aus Vollholz der Sortierklasse S 13 sowie Teile mit großen Längen machten den Einschnitt von bis zu 140 Jahre alten Stämmen erforderlich. Für alle Verbindungen und Anschlüsse verarbeitete man etwa 125 Tonnen Stahlteile, 80 Tonnen Bolzen und Muttern sowie 6 Tonnen Nägel.

3 Tragwerksplanung

Die Bemessung erfolgte durch ein spezialisiertes Ingenieurbüro für Fahrgeschäfte in Absprache mit dem TÜV Süddeutschland. Bemessungsgrundlagen waren die DIN 1052 „Holzbauwerke“; DIN 1074 „Holzbrücken“ sowie DIN 4112 „Fliegende Bauten, Richtlinien für Bemessung und Ausführung.

Besonderes Augenmerk erforderte die Aussteifung der Gesamtkonstruktion, wobei hierfür die Windbeanspruchung den größten Anteil der Lasten lieferte. Da das Bemessungsprogramm die riesige Anzahl von Einzelstäben im Gesamttragwerk nicht bewältigen konnte, wurde die aussteifende Wirkung der Schienen auf das Gesamtsystem nicht berücksichtigt, sondern als Sicherheitsreserve angesehen. Die Aussteifung erfolgt im Wesentlichen über das oben beschriebene Sekundärtragwerk. Die lastverteilende Wirkung der Schienen musste hingegen – insbesondere in den Bahnabschnitten mit großen Fliehkräften – durch abschnittsweise Modellierung der Bahn erfasst werden.

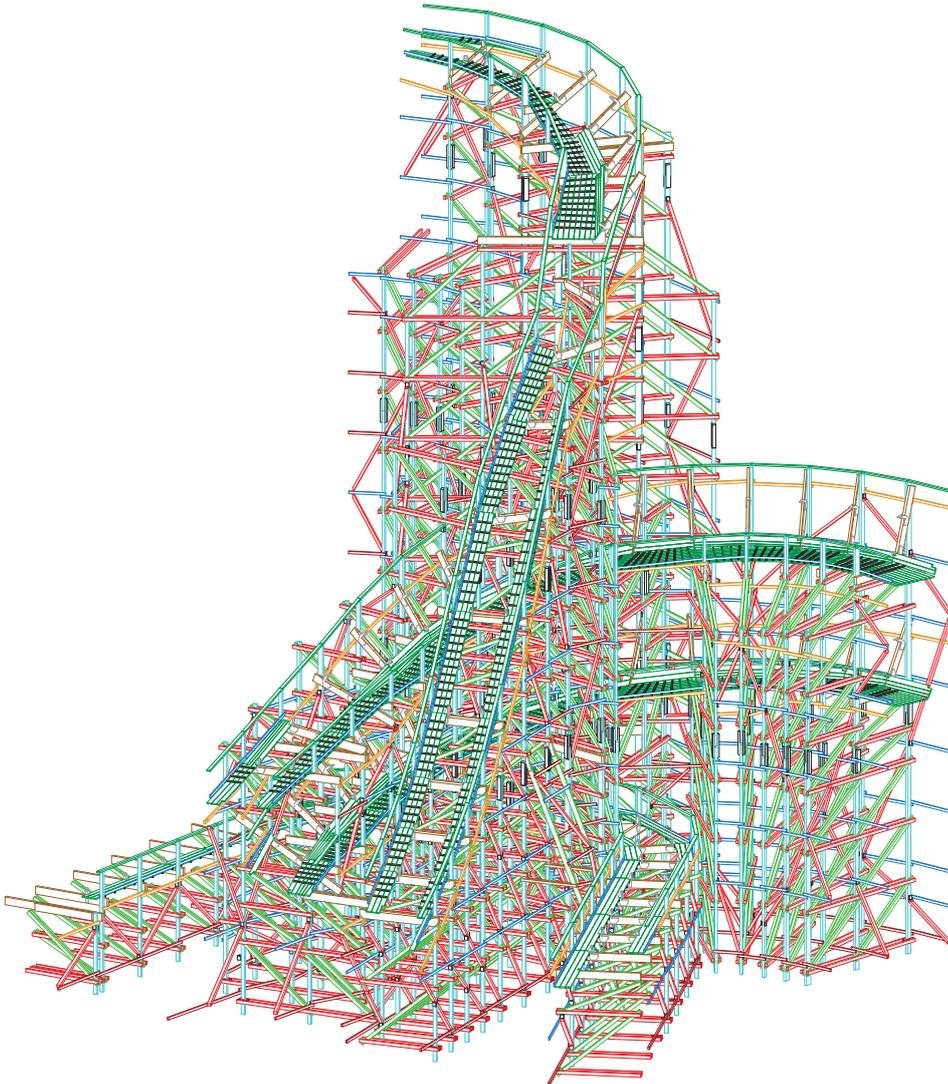
Zur Minimierung von Rissen verwendete man ausschließlich kerngetrenntes Kiefernholz. Dieses wurde mit Übermaß geschnitten, auf Tränkfeuchte getrocknet, gehobelt, abgebunden und erst danach kesseldruckimprägniert. Da auf der Baustelle keine Schnitte oder Bohrungen mehr ausgeführt werden müssen, erübrigte sich auch eine Nachbehandlung. Der Spritzwasserschutz der Stützenfüße wird durch die Aufständigung auf Stahlschuhe erreicht. Abdeckungen schützen horizontal liegenden Hirnholzflächen.

Kerto-Furnierschichtholz wurde für den Schienenträger als Material gewählt, da dieses aufgrund vieler Mikrorisse in den Schäl furnieren komplett durchimprägniert werden kann. Durch vorbeugenden chemischen Holzschutz und eine oberseitige Stahlblechabdeckung kann eine Nutzungsdauer von mindestens 20 Jahren erwartet werden. Schrauben, Bolzen und Nägel wurden gemäß DIN 1052-2, Tabelle 1, feuerverzinkt. Aufgrund der relativ großen erforderlichen Zinkschichtdicken mussten die Bolzen mit Untermaß hergestellt werden. Die Montage der Bolzen erfolgte mit großer Sorgfalt, um nicht die Verzinkung insbesondere der Gewinde zu beschädigen.

4 Arbeitsvorbereitung/Fertigung

Ein solches Projekt erfordert ein hohes Maß an Präzision und Planungssicherheit. Die vorgefertigten Kerto-Schienenstränge lassen nur minimale Toleranzen zu. Aufgrund des engen Ausführungszeitraumes und der ineinander fassenden Abläufe sind ebenfalls hohe Anforderungen an die Logistik zu stellen.

Daher ist es erklärtes Ziel, so viele Bauteile wie möglich von der Abbundanlage zuzuschneiden. So wurde schnell die Entscheidung gefällt - auch aufgrund der komplexen räumlichen Struktur - die gesamte Achterbahn überwiegend im CAD-System zu konstruieren.



Holzschungel im Bereich der Abfahrt (Balder)



In den einzelnen CAD-Dateien befanden sich bis zu:

- 9000 Achsen (Bohrungen)
- 6650 Stäbe (lin. Elemente)
- 2000 Maschinenpositionen
- 800 Baugruppen
- 250 Untergruppen
- 610 Namen

sowie viele sonstige Attribute (User, Bemerkung,...) um die Handhabbarkeit zu erhöhen. Glücklicherweise arbeitet das eingesetzte Programm so stabil, dass trotz der großen Datenmengen kaum Abstürze auftraten.

5 Imprägnierung

Unsere Hölzer werden erst nach dem Zuschnitt kesseldruckimprägniert. Dadurch werden insbesondere auch die Hirnholzenden und die dann bereits vorhandenen Bohrlöcher optimal geschützt und Schwachpunkte, wie sie bei der Verarbeitung fertig imprägnierter Paketware auf der Baustelle entstehen, vermieden. Ein weiterer positiver Aspekt ist der Umweltschutz – es entsteht kein imprägnierter Abfall. Bei der Frage der Einbringmenge orientieren wir uns an der strengen skandinavischen NTR-Imprägnier-Norm, die einen umfassenden Schutz des Holzes auch bei ständigem Wassereinfluss verlangt. So machen wir unsere Achterbahnen für ein langes Leben stabil.

6 Brandschutz

Die Brandlast der Achterbahn ist als gering einzustufen, da keine großflächigen Bekleidungen vorhanden sind. Durch die offene Konstruktion ist zudem keine Kaminwirkung oder die Möglichkeit einer Verrauchung zu befürchten. Müsste dennoch die Bahn evakuiert werden, so erreichen die Züge die Talstation vom Hochpunkt aus innerhalb von 70 Sekunden. Sollte ein Zug im Bereich des Anstieges stehen bleiben, so können die Fahrgäste die Bahn durch beiderseitige Fluchtwege verlassen.

7 Wartung und Überwachung

Der Betreiber führt täglich, wöchentlich und monatlich Überwachungen unterschiedlichen Umfangs durch, bei denen vor allem der Sitz der Bolzen kontrolliert wird. Eine durchgehende Bodenplatte unter der gesamten Bahn erleichtert das Auffinden und Ersetzen herausgefallener Bolzen. Die geplante Nutzungsdauer der Achterbahn beträgt weit mehr als 50 Jahre.



8 Baudaten

Bauherr: Heide-Park-Soltau GmbH, Soltau

Entwurf und Tragwerksplanung: Dipl.-Ing. Werner Stengel, Ing.-Büro Stengel, München

Ausführung der Holzkonstruktion: Ing.-Holzbau Cordes, Rotenburg / Wümme

Einschnitt und Sortierung der Hölzer: Fa. Heinrich Harling, Bergen

Fertigung der Holzschienen: Merk Holzbau, Aichach

Max. Höhe: 60m

Streckenlänge: 1.500 m

Max. Längsgefälle: 61°

Max. Quergefälle: 67°

Max. Geschwindigkeit: 120 km/h

Fahrzeit: 145 Sekunden

Max. Kapazität: 1.500 Personen/h

Baukosten: 23 Mio. EUR;

Bauzeit: 7 Monate

9 Zum Vergleich: Bilder Achterbahnen

Mammut – Tripsdrill/Deutschland – Baujahr 2008 (Cordes)



Troy – Toverland/Niederlande – Baujahr 2007 (anderer Hersteller)



Texas Giant – Dallas / USA – Baujahr 1991 (anderer Hersteller)





Untersuchungen zum Befallsdruck an Freileitungs-Holzmasten – Weiterführende Ergebnisse

Antje Gellerich, Susanne Bollmus, Holger Militz

Georg-August-Universität Göttingen, Abteilung Holzbiologie und Holzprodukte

Zusammenfassung

Das vorgestellte Projekt hatte eine vierjährige Laufzeit und wurde in enger Zusammenarbeit mit dem Energieversorgungsunternehmen RWE bearbeitet. Das Projekt beinhaltet Untersuchungen zu einem möglichen Befallsdruck an Maststandorten, an denen es zu Frühausfällen kam, d.h. die Standzeit der Masten maximal 15 Jahre betrug. Zur Untersuchung eines möglicherweise erhöhten Befallsdruckes an den ausgewählten Maststandorten, verursacht durch bereits im Boden angesiedelte Pilz- und Bakterienstämme, wurden Freilandversuche unter Berücksichtigung verschiedener Bodenklassen durchgeführt. Außerdem wurden über die gesamte Projektlaufzeit weitere Mastfrühausfälle auf einen Befall durch holzerstörende Pilze sowie deren Schutzmittelmenge zum Zeitpunkt des Ausfalles hin untersucht.

Vorläufige und bereits berichtete Ergebnisse haben gezeigt, dass einige Standorte eine überdurchschnittlich hohe Befallsaktivität aufweisen. Der Befall konnte nicht auf einzelne Bodenklassen und Bodentypen zurückgeführt werden. Diese vorläufigen Ergebnisse konnten durch die durchgeführten Freilandversuche bestätigt werden. Der Befallsdruck ist dabei standortabhängig und bei der Mehrzahl der untersuchten Maststandorte auf die unmittelbare Mastnähe beschränkt. Allerdings gibt es auch Standorte, wo ein erhöhter Befallsdruck nicht auf die unmittelbare Mastnähe beschränkt ist.

Weitere Untersuchungen von Mastfrühausfällen zeigten an einer Vielzahl von Mastabschnitten einen Befall durch holzerstörende kupfertolerante Pilze. Es wurde ebenfalls eine Bestimmung des Kupfergehaltes zum Zeitpunkt des Mastausbaues durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass ein Befall durch kupfertolerante Pilze in vielen Fällen nicht nur auf Masten mit einer zu geringen Einbringmenge des Schutzmittels zurückzuführen ist.

1 Einleitung

Freileitungsmasten, insbesondere im Bereich der Nieder- und Mittelspannung, werden in großer Anzahl nach wie vor aus dem Werkstoff Holz hergestellt. Vorteile von Freileitungs-Holzmasten gegenüber Masten aus anderen Werkstoffen sind beispielsweise (Liese 1965):

- Einfache Handhabung
- Einfache und schnelle Installation und Auswechslung
- Einfache Konstruktion
- Harmonische Einbindung in die Landschaft
- Gute Besteigbarkeit



Dabei werden Freileitungs-Holzmasten aus einheimischen Nutzhölzern wie Kiefer oder Fichte entweder im direkten Erdkontakt verbaut oder auf Beton- oder Stahlfüße aufgeständert. Ohne Schutz beim Verbau in direktem Erdkontakt, sind die Masten im Bereich der Erd-Luft-Zone dem Angriff holzerstörender Organismen ausgesetzt. Für einen ausreichenden Schutz werden die Masten mit chemischen Holzschutzmitteln behandelt. Grundlage für eine lange Standzeit der Masten innerhalb der Netze und die damit verbundene Reduzierung der Kosten für den Austausch von Einzelmasten, sind hohe Ansprüche an die Qualität der Masten hinsichtlich Holz Auswahl, Holzschutzmittel und Imprägnierparameter. Diese Qualitätskriterien sind in den Technischen Spezifikationen der RWE festgelegt. Trotz Festlegung von Qualitätskriterien erreichen neue Freileitungs-Holzmasten nach Aussagen der RWE zum Teil die bisher angestrebte Standzeit von 32 Jahren trotz Schutzimprägnierung nicht. Die Ursachen dafür können sehr vielfältig sein. Neben einer starken Veränderung der Zusammensetzung der Schutzmittel in den letzten Jahrzehnten wird eine verkürzte Gebrauchsdauer von neuen Freileitungs-Holzmasten möglicherweise wesentlich durch einen Infektionsdruck am Maststandort bestimmt.

Das dargestellte Projekt beinhaltet Untersuchungen zu einem möglichen Befallsdruck und zur Analyse befallener Masten. Es werden dabei Masten von Standorten untersucht, an denen es zu Frühausfällen kam, d. h. die Standzeit der Masten maximal 15 Jahre betrug.

2 Material und Methoden

2.1 Freilanduntersuchungen

Für die Durchführung der Freilandversuche wurden in enger Zusammenarbeit mit der RWE 24 Maststandorte in verschiedenen Netzbezirken ausgewählt, an denen es zu Frühausfällen kam. Bei der Auswahl der Standorte wurden verschiedene Bodenklassen berücksichtigt, wie fließende Bodenarten von flüssiger bis breiiger Beschaffenheit, Gemische von Sand, Kies, Ton und Schluff (bindige und luftige Böden) und leicht lösbarer Fels und vergleichbare Bodenarten.

Zur Untersuchung eines möglichen Befallsdruckes wurden Prüfkörper mit den Abmessungen 400 x 20 x 20 mm³ aus Kiefer Splintholz (*Pinus sylvestris* L.) an ausgewählten 24 Maststandorten im Erdkontakt in unmittelbarer Mastnähe und in ca. 1 m Entfernung vom Mast eingebaut so dass diese sowohl in dem neu befüllten Loch des alten Maststandortes platziert sind, wo ein erhöhter Infektionsdruck zu erwarten ist, als auch eine Einbringung der Prüfkörper in Erdreich ohne möglichen Infektionsdruck erfolgte.

Die Prüfkörper für die Freilanduntersuchungen wurden mit einem chromhaltigen (HSM 1) und einem chromatfreien (HSM 2) Holzschutzmittel behandelt. Unbehandelte Prüfkörper wurden verwendet, um einen möglichen Befall in kürzeren Untersuchungszeiträumen zu analysieren. Die Prüfkörper wurden in der Tränkanlage der Universität Göttingen in einem Vakuum-Druck-Verfahren imprägniert (Vakuum 30 min/60 mbar, Druck 120 min/12 bar). Nach der Imprägnierung erfolgte für jeden Prüfkörper die Bestimmung der Lösungsaufnahme des Holzschutzmittels.

Die Prüfkörper wurden entsprechend des Ausbauezeitraumes nummeriert, auf die Maststandorte verteilt und nach einem festgelegten Schema kreisförmig um die Masten im Erdboden eingebracht. Die Entnahme der ersten Prüfkörpercharge erfolgte im Zeitraum August/September 2009. Die weiteren Entnahmeintervalle waren im August 2010 und 2011.



2.2 Untersuchung von Mastfrühausfällen

Für diese Untersuchungen wurden ausgewählte Mastabschnitte von Mastfrühausfällen untersucht. Zur Durchführung der Untersuchungen wurden Mastabschnitte von Frühausfällen aus dem Bereich der Erd-Luft-Zone und einem Bereich ca. 0,5 m über der Erd-Luft-Zone, außerhalb des Befallsbereiches, ausgewählt. Alle untersuchten Masten waren mit einem chromathaltigen Schutzmittel imprägniert. Die Mastabschnitte wurden von der RWE bei Mastwechseln im Jahre 2010 entnommen. In einem ersten Untersuchungspaket wurden insgesamt 18 Masten untersucht (Standzeit weniger als 10 Jahre). Anschließend folgte ein weiteres Untersuchungspaket, in dem 10 weiteren Masten untersucht wurden. Diese Masten wurden ebenfalls im Jahr 2010 ausgebaut. Bei diesen Masten lag die Standzeit zwischen 4 und 15 Jahren. Die untersuchten Masten stammten aus verschiedenen Netzbezirken der RWE in den Bundesländern Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz.

Die ausgewählten Mastabschnitte wurden zunächst makroskopisch und mikroskopisch auf Befall durch holzerstörende Pilze untersucht. Zur Untersuchung des Befallstypes wurden Mikroschnitte von Prüfkörpern aus dem Befallsbereich mit Dicken zwischen 10 µm und 35 µm angefertigt und mikroskopisch untersucht. Für die Bestimmung von Pilzmycel wurden Untersuchungen mit einem Auflichtmikroskop (Zeiss Axioplan 2) und einem Durchlichtmikroskop (Nikon Eclipse E 600) durchgeführt.

Die Analyse der Mastscheiben erfolgte hinsichtlich der Eindringtiefe des Holzschutzmittels (Prüfung der Durchtränkung des Splintholzgebietes) und des Holzschutzmittelgehaltes in den äußeren 3 cm der durchtränkten Zone. Für die Bestimmung des Holzschutzmittelgehaltes wurden aus den Mastscheiben Riegel entnommen. Vom Riegelende wurden jeweils Proben aus den äußeren 3 cm des durchtränkten Bereiches geschnitten. Es wurden alle Proben gedarrt (48 h, bei 103°), vermessen und thermisch aufgeschlossen. Anschließend wurden die aufgeschlossenen Proben mit einem Schwefelsäure-Salpetersäure-Gemisch aufgenommen und vollständig in Messkolben überführt. Die Konzentrationsbestimmung von Kupfer und Chrom in den Lösungen erfolgte mittels Atomemissionsspektroskopie (ICP-AES). Daraus resultierend wurde die Einbringmenge des Schutzmittels, basierend auf dem Wirkstoff Kupfer berechnet. Bei einigen Masten war eine Probennahme außerhalb des Befallsbereiches nicht möglich, da der Abbau am gesamten Mastabschnitt zu weit fortgeschritten war. Die Schutzmittelanalyse erfolgte nach Ausbau des Mastes. Ein Vergleich mit der Einbringmenge an Schutzmittel zum Zeitpunkt der Aufstellung des Mastes kann nicht erfolgen, da keine Anfangswerte für die Einzelmasten vorliegen.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Freilanduntersuchungen

Nach einjähriger Exposition zeigten die unbehandelten Prüfkörper bereits an einigen Maststandorten einen hohen Masseverlust von > 40 %. An allen anderen Standorten war an den unbehandelten Prüfkörpern ebenfalls ein Anfangsbefall sichtbar. Allerdings waren die Masseverluste mit maximal 10 % deutlich geringer.

Nach zweijähriger Versuchslaufzeit wiesen auch behandelte Prüfkörper an einem Maststandort (Maststandort 7) Befallsmerkmale auf. Der mittlere Masseverlust der mit HSM 1 behandelten Prüfkörper betrug 11 %. Die mit HSM 2 behandelten Prüfkörper wiesen einen mittleren Masseverlust von 13 % an diesem Standort auf. An 3 weiteren Standorten (3, 14 und 15) zeigten die mit HSM 2 behandelten Prüfkörper ebenfalls Masseverluste zwischen 5 % und 17 % an den Einzelproben. Nach zweijähriger Versuchslaufzeit zeigten allerdings die Prüfkörper an den

Standorten 3 und 7 sowohl hohe Masseverluste an den Prüfkörpern in unmittelbarer Mastnähe als auch in ca. 1 m Entfernung vom Mast. Dieser Effekt war auch noch an 5 weiteren Standorten sichtbar. Allerdings waren hier an den behandelten Prüfkörper keine Auffälligkeiten erkennbar.

Abb. 1 zeigt den Masseverlust von behandelten und unbehandelten Prüfkörpern an 4 ausgewählten Maststandorten, die die höchsten mittleren Masseverluste nach 3 jähriger Freilandexposition zeigten. An Maststandort 7 und 14 zeigten sowohl die mit HSM 1 als auch die mit HSM 2 behandelten Prüfkörper erhöhte Masseverluste und starke Abbaumerkmale (Braunfäule). An den Maststandorten 15 und 22 zeigten insbesondere die mit HSM 2 behandelten Prüfkörper deutliche Befallsmerkmale einer Braunfäule. Bei der Beurteilung der Ergebnisse ist allerdings zu bedenken, dass Analysen der imprägnierten Prüfkörper gezeigt haben, dass das chromatfreie Schutzmittel (HSM 2) stark differierende Gehalte der Wirkstoffkomponenten aufweist. Die Konzentration der organischen Komponente (Co-Biozid) war zu gering, wohingegen die Kupferkonzentration den Zielvorgaben entsprach.

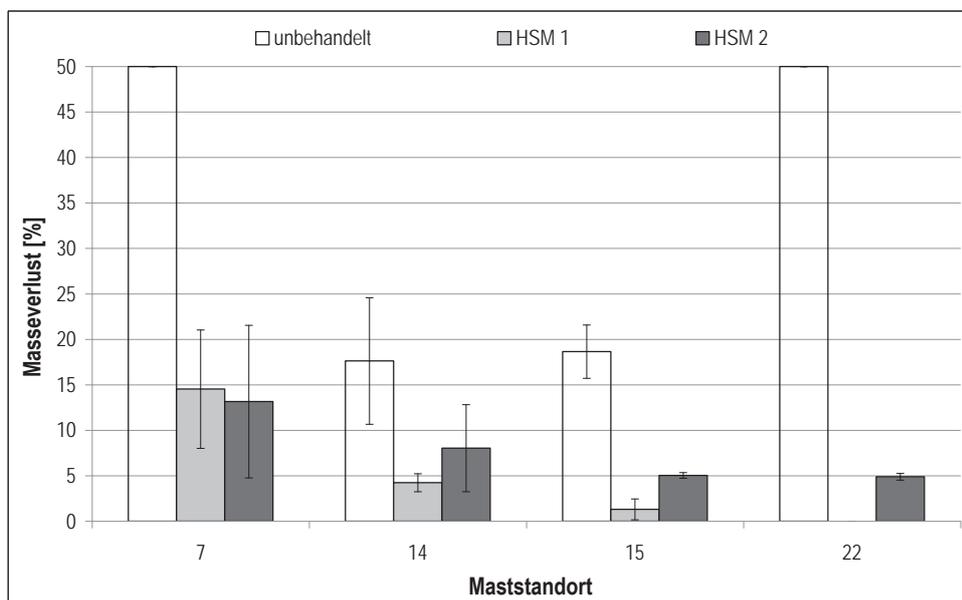


Abb. 1: Masseverlust behandelter und un behandelter Prüfkörper ausgewählter Maststandorte (7, 14, 15 und 22) nach 3jähriger Freilandexposition, un behandelte Prüfkörper: Masseverluste > 50%

Die un behandelten Prüfkörper wiesen an allen Maststandorten einen deutlichen Befall durch holzerstörende Pilze auf, insbesondere Braunfäule, sichtbar durch einen typischen Würfelbruch. Die mit HSM 1 imprägnierten Prüfkörper zeigten erste Fäulenester, aber noch keinen großflächigen Befall. An mit HSM 2 imprägnierten Prüfkörpern waren ebenfalls Fäulenester sichtbar, an einigen Prüfstäben auch ein großflächigen Befall.

Die makroskopischen und mikroskopischen Untersuchungen bestätigten, dass die Prüfkörper zum überwiegenden Teil durch Braunfäule befallen waren (siehe Abb. 2), allerdings in unterschiedlicher Intensität. Es gab aber auch Prüfkörper an einzelnen Standorten, die einen kombinierten Befall durch Braun- und Moderfäule zeigten sowie einen Befall ausschließlich durch Moderfäule (Abb. 2).

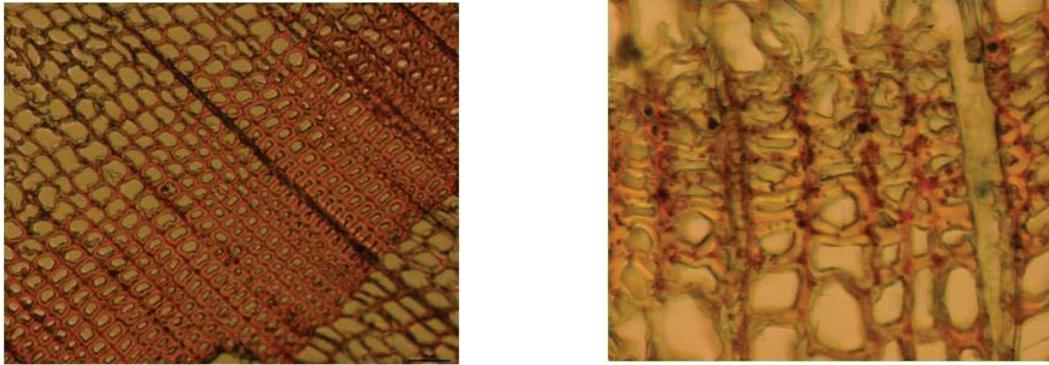


Abb. 2: Befall durch Braunfäule insbesondere im Bereich des Spätholzes (links) und durch Moderfäule (rechts) nach 3 Jahren Freilandexposition

Einen wesentlichen Schwerpunkt der Freilandversuche bildeten die Untersuchungen eines möglichen Befallsdruckes direkt am Mast. Tabelle 1 zeigt die Auflistung der einzelnen Maststandorte hinsichtlich des Befallsdruckes in unmittelbarer Mastnähe und eines gleichmäßigen Befalls am Gesamtstandort. Die Einteilung erfolgte nach dem mittleren Masseverlust der Prüfkörper am Standort. Ein deutlich höherer Masseverlust der Prüfkörper direkt am Mast, als an den Prüfkörpern in 1 m Entfernung ließ auf einen erhöhten Befallsdruck direkt am Mast schließen. Standorte mit der Einstufung eines gleichmäßigen Befalls zeigten sowohl an Prüfkörpern in 1 m Entfernung vom Mast als auch an Prüfkörpern direkt am Mast keine deutlichen Unterschiede im Masseverlust. Insgesamt ist an 9 Standorten ein gleichmäßiger Befall zu beobachten und an 15 Standorten ein erhöhter Befall direkt am Mast.

Tabelle 1: Übersicht des Befallsdruckes an den einzelnen Maststandorten

Nr. Maststandort	Befallsdruck in unmittelbarer Mastnähe	Gleichmäßiger Befall am Gesamtstandort	Nr. Maststandort	Befallsdruck in unmittelbarer Mastnähe	Gleichmäßiger Befall am Gesamtstandort
1	x		13	x	
2	x		14		x
3	x		15		x
4	x		16		x
5	x		17		x
6	x		18	x	
7		x	19	x	
8	x		20	x	
9		x	21		x
10		x	22	x	
11		x	23	x	
12	x		24	x	

3.2 Untersuchung von Mastfrühausfällen

Bei den untersuchten Mastfrühausfällen gab es zwei Typen von Befallsmerkmalen. Ein Teil der Masten zeigte einen deutlichen Befall im Splintholzbereich, wobei das Kernholz nicht oder nur in geringem Maße durch holzerstörende Pilze befallen war. Der andere Teil der Masten zeigte einen deutlichen Befall sowohl im Splint- als auch im Kernholzbereich (siehe Abb. 3).



Abb. 3: Mast mit stark zerstörtem Splintholzbereich (links) und mit Befall des Kern- und Splintholzes (rechts)

Die mikroskopischen Untersuchungen der befallenen Mastabschnitte zeigten an allen 18 Masten der ersten Untersuchungsreihe einen Befall durch Braunfäule. An 4 Mastabschnitten konnte ein kombinierter Befall durch Braun- und Moderfäule nachgewiesen werden. An insgesamt 11 Masten konnte ein Befall durch kupfertolerante Pilze, hier *Antrodia* spp. festgestellt werden (siehe Abb. 4). An 7 Mastabschnitten konnte lediglich ein Befall durch Braunfäule nachgewiesen werden. Eine Bestimmung des Befalls war aufgrund fehlenden Mycels und Sporen nicht möglich.

Verschiedene Studien haben eine hohe Toleranz von kupfertoleranten Pilzen gegenüber kupferhaltigen Holzschutzmitteln gezeigt (Da Costa and Kerruish 1964). Laborversuche haben gezeigt, dass schutzmittelbehandelte Prüfkörper (CCA und CC) aus Kiefer Splintholz mit einer Beladung von 20 kg/m³ durch *Antrodia vaillantii* befallen und abgebaut wurde (Stephan 1994). Untersuchungen von Leithoff et al. (1995) haben außerdem gezeigt, dass eine Imprägnierung von Holzproben mit einem Kupfer- und Chrom- beinhaltendem Holzschutzmittel das Wachstum von *Antrodia vaillantii* stimulierten, insbesondere wenn die Hyphen direkten Kontakt zur behandelten Holzprobe hatten. Deshalb wurde an den Mastabschnitten ebenfalls der Kupfer-Gehalt in den Bereichen, die keinen Befall zeigten, bestimmt. Basierend auf dem Kupfergehalt wurden die Proben in drei Gruppen eingeteilt (siehe Abb. 4), wobei ein Kupfergehalt von mehr als 3 kg/m³ die Mindesteinbringmenge gemäß den Technischen Spezifikationen der RWE entspricht. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass ein Befall in einem weiten Bereich, sowohl über der Mindesteinbringmenge als auch darunter stattgefunden hat. Der niedrigste analysierte Kupfergehalt lag bei 0,7 kg/m³ und der höchste Gehalt bei 4,7 kg/m³.

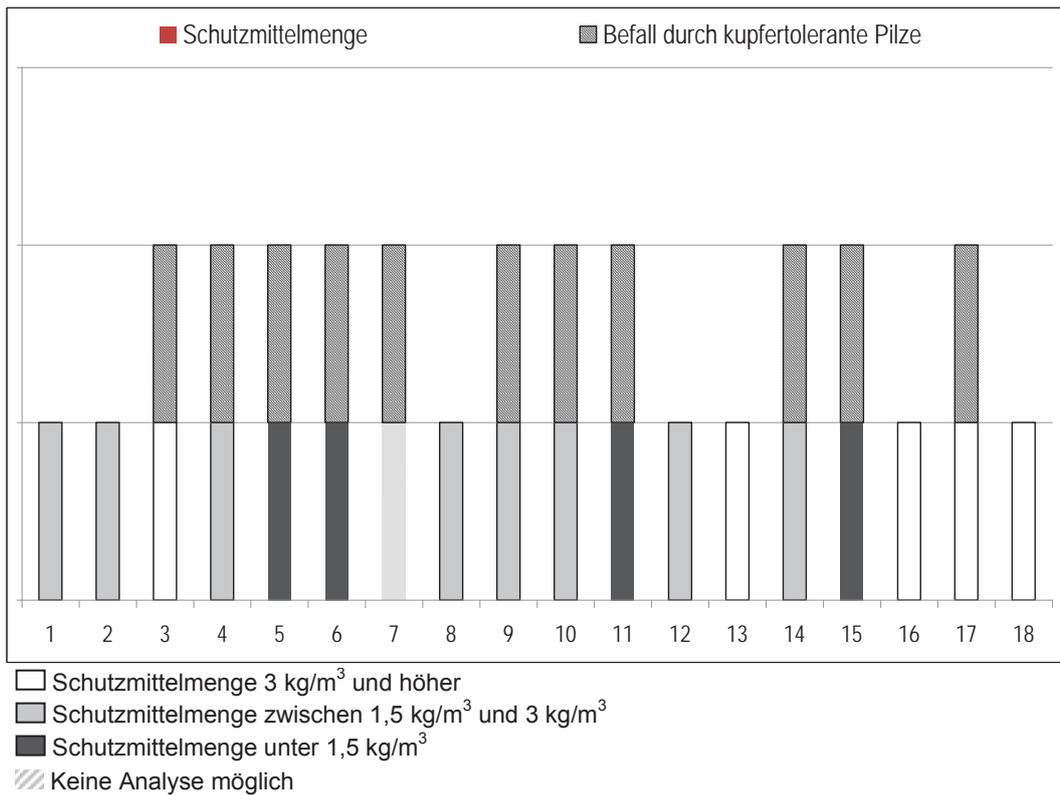


Abb. 4: Ergebnisse der Schutzmittelanalyse und Bestimmung des Befalls durch kupfertolerante Pilze der Masten der ersten Untersuchungsreihe

Die mikroskopischen Untersuchungen der befallenen Mastabschnitte der zweiten Untersuchungsreihe zeigten an allen 10 Masten ebenfalls einen Befall durch Braunfäule. An insgesamt 6 Masten konnte ein Befall durch kupfertolerante Pilze, hier *Antrodia* spp. festgestellt werden (siehe Abb. 4). An 4 Mastabschnitten konnte lediglich ein Befall durch Braunfäule nachgewiesen werden, aber eine Bestimmung des Befalls war nicht möglich durch fehlendes Mycel und Sporen.

Auch an diesen Mastabschnitten wurde ebenfalls der Kupfer-Gehalt in den Bereichen, die keinen Befall zeigten, bestimmt. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Abb. 5 dargestellt.

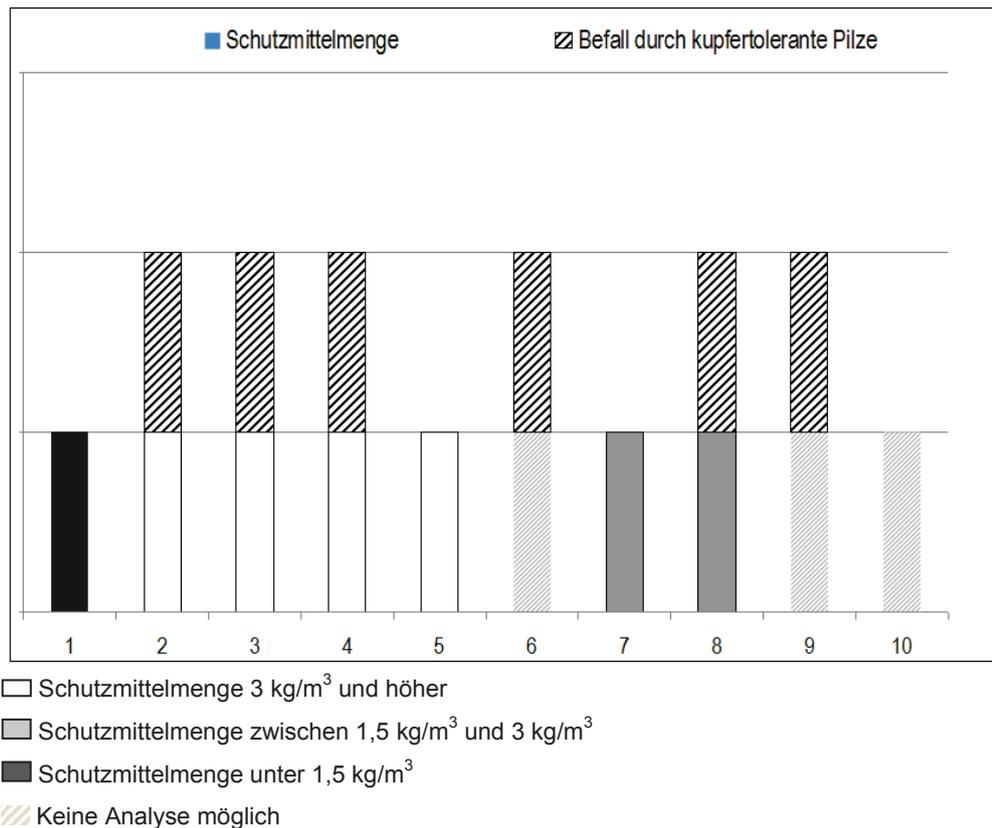


Abb. 5: Ergebnisse der Schutzmittelanalyse und Bestimmung des Befalls durch kupfertolerante Pilze der Masten des zweiten Untersuchungspaketes

4 Schlussfolgerungen

Die Freilandversuche haben gezeigt, dass es neben den „mäßig aggressiven“ Standorten auch „sehr aggressive Standorte“ mit hoher Befallsaktivität gibt, welches sich in hohen Masseverlusten der unbehandelten Prüfkörper und Masseverlusten der schutzmittelimprägnierten Prüfkörper widerspiegelt. Außerdem wurde in den Freilandversuchen nachgewiesen, dass an 15 von 24 Standorten ein höherer Abbau der Prüfkörper in unmittelbarer Mastnähe stattfindet, als in ca. 1 m Entfernung vom Mast, was auf einen erhöhten Befallsdruck am Mast schließen lässt. Daneben gab es aber auch Standorte, bei denen die Befallsaktivität in Mastnähe und ca. 1 m Entfernung sich nicht unterschied. Insgesamt waren die Prüfkörper durch Braun- und Moderfäule befallen. Insbesondere an den Standorten mit hoher Befallsaktivität waren die Prüfkörper ausschließlich durch Braunfäule befallen. An weniger „aggressiven“ Standorten gab es häufig einen kombinierten Befall durch Braun- und Moderfäule.

Die Untersuchungen von Mastfrühausfällen zeigten an einer Vielzahl von Mastabschnitten einen Befall durch kupfertolerante Pilze. Zur Vermeidung eines schnellen Befalls durch holzerstörende Pilze sollten folgende Kriterien beachtet werden:

- Die Qualität der Imprägnierung (Einbringmenge und Verteilung) sollte den geforderten Mindesteinbringmengen entsprechen.
- „Wachstumsbarrieren“ in Form von Manschetten, Bandagen etc. tragen zum Schutz des Mastes bei und sollten am Mast angebracht werden, insbesondere in der Erd-Luft-Zone, um einen direkten Kontakt des Mastes mit im Boden vorhandenem Pilzmycel zu vermeiden und damit einen direkten Befallsdruck zu minimieren.



Danksagung

Ein Dank gilt der RWE für die konstruktive und unkomplizierte Zusammenarbeit in diesem Projekt, insbesondere bei der Auswahl der Maststandorte und Durchführung der Freilandversuche.

Literatur

DA COSTA, E. W. B.; KERRUISH, R. M. (1964): Toleranz von Poria-Arten gegenüber kupferhaltigen Holzschutzmitteln. *Forest Products Journal* 14, 106-112.

LIESE, W. (1965): Der Holzmast in Europa. *Holzzentralblatt* 91, 123/125.

STEPHAN, I. (1994): Untersuchungen zur biologischen und chemisch-technischen Entgiftung von schutzsalzgetränktem Holz. Dissertation Universität Hamburg.

LEITHOFF, H.; STEPHAN, I.; LENZ, M. T.; PEEK, R.-D. (1995): Growth of the copper tolerant brown rot fungus *Antrodia vaillantii* on different substrates. International Research Group on Wood Protection, IRG/WP 95-10121.



PLEOT: Holzschutz mit Hilfe von Elektropuls

Andreas Treu

Norwegian Forest and Landscape Institute

Zusammenfassung

Elektrische Felder wurden zum Schutz von Holz gegenüber einem Angriff durch holzerstörende Pilze evaluiert. Dabei zeigte ein schwach pulsierendes elektrisches Feld (PLEOT) gegenüber den getesteten Referenz-Stromquellen Wechselstrom und Gleichstrom eine pilzhemmende Wirkung. Das Projekt untersuchte die Eignung von PLEOT zur Anwendung im Holzschutz und evaluierte die Verwendung unterschiedlicher Baumarten und Pilzarten, unterschiedlicher Holzdimensionen, den Einsatz im Bodenkontakt sowie den Testaufbau im Labor und die Installation der Technologie im Freiland.

1 Einleitung

Die Nutzung von Holz wird durch die Klimadiskussion stark gefördert, da die Bindung und Speicherung von CO² neben der Reduktion von Emissionen eine der wichtigen Beiträge ist, dem Klimawandel entgegenzutreten. Die europäische nachhaltige Forstwirtschaft bietet dabei eine sehr gute Grundlage für einen wertvollen Beitrag in der Klimapolitik.

Die Bewältigung der Klimaherausforderungen ist die Triebkraft für eine Erhöhung der Karbonbindung und der damit einhergehenden vermehrten Holzverwendung. Eine erhöhte Nutzung von Holz beinhaltet Maßnahmen zur Verlängerung der Lebensdauer von Holzprodukten, die auf unterschiedliche Weise versuchen einer negativen biologischen Aktivität entgegenzutreten. Hierbei werden natürlich dauerhafte Holzarten, konstruktiver Holzschutz und holzschützende Behandlungen eingesetzt.

Die prognostizierten Auswirkungen des Klimawandels könnten allerdings auch dazu führen, dass sich eine negative biologische Aktivität verändert. Eine Klima- und Gefährdungsanalyse von Gebäuden in Norwegen prognostiziert eine Vervielfachung der Anzahl Gebäude in einer hohen Risikoklasse für Pilzbefall (Kvande et al. 2012). Hieraus lässt sich auch die zunehmende Bedeutung des Holzschutzes in der Zukunft absehen.

Im Holzschutz dominiert die Verwendung schwerlöslicher Kupferverbindungen im Bereich der Biozide. Alternative Technologien, die die chemische Struktur des Holzes verändern, wie beispielsweise die Holzmodifizierung mit Furfurylalkohol, die Acetylierung mit Essigsäureanhydrid, das Belmadurverfahren mit DMDHEU und die Hitzebehandlung, sind kommerziell verfügbar und zeichnen sich durch andere Wirkungsweisen aus als herkömmliche biozid-basierte Holzschutzmittel. Diese Verfahren benutzen Begriffe wie „umweltfreundlich“ im Zusammenhang mit der Produktvermarktung. Alle Verfahren haben jedoch einen gewissen umweltrelevanten Einfluss, dessen Größe über Energieverbrauch und Ökobilanz abgeschätzt werden kann (Hill 2006). Eine nachhaltige Zukunft für Holzprodukte sollte auch erneuerbare, nachhaltige und umweltfreundliche Technologien des Holzschutzes beinhalten (Rowell et al. 2010).



Weitere motivierende Ziele für die Suche nach Alternativen zu existierenden Holzschutzbehandlungen sind die Reduktion von Prozesskosten, das Verhindern des Hantierens mit gefährlichen Substanzen, Reduktion von Auswaschungen, Verhinderung von Sonderabfall, Möglichkeit der Verwendung aller Baumarten unabhängig von Struktur und Zusammensetzung, Minimierung von negativen Produkteigenschaften nach einer Behandlung wie beispielsweise Reduktion von Festigkeitseigenschaften.

Es leuchtet ein, dass Holz im Außenbereich nicht ohne eine schützende Maßnahme vor einer Rückführung in den natürlichen Kreislauf dauerhaft bewahrt werden kann. Eine der Haupteinflussfaktoren für negative biologische Aktivität ist die Holzfeuchtigkeit. Ein alternativer Ansatz zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit von Holz konzentrierte sich daher auf die Holzfeuchtigkeit (Treu and Larnøy 2010) indem die im Holz vorhandene Feuchtigkeit für die Zwecke des Holzschutzes verwendet wurde. Neben der Leitung von Wärme und Schall beeinflusst die Holzfeuchtigkeit auch die elektrische Leitfähigkeit. Elektrische Spannung wurde schon in den 1930-er Jahren zum Schutz von Holz gegenüber pilzlichem Angriff getestet. Dabei zeigte neben den getesteten Stromquellen Wechselstrom und Hochfrequenzstrom, vor allem Gleichstrom eine pilzhemmende Wirkung (Hattori and Tamura 1939). Ein wachstumshemmender Effekt konnte auch gegenüber Bläuepilzen festgestellt werden (Bjurman 1996).

Eine Technologie, die ein pulsierendes elektrisches Feld aufbaut, wurde zur Kontrolle von Feuchtigkeit in Betonwänden getestet (Hock et al. 2006; Hock et al. 2005; McInerney and F. 1998). Eine vergleichbare Technologie, genannt PLEOT (aus dem Norwegischen: Pulsierende Likestrøms Elektroosmose Teknologi), wurde herangezogen und gegenüber holzerstörenden Pilzen getestet (Treu and Larnøy 2010).

1.1 Die elektrischen Eigenschaften von Holz

Holz hat eine niedrige spezifische Leitfähigkeit und wird daher als ein dielektrisches Material (Torgovnikov 1993) beschrieben. Holz interagiert in Abhängigkeit von der Holzfeuchtigkeit mit einem elektromagnetischen Feld. Trockenes Holz hat einen spezifischen Widerstand im Bereich von 10^{13} bis 10^{15} Ohm m und ist somit ein guter Isolator. Mit steigender Holzfeuchte bis Fasersättigung nimmt der spezifische Widerstand stark ab. Die elektrische Leitfähigkeit im Holz wird durch die Perkolationstheorie und die Existenz eines kontinuierlichen Flusses von lose gebundenem oder kapillarem Wasser im Holz beschrieben (Zelinka et al. 2008).

Das Anlegen eines elektrischen Feldes (Gleichstrom) an ein natürliches Material wie Holz führt zum Transport von Wasser und Ionen. In einem Versuch wurden die ionische Übertragung und der elektro-osmotische Wasserstrom im Holz gemessen, und die Unabhängigkeit dieser beiden Prozesse gezeigt (Simons et al. 1998b). Der elektrische Transport von endogenen und exogenen Mineralionen in frischem Kiefersplintholz ergab, dass Kalium- und Calcium-Ionen die wichtigsten endogenen Ladungsträger sind, gefolgt von Magnesium, Natrium und Chloridionen. Dies wurde für Kalium durch die Ergebnisse aus Studien mit exogenen Mineralionen unterstrichen. Es wurde auch gezeigt, dass Kupferionen eine höhere Leitfähigkeit als Calcium und Magnesium innerhalb des Holzes besitzen (Simons et al. 1998a; Simons et al. 1998c).

1.2 Ziel der Untersuchung

Das dreijährige Projekt ist eine Zusammenarbeit des Norwegian Research Council, dem Industriepartner Miljøteknologi AS und dem Norwegian Forest and Landscape Institute. Ziel des Projektes war es, die mögliche Anwendung von elektrischen Feldern im Rahmen des Holzschutzes zu untersuchen. Wichtig waren dabei die Unbedenklichkeit der Technologie gegenüber der Gesundheit des Menschen, ein geringer Energieverbrauch, die Anwendung der Technologie gegenüber allen Baumarten, die Vermeidung von Abfall und die leichte Anwendbarkeit eines möglichen Verfahrens.



Eine Technologie (PLEOT), die mit Hilfe von schwach pulsierenden elektrischen Feldern pilzlichen Abbau an Holz verhindern soll, stand dabei besonders im Fokus. Das Projekt untersuchte die Eignung von PLEOT zur Anwendung im Holzschutz und evaluierte die Verwendung unterschiedlicher Baum- und Pilzarten, unterschiedlicher Holzdimensionen, den Einsatz im Bodenkontakt, sowie den Testaufbau im Labor und die Installation der Technologie im Freiland.

2 Material und Methoden

2.1 Elektrische Felder

Der Einfluss elektrischer Felder und unterschiedlicher Pulsmuster wurde an Kiefersplintproben mit den Abmessungen 5 x 10 x 30 mm³ (Miniblocks) untersucht, wobei die Proben für 4, 8 und 12 Wochen in Petrischalen gegenüber dem Braunfäulepilz *Coniophora puteana* nach Bravery (Bravery 1978) getestet wurden. An ihren Stirnflächen wurden die Prüfkörper jeweils mit einer positiven und einer negativen Elektrode verbunden, indem die Elektroden jeweils 5 mm tief in die Stirnflächen der Holzproben eingeführt wurden. Die Elektroden waren mit einer Stromquelle verbunden und für die gesamte Dauer des Versuches angeschlossen.

Als Stromquelle wurde 13 V/1 kOhm PLEOT, 13 V/1 kOhm Gleichstrom (DC) von einer Batterie und 13 V / 1 kOhm Wechselstrom (AC) von einem Generator getestet. Unbehandelte Kiefersplintholzproben und Proben mit angeschlossenen Kabeln, aber ohne Verbindung zu einer elektrischen Quelle, wurden als Referenz verwendet.

2.1.1 PLEOT

Ein niedrig pulsierendes und schwach elektrisches Feld wird mithilfe eines Generators hergestellt und über Kabel und Elektroden an die Stirnflächen der Holzproben geleitet. Das Pulsmuster von PLEOT unterscheidet sich dabei deutlich von herkömmlichem Gleichstrom (DC) und 50 Hz Wechselstrom (AC). Das aufgebaute magnetische und elektrische Feld liegt bei einer Messung bis 2kHz durch die Firma Nemko (196248 TRF SURVEY, 2012) weit unterhalb der durch die Richtlinien der Internationalen Strahlenschutz Vereinigung empfohlenen Grenzwerte (Ahlbom et al. 1998). Das elektrische Feld von PLEOT wird für die gesamte zu testende Zeit installiert und wird im Zusammenhang mit einer holzschützenden Wirkung nicht als Behandlung verstanden.

2.2 Wirksamkeit gegen holzerstörende Pilze

Der Versuch zur Wirksamkeit von PLEOT gegen holzerstörende Pilze wurde in Anlehnung an EN113 (1996) durchgeführt. Fichte (*Picea abies*) und Kiefersplintholzproben (*Pinus sylvestris*) mit den Abmessungen 25 x 15 x 50 mm³ wurden gegen *Coniophora puteana* und *Trametes versicolor* für 4 und 16 Wochen getestet. Zusätzlich wurden Holzproben für 4 Wochen zunächst unbehandelt einer Kolonisierung und dem Abbau durch den Pilz überlassen und anschließend an PLEOT angeschlossen (4+12 PLEOT). Hierbei sollte die Möglichkeit einer Kontrolle des pilzlichen Abbaus bei schon vorhandenem Befall getestet werden.

Die Holzproben wurden an ihren Stirnflächen jeweils mit einer positiven und einer negativen Elektrode verbunden, indem die Elektroden jeweils 10 mm tief in die Stirnflächen der Holzproben eingeführt wurden. Die Elektroden führten zu einer PLEOT-Stromquelle und waren für die gesamte Dauer des Versuches verbunden.

2.3 Schutz in Bodenkontakt

Kiefersplintholz- und Buchenproben mit den Abmessungen 5 x 10 x 100 mm³ wurden in Bodenkontakt nach ENV 807 (1999) für 32 Wochen getestet. Eine Braunfäule dominierte Erde aus Simlångsdalen (Schweden) wurde hierbei verwendet.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Einfluss unterschiedlicher elektrischer Felder auf holzerstörende Pilze

Um sicherzustellen, dass die pilzhemmende Wirkung durch ein bestimmtes Pulsmuster verursacht wird und nicht durch andere Stromquellen gleicher Spannung, wurden 3 verschiedene Stromquellen getestet. Die Ergebnisse nach 4, 8 und 12 Wochen zeigen, dass nur das PLEOT-System ausreichenden Schutz gegen *Coniophora puteana* bietet (siehe Abb. 1).

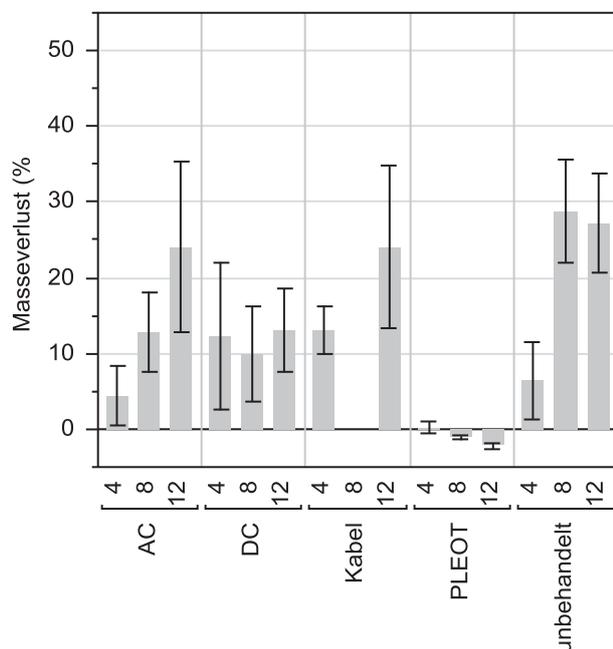


Abb. 1: Mittlerer Masseverlust von Kiefersplintholzproben (*Pinus sylvestris*) nach unterschiedlicher Dauer der Exponierung gegenüber dem Braunfäulepilz *Coniophora puteana* in unterschiedlichen elektrischen Feldern; der Masseverlust von unbehandelten Proben mit angeschlossenen Kabeln nach 8 Wochen wurde nicht getestet.

Eine zu beobachtende Massenzunahme der PLEOT-geschützten Proben nach 8 und 12 Wochen kann durch den Transport von Ionen in die Holzprobe erklärt werden. Die Möglichkeit, dass eingebrachte Ionen für die Schutzwirkung verantwortlich sind wurde daher untersucht, indem die Art und Menge des Ioneneintrags analysiert wurde. Die Wirkungsweise von PLEOT kann allerdings nicht durch Übertragung von Ionen in das Holz erklärt werden (Treu and Larnøy 2010). Weiterentwicklungen des Elektrodenmaterials führten zu einer Verringerung der eingebrachten Ionen aber nicht zu einer Effektivitätsminderung von PLEOT bezüglich seiner pilzhemmenden Wirkung.

3.2 Pilzhemmende Wirkung von PLEOT

Es konnte eine pilzhemmende Wirkung von PLEOT nach 4 und 16 Wochen für Fichte und Kiefersplintholz gegenüber einem Braunfäulepilz und einem Weißfäulepilz gezeigt werden. Der Masseverlust bei PLEOT-geschützten Proben war dabei deutlich unter 5 %.

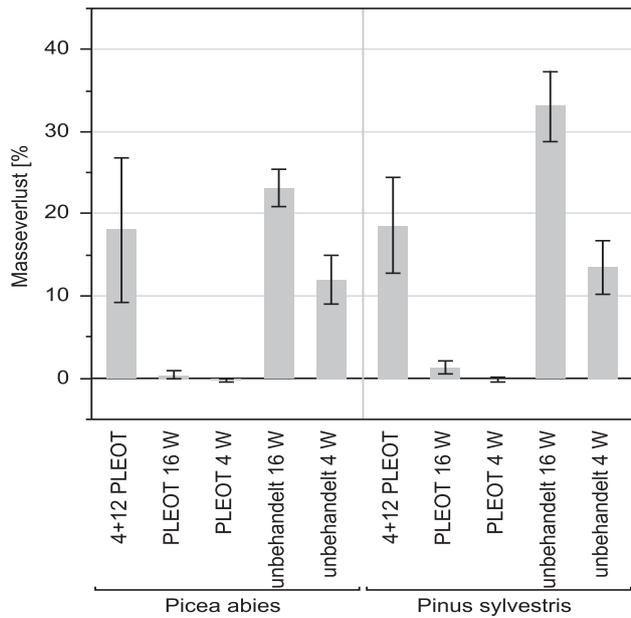


Abb. 2: Mittlerer Masseverlust von Fichte (*Picea abies*) und Kiefersplintholz (*Pinus sylvestris*) nach unterschiedlicher Dauer der Exponierung gegenüber dem Braunaefulepilz *Coniophora puteana*

Holzproben, die für 4 Wochen zunächst unbehandelt einer Kolonisierung durch den Pilz überlassen wurden und anschließend mit Hilfe von PLEOT geschützt werden sollten (4+12 PLEOT), zeigten für Fichte, infiziert mit einer Braunaefule, keinen deutlichen Effekt. Der Masseverlust bei Fichte nach 4 + 12 Wochen, hervorgerufen durch eine Weißfäule, ist jedoch signifikant kleiner als der Masseverlust von unbehandelten Proben nach 16 Wochen. Für Kiefersplintholz ist nach 4 + 12 Wochen sowohl der Abbau durch eine Braunaefule als auch durch eine Weißfäule deutlich geringer als der Abbau un behandelter Referenzproben nach 16 Wochen. Es wird daher angenommen, dass die Möglichkeit einer Kontrolle des pilzlichen Abbaus bei schon vorhandenem Befall besteht.

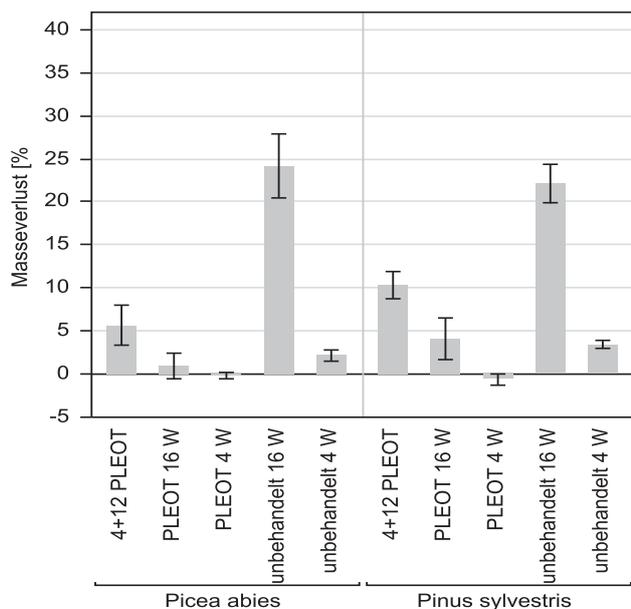


Abb. 3: Mittlerer Masseverlust von Fichte (*Picea abies*) und Kiefersplintholz (*Pinus sylvestris*) nach unterschiedlicher Dauer der Exponierung gegenüber dem Weißfäulepilz *Trametes versicolor*

3.3 Dauerhaftigkeit im Bodenkontakt

Versuche im Erdkontakt zeigen einen signifikant geringeren Masseverlust von PLEOT-kontrollierten Kiefer- und Buchenproben. Ihr Masseverlust ist in diesem Test jedoch höher als bei Versuchen gegenüber Braunfäule und Weißfäule. Der Einfluss von PLEOT auf die unbehandelten Proben kann allerdings nicht ausgeschlossen werden, da ihr Masseverlust als sehr gering erscheint. Es wird daher angenommen, dass PLEOT den Pilzabbau nicht nur der direkt angeschlossenen Proben, sondern auch der unbehandelten Referenzproben verringert hat.

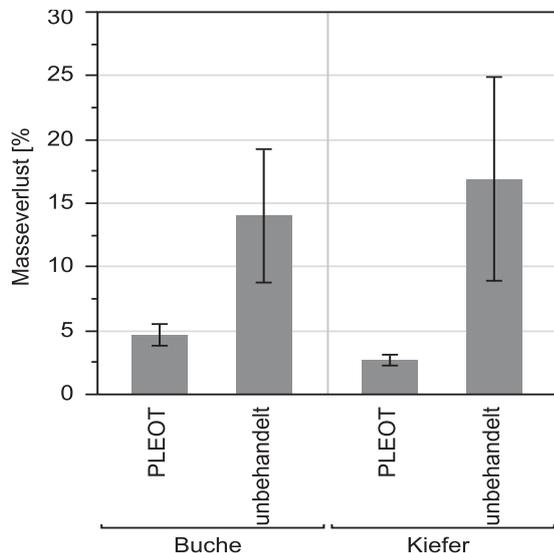


Abb. 4: Mittlerer Masseverlust von Buchen- (*Fagus sylvatica*) und Kiefersplintholz (*Pinus sylvestris*) nach 32 Wochen Test im Bodenkontakt

3.4 Verwendung unterschiedlicher Holzarten

Die in unterschiedlichen Tests untersuchten Holzarten Fichte, Kiefer und Buche konnten mit Hilfe von PLEOT vor einem Holzabbau durch holzerstörende Pilze geschützt werden. Weitere Holzarten wie Birke und Pappel sind noch im Test.

Besonders interessant dabei ist die Verwendung der Fichte und ihre Eignung für die Anwendung von PLEOT, da sie aufgrund ihrer schwer tränkbar Holzstruktur für viele holzschützenden Behandlungen nicht infrage kommt.

3.5 Wirkung gegen unterschiedliche Pilze

Die wachstumshemmende Wirkung von PLEOT auf unterschiedliche Braun- und Weißfäulepilze wurde getestet. Auch konnte ein Einfluss des elektrischen Feldes auf einige Oberflächenpilze nachgewiesen werden. Weitere Tests mit verschiedenen Oberflächenpilzen sind im Test.

Freilandversuche sollen außerdem die Wirksamkeit von PLEOT evaluieren. Hierbei wird auch die Kolonisierung von Oberflächenpilzen an PLEOT-geschützten Hausfassaden untersucht.

3.6 PLEOT und unterschiedliche Holzdimensionen

Laborversuche an unterschiedlich langen (3, 10 und 14 cm) Kiefersplint- und Fichtenproben zeigten keinen Einfluss der Probenlänge auf den Massenverlust nach 8 Wochen. Praxisabmessungen und die Anwendbarkeit von PLEOT sind Gegenstand einer andauernden Untersuchung.



3.7 Installation von PLEOT

Das Material der Kabel und Elektroden, die das pulsierende elektrische Feld auf die Holzproben übertragen, wurde im Laufe des Projektes optimiert, was zur Verringerung des Eintrags von Ionen in die angeschlossene Holzprobe führte. Die Ansprüche an das Material für Laborversuche unterscheiden sich dabei vermutlich von den Ansprüchen, die an das Material für eine Installationen in der Praxis gestellt werden. In Laborversuchen wurde beispielsweise der Einsatz von Leimen für die Befestigung der Elektroden an den Holzproben ausgeschlossen. Die bisherige Optimierung des Elektrodenmaterials und des Versuchsaufbaus konzentrierte sich auf die durchgeführten Laborversuche. In zukünftigen Praxisinstallationen sind vermutlich weitere Optimierungen erforderlich, wie beispielsweise der Abstand der Elektroden, die Wahl des Elektrodenmaterials und ihrer Befestigung.

3.8 Holzfeuchte

Der Holzfeuchte kommt im Rahmen der Wirksamkeit von PLEOT eine besondere Rolle zu. Das pulsierende elektrische Feld wird dabei durch die Holzfeuchte gesteuert, da die elektrische Leitfähigkeit des Holzes von der Feuchtigkeit abhängig ist. Bei geringer Holzfeuchte (<20 %) ist PLEOT weniger effektiv, gleichzeitig ist aber die Notwendigkeit eines Schutzes geringer.

Die Holzfeuchte von PLEOT-geschützten Holzproben liegt im Allgemeinen unterhalb der Holzfeuchte der unbehandelten Referenzproben. Nach wie vor ist die Holzfeuchte von PLEOT-geschützten Proben in Laborversuchen meist > 40 % und sollte daher günstig für einen möglichen Holzabbau durch den Pilz sein. Holz mit etwa 20 % Feuchtigkeit wird gegenüber Basidiomyceten-Angriff als geschützt betrachtet (Dix and Webster 1995). Die höhere Holzfeuchtigkeit der unbehandelten Proben ist auf den Pilz zurückzuführen.

4 Schlussfolgerung

- Unter den drei getesteten elektrischen Feldern ist PLEOT, das sich durch ein pulsierendes Pulsmuster auszeichnet, in der Lage, den Pilzabbau zu verhindern.
- Die Technologie konnte unterschiedliche Holzarten vor dem Abbau durch Weiß- und Braunfäule schützen. Desweiteren konnte gezeigt werden, dass der Abbau durch holzerstörende Pilze nach einer vierwöchigen Etablierung gestoppt werden konnte.
- Tests im Bodenkontakt zeigten signifikant geringere Masseverluste an PLEOT-geschützten Proben im Vergleich zu unbehandelten Proben.
- Unterschiedliche Holzarten wurden gegenüber einem Angriff durch holzerstörende Pilze getestet und konnten durch PLEOT geschützt werden. Weitere Pilzarten konnten ebenfalls im Wachstum gehemmt werden.
- Die Holzdimension zeigte in den bisherigen Untersuchungen im Labormaßstab keinen Einfluss auf die Wirksamkeit von PLEOT.
- Die Installation von PLEOT wurde im Rahmen von Laborversuchen optimiert. Dabei führte eine Optimierung der Elektroden zu einer Verringerung des Eintrags von Ionen in die angeschlossene Holzprobe. Weitere Versuche im Freiland machen vermutlich weitere Optimierungen erforderlich.



- Die Holzfeuchte steuert die Wirkung von PLEOT. Gleichzeitig werden reduzierte Holzfeuchten bei PLEOT-geschützten Proben im Vergleich zu unbehandelten Holzproben beobachtet. Eine aktive Reduktion der Holzfeuchte wird jedoch nicht als Wirkungsweise von PLEOT vermutet.

5 Ausblick

Zukünftige Untersuchungen beinhalten unterschiedliche Freilandtests in unterschiedlichen Klimaten sowie Tests zur Besiedelung durch Oberflächenpilze sowohl im Labor als auch im Freiland. Fassadensegmente an einem Testhaus wurden an das PLEOT-System angeschlossen und werden für die nächsten zwei Jahre evaluiert.

Literatur

- AHLBOM, A.; BERGQVIST, U.; BERNHARDT, J. H.; CESARINI, J. P.; COURT, L. A.; GRANDOLFO, M.; HIETANEN, M.; MCKINLAY, A. F.; REPACHOLI, M. H.; SLINEY, D. H.; STOLWIJK, J. A. J.; SWICORD, M. L.; SZABO, L. D.; TAKI, M.; TENFORDE, T. S.; JAMMET, H. P.; MATTHES, R.; P. Int Commission Nonionizing Radiation. (1998): Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Physics* 74(4):494-522.
- BJURMAN, J. (1996): Growth inhibitory effects on blue-stain fungi of applied electricity fields. in *The International Research Group on Wood Preservation*, Guadeloupe, France.
- BRAVERY, A. F. (1978): A miniaturised wood-block test for rapid evaluation of wood preservative fungicides. in *The International Research Group on Wood Preservation*, Peebles, Scotland.
- DIX, N. J.; WEBSTER, J. (1995): *Fungal ecology*. Chapman & Hall.
- EN 113 (1996): Wood preservatives – Method of test for determining the protective effectiveness against wood destroying basidiomycetes – Determination of the toxic values. European Committee for Standardisation (CEN), Brussels, Belgium.
- ENV 807 (1999): Wood preservatives- method of test for determining the toxic efficacy against soft rotting micro-fungi and other soil inhabiting micro-organisms.
- HATTORI, T.; TAMURA, T. (1939): On the Effect of Electricity upon the Growth of Wood-destroying Fungi. *Japanese Journal of Phytopathology* 9(4):211-222.
- HILL, C. A. S. (2006): *Wood modification : chemical, thermal and other processes*. John Wiley & Sons, Chichester, England; Hoboken, NJ.
- HOCK, V.; MOREFIELD, S.; BUSHMAN, J. B. (2006): Evaluating the performance of the electro-osmotic pulse basement dewatering system. *Materials Performance* 45(1):24-28.
- HOCK, V.; MOREFIELD, S.; MCINERNEY, M.; MARSHALL, O.; MARSH, C.; COOPER, S.; MALONE, P.; WEISS, C. (2005): Control of water migration through concrete using electro-osmosis. *Materials Performance* 44(7):42-47.



- KVANDE, T.; ALMÅS, A.-J.; McINNES, H.; HYGGEN, H. O. (2012): Klima- og sårbarhetsanalyse for bygninger i Norge, SINTEF Byggforsk- Kunnskapssystemer og sertifisering, Rapport 3 E0119, 44 S.
- MCINERNEY, M. K.; H. V. F. (1998): Electroosmotic Pulse Technology for Groundwater Intrusion Control in Concrete Structures. in 21st Army Science Conference. U. S. Army Construction Engineering Research Laboratories, Norfolk, Virginia, USA.
- ROWELL, R. M.; CALDEIRA, F.; ROWELL, J. K. (2010): Sustainable development in the forest products industry, Porto.
- SIMONS, P. J.; LEVY, J. F.; SPIRO, M. (1998a): Electrical migration of exogenous mineral ions through green sapwood of *Pinus sylvestris* L. (Scots pine). *Wood science and technology* 32(6):411-419.
- SIMONS, P. J.; SPIRO, M.; LEVY, J. F. (1998b): Electrical properties of wood- Determination of ionic transference numbers and electroosmotic water flow in *Pinus sylvestris* L. (Scots pine). *Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions* 94(2):223 - 226.
- SIMONS, P. J.; SPIRO, M.; LEVY, J. F. (1998c): Electrical transport of endogenous mineral ions in green sapwood of *Pinus sylvestris* L. (Scots pine). *Wood science and technology* 32(6):403-410.
- TORGOVNIKOV, G. (e.d.) (1993): Dielectric properties of wood and wood-based materials. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- TREU, A.; LARNØY, E. (2010): Wood protection by means of electro osmotic pulsing technology (PLEOT). in The International Research Group on Wood Protection, Biarritz, France.
- ZELINKA, S.; GLASS, S.; STONE, D. (2008): A Percolation Model for Electrical Conduction in Wood with Implications for Wood-Water Relations. *Wood and Fiber Science* 40(4):544-552.
- 196248 TRF SURVEY (2012): Målerapport- eksponering for elektromagnetiske felt, Nemko AS.



Möglichkeiten und Grenzen der BPD

Rainer Koch

Akzo Nobel Wood Coatings GmbH, Int. Technical Support Sikkens Joinery

Zusammenfassung

Da in der Vergangenheit praktisch keine gesetzliche Regelung zum Vertrieb und zur Anwendung von chemischen Holzschutzmitteln existierte, führte dies zu einem sehr großen Angebot von mehr oder weniger wirksamen Holzschutzmitteln, die grundsätzlich keiner Aufsicht unterlagen, obwohl fast immer biozide Substanzen zum Einsatz kamen, die eine fachgerechte Anwendung erforderten. Die deutsche Bauchemie stellte sich zwar dem erklärten Ziel in Eigenverantwortlichkeit entsprechende Maßnahmen zu ergreifen, allerdings waren diese letztendlich nicht zwingend und appellierten an der Bereitschaft der Hersteller und Verarbeiter entsprechend verantwortungsbewusst mit solchen kritischen Stoffen umzugehen.

Des Weiteren galt es natürlich auch, in einem immer stärker zusammenwachsenden Markt in Europa eine einheitliche Richtlinie hinsichtlich Anforderungen und Wirksamkeiten aufzustellen, die den unterschiedlichen Interessen an Bauten-, Gesundheits- und Umweltschutz unter der Berücksichtigung lokaler Gegebenheiten gerecht werden. Es ist daher nicht wenig verwunderlich, dass mit der Einführung der Biozidrichtlinie ein sehr komplexes Gesetz auf den Weg geschickt wurde, welches in der Umsetzung zu, zum Teil erhebliche, Herausforderungen führte.

1 Biocide Product Directive (BPD)

1.1 Historie

Hintergründe und Notwendigkeiten

1.1.1 Ziele der BPD

- Risiken für Mensch und Umwelt beim Einsatz von Biozid-Produkten verringern
- Ein einheitliches Zulassungs- und Bewertungsverfahren für die Wirksamkeitsprüfung
- Nur geprüfte und wirksame Produkte in den Verkehr bringen
- Gültig für ganz Europa
- Responsible Care: nur soviel wie nötig!
- Hohe Zulassungskosten und Zeitaufwand für das Bewertungsverfahren der Produkte notwendig.



1.2 Umsetzung

1.2.1 Ablauf des Verfahrens

Biozide Produkte mussten bis März 2002 identifiziert und notifiziert werden.

Das bedeutet:

- Identifizierung: Wurde ein Wirkstoff nur identifiziert, durften die entsprechenden Produkte noch bis ca. 2006 in Verkehr gebracht werden.
- Notifizierung: Durch eine Notifikation konnte ein Wirkstoff langfristig - über 2006 hinaus - in Verkehr gebracht werden. Voraussetzung ist hierbei eine Risikobewertung und die Aufnahme in eine „Positivliste“ durch das Ministerium.
- Keine Identifizierung, keine Notifizierung: Vermarktung nur bis Ende 2003

1.2.2 Zwei Möglichkeiten der Zulassung

- Der Normalfall ist ein Zulassungsverfahren (Anlage 1 der Richtlinie) Die zuständige Behörde bewertet die für Mensch und Umwelt von der Gesamtheit aller Stoffe in einem Produkt ausgehenden Risiken (z. B. Holzschutzmittel, antifouling Anstriche). Kosten ca. 30.000 – 200.000 €
- Das einfachere Verfahren ist das Registrierungsverfahren - Niedrig-Risiko-Produkte – (Anlage 1 A der Richtlinie)
Dies betrifft die Biozid-Produkte, welche für Topf- und Film-Konservierer in Produkten zum Einsatz kommen. Weitaus kostengünstiger

1.2.3 Positivliste (Anhang 1)

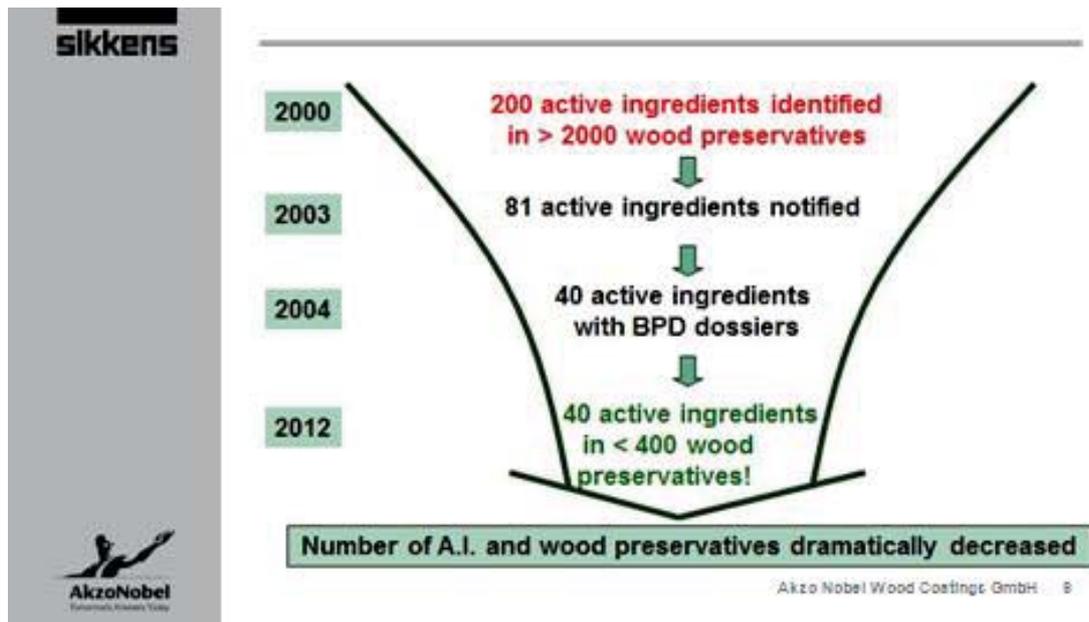
Die Mindestvoraussetzung für eine positive Behördenentscheidung ist, dass der im Biozid-Produkt enthaltene biozide Wirkstoff in einer europaweit geltenden Liste zu-lässiger Wirkstoffe (Anhang 1) der Richtlinien aufgeführt ist (z. B. Propiconazol, IPBC).

1.2.4 Terminplan

Am Beispiel für die Wirkstoffe Propiconazol und IPBC

- April 2010
Produkte auf der Basis von Propiconazol durften nur noch vertrieben werden, wenn das Zulassungsverfahren iniiert wurde. Es besteht eine Bearbeitungsfrist von zwei Jahren.
- 01. Juli 2010
Produkte auf der Basis von IPBC und Tebuconazol durften nur noch vertrieben werden, wenn das Zulassungsverfahren iniiert wurde. Es besteht eine Bearbeitungsfrist von zwei Jahren.

Eine Anmeldung und das Vertrieben neuer Biozide nach diesen Stichtagen ist nur nach Vorlage aller erforderlichen Prüfungen und Gutachten möglich.



1.3 Verbraucherschutz vs. Bautenschutz

1.3.1 Vorhersehbare Auswirkungen der Biozidrichtlinie

- Rückgang des Angebots von Wirkstoffen aufgrund hoher Registrierungskosten
- Rückgang der Zahl der Hersteller von Wirkstoffen und Biozid-Produkten
- Rückgang des Angebots an Holzschutzmitteln aufgrund hoher Registrierungskosten
- Häufigere Kontrollen durch Verwaltungen und Aufsichtsbehörden

1.3.2 Auswirkungen bei der Umsetzung

- Bauprodukte für statisch beanspruchte Konstruktionen (GK1 und GK2) und z. B. Gartenholz (GK4)
 - Hohe Anforderungen an die Lagerung der behandelten Hölzer wie undurchlässiger Untergrund oder überdachte Lagerstätten
 - Unzureichende Beschreibung der Prüfmethode resultieren in Änderungen und Konkretisierung der Anforderungen durch die Behörden
 - Erschwerte zeitliche Umsetzung in der Industrie durch ungeplante Nachforderungen

1.3.3 Dimensionsstabile Konstruktionen GK3 z. B. Fenster und Türen

- Zulassungsverfahren für einzelne Farbtöne
- Potenzierung von Risikofaktoren durch Iteration bei der Berechnung von Risiken
- Überzogene Forderungen durch mangelnde Fachkenntnis der Behörden
- Fokussierung der Risikobetrachtung auf dermale Exposition
- Diskriminierung von RAL-Produkten

1.3.4 Qualitätsmerkmale BPD vs. RAL

- Fäulnis
 - BPD: Prüfung gemäß EN 113 (Tränkverfahren 15 Min)
 - RAL: Prüfung gemäß EN 839 (Oberflächenbehandlung z.B Tauchen / Fluten)
- Bläue (gleiches Prüfverfahren gemäß EN 152.1 aber unterschiedliche Auswertung):
 - BPD leichter Bläuebefall erlaubt (mit 6 mal 1)
 - RAL kein Bläuebefall erlaubt (6 mal 0)

Fazit: RAL geprüfte Produkte bieten mehr Sicherheit!

sikkens

EN 152.1 Oberflächenverblauung



Bewertung: 6 mal 0 / min 1,0mm / Ø 1,5mm Foto: MPA Eberswalde

AkzoNobel
sikkens

EN 152.1 Oberflächenverblauung



Oberflächenverblauung: 0 Foto: MPA Eberswalde

AkzoNobel
sikkens

EN 152.1 Oberflächenverblauung



Oberflächenverblauung: 1 Foto: MPA Eberswalde

AkzoNobel
sikkens



1.4 Zusammenfassung Auswirkung der BPD

- Gesetzliche Regelung zu Bioziden europaweit
- Rückgang der Zahl der Hersteller und Wirkstoffe
- Rückgang des Angebots an Holzschutzmitteln
- Kostensteigerung durch Zulassungsverfahren
- Kostensteigerung bei Anwendung und Lagerung

sikkens

Danke

MPA Eberswalde
Materialprüfanstalt
Brandenburg GmbH
Prüfung, Überwachung,
Zertifizierung, Gutachten,
Forschung und Entwicklung

RÜTGERS
Organics

Wolman

AkzoNobel
Tomorrow's Answers Today

Akzo Nobel Wood Coatings GmbH 22



Erste Erfahrungen mit handwerklichen Beschichtungen (nicht industriell) auf modifizierten Hölzern. Belmadur, Thermoholz, Accoya, Kebony

J. Theo Hein

Dyrup GmbH, PPG Industries

Zusammenfassung

Bestimmte modifizierte Hölzer sind als Fensterholz siehe HO.06/4 zugelassen worden. Zur Beurteilung wurde die industrielle Fensterbeschichtung mit 100 µm Trockenschichtdicke genommen, jedoch keine Streichprodukte, z. B. für die Instandhaltung bzw. Instandsetzung mit niedrigeren Trockenschichtdicken. In diesem Projekt wurden die modifizierten Hölzer Belmadur, Hestia Thermoholz Buche, Kiefer, Fichte, Accoya, Kebony mit Streichprodukten lösemittel- und wasserbasiereten unterschiedlichen Lasuren und deckenden Holzfarben sowie Holzöle beschichtet. Es wurde das Beschichtungsverhalten insgesamt und besondere Effekte obiger Hölzer untersucht. Die beschichteten Hölzer wurden anschließend 18 Monate einer Freilandbewitterung ausgesetzt. Die Hirnholzflächen wurden nicht extra versiegelt (abweichend von der DIN EN 927-3), da der Einfluss über das Hirnholz mit untersucht werden sollte. Während der ersten Beschichtung von Accoya mit lösemittelbasierter Compactlasur wurden Benetzungstörungen (helle Fleckenpunkte) festgestellt, die aber nach der zweiten Beschichtung verschwanden. Diese Flecken hatten keinen Einfluss auf das Ergebnis der Freilandbewitterung. Bei der lösemittelbasierten Holzfarbe zeigten sich nach der ersten Beschichtung feine längliche braune Stippen, die nach der zweiten Beschichtung verschwanden. Ein ähnliches Bild zeigte sich bei der Beschichtung von Thermoholz Buche. Auch diese braunen Stippen hatten keinen späteren Einfluss auf die Freilandbewitterung, insbesondere nicht auf den einheitlichen weißen Farbton. Thermoholz zeigt eine extrem hohe Saugfähigkeit, sowohl bei der Grundierung als auch den Beschichtungen gegenüber den anderen modifizierten Hölzern. Accoya und Belmadur zeigten bei allen Lasurtypen keine Rissbildung, trotz starker Abwitterung der „minimal build“ Lasur.

Die deckend weißen Holzfarben zeigten nach 18 Monaten Freilandbewitterung bei allen modifizierten Hölzern, auch Thermoholz Buche, ein einwandfreies Bild. Auch das Biofouling auf der Beschichtungsoberfläche war gering.

Die Witterungsbeständigkeit der mit Holzöl behandelten Hölzer ist höher als die „minimal build Lasur“. Thermoholz Fichte, Kiefer und Belmadur haben zwar einen unterschiedlich starken Abbau des Ölfilms, sind aber in der Oberfläche noch intakt, ohne Rissbildung. Durch Nachölen ist eine einwandfreie Oberfläche ohne große Vorbehandlung möglich.

Thermoholz Buche und Kiefer zeigen im Gegensatz zu Thermoholz Fichte eine ausgeprägte Rissbildung. Die Einfärbung der Oberfläche ist noch gegeben, aber mit deutlichen Abwitterungsspuren. Thermoholz Buche ist weder mit Dünnschichtlasuren, Compactlasuren noch Holzöl vor Rissbildung zu schützen. Eine vorher aufgetragene Holzschutzimprägnierung vermindert zwar bei der Compactlasur die Rissbildung auf der Fläche, kann aber den Einfluss über das Hirnholz nicht verhindern.

Für Kebony liegen noch keine aussagekräftigen Ergebnisse der Freilandbewitterung vor, da die Holzproben stark verspätet zur Verfügung gestellt wurden.



Zusammenfassend gibt es zwar einige Erfahrungen mit den Beschichtungen dieser modifizierten Hölzer. Tendenzen über die Tauglichkeit und Dauerhaftigkeit sind erkennbar. Allgemeine Beschichtungsempfehlungen sind wegen der geringen Datenlage nur eingeschränkt möglich. Für die Praxis muss immer der Einzelfall betrachtet werden.

1 Abgrenzung modifizierte Hölzer zu chemischen Holzschutzbehandlungen

Modifizierte Hölzer haben zurzeit noch keinen großen Marktanteil. Sie werden in Zukunft an Bedeutung gewinnen durch die immer geringer werdende Verfügbarkeit von hochwertigen Tropenhölzer. Entscheidend für die Marktfähigkeit ist Qualität, Preis und Leistung. Bei der Holzmodifizierung wird z. B. die Struktur der Zellwand der Holzzellen verändert oder in die Zellhohlräume Stoffe eingelagert. Ziel dieser Modifizierung ist es, die natürlichen Eigenschaften zu verbessern. Insbesondere sollen die natürliche Dauerhaftigkeit erhöht und das Quell – und Schwindverhalten des Holzes verringert werden.

Dem gegenüber stellt ein chemischer Schutz mit Holzschutzmitteln, ob als Kesseldruck oder Vakuumimprägnierung eingebracht, keine Holzmodifizierung dar (DIN 68800-1:2011-10 unter 6.3). Auch nicht eine Holzvergütung durch Hydrophobierung oder Einbringen von Leinöl. Eine Holzmodifizierung ist keine Behandlung von Holz mit Bioziden bzw. der Erzeugung einer Biozidwirkung, wodurch holzerstörende Organismen zurückgehalten werden. Bei der Modifizierung soll durch die Veränderung des Holzgewebes ein Nichtabbau des Holzes durch holzerstörende Organismen erreicht werden. Ein Schutz vor Bläuebefall wird durch die Holzmodifizierung oft nicht erreicht, so dass eine vorbeugende Bläueschutzimprägnierung zumindest bei transparenten Beschichtungen anzuraten ist.

Bei den Modifizierungsverfahren wird unterschieden nach thermischer Modifizierung, Acetylierung, Verwendung polymerisierbarer Chemikalien, Vergütung durch Hydrophobierung. Modifizierte Hölzer werden heute im Fassadenbereich, als Garten- und Terrassendecks, aber auch zunehmend in der Fensterindustrie verwendet. Eine Aussage zu der Qualität des modifizierten Holzes kann nicht allgemein bzgl. des Modifizierungsverfahrens vorgenommen werden. Vielmehr ist im Einzelfall das gewählte Ausgangsmaterial, Holzart, Holzqualität in Verbindung mit dem Modifizierungsprozess zu betrachten. Dies ist insbesondere relevant, wenn es um die Eignung des modifizierten Holzes für den Bau von Holzfenstern geht. Deshalb sind in dem neuen Merkblatt HO.06/4 das vergütete Holz und die Forderung der Eigenschaften beschrieben. In letzter Zeit tauchen zu den eingangs erwähnten Namen weitere Fantasiebezeichnungen für modifizierte Hölzer auf.

Unter beschichtungstechnischen Gesichtspunkten sind nur die ersten drei Modifizierungsverfahren zu betrachten. Gemeinsam für alle diese modifizierten Hölzer ist, dass die beschichtungstechnischen Erfahrungen erst am Anfang stehen und Langzeit Praxiserfahrungen fehlen. Bei späteren Erhaltungs- und Instandsetzungsbeschichtungen kann der Handwerker mit einfachen Mitteln vor Ort diese modifizierten Hölzer nicht erkennen. Deshalb war es wichtig grundsätzliche beschichtungstechnische Eigenschaften, wie Trocknungsverzögerungen, Farbdurchschläge bei weißen Beschichtungen, Notwendigkeit eines Bläueschutzes, Bewitterungsverhalten in dem Projekt abzuklären.

1.1 Vergütung durch Hydrophobierung

Hydrophobierung ist keine Holzmodifikation, da keine Reaktion mit den Zellwandbestandteilen erfolgt. Durch die Verwendung von Ölen und Fettsäuren, Wachsen und Paraffinen, Silanen und Silikonen wird die Geschwindigkeit der Wasseraufnahme sowohl durch Kapillarkräfte als auch die Diffusion reduziert. Hydrophobiermittel können jedoch reaktive Gruppen enthalten, die eine besse-

re Fixierung im Holz bewirken. Hydrophobierung ist eine Oberflächenbehandlung mittels Vakuum oder Druck. Die Hydrophobierungsmittel schränken oft die Verklebbarkeit und die Beschichtbarkeit ein.

2 Modifizierungsverfahren

2.1 Thermisch modifizierte Hölzer (TMT)

Die Hitzebehandlungsverfahren sind in Europa am weitesten entwickelt. Es sind z. Z. unterschiedliche Verfahren am Markt um thermisch modifiziertes Holz herzustellen. Die Unterschiede der Verfahren liegen auf der einen Seite in dem Medium, worin die Modifizierung erfolgt, und in dem Zeit- und Temperaturverlauf des Prozesses. Das Prinzip der Modifizierung ist, dass bei höheren Temperaturen in der Regel über 150 °C sich die Zellwandbestandteile chemisch verändern. Dadurch werden Eigenschaften wie Dauerhaftigkeit und Dimensionsstabilität verbessert. Während dieses chemischen Umwandlungsprozesses findet eine Ausgasung und Auswaschung aus dem Holz statt. Thermisch modifiziertes Holz hat deshalb in der Regel eine geringere Dichte als das unbehandelte Holz. Durch dieses Verfahren werden die mechanischen Eigenschaften negativ beeinflusst vor allem die Biegefestigkeit, Elastizität und die Bruchschlagarbeit wird reduziert.

Die Oberfläche ist spröde und neigt zum Splintern. Thermisch modifiziertes Holz sieht in der Regel dunkelbraun aus und hat einen starken Eigengeruch nach Aalrauch. Teilweise ist in den ersten Monaten eine Anfälligkeit gegen Schimmel- und Bläuepilzbefall festzustellen. Dies wird dem in der Oberfläche angereicherten Zucker zugeschrieben. Die Hölzer sind sehr saugfähig und können große Mengen an Imprägnier- und Grundiermittel aufnehmen, ohne zu quellen. Bei direkter Beschichtung kann die Haftung durch das Wegschlagen der Bindemittel gemindert sein. Unter dem Namen Hestia (Fadura) wird z. B. modifizierte Buche vermarktet.



Abb. 1: Thermoholz Fichte, Buche, Kiefer



Abb. 2: Unterschiedliche „Qualitäten“ Accoya

2.2 Acetylierung

Bei diesem Verfahren wird das Holz in einem Autoklaven mit Essigsäureanhydrid unter Druck behandelt. Bei diesem Prozess wird ein Teil der Hydroxylgruppen der Zellwand durch Acetylgruppen ersetzt. Durch dieses Verfahren wird die Dauerhaftigkeit des Holzes gegenüber holzerstörenden Pilze verbessert. Ein Schutz des Holzes vor Bläue und Schimmelfall ist nicht gegeben. Deshalb müssen diese Hölzer mit einem geeigneten Bläueschutzmittel imprägniert werden. Hierbei ist darauf zu achten, dass die in der Imprägnierung verwendeten Biozide im sauren Bereich stabil sind. Durch die reduzierte Ausgleichsholzfeuchtigkeit wird das Quellen und Schwinden verringert sowie

die Härte des Holzes leicht erhöht. Die UV-Stabilität des Holzes wird verbessert und dadurch die Verwitterung der Oberfläche bei der Außenverwendung vermindert. Das Bewitterungsverhalten mit lackiertem, acetyliertem Holz ist verbessert. Die Festigkeitseigenschaften werden nicht negativ beeinflusst. Das Holz wird leicht bräunlich durch dieses Verfahren und riecht nach Essig. Das Holz ist sehr saugfähig und kann höhere Mengen an Imprägnier- und Grundiermittel aufnehmen.

Bei acetyliertem Holz kann die Holzfeuchtigkeit nicht mit Einschlagelektroden elektronisch geprüft werden. Durch die vorhandene Essigsäure entstehen Fehlmessungen. Bei diesen Hölzern kann nur im Darrverfahren, d. h., ein Holzstück wird bis zur Ausgleichsfeuchte getrocknet, die Holzfeuchte bestimmt werden. Wegen des sauren Potentials können nur Edelstahlschrauben verwendet werden. Alkalische Beschichtungen können auf diesen Hölzern koagulieren, d. h. quarkähnlich werden. Für den Fensterbau wird acetyliertes Plantagen Kiefernholz aus Neuseeland unter dem Namen Accoya vermarktet.

2.3 Polymerisierbare Chemikalien

In der Vergangenheit wurden Monomere und Polymere sowie natürliche Harze verwendet. Dabei wurden vor allem die Festigkeitseigenschaften verbessert und die Oberflächenhärte. Bei neuen Entwicklungen stehen nicht nur die mechanischen Eigenschaften im Vordergrund, sondern mehr die Erhöhung der Dauerhaftigkeit und die Dimensionsstabilität. Die Polymere reagieren entweder mit den Zellwandbestandteilen oder sie lagern sich in den Zellhohlräumen ein. Man unterscheidet drei Hauptgruppen, die Holzvernetzung, die Behandlung mit Melaminharzen und die Behandlung mit Furfurylalkohol.

2.3.1 Holzvernetzung

Bei der Holzvernetzung werden Polymere eingesetzt, die ursprünglich in der Textilindustrie verwendet wurden. Die Polymere dringen in die Holzzellwände ein, polykondensieren dort und verursachen eine Quervernetzung. Durch dieses Verfahren werden die Zellwände in einem permanent gequollenen Zustand fixiert. Die Folge ist eine Riffelstruktur zwischen Frühholz und Spätholz. Durch diese Quervernetzungen kann das Holz nicht mehr bis zur ursprünglichen Größe quellen. Durch die Behandlung mit z. B. Dimethyloldihydroxyethyleneurea (DMDHEU) wird die Dauerhaftigkeit des Holzes verbessert, die Dimensionsstabilität und die Oberflächenhärte des Holzes stark erhöht. Diese modifizierten Hölzer werden unter der Bezeichnung Belmadur angeboten.



Abb. 3: Riffelstruktur der Holzoberfläche



Abb. 4: Ausharzung Belmadur Kiefer

2.3.2 Melaminharze

Bei der Behandlung mit Melaminharz wird die Dauerhaftigkeit verbessert und die Dimensionsstabilität erhöht. Die Eigenschaften des modifizierten Holzes sind stark vom verwendeten Harz, der eingebrachten Menge und dem Prozess abhängig. Bislang wurde eine geringe Erhöhung des E - Moduls festgestellt.

2.3.3 Furfurylalkohol

Furfurylalkohol wird aus hydrolysierten Biomasse gewonnen. Die Eigenschaften von furfuryliertem Holz sind von der eingebrachten Menge des Furfurylalkohols (PFA) abhängig. Bei hohen Einbringungsmengen werden die Holzeigenschaften wie Härte, Dauerhaftigkeit gegenüber Pilze und Insekten sowie die Beständigkeit gegen Chemikalien und die mechanischen Eigenschaften einschließlich Dimensionsstabilität verbessert. Unter der Handelsbezeichnung Kebony werden die unterschiedlichsten modifizierten Holzarten wie Ahorn, Kiefer, Southern Yellow Pine angeboten. Furfuryliertes Ahorn wird im Bootsbau als Teakersatz verwendet; Southern Yellow Pine bei Terrassendecks als Epe-Ersatz.

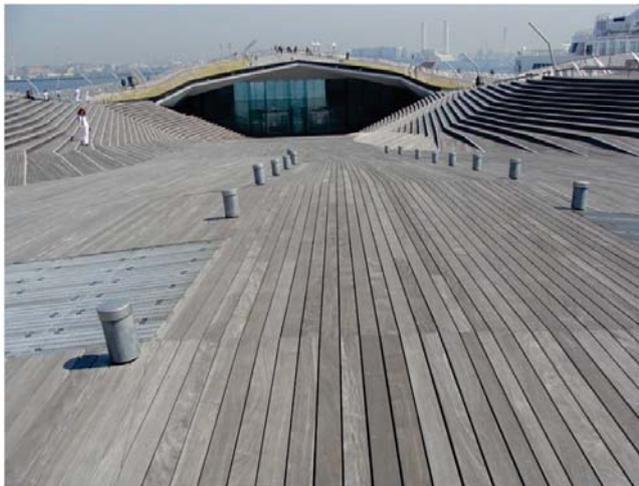


Abb. 5: Kreuzfahrtterminal Epe Deck, Yokohama



Abb. 6: Kebony Southern Yellow Pine

3 Beschichtung von modifizierten Hölzern

Bei der Zulassung von modifizierten Hölzern für den Fensterbau wurde auch die industrielle Applikation von typischen Fensterbeschichtungssystemen in der Regel auf Wasserbasis untersucht. Über die typischen Streichprodukte, die in der Erhaltung und später bei der Erneuerung eingesetzt werden, liegen kaum Erfahrungen vor. Deshalb hat die Dyrup GmbH diese Beschichtungen auf modifizierte Hölzer beschichtungstechnisch untersucht. Bei der beschichtungstechnischen Bewertung wurden das Applikationsverhalten von Imprägnierungen, Imprägnierlasuren, Dünnschichtlasuren, Compactlasuren, Holzöl und deckende Beschichtungssysteme (weiß) untersucht. Es wurden lösemittelbasierte Alkydharzsysteme als auch wasserbasierte Hybridsysteme (Alkydharz, Reinacrylat) und Holzfarben auf Reinacrylatbasis sowie Holzöle appliziert. Bewertet wurden das Applikationsverhalten, die Saugfähigkeit und der Verlauf, Störungen des Beschichtungsfilms einschließlich der Oberflächenoptik, Farbdurchschläge bei weißen Beschichtungen und das Trocknungsverhalten.



Tabelle 1: Übersicht Beschichtungstypen

Transparent	
GORI 88 Compactlasur	Dickschichtige Lasur, Basis Alkyd, Lösemittel
GORI 44 +	Dünnschichtlasur, Basis Alkyd Wasser
GORI 40 2 in 1	Minimal build Lasur, Basis Alkyd Lösemittel
GORI Bangkirai Holzöl	Holzöl auf Basis, Leinöl, Alkyd, Lösemittel
GORI Rapid Holzöl	Holzöl auf Basis Alkyd, Acrylat, Wasser
Deckend weiß	
GORI 99 Deck	Hybrid Basis Alkyd, Acrylat, Leinöl, Wasser
GORI 55 Holzfarbe	Basis Reinacrylat, Wasser
GORI 88 deckend	Dickschichtig, Basis Alkyd, Lösemittel

Nach einer Lagerzeit von 14 Tagen unter Normklima ähnlichen Bedingungen im Labor wurden die beschichteten Holzproben im Freiland nach den Vorgaben der DIN EN 927-3 45° nach Süd ausgerichtet 18 Monate lang bewittert und ausgewertet. So konnte das Langzeitverhalten bei 3 von 4 unterschiedlich modifizierten beschichteten Hölzern gegeneinander bewertet werden. Nach der Auswertung wurde die Bewitterung fortgesetzt.

In der Regel ist bei der Erstbeschichtung bekannt, dass es sich um modifizierte Hölzer handelt. Hingegen ist dies bei der späteren Instandhaltung und Instandsetzung vor Ort mit einfachen Mitteln nicht feststellbar, ob es sich um modifizierte Hölzer handelt. Ist bei neuen Hölzern oft eine Abgrenzung über den Geruch möglich, so gibt es keine Erfahrungen bei gealterten modifizierten Hölzern. Abhängig von der Modifizierungsart ist trotz der Resistenzaussage gegen holzerstörende Pilze ein Bläueschutz zwingend erforderlich. Die Feuchtigkeitsaufnahme ist teilweise erhöht. In diesen Fällen ist ebenfalls die Aufnahme von Imprägnierungen und Grundierungen erhöht. Dem gegenüber gibt es modifizierte Hölzer, die in der Oberfläche sehr glatt sind und nur eine eingeschränkte Aufnahme von flüssigen Anstrichstoffen haben.

Tabelle 2: Übersicht Beschichtungsuntergründe modifizierte Hölzer

Handelsbezeichnung	Modifizierungsverfahren
Hestia	Thermoholz, Buche, Fichte, Kiefer
Accoya	Acetyliertes Holz
Belmadur	Vernetztes Holz
Kebony	Furfuryliertes Holz

3.1 Beschichtungstechnische Erfahrungen mit Thermoholz

Bei der Beschichtung von Hestia (Thermoholz Buche) mit lösemittelverdünnbaren, alkydharzbasierten Holzfarben können beim ersten Anstrich dunkle Stippen und geringfügige Gelbdurchschläge auftreten.



Abb. 7: Dunkle Stippen nach dem ersten Anstrich, lösemittelverdünnbare Alkyd Holzfarbe

Nach dem zweiten Anstrich ist die Oberfläche einwandfrei. Beim Anstrich mit wasserverdünnbaren Holzfarben, z. B. mit GORI 99 einem Hybridsystem aus Alkydharz, Reinacrylat und Leinölzusatz sind ebenfalls beim ersten Anstrich minimale Gelbdurchschläge möglich, die beim zweiten Anstrich jedoch verschwinden. Mögliche spätere Gelbverfärbungen während der Nutzung im Innenbereich durch Migration waren nicht Bestandteil dieser Untersuchung, da sie auf den Außenbereich fokussiert waren. In der Freilandbewitterung wurde keine Migration festgestellt.

Bei der Holzfarbe GORI 55, einer wasserverdünnbaren Reinacrylat Holzfarbe, treten keine Veränderungen während der Beschichtung auf.

Bei dem ersten Anstrich von Thermoholz Hestia mit Imprägnierung, Compact-, Dünnschichtlasuren sowie Holzölen erweist sich der Untergrund als extrem stark saugend. Die Oberfläche wird jedoch gleichmäßig beschichtet. Es entsteht keine Trocknungsverzögerung. Bei den Beschichtungsversuchen auf Hestia wurde festgestellt, dass die Beschichtungen mit und ohne Imprägniergrund unproblematisch auszuführen sind.

3.2 Beschichtungstechnische Erfahrungen mit acetyliertem Holz Accoya

Bei der Beschichtung von Accoya mit alkydharzbasierten Holzfarben können nach dem ersten Anstrich feine, längliche, braune Stippen entstehen, die nach dem zweiten Anstrich verschwinden. Problemlos ist die Beschichtung mit wasserverdünnbaren Holzfarben sowohl auf Reinacrylat / Alkydharzbasis als auch auf nur Reinacrylat Basis. Ebenfalls hat die vorhergehende Applikation von einem Imprägniergrund keinen Einfluss auf das Beschichtungsergebnis. Da Accoya bläuegefähig ist, ist eine Vorbehandlung mit einem Bläueschutzgrund empfehlenswert.

Bei alkydharzbasierten, lösemittelverdünnbaren Compactlasuren (GORI 88) muss der Anwender beim ersten Anstrich mit geringer Saugfähigkeit und Trocknungsverzögerung rechnen. Dies wurde sowohl mit als ohne vorhergehendem Einsatz eines Imprägniergrundes beobachtet. Bei diesen transparenten Beschichtungssystemen wurden beim ersten Anstrich Benetzungstörungen beobachtet.

bachtet, die sich als helle Punkte im Lasurfilm abzeichneten. Beim zweiten Anstrich waren diese Benetzungsstörungen nicht mehr optisch sichtbar. Der zweite Anstrich zeigte keine besondere Auffälligkeit. Es wurden auch keine Trocknungsverzögerungen festgestellt. Bei der Beschichtung mit wasserverdünnbaren Dünnschichtlasuren traten keine Besonderheiten auf.



Abb. 8: Benetzungsstörungen, helle Flecken



Abb. 9: Braune feine längliche Stippen, lösemittelverdünnbare Alkyd Holzfarbe

Das Ölen von Accoya mit lösemittelhaltigen Holzölen zeigte ein leicht scheckiges Aussehen. Durch die vorhergehende Anwendung eines Imprägniergrundes wurde ein einheitliches Anstrichbild erzielt.

3.3 Beschichtungstechnische Erfahrungen mit vernetztem Holz Belmadur

Durch den Modifikationsprozess können bei harzreichen Hölzern (Kiefer) unterschiedlich starke Ausharzungen an der Holzoberfläche erzeugt werden, die auch tiefer ins Holz reichen können. Die uns vorliegenden Hölzer hatten teilweise eine harte Harzschicht. Das Abhobeln, bzw. Abschleifen ist prinzipiell möglich. Eine Entfernung des Harzes durch Abwaschen mit einer Nitrouniversalverdünnung war nicht möglich. An den harzfreien Stellen ist das Holz sehr saugfähig und daher eine gute Haftung der Beschichtung mit dem Untergrund zu erwarten. Die stark verharzten Bereiche sind selbst nach dem Abschleifen als kritischer Untergrund anzusehen. Die Applikation von alkydharzhaltigen Compact- und Dünnschichtlasuren sowie Holzölen war unproblematisch möglich, obwohl die Saugfähigkeit des Holzes stark schwankte. Weiße deckende Beschichtungen, sowohl lösemittel- als auch wasserverdünnbare, zeigten keine Auffälligkeiten.

3.4 Beschichtungstechnische Erfahrungen mit furfuryliertem Holz, Kebony

Die beschichtungstechnischen Untersuchungen erfolgten an modifiziertem Southern Yellow Pine. Keybony zeichnet sich durch eine sehr glatte Oberfläche aus. Beim ersten Anstrich ist noch eine ausreichende Saugfähigkeit auf der Gesamfläche vorhanden. Beim zweiten Anstrich ist die Saugfähigkeit vermindert. Dadurch stellt sich bei Alkydharzsystemen und Ölen eine verzögerte Trocknung ein. Dieser Effekt ist sowohl bei den lösemittelhaltigen als auch wasserbasierten Beschichtungen vorhanden. Die Saugfähigkeit des Frühholzes ist stärker als des Spätholzes. Deshalb wirkt die Beschichtung auf dem Frühholz matter als auf dem Spätholz und dadurch sind die Fladerungen sehr gut sichtbar. Besonders bei Imprägnierlasuren (minimal build) und Dünnschichtlasuren ist dieser Effekt ausgeprägt. 2 Anstriche mit einer Compactlasur ergeben eine fast lackartige Oberfläche. Bei deckenden Beschichtungen wurde dieser Effekt nicht festgestellt.

Besonderheiten während der Applikation wurden nicht beobachtet. Die Aufnahme des Beschichtungsstoffes und die Verteilung waren gleichmäßig, ebenfalls der Verlauf. Es wurden keine Benet-

zungsstörungen, Farbdurchschläge von Holzinhaltsstoffen oder Reaktionsprodukte der Furfurylisierung festgestellt. Die Beschichtungen zeigten eine gute Haftung zum Untergrund (Klebebandabrißtest). Gitterschnitt bzw. Messungen mit dem Stempelabzugsverfahren (Nasshaftung) wurden nicht durchgeführt.



Abb. 10: Glanzunterschiede Frühholz Spätholz

4 Langzeitverhalten in der Freibewitterung

Die deckend weißen Beschichtungen zeigten bei allen modifizierten Hölzern ein intaktes Erscheinungsbild. Unterschiede sind nur bei den einzelnen Beschichtungstypen bzgl. Anschmutzung und biologischem Befall mit Mikroorganismen festzustellen. Diese sind jedoch unabhängig von dem modifizierten Holztyp.

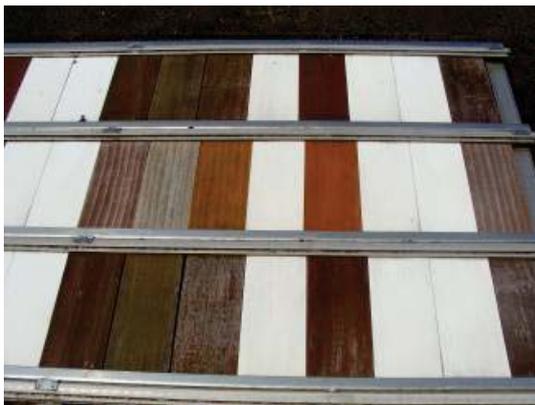


Abb. 11: Freibewitterung 45° Süd



Abb. 12: Thermoholz Buche mit und ohne Imprägnierung

Bei Lasuren und Ölen gibt es große Unterschiede sowohl zwischen den Beschichtungstypen als auch den modifizierten Hölzern. Die Compactlasur zeigte die besten Ergebnisse auf allen Holztypen. Dünnschichtige Lasuren und Öle zeigten das stärkste Abwitterungsverhalten, bis zum vollständigen Abbau. Es sind deutliche Unterschiede zwischen Beschichtungen mit vorhergehender Imprägnierung und ohne vorhanden. Bei kritischeren Holztypen ist der Beschichtungszustand mit vorhergehender Imprägnierung deutlich besser.

4.1 Thermoholz

Thermoholz Buche und Kiefer zeigte bei lasierenden Beschichtungen nach 18 Monaten eine deutliche Rissbildung. Diese ist bei der Dünnschichtlasur (Trockenschichtdicke ca. 30 µm) und der „minimal build“ Lasur (Trockenschichtdicke unter 5 µm) besonders stark ausgeprägt. Auch die dickschichtigere Compactlasur (Trockenschichtdicke ca. 45 µm) zeigte eine Rissbildung im Holz bei Buche. In der Aufweichungszone des Hirnholzes ist die Rissbildung verstärkt. Bei Fichte war nur eine äußerst geringe Rissbildung festzustellen, auch bei den gering filmbildenden Dünnschichtlasuren. Die Rissbildung bei Buche war bei allen 3 Lasurbeschichtungen mit einer vorhergehenden Holzschutzimprägnierung deutlich geringer als ohne. Besonders groß war der Unterschied bei der Compactlasur.



Abb. 13: Thermoholz Buche



Abb. 14: Thermoholz Fichte

Holzöle, wie sie bei Terrassendecks eingesetzt werden, konnten die Rissbildung von Thermoholz Buche nicht verhindern. Bei Kiefer und Fichte wurde keine Rissbildung festgestellt.



Abb. 15: Thermoholz Kiefer

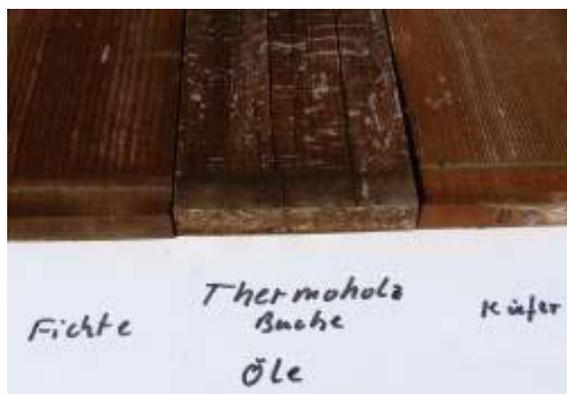


Abb. 16: Thermoholz Fichte, Buche, Kiefer Holzöl

Die deckend weißen Beschichtungen hatten eine intakte Oberfläche bei allen 3 Holzarten und keine Rissbildung; auch nicht in der Aufweichungszone des Hirnholzes.

Thermoholz Buche und Kiefer reagiert auf Feuchteschwankungen mit Rissbildung. Dickschichtige deckende Beschichtungssysteme können diese Rissbildung vermeiden. Dazu muss sichergestellt sein, dass die Beschichtung intakt bleibt.

4.2 Accoya

Accoya zeigte nach 18 Monaten Freilandbewitterung keine Rissbildung. Die „minimal build“ Lasur war vollständig abgewittert. Die Oberfläche zeigt eine Vergrauung und leichten Bläuebefall. Die Dünnschichtlasur ist weniger stark abgewittert. Aber es haben sich dunkle Flecken gebildet, was auf einen Abbau der Beschichtung und beginnende Migration der Essigsäure hinweist. Die Compactlasur zeigt eine einwandfreie Oberfläche, eine geringe Farbtonveränderung und keinen Bläuepilzbefall.

Die deckend weißen Beschichtungen sind in einem einwandfreien Zustand. Aus der Praxis ist bekannt, dass bei unbeschichtetem, bewittertem Accoya eine braune Flüssigkeit analog der Gerbsäure bei Eiche austritt und angrenzende Bereiche stark verfärben kann. Selbst nach mehreren Jahren sind diese Flecke noch vorhanden und bauen sich nicht ab.



Abb. 17: Braune Farbausläufer Accoya



Abb. 18: Accoya Abwitterungsverhalten Lasuren

4.3 Belmadur

Belmadur zeigte nach 18 Monaten Freilandbewitterung ebenfalls keine Rissbildung. Die „minimal build“ Lasur war vollständig abgewittert. Die Oberfläche wirkt vergraut und mit beginnendem Bläuepilzbefall. Die Dünnschichtlasur hat noch einen intakten Farbfilm, jedoch mit beginnender Fleckenbildung und Bewitterungsspuren. Die Compactlasur zeigt einen einwandfreien Farbfilm ohne Veränderungen. Belmadur mit einer Holzölbehandlung zeigte starke Abwitterungsspuren. Auf dem Frühholz war noch die Pigmentierung sichtbar. Die deckenden Beschichtungen sind noch alle intakt.



Abb. 19: Belmadur Abwitterungsverhalten



Abb. 20: Belmadur Holzöl



4.4 Kebony

Die Kebony Holzmuster waren schwierig zu bekommen. Deshalb wurden diese Hölzer erst 2012 beschichtet und der Freilandbewitterung zugeführt. Deshalb lagen zum Zeitpunkt der Abfassung dieses Berichtes noch keine aussagekräftigen Ergebnisse vor.

5 Vergleich der mit Holzöl behandelten modifizierten Hölzer

Die mit Holzöl behandelten Hölzer haben eine begrenzte Haltbarkeit und müssen regelmäßig nachgeölt werden. Die Witterungsbeständigkeit ist jedoch höher als die „minimal build“ Lasur. Thermoholz Fichte, Kiefer und Belmadur haben zwar einen unterschiedlich starken Abbau des Ölfilms, sind aber in der Oberfläche noch intakt ohne Rissbildung. Durch Nachölen ist eine einwandfreie Oberfläche ohne große Vorbehandlung möglich. Thermoholz Buche zeigt eine ausgeprägte Rissbildung. Die Einfärbung der Oberfläche ist noch gegeben, aber mit deutlichen Abwitterungsspuren. Thermoholz Buche ist weder mit Dünnschichtlasuren, Compactlasuren noch Holzöl vor Rissbildung zu schützen.

Danksagung

Ich danke meiner Frau Regina für das Verständnis auch im Urlaub am Manuskript zu arbeiten.

Den GORI Anwendungstechnikern Jost Schöneweis und Horst Moritz für die Beschichtung der Proben, Betreuung der Bewitterung und den anregenden Diskussionen.

Den Firmen Enno Roggemann GmbH & CoKG Bremen, BASF SE Ludwigshafen, Holz Schiller GmbH Regen, Gratenau Holz GmbH Bremen für die Bereitstellung der Holzproben.

Literatur

HEIN, J. T. (2009): 3.2 Beschichtung von Holzfenstern, 53ff, Holzfenster, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH&CO KG, Köln.

HEIN, J. T. (2010): Natürliche Eigenschaften Verbessern, Der Maler- und Lackierermeister, 5/2010, 18ff, Verlag W. Sachon GmbH+Co 87714 Mindelheim.

DIN 68800-1 (2011): Holzschutz- Teil 1: Allgemeines, Beuth Verlag GmbH 10772 Berlin.

DIN EN 927-3 (2007): Beschichtungsstoffe- Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für Holz im außenbereich- Teil 3, Beuth Verlag GmbH 10772 Berlin.

VFF-Merkblatt HO.06-4 Holzarten für den Fensterbau- Teil 4: Modifizierte Hölzer (2008-6), Verband der Fenster- und Fassadenhersteller e. V., Frankfurt am Main.

Bildnachweis

Bilder 1-20 T. Hein, Dyrup GmbH, Mönchengladbach.



Bestimmung der natürlichen Dauerhaftigkeit von Holz – Teil 1: Stand der aktuellen Diskussion

Susanne Bollmus¹, Antje Gellerich¹, Christian Brischke², Eckhard Melcher³

¹ Georg-August-Universität Göttingen, Abteilung Holzbiologie und Holzprodukte

² Leibniz Universität Hannover, Fakultät für Architektur und Landschaft, Institut für Berufswissenschaften im Bauwesen

³ THÜNEN Institut für Holztechnologie und Holzbiologie

Zusammenfassung

Die natürliche Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten ist für die Holzverwendung eine wichtige Eigenschaft, die die Widerstandsfähigkeit von Holz und Holzprodukten gegenüber holzerstörenden Pilzen und Insekten beschreibt. Da die Gebrauchsdauer von Holz entscheidend von dieser Eigenschaft abhängt, gibt es eine Vielzahl von Normen und Regelwerken, die auf die natürliche Dauerhaftigkeit und hierbei speziell auf DIN EN 350-2 Bezug nehmen. Während in Teil 1 der DIN EN 350 insbesondere die Verfahren zur Bestimmung der natürlichen Dauerhaftigkeit beschrieben werden, findet sich in Teil 2 unter anderem eine Auflistung der Holzarten mit Angaben der Dauerhaftigkeitsklassen. Diese Norm befindet sich momentan in der Überarbeitung und gibt Anlass zur Diskussion unter Experten. Dieser Beitrag gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der Diskussion.

1 Dauerhaftigkeit vor dem Hintergrund der Neuauflage der DIN EN 350

Die Norm DIN EN 350 (1994) befasst sich mit der „natürlichen Dauerhaftigkeit von Vollholz“, wobei Teil 1 die „Grundsätze für die Prüfung und Klassifikation“ behandelt und Teil 2 die „natürliche Dauerhaftigkeit gegenüber Holz zerstörenden Organismen, wie z. B. Pilzen oder Termiten und die Tränkbarkeit von ausgewählten Holzarten von besonderer Bedeutung in Europa“ angibt. Beide Teile der Norm befinden sich momentan innerhalb des CEN/TC 38 in der Überarbeitung. Allerdings liegt den nationalen Normausschüssen noch kein Entwurf zur Diskussion oder Abstimmung vor.

Jedoch zeichnet sich ab, dass es künftig nur noch eine DIN EN 350 geben wird, d. h. Teil 1 und 2 werden zusammengeführt. Offen ist hingegen die Frage, ob die Klassifizierung (ehemals Teil 2) einen „normativen“ oder „informativen“ Status haben wird. Der Unterschied besteht darin, dass ein „normativer“ Anhang verbindliche Angaben enthält, während ein „informativer“ der Orientierung dienen würde. Der Vorteil eines informativen Anhangs hingegen ist, dass dieser im Gegensatz zu einem normativen Text schneller überarbeitet bzw. aktualisiert werden kann. Demgegenüber wird die reine Prüfmethodik (Teil 1) ihren normativen Status behalten; allerdings ist in der überarbeiteten Version mit signifikanten Änderungen zu rechnen:

- Es wird ist eine deutlichere Trennung zwischen Ergebnissen aus Freiland- (in Anlehnung an DIN EN 252: 1989) und Laboruntersuchungen einschließlich einer höchstwahrscheinlich unterschiedlichen Kennzeichnung angestrebt. Dies hätte zur Folge, dass Ergebnissen aus Freilanduntersuchungen eine höhere Priorität gegeben wird als Daten aus Labortests. Sofern die Einstufung auf Laborergebnissen erfolgen soll, wird diese nur vorläufig sein und



Freilandergebnisse sind nachzureichen. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass dieses Ranking bereits in der aktuellen Norm vorgegeben ist, allerdings geht aus den Daten in Teil 2 nicht hervor, ob die Klassifizierung auf Labor- oder Freilandergebnissen beruht.

- Im Fall von Laboruntersuchungen soll zur Bestimmung der Dauerhaftigkeit gegenüber Pilzen primär nur noch nach CEN/TS 15083-1 und -2 (2005) verfahren werden, wobei neben der Bestimmung des Masseverlustes weitere Auswertemodi (z. B. Bestimmung des Elastizitätsmoduls (MOE) bei einem Test nach CEN/TS 15083-2) zum Tragen kommen. In diesem Zusammenhang sei erwähnt, dass für eine Klassifizierung nach EN 350-1 (1994) Moderfäuleprüfungen gefordert waren, ausgenommen, es lagen Ergebnisse aus Freilandversuchen vor. Allerdings war zum Zeitpunkt des Erscheinens der Norm im Jahr 1994 kein geeigneter Prüfstandard verfügbar. Mit dem Erscheinen des CEN/TS 15083-2 im Jahr 2005 ist diese Prüfung nunmehr auch unter Laborbedingungen möglich.
- Erhöht werden soll auch die Anzahl der Bäume (von bisher 3 auf künftig 5), aus welchen das Untersuchungsmaterial entnommen wird, wodurch sich zwangsweise auch die Probenanzahl und der Prüfumfang erhöhen würde. Greift man bereits auf Schnittholz zurück, sind die Prüfkörper aus mindestens 30 Bohlen zu fertigen, sofern nicht sichergestellt ist, dass das Material aus eben 5 verschiedenen Bäumen stammt. Je Parameter (z. B. splintnahes oder marknahes Kernholz) sind mind. 6 Prüfkörper zu entnehmen. Diese Erweiterung der Prüfkörperanzahl ist aus wissenschaftlicher Sicht begrüßenswert. Allerdings ist anzumerken, dass auch eine Anzahl von 5 Bäumen bei der Untersuchung einer Provenienz sehr gering ist und die Ergebnisse nicht unbedingt direkt auf andere Provenienzen übertragbar sind.
- Wichtig erscheint, dass in dem Abschnitt „Grundlagen zur Klassifizierung der Dauerhaftigkeit“ darauf hingewiesen wird, dass von der natürlichen Dauerhaftigkeit nicht auf die „Gebrauchsdauer“ geschlossen werden kann. Zitat: *„Results present figures relative to reference species and they do not express absolute values of service life.“*

Bereits in DIN EN 350-2 (1994) wird darauf hingewiesen (Abschnitt 4.2.2), dass Holz in Abhängigkeit von seinen Eigenschaften in einer anderen Gebrauchsklasse als 4 eine abweichende Dauerhaftigkeit haben kann. Ob es künftig daher eine Klassifizierung der Dauerhaftigkeit in Abhängigkeit von der Gebrauchsklasse geben wird, ist nach wie vor offen. Zumindest wurde eine zusätzliche Angabe „Dauerhaftigkeit in GK 3“ nicht grundsätzlich abgelehnt. Ein Aspekt, der hierbei zu berücksichtigen ist, ist die Verfügbarkeit/Bereitstellung valider Daten aus Freilanduntersuchungen. Nach wie vor ist ungeklärt, welche Methoden zur Prüfung der natürlichen Dauerhaftigkeit in GK3 zur Anwendung kommen können. Der Lap-Joint-Test (ENV 12037: 1996) ist zwar prinzipiell möglich, aufgrund der klimatischen Bedingungen in den meisten Regionen Europas aber sehr langwierig und folglich kaum praktikabel (Brandt et al. 2011, Palanti et al. 2011, Brischke et al. 2012a).

An dieser Stelle sei noch einmal hervorgehoben, dass sich die in Überarbeitung befindliche DIN EN 350 auch „nur“ mit der Klassifizierung von Dauerhaftigkeit und Tränkbarkeit beschäftigt, eine von vielen Seiten geforderte Anleitung zur Verwendung der Dauerhaftigkeitsklassen in Zusammenhang mit einer Gebrauchsdauervorhersage (LCA Analyse) aber bisher nicht vorgesehen ist.

Da sich die Bearbeitung der DIN EN 350 trotz diverser Fortschritte und Änderungsvorschläge immer noch in einem vergleichsweise frühen Stadium befindet, war es nicht überraschend, dass im Zuge der Überarbeitung von DIN 68800-1 (2011) für einige Holzarten (z. B. sibirischer Lärche) auf Basis verschiedener Datenquellen Anwendungsbereiche eröffnet wurden, die sich unter Berück-



sichtigung von DIN EN 350-2 (1994) und DIN EN 460 (1994) so nicht unbedingt ergeben hätten (Koch et al. 2007, Rapp et al. 2010).

2 Bedeutung von Labor- und Freilandergebnissen

Die Bestimmung der natürlichen Dauerhaftigkeit (EN 350-1: 1994) beruht häufig zunächst auf Laboruntersuchungen. Es ist allerdings bekannt, dass diese nicht direkt auf Freilandversuche übertragbar sind (Scheffer und Morrell 1993; Augusta 2007; Rapp et al. 2010). Da sich die Ergebnisse der Dauerhaftigkeitsbestimmung zwischen Labor- und Freilanduntersuchungen teilweise erheblich unterscheiden, kann die Bestimmung im Labor allenfalls als Richtwert angesehen werden. Dies gilt für einheimische Laub- und Nadelhölzer (Augusta 2007; Brischke et al. 2009) genauso wie beispielsweise für thermisch behandelte Kiefer (TMT Pine), die von Plaschkies et al. (2010) untersucht wurde.

Kritisch zu sehen ist in diesem Zusammenhang, dass momentan nicht generell zwischen den Dauerhaftigkeiten in den unterschiedlichen Gebrauchsklassen GK 3 (Außenanwendung ohne Erdkontakt) und GK 4 (Außenanwendung mit Erd- oder Süßwasserkontakt) gemäß DIN EN 335-1 (2006) unterschieden wird. Erfahrungswerte zeigen, dass sich die Dauerhaftigkeiten im Außenbereich in Abhängigkeit der Gebrauchsklassen unterscheiden (Brischke et al. 2009; Rapp et al. 2010).

Für die Bestimmung der Dauerhaftigkeit im Erdkontakt hat sich der Standard DIN EN 252 (1990) etabliert. Da aber Holz im Freiland überwiegend außerhalb des Erdkontaktes verbaut wird, wird die Frage nach einer geeigneten Testmethodik für die Bestimmung der Dauerhaftigkeit in GK 3 unter Experten seit Jahren heftig diskutiert. Es stehen verschiedene Tests, teilweise standardisiert wie Lap-Joint-Tests (ENV 12037:1996) genauso zur Verfügung, wie weitere bisher nicht oder nur außerhalb Europas normativ geregelte Methoden (z. B. Horizontal Double-Layer-Test, Sandwich-Test, Ground-Proximity-Test oder Blocktest). In diesem Zusammenhang gilt es, unter anderem folgende Aspekte zu definieren:

- Laufzeiten
 - teilweise sind lange Versuchszeiträume in Abhängigkeit der Testmethode notwendig,
- Auswertungsmodus
 - Bezugsgröße: Mittelwert, Median oder ein geringeres Perzentil,
- Feuchtebedingungen
 - Befall durch Braun-, Weiß- und/ oder Moderfäule.

Eine ebenfalls noch nicht beantwortete Frage schließt sich an die Korrelation zwischen Ergebnissen aus Moderfäuleversuchen im Labor (CEN/TS 15083-2: 2005) und Freilandversuchen (DIN EN 252: 1990) an. Gemäß DIN EN 350-1 (1994) war der bisher häufig durchgeführte Laborversuch zur Überprüfung der „Resistenz gegenüber Moderfäule und anderen erdbewohnenden Mikroorganismen“ (ENV 807: 1994) nicht zur Klassifizierung der Dauerhaftigkeit geeignet. Verschiedene Untersuchungen deuten aber darauf hin, dass dieser Test höhere Korrelationswerte zu Freilanduntersuchungen ergibt (Augusta 2007; Brischke 2009) als z. B. Untersuchungen mit Basidiomyceten-Reinkulturen (DIN EN 113: 1996 oder CEN/TS 15083-1: 2005). Seit 2005 existiert der Labortest CEN/TS 15083-2, in dem in Abhängigkeit der Holzart die Dauerhaftigkeitsklassifizie-



rungen über den Masseverlust (Laubhölzer) bzw. die Reduzierung des Elastizitätsmoduls (Nadelhölzer) erfolgen. Ergebnisse dieses Tests sind aber kaum veröffentlicht, sodass wissenschaftliche Untersuchungen über eine Korrelation zwischen diesen und Freilandergebnissen nahezu unmöglich sind. Jedoch sollten laufende insbesondere aber künftige wissenschaftliche Untersuchungen zeigen, ob bzw. inwieweit mittels dieser Testmethodik realitätsnahe Ergebnisse zu generieren sind.

Ein weiterer Aspekt in dieser Diskussion ist die Vergleichbarkeit von Testergebnissen aus Dauerhaftigkeitsversuchen verschiedener Laboratorien. Es kommt häufig vor, dass von Testmethodiken abgewichen wird oder Ergebnisse nur teilweise oder verschlüsselt publiziert werden. Insbesondere im Hinblick auf den normativen oder informativen Anhang der neuen DIN EN 350 (ehemals DIN EN 350-2) wäre eine Transparenz der Daten wünschenswert. Es ist zum Beispiel heute nicht mehr lückenlos nachvollziehbar, auf welche Untersuchungen bzw. Daten sich die Klassifizierungen in der momentan gültigen DIN EN 350 (1994) beziehen. Hinzu kommt, dass für die wissenschaftliche Interpretation der Resistenz gegenüber holzabbauenden Pilzen eine Klassifizierung der Dauerhaftigkeit nicht aussagekräftig ist. Wünschenswert wären Daten zum Masseverlust ggf. auch in Relation zum Masseverlust von Referenzholzarten. Allerdings wäre ein Endverbraucher mit der Interpretation dieser Daten wiederum überfordert.

Eine Ergänzung stellt die IRGWP Durability Database mit Testergebnissen zu Dauerhaftigkeitsuntersuchungen dar, die sich momentan im Aufbau befindet (Brischke et al. 2012b). Dabei schlagen die Autoren vor, Ergebnisse aus Dauerhaftigkeitsversuchen von folgenden Materialien zu veröffentlichen:

- Natives Holz
- Holzschutzmittelbehandeltes Holz
- Thermisch und chemisch modifiziertes Holz
- Hydrophobiertes Holz
- Komposite

Der Vorteil einer solchen Datenbank, in die Wissenschaftler weltweit Daten einpflegen könnten, wäre, dass sich die Fülle von Ergebnissen, die momentan generiert aber nicht veröffentlicht werden, übersichtlich darstellen ließe. Unterschiede der Dauerhaftigkeit von Holz aus verschiedenen Provenienzen sowie Veränderungen der Dauerhaftigkeit über Jahre bzw. Jahrzehnte würden sichtbar werden. Fraglich dabei ist allerdings, ob es möglich sein wird, Testmethodik und Auswertung so zu harmonisieren, dass die Ergebnisse wirklich vergleichbar sind.

Weiterhin bleibt offen, ob und in welchem Umfang Testergebnisse mit Industrie- oder Handelsbezug (z. B. holzschutzmittelbehandeltes und modifiziertes Holz) von den Auftraggebern dieser Untersuchungen veröffentlicht werden würden.

Eine Testversion der Datenbank soll auf der Homepage der IRGWP (International Research Group of Wood Protection) installiert werden. In welchem Umfang Daten eingespeist werden, wird die Zukunft zeigen.



3 Nutzen und Verfügbarkeit von Testergebnissen für die Abschätzung der Gebrauchsdauer

Die Abschätzung der Gebrauchsdauer von Holz und Holzprodukten wird seit Jahren von verschiedenen Seiten gefordert z. B. von Endverbrauchern, die sie für eine Kosten-Nutzen-Abschätzung von Holzprodukten heranziehen wollen oder von der Holzverarbeitenden Industrie bzw. Verbänden, die sie für Gewährleistungs- und Garantiefragen benötigen.

Auch wenn verschiedene Regelwerke (Eurocode 5, ISO 15686-1: 2005) eine Gebrauchsdauerabschätzung vorsehen und diese von der European Construction Products Regulation (305/2011/EU - CPR) gefordert wird, wurde bis jetzt keine Möglichkeit der Abschätzung der Gebrauchsdauer vorgestellt, die nicht kontrovers diskutiert wurde.

Dies liegt unter anderem daran, dass eine Gebrauchsdauerabschätzung von der eigenen Definition, Einstellung sowie eigenen Zielen abhängt (Brischke et al. 2011). So sind z. B. die Ziele von Wissenschaftlern, Ingenieuren, Endverbraucher oder der Holzverarbeitenden Industrie grundsätzlich zu unterscheiden.

Gebrauchsdauerabschätzungen beziehen sich immer auf mathematische Modellierungsverfahren, bei denen je nach zeitlichen Vorgaben und Zielen mehr oder weniger Parameter mit einbezogen werden. Bei der Gebrauchsdauer von Holz kommen zu der Heterogenität des Materials (holzartenabhängig) auch Fragen wie z. B. Jahrringorientierung oder Dimension neben Eigenschaften wie z. B. der natürlichen Dauerhaftigkeit oder dem Feuchteverhalten hinzu. Außerdem gilt es, die mikro- und makroklimatischen Verhältnisse genau zu beschreiben.

Diese Komplexität schreckt viele potentielle Interessenten ab, da Ihnen Erfahrung und Wissen fehlt, um eine fundierte Gebrauchsdauerabschätzung durchführen zu können. Trotzdem haben Wissenschaftler weltweit in den letzten Jahren vermehrt ein Augenmerk auf diese Thematik gelegt und es gibt mittlerweile verschiedene Ansätze die Gebrauchsdauer abzuschätzen (Mac Kenzie et al. 2007; Lebow et al. 2008; Isaksson et al. 2012; Wang et al. 2008; Viitannen 2010; Thelandersson et al. 2011).

Wichtig dabei ist, dass die Testmethodik auf die jeweilige Gebrauchsklasse abgestimmt ist, da für eine Berechnung der Gebrauchsdauer in GK 2 andere Parameter als Grundlage dienen müssen als für eine Berechnung in GK 4. Der erste Schritt wäre deshalb, Testmethodiken in Abhängigkeit der Gebrauchsklasse zu definieren. Brischke et al. (2011) haben deshalb verschiedene Verfahren (Labor- und Feldversuche) aufgelistet, die das Potential haben, zur Gebrauchsdauerabschätzung herangezogen zu werden. Die Nutzung von Ergebnissen von Dauerhaftigkeitsuntersuchungen im Labor (z. B. CEN/TS 15083-1:2005) oder Freilandversuchen (z. B. DIN EN 252: 1989) scheinen dabei verhältnismäßig einfach in mathematische Modelle einzubringen zu sein. Diese Frage erscheint bei Untersuchungen z. B. zum Feuchteverhalten (Holzfeuchtemessungen im Freiland bzw. Wasseraufnahmeversuche im Labor) ungleich schwieriger und ist noch nicht abschließend beantwortet.

Offen ist außerdem die Frage des Einflusses von Rissbildungen im Holz. Risse haben einen großen Einfluss auf die Gebrauchsdauer, da sie sowohl die Zugänglichkeit für Wasser erhöhen als auch Eingangspforten für Pilzsporen bieten. Sie sollten also unbedingt berücksichtigt werden. Bis heute gibt es allerdings keinen Standard, der die Rissbildung von Holz und Holzprodukten methodisch untersucht. Von vielen wissenschaftlichen Einrichtungen wird aus Mangel an Alternativen ein ISO-Standard für die Untersuchung von Rissen herangezogen, der für Beurteilungen von Beschichtungsschäden entwickelt wurde (ISO 4628-1: 1997) und deshalb nur bedingt geeignet scheint.



Das Feld der Gebrauchsdauerabschätzung wird mit Sicherheit auch zukünftig noch kontrovers diskutiert werden. Inwieweit sich in den nächsten Jahren Verfahren durchsetzen werden, ist momentan schwer abschätzbar. Es wäre allerdings wünschenswert, Ergebnisse und Erfahrungen aus verschiedenen wissenschaftlichen Projekten zu bündeln, um Redundanzen zu vermeiden.

4 Besitzt modifiziertes Holz auch eine natürliche Dauerhaftigkeit?

Die Materialeigenschaft „natürliche Dauerhaftigkeit“ von Holz wird gemäß CEN/TS 15083-1: 2005 (Braun- und Weißfäule) bzw. CEN/TS 15083-2: 2004 (Moderfäule) bestimmt. Ausschlaggebend für die Einstufung in eine Dauerhaftigkeitsklasse ist dabei der durch die Pilze hervorgerufene Masseverlust der Prüfkörper (bzw. entsprechend Teil 2 unter Umständen auch eine E-Modul-Messung). Der Standard DIN EN 113 (1996) dient zur Beurteilung der Wirksamkeit eines Holzschutzmittels gegenüber holzerstörenden Basidiomyceten. Auf Grundlage dieser Norm werden Grenzkonzentrationen bestimmt, ab der insbesondere Kiefernspiltholz nach einer Tränkung mit Holzschutzmitteln ausreichend geschützt ist. In Untersuchungen, die gemäß dieses Standards durchgeführt werden, wird die Dauerhaftigkeit des Holzes über den Masseverlust der behandelten Prüfkörper in Relation zum Masseverlust von unbehandelten Kontrollen (sogenannter x-Wert) bestimmt und in Dauerhaftigkeitsklassen gemäß DIN EN 350-1 (1994) eingestuft.

Die folgende Tabelle stellt die Dauerhaftigkeitsklassifizierungen gemäß CEN/TS 15083-1 (2005) sowie DIN EN 350-1 (1994) gegenüber.

Tabelle 1: Dauerhaftigkeitsklassen gemäß CEN/TS 15083-1 und DIN EN350-1

Dauerhaftigkeitsklasse (DIN EN 350-1)	Beschreibung	Median Masseverlust [%] (CEN/TS 15083-1)	Ergebnisse der Laborprüfungen, ausgedrückt als x* (DIN EN 350-1)
1	Sehr dauerhaft	≤ 5	x ≤ 0,15
2	Dauerhaft	> 5 bis ≤ 10	x > 0,15 bis ≤ 0,30
3	Mäßig dauerhaft	> 10 bis ≤ 15	x > 0,30 bis ≤ 0,60
4	Wenig dauerhaft	> 15 bis ≤ 30	x > 0,60 bis ≤ 0,90
5	Nicht dauerhaft	> 30	x > 0,9

*) Der x-Wert beschreibt das Verhältnis vom Mittelwert des Masseverlustes der behandelten Prüfkörper zum Mittelwert des Masseverlustes der Referenzen

Seit 2007 existiert eine Technische Spezifikation für Thermoholz (CEN/TS 15679: 2008), nach der die Resistenz gegenüber holzabbauenden Pilzen in Anlehnung an DIN EN 113 untersucht werden soll. Für alle weiteren Modifizierungssysteme wurde von den entsprechenden Gremien und Normausschüssen nicht entschieden, nach welchem Standard die Resistenz von modifiziertem Holz gegenüber Basidiomyceten geprüft werden sollte, deshalb wird es derzeit in Anlehnung an DIN EN 113 oder CEN/TS 15083-1 geprüft, obwohl diese Prüfstandards für schutzbehandeltes bzw. naturbelassenes Holz designed worden sind (Bollmus 2011).



Folgende Vor- und Nachteile weisen die Standards DIN EN 113 bzw. CEN/TS 15083-1 in Bezug auf modifiziertes Holz auf:

DIN EN113

- Eine Inkubation von je einem behandeltem und einem unbehandeltem Prüfkörper in einem Versuchsgefäß kann zu einer Beeinflussung des jeweils anderen Prüfkörpers führen.
- Versuchsbedingungen innerhalb der Versuchsgefäße werden berücksichtigt, da immer ein behandelter und ein unbehandelter Prüfkörper in einem Gefäß inkubiert werden.
- Die Klassifizierung des modifizierten Holzes ist vom Masseverlust der Kontrollen (x-Wert) abhängig. Der gleiche Masseverlust von behandelten Prüfkörpern wird deshalb je nach Masseverlust der Kontrollen unterschiedlich bewertet. Die Norm schreibt in Abhängigkeit des Pilzes nur einen minimalen Masseverlust zur Überprüfung der Virulenz, nicht aber der Kontrollen vor.
- Die Vitalität des Pilzes beeinflusst unter Umständen die Dauerhaftigkeitsklassifizierung durch die Verwendung des x-Wertes.
- Die Berechnung auf Grundlage des Mittelwertes führt zu einer großen Gewichtung von stark abweichenden Werten des Masseverlustes.

CEN/TS 15083-1

- Eine gegenseitige Beeinflussung von behandelten und unbehandelten Prüfkörpern ist nicht möglich, da sie in getrennte Versuchsgefäße eingebaut werden.
- Die Klassifizierung der Dauerhaftigkeit beruht ausschließlich auf dem prozentualen Masseverlust des behandelten Holzes und ist somit abhängig von der Vitalität des Prüfpilzes, nicht aber von den Masseverlusten der unbehandelten Kontrollen.
- Die Berechnung auf Grundlage des Medians führt evtl. zu einer besseren Einstufung als durch die Angabe des Mittelwertes, da sich einzelne negative Ausreißerwerte weniger auswirken.

5 Welche Rolle spielt das Feuchteverhalten des Holzes bei der Resistenzprüfung?

Die Holzfeuchte ist die wichtigste Einflussgröße für den Holzabbau durch Pilze. Die Niederschlagsmenge ist dabei weniger entscheidend als die Dauer der Überschreitung einer Grenzfeuchte (Scheffer 1971). In der DIN 68800-1 (2011) wird von einer minimalen Holzfeuchte von 20% für eine Gefährdung ausgegangen. Für Basidiomyceten geht Schmidt (1994) von einer Holzfeuchte um bzw. knapp oberhalb des Fasersättigungsbereichs des Holzes als Grenzfeuchte aus. Allerdings geht aus Laborversuchen hervor, dass ein Pilzbefall bei einer deutlich niedrigeren Holzfeuchte möglich ist (Huckfeldt und Schmidt 2006; Huckfeldt 2011).

Die quantitativen Zusammenhänge zwischen Dauer der Befeuchtung und Temperatur des Holzes auf der einen Seite und Zeit bis zur Infektion des Holzes durch holzerstörende Pilze sowie letztlich der Geschwindigkeit des daraufhin einsetzenden Fäulnisprozesses sind hingegen noch nicht vollständig geklärt. Unter Laborbedingungen ermittelte Zusammenhänge lassen sich nur bedingt auf die Verhältnisse im Freiland übertragen, da hier eine Vielzahl potentieller Einflüsse vorliegt, die



außerdem klimabedingt erheblichen jahreszeitlichen Schwankungen unterliegen (Viitanen et al. 2010, Isaksson et al. 2012). Unbestritten bleibt aber, dass neben der materialeigenen Resistenz, die äußeren Einflussfaktoren Holzfeuchte und Holztemperatur die zu erwartende Gebrauchsdauer des Holzes maßgeblich beeinflussen.

Neben dem direkten Kontakt zu den holzerstörenden Organismen liegt der größte Unterschied zwischen den Gebrauchsklassen 3 und 4 sicherlich in der vorherrschenden Feuchtebeanspruchung. Die länger anhaltende Befeuchtung des Holzes im Erdkontakt stellt eine grundsätzlich andere Situation im Vergleich zur Exposition von Holz außerhalb der Erde dar, wo die Gelegenheit zum Abtrocknen wesentlich schneller gegeben ist. Da die natürliche Dauerhaftigkeit des Holzes zu einem großen Teil von seinem Feuchteverhalten abhängt, scheint auch für die Prüfung der Dauerhaftigkeit die Untersuchung der „Feuchte-Performance“ eine probate Alternative zu den klassischen Prüfmethode zu sein. Durch kontinuierliche elektrische Feuchtemessungen lässt sich die jeweilige Feuchtebelastung ausreichend präzise bestimmen und die Zeit der Befeuchtung oberhalb eines kritischen Grenzwertes (z. B. 25 % Holzfeuchte) ermitteln („TOW time of wetness“) (Meyer et al. 2012).

Erste vergleichende Studien lassen den Schluss zu, dass die im Rahmen mehrerer Jahre ermittelte Feuchteperformance ein geeigneter Indikator für die zu erwartende Dauerhaftigkeit des Materials ist und insbesondere für weniger stark beanspruchtes Holz der Gebrauchsklasse 2 und 3.1 (DIN 68800-1: 2011) als zeitsparende Methode zur Bestimmung der Dauerhaftigkeit im Freiland dienen könnte (Brischke et al. 2012c). Umfangreichere Studien zum Zusammenhang zwischen Feuchteperformance und Dauerhaftigkeit unter verschiedenen makro- und mikroklimatischen Bedingungen sind jedoch erforderlich, bevor sich mit ausreichend hoher Sicherheit Aussagen treffen lassen. Des Weiteren lässt sich bereits jetzt annehmen, dass auch für auf Feuchtemessungen basierende Dauerhaftigkeitsabschätzungen, eine mehrjährige Versuchslaufzeit vorzusehen ist, um den Einfluss von Bewitterung, Auswaschung und Rissbildung adäquat zu berücksichtigen (Brischke et al. 2012c, Meyer et al. 2012).

Während es gängige Praxis ist, in Laborversuchen, die Holzfeuchte von Prüfkörpern zu bestimmen, findet dies in Freilandversuchen äußerst selten statt (Frederiksson 2010). Im Vergleich zu zahlreichen Studien im Bereich der Bauphysik, die in-situ-Feuchtemessungen einschließen (Kilpelainen et al. 2010), existiert im Bereich des Holzschutzes und der Dauerhaftigkeit von Holz Nachholbedarf. Inwieweit sich Feuchtemessungen allein oder in Kombination mit Dauerhaftigkeitstests im Labor als Prüfmethode eignen, wird derzeit in verschiedenen europäischen Forschungsprojekten untersucht (Meyer et al. 2012).

Literatur

AUGUSTA, U. (2007): Untersuchung der natürlichen Dauerhaftigkeit wirtschaftlich bedeutender Holzarten bei verschiedener Beanspruchung im Außenbereich. Dissertation, Universität Hamburg.

BRANDT, K.; BRISCHKE, C.; MELCHER, E.; NIEMEYER, A.; RAPP, A. O. (2011): Untersuchung der hydrophobierenden Schutzwirkung von synthetischen Wachsen und Ölen zur Imprägnierung von Holz: Abschlussbericht zum Forschungsprojekt. Hamburg: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 122 Seiten.
http://literatur.vti.bund.de/digbib_extern/dn048659.pdf.



- BOLLMUS, S. (2011): Biologische und technologische Eigenschaften von Buchenholz nach einer Modifizierung mit 1,3-dimethylol-4,5-dihydroxyethyleneurea (DMDHEU). Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen.
- BRISCHKE, C.; WELZBACHER, C. R.; RAPP, A. O.; AUGUSTA, U.; BRANDT, K. (2009): Comparative studies on the in-ground and above-ground durability of European oak heartwood (*Quercus petraea* Liebl. and *Quercus robur* L.). *European Journal of Wood and Wood Products* 67: 329-338.
- BRISCHKE, C.; WELZBACHER, C. R.; MEYER, L.; BORNEMANN, T.; LARSSON-BRELID, P.; PILGÅRD, A.; FRÜHWALD-HANSSON, E.; WESTIN, M.; RAPP, A. O.; THELANDERSSON, S.; JERMER, J. (2011): Service life prediction of wooden components – Part 3: Approaching a comprehensive test methodology. Document Nr. IRG/WP 11-20464. International Research Group on Wood Protection, Stockholm.
- BRISCHKE, C.; MEYER, L.; ALFREDSEN, G.; HUMAR, M.; FRANCIS, L.; FLÆTE, P.-O., LARSSON-BRELID, P. (2012a): Durability of timber products – Part 1: Inventory and evaluation of above ground literature data on natural durability of timbers. Document Nr. IRG/WP/12-20498. International Research Group on Wood Protection, Stockholm.
- BRISCHKE, C.; MEYER, L.; ALFREDSEN, G.; HUMAR, M.; FRANCIS, L. (2012b): Durability of timber products – Part 2: Proposal for an IRGWP - Durability Database. Document Nr. IRG/WP 12-20497. International Research Group on Wood Protection, Stockholm.
- BRISCHKE, C.; MEYER, L.; BORNEMANN, T. (2012c): The potential of moisture content measurements for testing the durability of timber products. *Wood Science and Technology*. Submitted for publication.
- CEN/TS 15083-1 (2005): Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Bestimmung der natürlichen Dauerhaftigkeit von Vollholz gegen holzerstörende Pilze, Prüfverfahren - Teil 1: Basidiomyceten.
- CEN/TS 15083-2 (2005): Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Bestimmung der natürlichen Dauerhaftigkeit von Vollholz gegen holzerstörende Pilze, Prüfverfahren - Teil 2: Moderfäulepilze.
- CEN/TS 15679 (2008): Thermisch modifiziertes Holz – Definitionen und Eigenschaften.
- DIN 68800-1 (2011): Holzschutz - Teil 1: Allgemeines.
- DIN EN 113 (1996): Prüfverfahren zur Bestimmung der vorbeugenden Wirksamkeit gegen holzerstörende Basidiomyceten - Bestimmung der Grenze der Wirksamkeit.
- DIN EN 252 (1989): Freiland-Prüfverfahren zur Bestimmung der relativen Schutzwirkung eines Holzschutzmittels im Erdkontakt.
- DIN EN 335-1 (2006): Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Definition der Gebrauchsklassen - Teil 1: Allgemeines.
- DIN EN 350-1 (1994): Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Natürliche Dauerhaftigkeit von Vollholz - Teil 1: Grundsätze für die Prüfung und Klassifikation der natürlichen Dauerhaftigkeit von Holz.



- DIN EN 350-2 (1994): Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Natürliche Dauerhaftigkeit von Vollholz - Teil 2: Leitfaden für die natürliche Dauerhaftigkeit und Tränkbarkeit von ausgewählten Holzarten von besonderer Bedeutung in Europa.
- DIN EN 460 (1994): Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Natürliche Dauerhaftigkeit von Vollholz - Leitfaden für die Anforderungen an die Dauerhaftigkeit von Holz für die Anwendung in den Gefährdungsklassen.
- ENV 807 (2001): Prüfverfahren für die Bestimmung der Grenze der Wirksamkeit gegen Moderfäule und andere erdbewohnende Mikroorganismen.
- EUROCODE 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau.
- FREDRIKSSON, M. (2010): A critical literature review of moisture and temperature conditions in wood exposed outdoors above ground. Report TVBM-3152. Lund Institute of Technology, Lund University, Division of Building Materials.
- HUCKFELDT, T.; SCHMIDT, O. (2006): Hausfäule- und Bauholzpilze. Diagnose und Sanierung. Rudolf Müller, Köln.
- HUCKFELDT, T. (2011): Holzfeuchteansprüche von Holzfäulepilzen. In Unterlagen zur Holzschutztagung der Deutschen Bauchemie, Göttingen.
- ISAKSSON, T.; BRISCHKE, C.; THELANDERSSON, S. (2012): Development of decay performance models for outdoor timber structures. Materials and Structures. Submitted for publication.
- ISO 4628 -1 (2003): Beurteilung von Beschichtungsschäden - Bewertung der Menge und der Größe von Schäden und der Intensität von Veränderungen - Teil 1: Allgemeine Grundsätze und Bewertungssystem.
- ISO 15686-1 (2011): Hochbau und Bauwerke - Planung der Lebensdauer - Teil 1: Allgemeine Grundlagen und Rahmenbedingungen.
- KILPELAINEN, M.; LUUKKONEN, I.; VINHA, J.; KÄKELÄ, P. (2000): Heat and moisture distribution at the connection of floor and external wall in multi-storey timber frame houses. Proceedings of World Conference on Timber Engineering, Whistler Resort, British Columbia, Canada.
- KOCH G.; REHBEIN, M.; LENZ, M. T. (2007): Natürliche Dauerhaftigkeit sibirischer Lärche. Holz-Zentralblatt 133 (22), S. 593-594.
- LEBOW, S.; WOODWARD, B.; LEBOW, P.; CLAUSEN, C. (2008): The need for performance criteria in evaluating the durability of wood products. Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University, Seri A Cilt 58.
- MACKENZIE, C. E.; WANG, C-H.; LEICESTER, R. H.; FOLIENSTE, G. C.; NGUYEN, M. N. (2007): Timber service life design guide. Project report No. PN07.1052. Forest & Wood Products Australia Limited, Victoria.



- MEYER, L.; BRISCHKE, C.; LAMPEN, S. C. (2012): Electric moisture content measurements in the field to examine the performance of wood based materials. In: Proceedings of the 8th Meeting of the Nordic-Baltic Network on Wood Science & Engineering.
- PALANTI, S.; FECCI, E.; TORNIAI, A. M. (2011): Comparison based on field tests of three low-environmental-impact wood treatments. *International Biodeterioration & Biodegradation* 65: 547-552.
- PLASCHKIES, K.; SCHEIDING, W.; JACOBS, K.; WEIß, B. 2010: Durability of Thermally Modified Timber Assortments against Fungi - Results from a 6 Year Field Test in Comparison with Results from Lab Tests. The Fifth European Conference on Wood Modification, Riga.
- RAPP, A. O.; AUGUSTA, U.; BRANDT, K.; MELCHER, E. (2010): Natürliche Dauerhaftigkeit verschiedener Holzarten. Ergebnisse aus acht Jahren Freilandversuch“. Wiener Holzschutztagung 2010.
- SCHEFFER, T. C.; MORRELL, J. J. (1993): Relative merits of laboratory and field tests for assessing wood decay resistance. Doc. Nr. IRG/WP 93-20009. International Research Group on Wood Preservation, Stockholm.
- SCHMIDT, O. (1994): Holz- und Baumpilze - Biologie, Schäden, Schutz, Nutzen. Springer Verlag Berlin.
- THELANDERSSON, S.; ISAKSSON, T.; SUTTIE, E.; FRÜHWALD, E.; TORATTI, T.; GRÜLL, G.; VIITANEN, H.; JERMER, J. (2011): Service life of wood in outdoor above ground applications: Engineering design guideline. Background document. Report TVBK-3061, Div. of Structural Engineering, Lund University, Sweden.
- VIITANEN, H., TORATTI, T., MAKKONEN, L., PEUHKURI, R., OJANEN, T., RUOKOLAINEN, L., RÄISÄNEN, J. (2010): Towards modeling of decay risk of wooden materials. *European Journal of Wood and Wood Products* 68:303-13.
- WANG, C.-H., LEICESTER, R. H., NGUYEN, M. N. (2008): Decay above ground. Manual No. 4. CSIRO Sustainable Ecosystems, Urban Systems Program, Hightett, Victoria.



Bestimmung der natürlichen Dauerhaftigkeit von Holz – Teil 2: Ergebnisse eines europäischen Ringversuchs

Christian Brischke¹, Christian R. Welzbacher¹, Antje Gellerich², Susanne Bollmus², Katharina Plaschkies³, Wolfram Scheiding³, Gry Alfredsen⁴, Joris Van Acker⁵, Imke De Windt⁵

¹ Leibniz Universität Hannover, Fakultät für Architektur und Landschaft, Institut für Berufswissenschaften im Bauwesen

² Georg-August-Universität Göttingen, Abteilung Holzbiologie und Holzprodukte

³ Institut für Holztechnologie Dresden gemeinnützige GmbH (IHD), Ressort Biologie/Holzschutz

⁴ Norwegian Forest and Landscape Institute

⁵ Ghent University, Faculty of Bioscience Engineering, Laboratory of Wood Technology

Zusammenfassung

Die Dauerhaftigkeit von Holz gegenüber Basidiomyceten wird in Europa nach CEN/TS 15083-1 (2005) bestimmt. Die bisherigen Erfahrungen mit diesem Standard sind sehr heterogen und Ergebnisse früherer Ringversuche teilweise nicht oder nur unvollständig veröffentlicht. Insbesondere die Notwendigkeit einer natürlichen Vorbewitterung der Prüfkörper, u. a. mit dem Ziel einer Detoxifizierung des Materials, wird kontrovers diskutiert.

Fünf europäische Forschungseinrichtungen haben sich deshalb zu einem neuen Ringversuch zusammengeschlossen, in dem die Dauerhaftigkeit gegen holzerstörende Pilze von fünf Holzarten mit und ohne Auswaschbeanspruchung bzw. 6-monatiger natürlicher Vorbewitterung gegen *Coniophora puteana* und *Trametes versicolor* geprüft wurden. Es ergaben sich Unterschiede in der Dauerhaftigkeitsklassifizierung zwischen den Prüfinstituten (bis zu vier Klassen) sowie in Abhängigkeit von der Vorbeanspruchung und den statistischen Auswertungsgrößen.

Die natürliche Vorbewitterung der Prüfkörper hatte teilweise eine Angleichung der Dauerhaftigkeitsklassifizierung zwischen den Prüfinstituten zur Folge. In allen Fällen wurde eine Homogenisierung der Dauerhaftigkeitseinschätzung durch Vorbewitterung jedoch nicht erreicht. Generelle Aussagen zum Einfluss der Vorbeanspruchung auf die Klassifizierung der Dauerhaftigkeiten ließen sich somit nicht ableiten, weshalb diese weder zwingend zu empfehlen noch abzulehnen ist.

1 Einleitung

Die Dauerhaftigkeit von Holz gegenüber Basidiomyceten wird in Europa seit 2005 nach CEN/TS 15083-1 (2005) bestimmt. Dieses Laborverfahren sieht vor Allem die Prüfung unbehandelter, sogenannter ‚natürlich dauerhafter‘ Hölzer vor, es wird aber auch zur Bestimmung der Resistenz thermisch und chemisch modifizierter Hölzer eingesetzt. Maßgebliche Vorarbeiten zur Implementierung des Verfahrens wurden im Rahmen des EEC-Forschungsvorhabens ‚Improvement of CEN standards by short-term methods for testing the natural durability and treatability of solid wood and wood-based panel products‘ geleistet (Peek et al. 1999, Van Acker et al. 2003).



Während das Laborverfahren nach CEN/TS 15083-1 (2005) keine Vorbeanspruchung der Prüfkörper erfordert, eine Auswaschung nach EN 84 (1997) oder EN 73 (1989) aber zulässt, wird von einigen Forschungs- und Prüfeinrichtungen eine vorhergehende natürliche Bewitterung der Prüfkörper bevorzugt, die neben der Auswaschung durch Regenwasser auch eine Detoxifizierung durch sogenannte ‚Nicht-Ziel-Organismen‘ erlaubt. Der negative Einfluss einer Vorbewitterung auf die im Laborversuch ermittelte natürliche Dauerhaftigkeit hängt jedoch deutlich von der Holzart und den verwendeten Prüfpilzen ab (Peek et al. 1999). Die bisherigen Erfahrungen mit dem Standard CEN/TS 15083-1 (2005) sind zudem sehr heterogen und Ergebnisse früherer Ringversuche sind teilweise nicht oder nur unvollständig veröffentlicht worden. Mit einem neuen Ringversuch, zu dem sich fünf europäische Forschungseinrichtungen zusammengeschlossen haben, wurden deshalb folgende Ziele verfolgt:

- Untersuchung der Variation von Prüfergebnissen zwischen unterschiedlichen Laboratorien
- Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Vorbeanspruchungen auf die Variation der natürlichen Dauerhaftigkeit

2 Material und Methoden

2.1 Herstellung und Vorbehandlung der Prüfkörper

Es wurden Prüfkörper der Dimension 15 x 25 x 50 mm³ aus folgenden Holzarten hergestellt:

- Kiefernkernelholz (*Pinus sylvestris* L.)
- Kiefernspiltholz (*Pinus sylvestris* L.)
- Robinie (*Robinia pseudoacacia* L.)
- Stieleiche (*Quercus robur* L.)
- Buche (*Fagus sylvatica* L.)

Das Holz stammte aus dem norddeutschen Holzhandel und wurde als technisch getrocknete Bohlenware bezogen. Die Herstellung der Prüfkörper erfolgte zentral an der Leibniz Universität Hannover, wo die Prüfkörper anschließend vorbehandelt und an die vier beteiligten Prüflaboratorien versandt wurden. Da die Resistenzversuche mit n=20 Parallelen (abweichend vom Standard, der 30 Prüfkörper vorschreibt) durchgeführt werden sollten, wurden die Prüfkörper aus 20 Stäben axial direkt zugeordnet für alle Vorbehandlungen, Prüfinstitute und Prüfpilze gefertigt. Die Dauerhaftigkeit der Referenzholzarten Kiefer und Buche wurden ebenfalls an n=20 Parallelen untersucht. Insgesamt wurden je Holzart 600 Prüfkörper hergestellt, ein Drittel wurde für sechs Monate in Hannover-Herrenhausen natürlich vorbewittert, das zweite Drittel wurde einer Auswaschbeanspruchung nach EN 84 (1997) unterzogen, das letzte Drittel blieb unbehandelt. Die natürliche Vorbewitterung der Prüfkörper erfolgte von Juli bis Dezember 2011. Die Prüfkörper wurden hierzu in mit Kunststoffgewebe bespannten Holzrahmen auf 1 m hohen Gestellen horizontal gelagert und einmal pro Woche gewendet.



2.2 Beteiligte Prüf- und Forschungseinrichtungen

Die folgenden fünf europäischen Forschungseinrichtungen waren an der Durchführung des Ringversuchs zur Bestimmung der natürlichen Dauerhaftigkeit von Holz beteiligt:

- Leibniz Universität Hannover (LUH, Koordinator), Deutschland
- Georg-August-Universität Göttingen (UGOE), Deutschland
- Institut für Holztechnologie Dresden (IHD), Deutschland
- Norwegian Forest and Landscape Institute (NFLI) Ås, Norwegen
- Ghent University (UG), Belgien

2.3 Bestimmung der Dauerhaftigkeit gegen holzerstörende Pilze in Anlehnung an CEN/TS 15083-1

Die Dauerhaftigkeit bzw. die Resistenz der Holzarten gegenüber Basidiomyceten wurde in Anlehnung an CEN/TS 15083-1 (2005) bestimmt. Die Prüfkörper wurden hierzu abweichend vom Standard vor der Inkubationszeit bei 103 ± 2 °C während 48 h gedarrt. Nach einer Sterilisation durch Autoklavieren wurden jeweils zwei Prüfkörper einer Holzart („sortenrein“) in eine mit Pilzmycel bewachsene Kolleschale bzw. ein alternatives Schraub-Inkubationsgefäß eingebaut. Um einen direkten Kontakt zwischen Prüfkörper und bewachsenem Nähragar (Malzagar 4 %) zu vermeiden, wurden Abstandshalter verwendet, die aber nicht aus Kunststoff bestehen durften. Die Inkubationszeit betrug 16 Wochen. Die folgenden Pilzstämme wurden verwendet: *Coniophora puteana* = (Schum.:Fr.) P. Karsten BAM Ebw. 15 und *Trametes versicolor* = (L.:Fr.) Pilat CTB 863A.

Zur Bewertung der Resistenz der untersuchten Hölzer wurde sowohl der absolute als auch der prozentuale Masseverlust durch pilzlichen Holzabbau bestimmt. Die Prüfkörper wurden hierzu vor und nach der Inkubation gedarrt und auf 0,01 g genau gewogen.

Es wurden vergleichend die beiden in Tabelle 1 aufgeführten Bewertungsschemata für die Einstufung der Dauerhaftigkeit verwendet. Hierzu wurde einerseits der prozentuale Masseverlust nach CEN/TS 15083-1 (2005) herangezogen, andererseits x-Werte (relative Masseverluste) in Anlehnung an EN 113 (1996) in Kombination mit EN 350-1 (1994) errechnet. Als Referenzholzart wurden hierfür Kiefernspiltholz für Nadelhölzer und Buche für Laubhölzer herangezogen.

Tabelle 1: Klassen der natürlichen Dauerhaftigkeit (DK) basierend auf errechneten x-Werten und prozentualen Masseverlusten nach EN 350-1 (CEN 1994a) unter Verwendung von Ergebnissen der Laborversuche

DK	Definition	Klassifizierung basierend auf EN 350-1 (1994a) für EN 113	Klassifizierung nach CEN/TS 15083-1 (2005)
		x-Wert (relativer Masseverlust) Mittelwert	prozentualer Masseverlust Median
1	sehr dauerhaft	$x \leq 0.15$	$\leq 5 \%$
2	dauerhaft	$0.15 < x \leq 0.30$	$> 5 \%$ bis $\leq 10 \%$
3	mäßig dauerhaft	$0.30 < x \leq 0.60$	$> 10 \%$ bis $\leq 15 \%$
4	wenig dauerhaft	$0.60 < x \leq 0.90$	$> 15 \%$ bis $\leq 30 \%$
5	nicht dauerhaft	$x > 0.90$	$> 30 \%$

*) Der x-Wert beschreibt das Verhältnis vom Mittelwert des Masseverlustes der behandelten Prüfkörper zum Mittelwert des Masseverlustes der Referenzen



3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Variation der Prüfergebnisse zwischen Laboratorien

Die für die unterschiedlichen Holzarten ermittelten Masseverluste unterschieden sich zwischen den Prüfinstituten zum Teil signifikant. In Tabelle 2 und Tabelle 3 sind Median, arithmetisches Mittel, Standardabweichung und Variationskoeffizient für alle Holzarten, Prüfpilze und Institute zusammengestellt. Sehr deutliche Unterschiede ergaben sich zum Beispiel für Eiche gegen *T. versicolor* (4,1 % bis 14,1 % Masseverlust) und für Buche gegen *C. puteana* (5,7 % bis 31,4 %). Werden diese medianen Masseverluste zur Einschätzung der Dauerhaftigkeit herangezogen, ergeben sich Differenzen von bis zu vier Dauerhaftigkeitsklassen (Tabelle 4). Für die Mehrzahl der Parameterkombinationen waren die Differenzen zwischen den Prüfinstituten allerdings deutlich geringer.

3.2 Einfluss der Vorbeanspruchung auf die Dauerhaftigkeit

Die höchsten prozentualen Masseverluste wurden in vielen Fällen für die natürlich vorbewitterten Prüfkörper erzielt. Besonders deutlich wurde der Effekt der Vorbewitterung bei in Ås gegen *C. puteana* geprüfem Kiefernkeim (23,1 % statt 7,9 %) und Buche (32,3 % statt 5,7 %; Tabelle 2). Auch gegen *T. versicolor* wirkte sich die Vorbewitterung teilweise negativ auf die Dauerhaftigkeit aus, z. B. bei Kiefernkeim, Robinie und Eiche in Ås (Tabelle 3). Es ließ sich zwar nicht für alle Materialien eine Reduzierung der Dauerhaftigkeit durch die Vorbewitterung feststellen, zu einer signifikanten Erhöhung der Dauerhaftigkeit kam es aber in keinem Fall, was sich mit früheren Ergebnissen von Peek *et al.* (1997) deckt.

Die Auswaschbeanspruchung nach EN 84 (1997) hingegen führte nur vereinzelt zu einer Erhöhung der erzielten Masseverluste, mehrfach jedoch zu einer (leichten) Abnahme. So wurden beispielsweise für Kiefernkeim gegen *C. puteana* und Buche gegen *T. versicolor* höhere Masseverluste ohne vorhergehende Auswaschung erreicht. Möglicherweise ist dies auf die Auswaschung für den Pilz verwertbarer Substanzen, z. B. einfache Kohlenhydrate, zurückzuführen. Die natürliche Vorbewitterung der Prüfkörper hatte teilweise eine Angleichung der Dauerhaftigkeitsklassifizierung zwischen den Prüfinstituten zur Folge (Tabelle 4). So wurde beispielsweise die Klassifizierung von Buche und Kiefernkeim gegen *C. puteana* von DK 2-5 bzw. DK 2-4 reduziert auf DK 4-5. In allen Fällen wurde eine Homogenisierung der Dauerhaftigkeitseinschätzung durch Vorbewitterung jedoch nicht erreicht. Generelle Aussagen zum Einfluss der Vorbeanspruchung auf die Klassifizierung der Dauerhaftigkeiten ließen sich aus den Ergebnissen nicht ableiten.



Tabelle 2: Masseverlust in Resistenzversuchen gegenüber *Coniophora puteana* in Anlehnung an CEN/TS 15083-1 (2005); kursiv: Mindestmasseverluste durch Prüfpilze an Referenzhölzern nicht erreicht. (Med = Median; MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung; COV = Variationskoeffizient)

Prüfpilz Vorbeanspruchung		<i>Coniophora puteana</i>											
		ohne				EN 84				natürlich			
		Med	MW	SD	COV	Med	MW	SD	COV	Med	MW	SD	COV
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Holzart	Institut												
Kiefer-Splint	Göttingen	40,1	36,9	12,8	35	38,1	38,5	10,3	27	40,9	39,9	4,4	11
	Ås	31,8	31,5	3,4	11	31,7	31,6	2,8	9	32,2	32,3	1,9	6
	Dresden	24,9	25,1	5,2	21	17,6	18,7	3,4	18	24,2	24,6	2,9	12
	Ghent	17,3	16,9	4,9	29	20,4	19,0	6,3	33	15,4	14,0	5,8	42
Kiefer-Kern	Göttingen	28,7	26,4	11,9	45	29,7	27,4	12,0	44	33,9	33,0	7,4	22
	Ås	7,9	9,0	6,1	68	10,5	10,9	4,8	44	23,1	23,1	5,3	23
	Dresden	20,6	21,9	4,8	22	21,9	22,3	3,3	15	24,2	24,0	3,3	14
	Ghent	17,0	18,3	6,1	34	17,5	17,9	6,0	34	21,8	23,4	6,9	29
Robinie	Göttingen	0,7	1,9	4,0	205	0,3	0,8	1,7	212	2,3	4,9	5,2	106
	Ås	-0,1	-0,2	0,4	-205	-0,4	-0,5	0,4	-82	0,9	1,1	0,9	82
	Dresden	3,8	4,5	3,6	79	4,6	5,8	3,5	60	6,2	7,6	4,4	58
	Ghent	0,8	1,6	3,6	221	0,5	0,6	0,2	38	3,1	4,1	3,5	86
Buche	Göttingen	31,4	30,1	7,8	26	32,8	33,2	5,0	15	41,9	40,8	3,4	8
	Ås	5,7	12,1	11,4	94	15,1	15,8	8,6	54	32,3	31,3	3,6	12
	Dresden	29,8	30,0	3,9	13	25,5	26,2	3,1	12	28,0	28,4	2,8	10
	Ghent	21,7	20,7	6,7	32	12,6	16,1	8,1	50	16,2	16,7	3,5	21
Eiche	Göttingen	1,4	1,4	0,1	10	0,1	0,1	0,2	385	5,7	5,8	2,0	35
	Ås	2,0	2,0	0,1	7	0,3	0,3	0,1	35	1,1	1,3	0,4	29
	Dresden	3,9	4,1	1,0	24	7,3	7,3	1,4	19	5,6	5,8	1,7	30
	Ghent	2,1	2,1	0,4	18	0,7	1,7	4,8	273	2,9	3,0	1,5	49

3.3 Dauerhaftigkeitsklassifizierung

Der nach CEN/TS 15083-1 (2005) vorgeschriebene Mindest-Masseverlust von 30 % durch *C. puteana* wurde an Kiefersplint durch drei von vier und an Buche durch zwei von vier Prüfinstituten nicht erreicht. Interessant in diesem Zusammenhang sind die Ergebnisse aus Ås bzw. Dresden, die jeweils an nur einer Referenzholzart die geforderten Mindest-Masseverluste erreichten. Den vorgeschriebenen Masseverlust von 20 % durch *T. versicolor* an Buche erreichten alle Labore. In diesem Zusammenhang erscheint eine kritische Diskussion der von CEN/TS 15083-1 (2005) geforderten Grenzwerte angeraten, insbesondere da keine Übereinstimmung mit ähnlichen Prüfverfahren – z. B. nach EN 113 (1996) – gegeben ist. In Tabelle 4 sind die nicht gültigen Dauerhaftigkeitsklassifizierungen nicht fett und kursiv angegeben.

Ein Vergleich mit den Dauerhaftigkeitsklassen nach EN 350-2 (1994b) für die untersuchten Hölzer ergab eine weitgehende Übereinstimmung mit Ausnahme der Eiche, die in der vorliegenden Untersuchung als sehr bis wenig dauerhaft (DK 1-4) eingestuft wurde, teilweise also deutlich weniger dauerhaft als in EN 350-2 (1994b) angegeben. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen zuvor ebenfalls Ayadi *et al.* (2001), Aloui *et al.* (2004), Humar *et al.* (2008) und Brischke *et al.* (2009). Nach EN 350-2 (1994b) werden die Holzarten in folgende Dauerhaftigkeitsklassen eingeteilt:

- Kiefernkernelholz DK 3-4
- Kiefernspiltholz DK 5



- Robinie DK 1-2
- Stieleiche DK 2
- Buche DK 5

Nach CEN/TS 15083-1 (2005) war der Median der erzielten Masseverluste für die Klassifizierung der Dauerhaftigkeit heranzuziehen (vgl. Tabelle 1). In Freiland-Erdeingrabeversuchen wird z. B. nach EN 252 (1989) das arithmetische Mittel der Standzeit der Prüfkörper als Grundlage für die Dauerhaftigkeitseinschätzung verwendet. Mittelwert und Median der Masseverluste sind deshalb in Abb. 1 gegenübergestellt worden. Über alle untersuchten Holzarten und verwendeten Prüfpilze hinweg ergab sich eine straffe Korrelation. Ein ähnlich enger Zusammenhang zwischen medianem und arithmetischem Mittel wurde von Larsson-Brelid *et al.* (2011) für die Standzeiten von Prüfkörpern aus insgesamt über 600 Freiland-Versuchsreihen im Erdkontakt ermittelt, weshalb grundsätzlich beide Größen für eine Klassifizierung der Dauerhaftigkeit geeignet erscheinen (siehe Abb. 1). Die Verwendung des Median erlaubt zusätzlich die Reduzierung des Einflusses von statistischen Ausreißern (Militz *et al.* 1996, Van Acker *et al.* 2003).

Tabelle 3: Masseverlust (ML) in Resistenzversuchen gegenüber *Trametes versicolor* in Anlehnung an CEN/TS 15083-1 (2005). (Med = Median; MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung; COV = Variationskoeffizient)

Prüfpilz Vorbeanspruchung		<i>Trametes versicolor</i>											
		ohne				EN 84				natürlich			
Holzart	Institut	Med [%]	MW [%]	SD [%]	COV [%]	Med [%]	MW [%]	SD [%]	COV [%]	Med [%]	MW [%]	SD [%]	COV [%]
Kiefer-Splint	Göttingen	22,0	21,4	4,3	20	19,4	19,8	4,0	20	20,1	19,7	3,6	18
	Ås	25,0	24,1	5,5	23	21,2	21,1	4,3	20	21,3	20,3	4,4	22
	Dresden	12,8	13,1	2,5	19	9,4	9,8	2,4	24	10,7	11,0	2,3	21
	Ghent	17,4	17,2	3,3	20	12,5	13,1	3,1	23	14,2	13,8	2,8	21
Kiefer-Kern	Göttingen	9,3	9,2	4,1	45	5,1	5,8	2,6	44	11,2	10,5	3,6	34
	Ås	2,6	4,1	3,4	84	5,6	8,2	6,1	74	9,3	11,5	4,9	43
	Dresden	4,2	5,3	2,7	51	3,4	4,2	2,6	63	4,7	5,6	3,2	57
	Ghent	8,6	9,7	3,3	34	7,6	9,1	3,9	43	10,0	10,8	5,5	51
Robinie	Göttingen	3,0	3,8	3,6	96	3,1	3,2	1,4	43	4,2	4,0	3,3	84
	Ås	0,4	2,1	5,2	246	3,2	2,6	2,8	105	5,2	5,1	2,6	51
	Dresden	1,9	1,6	1,9	113	1,9	2,7	4,7	172	2,1	2,3	1,6	77
	Ghent	4,1	4,9	4,1	84	6,1	6,5	3,5	54	5,2	6,4	3,8	58
Buche	Göttingen	26,7	26,4	2,3	9	27,0	27,0	1,5	6	28,6	28,2	7,0	25
	Ås	34,1	34,3	2,7	8	30,9	30,6	3,7	12	35,4	35,4	2,6	7
	Dresden	31,5	31,9	4,1	13	20,7	21,2	1,9	9	31,0	31,2	3,6	12
	Ghent	33,0	32,7	2,0	6	31,8	31,9	1,9	6	29,6	29,7	2,8	9
Eiche	Göttingen	14,1	14,6	6,8	47	13,8	15,1	6,3	42	15,9	16,0	6,0	38
	Ås	7,4	7,7	2,4	32	11,1	11,2	3,2	19	12,4	12,5	2,2	18
	Dresden	4,1	4,5	2,3	51	3,0	3,2	1,5	47	4,1	4,5	1,7	37
	Ghent	4,4	5,4	3,1	58	3,1	3,3	2,3	69	4,3	4,0	1,9	47

Zusätzlich zur Einstufung der Dauerhaftigkeit nach CEN/TS 15083-1 (2005) auf Basis des medianen Masseverlustes wurde eine Klassifizierung basierend auf den x-Werten in Anlehnung an EN 350 in Kombination mit EN 113 (1996) vorgenommen. Die Ergebnisse sind im Vergleich in Tabelle 4 zusammengestellt. Werden nur die validen Prüfergebnisse betrachtet, führte die Klassifizierung auf Basis von x-Werten im Vergleich zur Klassifizierung auf Basis des Median viermal zu



einer höheren und 25-mal zu einer geringeren Dauerhaftigkeit. 49-mal ergab sich die gleiche Dauerhaftigkeitsklasse.

Tabelle 4: Klassen der natürlichen Dauerhaftigkeit (DK) basierend auf den medianen Masseverlusten nach CEN/TS 15083-1 (2005) sowie in Anlehnung an EN 350-1 (1994a) basierend auf den x-Werten (Referenz für Nadelhölzer: Kiefernspint; Referenz für Laubhölzer: Buche)

Prüfpilz Vorbeanspruchung		<i>Coniophora puteana</i>						<i>Trametes versicolor</i>					
		ohne		EN 84		natürlich		ohne		EN 84		natürlich	
		Med	x	Med	x	Med	x	Med	x	Med	x	Med	x
Holzart	Prüfinstitut												
Kiefer-splint	Göttingen	5	5	5	5	5	5	4	5	4	5	4	5
	Ås	5	5	5	5	5	5	4	5	4	5	4	5
	Dresden	4	5	4	5	4	5	3	5	2	5	3	5
	Ghent	4	5	4	5	4	5	4	5	3	5	3	5
Kiefer-kern	Göttingen	4	4	4	4	5	4	2	3	2	2	3	3
	Ås	2	2	3	3	4	4	1	1	2	2	2	3
	Dresden	4	4	4	5	4	5	1	3	1	3	1	3
	Ghent	4	5	4	4	4	5	2	3	2	4	2	4
Robinie	Göttingen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Ås	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
	Dresden	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	Ghent	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	2
Buche	Göttingen	5	5	5	5	5	5	4	5	4	5	4	5
	Ås	2	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Dresden	4	5	4	5	4	5	5	5	4	5	5	5
	Ghent	4	5	3	5	4	5	5	5	5	5	4	5
Eiche	Göttingen	1	1	1	1	2	1	3	3	3	3	4	3
	Ås	1	3	1	1	1	1	2	2	3	3	3	3
	Dresden	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	Ghent	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1

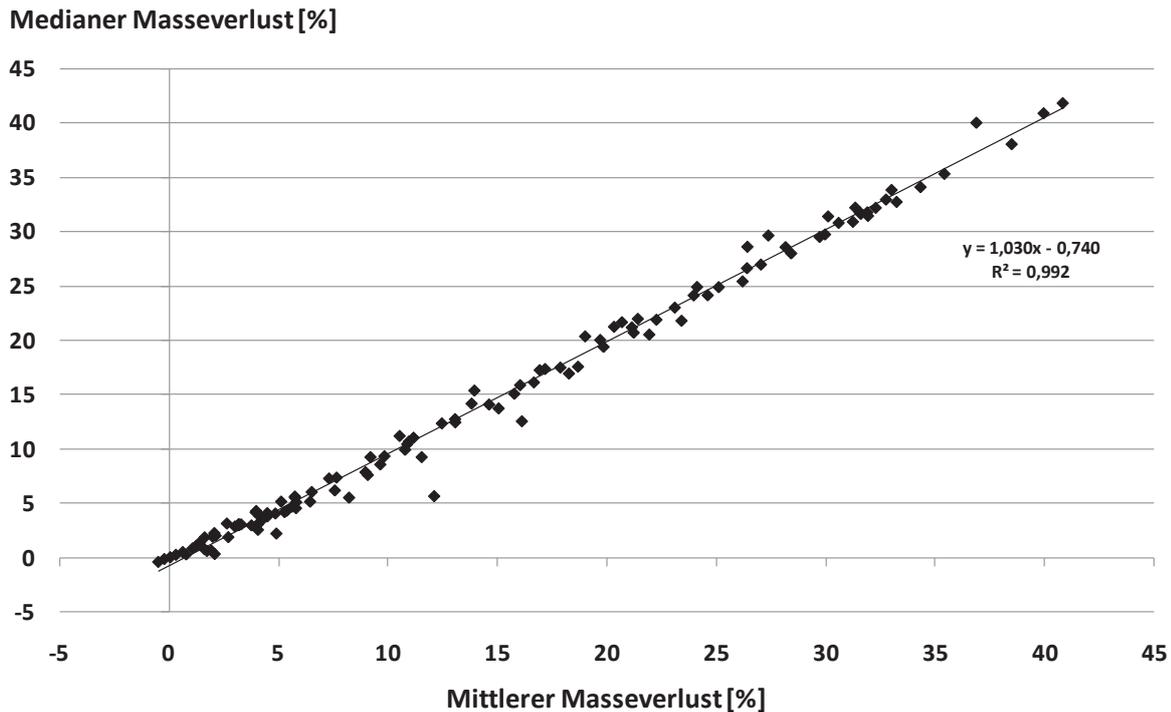


Abb. 1: Zusammenhang zwischen Median und arithmetisches Mittel des Masseverlustes durch *Coniophora puteana* und *Trametes versicolor* an fünf untersuchten Holzarten.

4 Folgerungen

Die zum Teil erheblichen Unterschiede in der Dauerhaftigkeitsklassifizierung zwischen den Prüfinstituten, ließen sich teilweise auf die unterschiedlich hohe Aktivität bzw. Aggressivität der Prüfpilze zurückführen. Die teilweise stark voneinander abweichenden Masseverluste der Referenzholzarten (bis hin zur Invalidität einzelner Versuchsergebnisse) führen auch bei Verwendung von Relativwerten (x-Werten) zu deutlichen Abweichungen der Dauerhaftigkeit der zu prüfenden Hölzer.

Eine eindeutige Tendenz zur Notwendigkeit einer Vorbeanspruchung (Auswaschung oder natürliche Bewitterung) ließ sich aus den Ergebnissen nicht ableiten. Es war aber erkennbar, dass die natürliche Vorbewitterung zu einer Minderung extremer Abweichungen führte. Die Ursachen für die so hervorgerufenen Aktivitätsunterschiede der Prüfpilze sollten Gegenstand zukünftiger Untersuchungen sein. Im Rahmen dieser Untersuchung führte die Vorbewitterung in keinem Fall zu einer erhöhten Dauerhaftigkeit, in einigen Fällen aber zu einer geringeren Dauerhaftigkeit.

Überraschend war nach den Erfahrungen der Prüfinstitute, dass bei drei von vier durchführenden Laboratorien der Pilz *C. puteana* die Validität in Abhängigkeit der Holzart nicht erreichte. *T. versicolor*, der im Vorfeld der Versuche diesbezüglich als deutlich kritischer gesehen wurde, verursachte hingegen bei allen Instituten den geforderten Masseverlust.



Literatur

- CEN/TS 15083-1 (2005) Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten – Bestimmung der natürlichen Dauerhaftigkeit von Vollholz gegen holzzerstörende Pilze, Prüfverfahren – Teil 1: Basidiomyceten. CEN (European committee for standardization), Brussels.
- ACKER VAN, J.; STEVENS, M.; CAREY, J.; SIERRA-ALVAREZ, R.; MILITZ, H.; LE BAYON, I.; KLEIST, G.; PEEK, R.-D. (2003): Biological durability of wood in relation to end-use. Part 1. towards a European standard for laboratory testing of the biological durability of wood. Holz als Roh- und Werkstoff 61: 35-45.
- ALOUÏ, F.; AYADI, N.; CHARRIER, F.; CHARRIER, B. (2004): Durability of European oak (*Quercus petraea* and *Quercus robur*) against white rot fungi (*Coriolus versicolor*): relations with phenol extractives. Holz Roh- Werkst 62: 286-290.
- AYADI, N.; CHARRIER, B.; IRMOULI, M.; CHARPENTIER, J. P.; JAY ALLEMAND, C.; FEULLIAT, F.; KELLER, R. (2001): Interspecific variability of European oak durability against white rot fungi (*Coriolus versicolor*): Comparison between sessile oak and peduncle oak (*Quercus petraea* and *Quercus robur*). Document No. IRG/WP 01-10393. International Research Group On Wood Protection, Stockholm, Sweden.
- BRISCHKE, C.; WELZBACHER, C. R.; RAPP, A. O.; AUGUSTA, U.; BRANDT, K. (2009): Comparative studies on the in-ground and above-ground durability of European oak heartwood (*Quercus petraea* Liebl. and *Quercus robur* L.). European Journal of Wood and Wood Products 67: 329-338.
- EN 73 (1989): Wood preservatives; accelerated ageing of treated wood prior to biological testing; evaporative ageing procedure. CEN (European committee for standardization), Brussels.
- EN 84 (1997): Wood preservatives - Accelerated ageing of treated wood prior to biological testing - Leaching procedure. CEN (European committee for standardization), Brussels.
- EN 113 (1996): Wood preservatives - Test method for determining the protective effectiveness against wood destroying basidiomycetes - Determination of the toxic values. CEN (European committee for standardization), Brussels.
- EN 252 (1989): Durability of wood and wood-based products. Field test method for determining the relative protective effectiveness of a wood preservative in ground contact. CEN (European committee for standardization), Brussels.
- EN 350-1 (1994a): Durability of wood and wood-based products - Natural durability of solid wood - Part 1: Guide to the principles of testing and classification of the natural durability of wood. CEN (European committee for standardization), Brussels.
- EN 350-2 (1994b): Durability of wood and wood-based products - Natural durability of solid wood - Part 2: Guide to natural durability and treatability of selected wood species of importance in Europe. CEN (European committee for standardization), Brussels.
- HUMAR, M.; FABČIČ, B.; ZUPANČIČ, M.; POHLEVEN, F.; OVEN, P. (2008): Influence of xylem growth ring width and wood density on durability of oak heartwood. Int BioBio 62: 368-371.



- LARSSON-BRELID, P.; BRISCHKE, C.; PILGÅRD, A.; HANSSON, M.; WESTIN, M.; RAPP, A.O.; JERMER, J. (2011): Methods of field data evaluation – time versus reliability. Document No. IRG/WP 11-20466. International Research Group On Wood Protection, Stockholm, Sweden.
- MILITZ, H.; MICHON, S. G. L.; POLMAN, J. E.; STEVENS, M. (1996): A comparison between different accelerated test methods for the determination of the natural durability of wood. Document No. IRG/WP 96-20099. International Research Group On Wood Protection, Stockholm, Sweden.
- PEEK, R.-D.; FINK, S.; KLEIST, G.; STEPHAN, I.; GRINDA, M.; CAREY, J.; HENDRY, S. J.; LE BAYON, I.; LABAT, G.; VAN ACKER, J.; STEVENS, M.; BRAUWERS, C.; MURPHY, R.; CURLING, S.; SIERRA-ALVAREZ, R.; MILITZ, H.; HOMAN, W. (1999): Improvement of CEN standards by short term methods for testing the natural durability and treatability of solid wood and wood-based panel products. Final report EEC project No. 3307.



Schnellverfahren zur Qualitätsbestimmung von TMT mittels ESR- und NIR-Spektroskopie

Michael Altgen, Holger Militz

Georg-August-Universität Göttingen, Abteilung Holzbiologie und Holzprodukte

Zusammenfassung

Für die Bestimmung der Behandlungsqualität von TMT auf Industriemaßstab ist die Entwicklung von Schnellverfahren dringend erforderlich. Ziel dieser Schnellverfahren ist die schnelle Ermittlung von Kenngrößen zur sicheren Vorhersage der Materialeigenschaften von TMT. Mit der Elektronenspin-Resonanz- (ESR-) und der Nahinfrarot- (NIR-) Spektroskopie wurden im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen zwei potentielle Schnellverfahren auf ihre Eignung überprüft. Die mithilfe der ESR-Spektroskopie ermittelte Signalstärke stieg mit zunehmender Behandlungsintensität des thermischen Modifizierungsprozesses an. Als Ursache wurde die Bildung stabiler Radikale während des Prozesses vermutet. Es stellte sich heraus, dass die Signalstärke einen guten Indikator für den Masseverlust der thermischen Modifizierung darstellt und damit potentiell für die Vorhersage verschiedenster TMT-Materialeigenschaften herangezogen werden kann. Die Ursache für die Bildung der stabilen Radikale ist allerdings noch nicht abschließend untersucht. Darüber hinaus wurde für verschiedene TMT-Materialeigenschaften gezeigt, dass geeignete Regressionsmodelle mithilfe von NIR-Spektroskopie auch mit einer geringen Auflösung und einem eingeschränkten Wellenlängenbereich erreichbar sind. Die NIR-Spektroskopie hat damit großes Potential für einen On-Line Einsatz in der Qualitätskontrolle.

1 Einleitung

Die thermische Modifizierung von Holz gilt als alternatives Holzschutz-Verfahren zu holzschutzmittel-imprägniertem oder natürlich dauerhaftem Holz. Als Folge ist die europäische Produktionskapazität von thermisch modifiziertem Holz (TMT, *thermally modified timber*) im letzten Jahrzehnt stark angestiegen (Scheidung 2010). Dies ist neben dem Ausbau bestehender Kapazitäten vor allem auf die Errichtung neuer Produktionsanlagen zurückzuführen (EUWID 2009, 2010). Verglichen mit dem gesamten Schnittholzaufkommen ist die Produktionskapazität von TMT jedoch noch sehr gering. Zudem ist auffällig, dass die bestehenden Kapazitäten von den meisten Unternehmen nicht vollständig ausgenutzt werden (Ebner 2011).

Die noch vergleichsweise geringe Akzeptanz von TMT auf dem Markt kann vor allem auf die Ungewissheit über die Behandlungsqualität und die damit einhergehenden Eigenschaften von TMT zurückgeführt werden. Alle Prozesse zur Herstellung von TMT folgen zwar dem gleichen Grundprinzip, der Anwendung erhöhter Temperaturen unter weitgehendem Sauerstoffabschluss, unterscheiden sich jedoch deutlich in den verwendeten Holzarten und den angewendeten Prozessparametern (z. B. Umgebungsdruck, Übertragungsmedium der Wärme, Restsauerstoffgehalt, relative Luftfeuchte) (Burmester 1973; Mitchell 1988; Militz 2002). Darüber hinaus sind auch einige materialinhärente Parameter, wie z. B. Holzfeuchte, Holzdichte, Astigkeit oder chemische Holzzusammensetzung für Schwankungen in der Behandlungsqualität verantwortlich (Mitchell 1988; Zaman et al. 2000). Um TMT-Sortimente mit geeigneter Behandlungsqualität und bekannten Materialeigenschaften anbieten zu können, muss daher eine laufende Kontrolle des Endproduktes erfolgen. Herkömmliche Norm-Prüfverfahren sind jedoch



aufgrund des hohen Zeit- und Arbeitsaufwandes nicht in der Qualitätskontrolle anwendbar. Der Masseverlust der thermischen Modifizierung ist zwar auf Labormaßstab als verlässlicher Indikator für zahlreiche TMT-Eigenschaften bekannt, allerdings ist dieser auf Industriemaßstab kaum ermittelbar. Aktuelle Forschungsaktivitäten konzentrieren sich daher auf die Entwicklung von Schnellverfahren für den Einsatz in der Qualitätskontrolle von TMT (siehe z. B. Briske et al. 2006; Welzbacher et al. 2009; Willems et al. 2010; Altgen et al. 2012). Das Ziel dieser Schnellverfahren ist die schnelle Ermittlung von Kenngrößen zur sicheren Vorhersage der Materialeigenschaften von TMT.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden mit der Elektronenspin-Resonanz- (ESR-) und der Nahinfrarot- (NIR-) Spektroskopie zwei potentielle Schnellverfahren auf Ihre Eignung zur Bestimmung der Behandlungsqualität von TMT evaluiert.

2 Material und Methoden

2.1 Material

Das Material wurde im Rahmen eines Ringversuches mit Beteiligung unterschiedlicher europäischer Forschungseinrichtungen zur Verfügung gestellt. Buche (*Fagus sylvatica* L.) und Fichte (*Picea abies* KARST.) wurden am Institut für Berufswissenschaften im Bauwesen der Leibniz-Universität Hannover auf Labormaßstab unter Verwendung unterschiedlicher Behandlungsintensitäten thermisch modifiziert. Die eingesetzten Behandlungsintensitäten sind Tabelle 1 zu entnehmen. Das genaue Vorgehen dieser thermischen Modifizierung und der Aufbau des Ringversuches wurden von Welzbacher (2010) detailliert beschrieben. Aus diesem Ringversuch lagen Ergebnisse zu folgenden Materialeigenschaften bereits vor:

- Masseverlust der thermischen Modifizierung, Biege-Elastizitätsmodul und Helligkeit (ΔE) vom Institut für Berufswissenschaften im Bauwesen der Universität Hannover (C. Welzbacher)
- Holzfeuchte nach Konditionierung bei 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte von der Abteilung Holzbiologie und Holzprodukte der Georg August Universität Göttingen
- Natürliche Dauerhaftigkeit gegenüber Basidiomyceten nach Inkubation mit *Trametes versicolor* (Buche) bzw. *Gloeophyllum trabeum* (Fichte) gemäß EN 113 von der Universität Ljubljana, Slowenien (M. Humar)

Tabelle 1: Übersicht über die angewendeten Behandlungstemperaturen und -dauern der thermischen Modifizierung von Buche und Fichte auf Labormaßstab

Holzart	Behandlungstemperatur [°C]	Behandlungsdauer [Std.]				
Buche	180	1,5	4	8	16	36
	220	1	2	3	4	6
Fichte	180	1,5	4	16	36	72
	220	1	2	3	6,3	10

Die nahinfrarot-spektroskopischen Untersuchungen wurden darüber hinaus auch an Buche (*Fagus sylvatica* L.) und Esche (*Fraxinus excelsior* L.) durchgeführt, welche mithilfe des Vaccu³ Verfahrens bei der Firma Timura auf industriellem Maßstab thermisch modifiziert wurden. Dabei wurden 195 und 210 °C als Behandlungstemperaturen angewendet. Am Institut für Baustoffe der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Zürich (M. Wetzig, P. Niemz) wurde dieses



Material einer Biegeprüfung nach DIN 52 186 unterzogen. Dabei wurden Biege-Elastizitätsmodul und Biegefestigkeit ermittelt und zusammen mit dem Material zur Verfügung gestellt.

2.2 Methoden

2.2.1 Elektronenspin-Resonanz (ESR-) Spektroskopie

Proben mit den Abmessungen $2 \times 2 \times 10 \text{ mm}^3$ ($r \times t \times l$) wurden mittels Rasierklinge hergestellt, um das übermäßige Aufkommen von Wärme und damit eine Erzeugung von zusätzlichen Radikalen zu vermeiden. Anschließend wurden die Prüfkörper über mehrere Wochen bei 20 °C und 65% relativer Luftfeuchte in Dunkelheit gelagert, um einen Einfluss von UV-Strahlung auf das ESR-Signal ausschließen zu können.

Die Messungen mittels ESR-Spektroskopie wurden am Max-Planck-Institut (MPI) für biophysikalische Chemie in Göttingen durchgeführt, wo ein Bruker EMX CW ESR Spektrometer zur Verfügung stand. Es wurde eine konstante Mikrowellenstrahlung von $9,87 \text{ GHz}$ und eine variierende Magnetfeldstärke mit einem *center field* von 3520 Gauss verwendet. Die Quantifizierung der Signalstärke erfolgte durch zweimalige Integrierung der aufgenommenen ESR-Spektren nach 1. Ableitung. Zur Normierung der Signalstärke wurde die relative Intensität durch Division der ESR-Signalstärke jeder Probe durch die Signalstärke der jeweiligen unmodifizierten Referenz nach Formel 1 berechnet. Eine beispielhafte relative Intensität von $5,0$ zeigt damit, dass die Signalstärke der Probe fünfmal höher ist als die der Referenz.

Formel 1: Formel zur Berechnung der relativen Intensität des ESR-Signals

$$\text{Relative Intensität} = \frac{\text{Signalstärke der Probe}}{\text{Signalstärke der unmodifizierten Referenz}}$$

2.2.2 Nahinfrarot (NIR-) Spektroskopie

Die Aufnahmen mittels NIR-Spektroskopie wurden am Laserlaboratorium Göttingen e. V. mithilfe eines Spektrometers der Firma Polytec vom Typ PSS 2120 durch-geführt. Das Spektrometer arbeitete in einem Wellenlängenbereich zwischen 1091 und 2106 nm bei einer Auflösung von etwa 4 nm . Die Messungen erfolgten mithilfe einer Fasersonde in diffuser Reflexion und einem Messkreisdurchmesser von etwa 20 mm auf der Oberfläche der Prüfkörper. Es wurden zehn Akkumulationen und eine Integrationszeit von $150 \text{ Millisekunden}$ gewählt. Die Messungen fanden nach Konditionierung des Holzes bei 20 °C und 65% relativer Luftfeuchte statt. Die Abmessung der Proben betragen im Falle von Buche und Fichte aus dem Ringversuch $15 \times 25 \times 50 \text{ mm}^3$ mit einem Faserverlauf von 45° zur Querschnittsachse sowie im Falle von Buche und Esche, welche von der ETH Zürich zur Verfügung gestellt worden waren $10 \times 10 \times 100 (+/-20) \text{ mm}^3$ mit einem Faserverlauf von 90° zur Querschnittsachse. Es wurden mehrere Spektren je Probe aufgenommen und zu einem Spektrum gemittelt.

Zur Auswertung mithilfe multivariater Statistik wurde die Software Unscrambler® X 10.0 von CAMO (Oslo, Norwegen) verwendet. Die Auswertung erfolgte anhand der unbehandelten Roh-Spektren, sowie nach Berechnung der ersten und zweiten Ableitung nach Savitzky-Golay. Zunächst wurde mit jedem Datenset eine Hauptkomponentenanalyse (*Principle Component Analysis*, PCA) mit einer vollständigen Kreuzvalidierung durchgeführt. Dies diente zum einen der Kontrolle der Spektren und der Identifikation möglicher Ausreißer aufgrund von Messfehlern. Zum anderen wurde das Faktorenwerte-Diagramm genutzt, um jedes Datenset in ein Kalibrierungs- und ein Validierungsdatenset zu trennen. Beide wurden so gewählt, dass die zugehörigen Datenpunkte den Faktorenwerte-Raum möglichst optimal aufspannen. Die Auswahl war damit repräsentativ für



den Datenraum der Spektren (X-Datenraum). Auf diese Weise wurden etwa zwei Drittel jedes Datensets für die Kalibrierung und ein Drittel für die Testsetvalidierung verwendet.

Bei Durchführung der *Partial Least Square* (PLS-) Regression wurde mithilfe des Kalibrierungsdatsensets zunächst ein Regressionsmodell zwischen den Spektren (X-Daten) und den zugehörigen Eigenschaftswerten (Y-Daten) aufgestellt. Dabei wurde eine maximale Anzahl von zehn Faktoren verwendet. In diesem ersten Schritt wurde eine vollständige Kreuzvalidierung durchgeführt, um die optimale Anzahl an Faktoren für die Erstellung des Modells zu ermitteln. Die optimale Anzahl an Faktoren war gegeben, sobald die Restvarianz der Kreuzvalidierung ihr erstes Minimum erreicht hatte. Die Validierung des Regressionsmodells mithilfe eines unabhängigen Testsets erfolgte im nächsten Schritt. Dabei wurde das Modell auf das bisher nicht verwendete Validierungsdatsenset angewendet, um die Eignung des Modells für unbekannte Daten zu quantifizieren. Als Maßzahlen zur Überprüfung des Regressionsmodells wurden das Bestimmtheitsmaß für Kalibrierung (R^2_{cal}) und Validierung (R^2_{val}), der Standardfehler der Residuen für Kalibrierung (*standard error of calibration*, SEC) und Validierung (*standard error of validation*, SEP) sowie der RPD-Index (*ratio performance to deviation*) berechnet. Zusätzlich wurde die Anzahl der verwendeten Faktoren (*latent variables*, LVs) angegeben. In Anlehnung an Schimleck et al. (2003a; 2003b) und Williams & Norris (2001) wurden folgende Voraussetzungen für die Eignung der Modelle festgesetzt:

- *Screening*: Bestimmtheitsmaß über 66 % und RPD-Index über 2,5
- *Grobes Screening*: Bestimmtheitsmaß über 50 % und RPD Index über 1,5

3 Ergebnisse

3.1 ESR-Spektroskopie

Wie aus den ESR-Spektren nach erster Ableitung für Esche in Abb. 1 hervorgeht, tritt eine deutliche Absorptionsbande im ESR-Spektrum bei einer konstanten Mikrowellenstrahlung von 9,87 GHz und einer Magnetfeldstärke von etwa 3520 Gauss auf. Die resonante Mikrowellenabsorption steigt bei dieser Magnetfeldstärke mit steigender Behandlungstemperatur und -dauer an. Gleichzeitig verbreitert sich diese Absorptionsbande. Folglich nimmt die relative Intensität des ESR-Signals, welche auf der Berechnung des Integrals beruht, mit der Behandlungsintensität zu.

Abb. 2 zeigt die Korrelation zwischen dem Masseverlust der thermischen Modifizierung und der relativen Intensität des ESR-Signals für thermisch modifizierte Buche und Fichte. Es fällt auf, dass ein sehr enger Zusammenhang zwischen beiden Parametern besteht. Mithilfe linearer Anpassungsgeraden können über 98 % der Streuung erklärt werden. Es wird jedoch auch deutlich, dass die Steigung der Anpassungsgeraden bei Buche deutlich höher ausfällt als bei Fichte. Bei einem Masseverlust von 10,45 % wird für die Fichte eine relative Intensität von 9,67 ermittelt, während die Buche bei einem Masseverlust von 10,48 % eine relative Intensität von 19,97 aufweist.

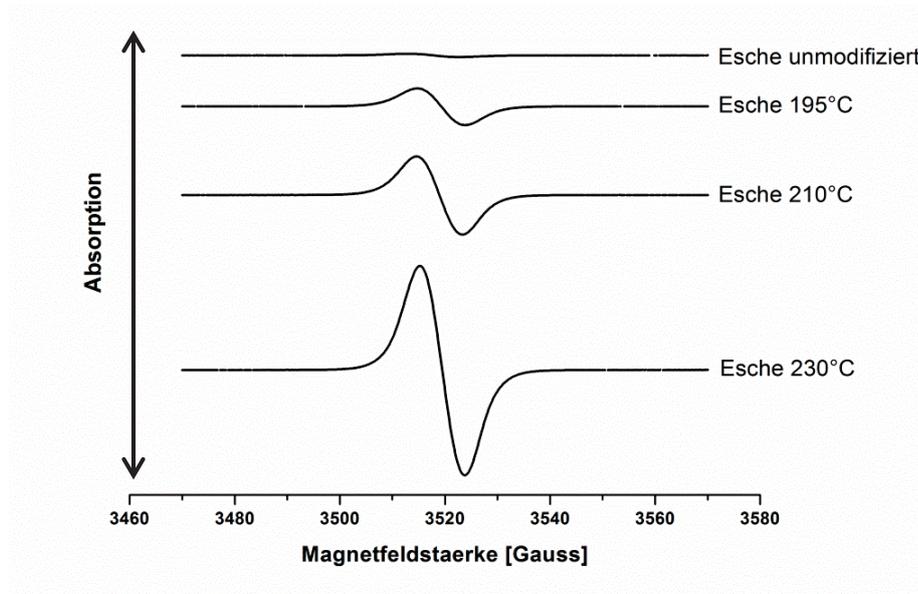


Abb. 1: ESR-Spektren nach erster Ableitung für Esche, welche bei unterschiedlichen Temperaturen auf Industriemaßstab thermisch modifiziert wurde. Die einzelnen Spektren wurden zur besseren Übersicht vertikal verschoben.

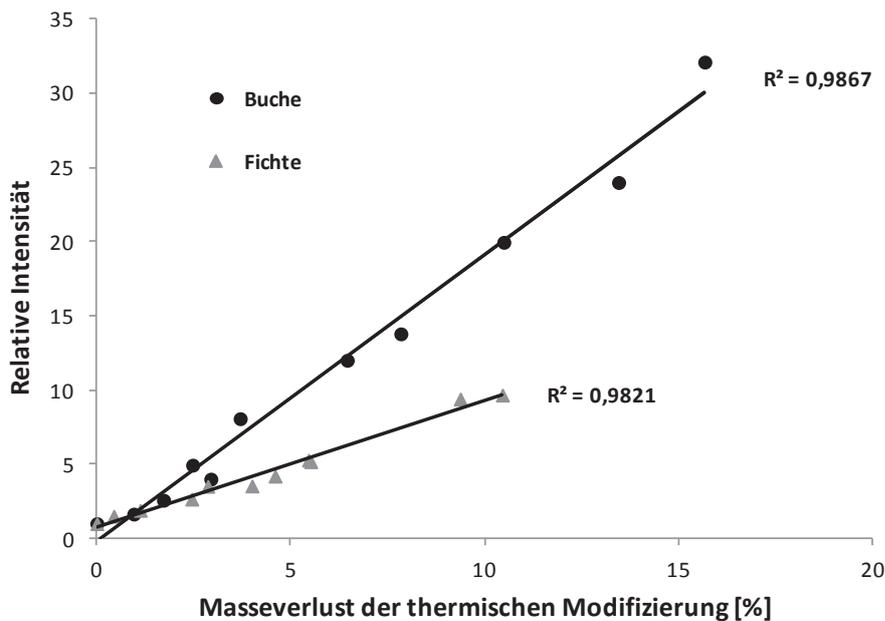


Abb. 2: Korrelation zwischen dem Masseverlust der thermischen Modifizierung und der relativen Intensität des ESR-Signals für thermisch modifizierte Buche und Fichte mit zugehörigen linearen Anpassungsgeraden. Jeder Datenpunkt basiert auf einem Mittelwert aus zehn Prüfkörpern.

Korreliert man die relative Intensität mit typischen TMT-Materialeigenschaften, lassen sich für Buche und Fichte Regressionsmodelle aufstellen, die Bestimmtheitsmaße von über 0,9 aufweisen (siehe Tabelle 2). Folglich lassen sich die Veränderungen der Materialeigenschaften mit zunehmender Behandlungsintensität im hohen Maße durch die ESR-Signalstärke beschreiben.



Tabelle 2: Ergebnisse der Regression zwischen der relativen Intensität des ESR-Signals und verschiedenen Materialeigenschaften für thermisch modifizierte Buche und Fichte basierend auf den Mittelwerten je Behandlungsintensität.

Materialeigenschaft	Holzart	Anpassungsgerade	R ²
Dauerhaftigkeit nach EN113	Buche	$y = 0,008x^2 - 1,45x + 67,77$	0,96
	Fichte	$y = 0,081x^2 - 3,74x + 43,22$	0,94
Holzfeuchte bei 20 °C/65 % rh	Buche	$y = -0,017\ln(x) + 0,1021$	0,99
	Fichte	$y = -0,025\ln(x) + 0,1038$	0,99
Biegefestigkeit	Buche	$y = -22,25\ln(x) + 164,25$	0,93
	Fichte	$y = -19,17\ln(x) + 107,71$	0,90
Farbveränderung (ΔE)	Buche	$y = 11,174\ln(x) - 0,6331$	0,99
	Fichte	$y = 17,731\ln(x) + 1,7918$	0,98

3.2 NIR-Spektroskopie

Mithilfe der PLS-Regression wurden Regressionsmodelle für die Beschreibung verschiedener TMT-Eigenschaften mithilfe der NIR-Spektren berechnet und evaluiert, ob diese Modelle für ein Screening des Materials ausreichend sind. Die Ergebnisse der Regressionsmodelle sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Ergebnisse der PLS-Regression basierend auf den NIR-Spektren verschiedener thermisch modifizierter Holzarten für ausgewählte Materialeigenschaften

Holzart	Spektren	LVs	Kalibrierung		Testset-Validierung		
			R ² _{cal}	SEC	R ² _{val}	SEP	RPD
Masseverlust der thermischen Modifizierung [%]							
Buche	unbehandelt	1	0,96	1,05	0,93	1,3	3,71
Fichte	1. Ableitung	2	0,91	0,92	0,91	0,9	3,40
Holzfeuchte bei 20 °C/65 % rh							
Buche	1. Ableitung	4	0,98	0,28	0,97	0,38	5,42
Fichte	1. Ableitung	3	0,94	0,45	0,94	0,44	3,59
Biege-Elastizitätsmodul							
Buche	1. Ableitung	5	0,67	837	0,28	1202	1,20
Esche	1. Ableitung	5	0,84	1117	0,81	1222	2,28
Biegefestigkeit							
Buche	unbehandelt	4	0,43	15,70	0,58	14,18	1,55
Esche	1. Ableitung	4	0,71	13,75	0,76	12,38	2,04

Der Masseverlust der thermischen Modifizierung wird bereits mit lediglich ein (Buche), bzw. zwei (Fichte) Faktoren (LVs) mit vergleichsweise hoher Genauigkeit beschrieben. Es werden Bestimmtheitsmaße von über 90 % und ein RPD-Index oberhalb von 3,4 erreicht. Damit erfüllen die Modelle von Buche und Fichte die Voraussetzungen, die für die Eignung als *Screening* des Materials formuliert wurden. Beispielhaft zeigt Abb. 3 den gemessenen gegen den vorhergesagten Masseverlust der thermischen Modifizierung für thermisch modifizierte Buche. Auch die Regressionsmodelle für die Vorhersage der Holzfeuchte von thermisch modifizierter Buche und Fichte genügen den Anforderungen an ein *Screening*. Allerdings wird hierzu eine etwas höhere Anzahl von Faktoren benötigt.

Der Biege-Elastizitätsmodul und die Biegefestigkeit wurden für Buche und Esche berechnet, die zuvor auf industriellem Maßstab thermisch modifiziert wurden. In Vorversuchen zeigte sich, dass Spektren, welche auf den tangentialen Oberflächen der Prüfkörper gemessen wurden, zwar eine

höhere Absorption aufweisen, für die Berechnung von Regressionsmodellen aber schlechter geeignet sind, als dies bei Spektren basierend auf den radialen Oberflächen der Fall ist. Allerdings werden für Buche weder für den Biege-Elastizitätsmodul noch für die Biegefestigkeit Regressionsmodelle aufgestellt, welche die Voraussetzungen für ein *Screening* erfüllen. Im Falle der Esche sind die Modelle mit Bestimmtheitsmaßen von über 70 % und einem RPD-Index oberhalb von 2,0 immerhin noch für ein grobes *Screening* geeignet. Dabei ist jedoch auffällig, dass die Regressionsmodelle für den Elastizitätsmodul meist besser ausfallen, als dies für die Biegefestigkeit der Fall ist.

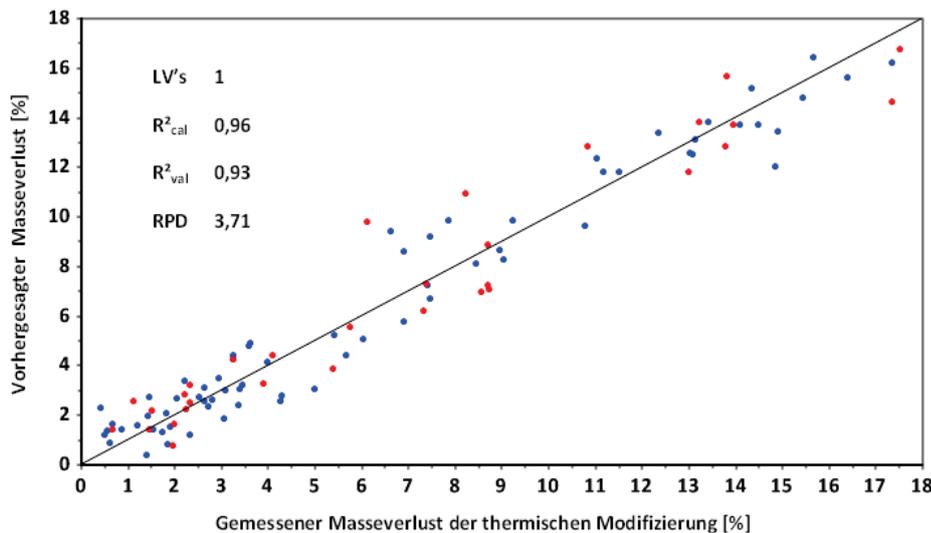


Abb. 3: Gemessener gegen vorhergesagten Masseverlust der thermischen Modifizierung basierend auf den unbehandelten Spektren für thermisch modifizierte Buche

4 Diskussion

4.1 ESR-Spektroskopie

Ein Anstieg der ESR-Signalstärke mit zunehmender Behandlungsintensität der thermischen Modifizierung wurde bereits von mehreren Autoren beschrieben (Viitaniemi et al. 2001; Sivonen et al. 2002; Willems et al. 2010). Dieser Anstieg wird mit der Bildung stabiler Radikale im Holz in Verbindung gebracht, welche auch nach mehreren Monaten und Jahren noch in gleicher Weise im Holz nachzuweisen sind (Sivonen et al. 2002). Es wird davon ausgegangen, dass diese stabilen Radikale als Semichinone in der Ligninmatrix vorliegen, worauf vergleichbare Untersuchungen an Lignin und seinen Zersetzungsprodukten ebenfalls hindeuten (Steelink und Tollin 1962; Steelink 1966; Ahajji et al. 2009; Willems et al. 2010).

Die dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die ESR-Signalstärke eng mit dem Masseverlust der thermischen Modifizierung korreliert. Dieser lineare Zusammenhang erscheint zunächst unerwartet, da die stabilen Radikale mit der Ligninmatrix in Verbindung gebracht werden, während der Masseverlust der thermischen Modifizierung im Wesentlichen auf der Zersetzung der Zellwandpolysaccharide beruht. Zum einen könnte es sich um einen indirekten Zusammenhang handeln, bei dem bei gleicher Behandlungsintensität unterschiedliche chemische Prozesse parallel ablaufen. So bringen Sivonen et al. (2002) die Bildung stabiler Radikale mit der Abspaltung von Methoxylgruppen im Lignin in Verbindung. Zum anderen könnte jedoch auch ein direkter Zusammenhang vorliegen. Ahajji et al. (2009) geben an, dass während der Zersetzung der



Polysaccharide sehr reaktive Radikale entstehen, welche aufgrund ihres antioxidativen Charakters von der Ligninmatrix abgefangen werden könnten. Durch Elektronentransfer könnten so stabile Radikale im Lignin entstehen. Unabhängig von der Art des Zusammenhangs kann die ESR-Signalstärke jedoch als Indikator für den Masseverlust der thermischen Modifizierung angesehen werden.

Willems et al. (2010) fanden heraus, dass die ESR-Signalstärke einen Indikator für die Dauerhaftigkeit von thermisch modifiziertem Holz darstellt. Die hier dargestellten Ergebnisse bestätigen den Zusammenhang zwischen der ESR-Signalstärke und der Dauerhaftigkeit bzw. dem Masseverlust gemäß EN113. Unklar ist jedoch, ob ein direkter Zusammenhang besteht – das Vorhandensein stabiler Radikale also die Ursache für die erhöhte Dauerhaftigkeit darstellt. Willems et al. (2010) nennen eine antioxidative Funktion der stabilen Radikale als mögliche Ursache, wodurch von Pilzen in der Initialphase des Befalls abgegebene Radikale über Elektronentransfer abgefangen und der pilzliche Abbau des Holzes in seiner Initialphase gehemmt wird. Allerdings sind ähnlich enge Korrelationen auch zwischen der ESR-Signalstärke und anderen Materialeigenschaften von TMT aufzustellen. Für Eigenschaftsänderungen, wie die Verringerung der Biegefestigkeit oder der Ausgleichsfeuchte, ist das Vorhandensein stabiler Radikale jedoch als direkte Ursache auszuschließen. Wahrscheinlicher ist der enge Zusammenhang zwischen der ESR-Signalstärke und dem Masseverlust der thermischen Modifizierung als Ursache für die engen Korrelationen mit den Materialeigenschaften. Es ist bekannt, dass viele Materialeigenschaften von TMT eine hohe Abhängigkeit vom Masseverlust der thermischen Modifizierung aufweisen (Briscke et al. 2006; Inari et al. 2009; Welzbacher 2010). Eine Methode, welche als Indikator für diesen Masseverlust fungiert, kann folglich zur Bestimmung einer Vielzahl von Materialeigenschaften von TMT eingesetzt werden.

Unabhängig vom Wissen über die genauen Ursachen zwischen der Bildung der stabilen Radikale und deren Verbindung mit den TMT-Materialeigenschaften, wird daher geschlussfolgert, dass die ESR-Spektroskopie hohes Potential zum Einsatz bei der Beurteilung der Behandlungsqualität von TMT besitzt.

4.2 NIR-Spektroskopie

Übereinstimmend mit den Untersuchungen von Bächle et al. (2009, 2010) sowie von Esteves und Pereira (2008) war es möglich Regressionsmodelle aufzustellen, um verschiedene Materialeigenschaften von TMT mithilfe der zugehörigen NIR-Spektren zu beschreiben. Dabei fallen die Ergebnisse je nach Materialeigenschaft und Holzart unterschiedlich aus. Für Buche und Fichte, die auf Labormaßstab thermisch modifiziert worden waren, werden Regressionsmodelle zur Bestimmung des Masseverlustes und der Ausgleichsfeuchte errechnet, welche die Voraussetzungen für ein Screening des Materials erfüllen. Die Ergebnisse für die Modellierung der mechanischen Eigenschaften von thermisch modifizierter Buche und Esche fallen im Vergleich dazu schlechter aus. Allerdings entsprechen die Regressionsmodelle zur Bestimmung von Elastizitätsmodul und Biegefestigkeit der Esche immerhin noch den Voraussetzungen, die an ein grobes Screening des Materials gestellt wurden. Auffällig ist bei Modellierung dieser beiden mechanischen Eigenschaften, dass Spektren basierend auf der radialen Oberfläche deutlich besser zur Aufstellung von Regressionsmodellen geeignet sind, als Spektren von der tangentialen Oberfläche. Laut Bächle et al. (2009) ist bei Messung der tangentialen Oberfläche die Gefahr hoch, dass Früh- oder Spätholz im Spektrum überrepräsentiert wird, während auf der radialen Oberfläche sowohl Früh- als auch Spätholz gemessen wird. Auffällig ist zudem, dass bei Esche die Regressionsergebnisse für die Biegefestigkeit schlechter ausfallen, als dies für den Elastizitätsmodul der Fall ist. Bächle et al. (2010) nennen für die schlechteren Regressionsergebnisse der Biegefestigkeit das Aufkommen von Innenrisen als mögliche Ursache, da diese mittels NIR-Spektroskopie nicht erfasst werden.



Insgesamt wird festgestellt, dass mit einer niedrigen Auflösung, einem eingeschränkten Wellenlängenbereich und einer einfachen Messung mittels Fasersonde vergleichbare Ergebnisse zu solchen Ergebnissen erzielt werden können, welche mit hoher Auflösung, höheren Anzahlen an Scans und einem größerem Wellenlängenbereich erreicht wurden. Insbesondere für einen *On-Line* Einsatz für die Beurteilung der Behandlungsqualität von TMT hat die NIR-Spektroskopie damit ein hohes Potential.

Danksagung

Unser besonderer Dank gilt Dr. C. R. Welzbacher, Prof. Dr. M. Humar sowie M. Wetzig und Prof. P. Niemz für die Bereitstellung von Probenmaterial und den zugehörigen Ergebnissen aus der Prüfung der Materialeigenschaften.

Desweiteren danken wir Dr. C. Lenth vom Laserlaboratorium Göttingen e. V. für die Bereitstellung des NIR-Spektrometers sowie Prof. Dr. M. Bennati und B. Angerstein für Ihre Hilfe bei den Messungen mittels ESR-Spektroskopie am Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie.

Literatur

- AHAJJI, A.; DIOUF, P. N.; ALOUI, F.; ELBAKALI, I.; PERRIN, D.; MERLIN, A.; GEORGE, B. (2009): Influence of heat treatment on antioxidant properties and colour stability of beech and spruce wood and their extractives. *Wood Science and Technology* 43(1-2): 69-83.
- ALTGEN, M.; WELZBACHER, C.; HUMAR, M.; MILITZ, H. (2012): ESR-spectroscopy as a potential method for the quality control of thermally modified wood. COST-Action FP0904 - Thermo-Hydro-Mechanical Wood Behaviour and Processing, nancy, France.
- BÄCHLE, H.; ZIMMER, B.; WINDEISEN, E., WEGENER, G. (2009): Nondestructive evaluation of thermally modified ash (*Fraxinus excelsior* L.) by near infrared spectroscopy (NIRS). European Conference on Wood Modification, Stockholm, Sweden. 173-176.
- BÄCHLE, H.; ZIMMER, B.; WINDEISEN, E., WEGENER, G. (2010): Evaluation of thermally modified beech and spruce wood and their properties by FT-NIR spectroscopy. *Wood Science and Technology* 44(3): 421-433.
- BRISCKE, C.; RAPP, A.; WELZBACHER, C. (2006): High-energy multiple impact (HEMI)-test - part 1: A new tool for quality control of thermally modified timber. The International Research Group on Wood Protection. IRG/WP 06-20346.
- BURMESTER, A. (1973): Einfluß einer Wärme-Druck-Behandlung halbtrockenen Holzes auf seine Formbeständigkeit. *European Journal of Wood and Wood Products* 31(6): 237-243.
- EBNER, G. (2011): Top-Thermoholz-Produzenten 2010. www.timber-online.net, Österreichischer Agraverlag, Wien, Austria.
- ESTEVEZ, B.; PEREIRA, H. (2008): Quality assessment of heat-treated wood by NIR spectroscopy. *Holz als Roh- und Werkstoff* 66(5): 323-332.



- EUWID (2009): Weitere Thermoholzanlagen wurden in Betrieb genommen. EUWID Holz Spezial: Bau & Innenausbau: 80-82.
- EUWID (2010): Europäische Thermoholzanbieter bauen weiter Kapazitäten auf. EUWID - Europäischer Wirtschaftsdienst für Holz und Holzwerkstoffe: 1, 12-13.
- INARI, G. N.; PÉTRISSANS, M.; PÉTRISSANS, A.; GÉRARDIN, P. (2009): Elemental composition of wood as a potential marker to evaluate heat treatment intensity. *Polymer Degradation and Stability* 94(3): 365-368.
- MILITZ, H. (2002): Thermal treatment of wood: European processes and their background. The International Research Group on Wood Protection. IRG/WP 02-40241.
- MITCHELL, P. H. (1988): Irreversible property changes of small Loblolly-pine specimens heated in air, nitrogen, or oxygen. *Wood and Fiber Science* 20(3): 320-335.
- SCHEIDING, W. (2010): Entwicklung des TMT-Sektors seit 2008. 6. Europäischer TMT-workshop, Dresden, Germany.
- SCHIMLECK, L. R.; DORAN, J. C.; RIMBAWANTO, A. (2003a): Near infrared spectroscopy for cost effective screening of foliar oil characteristics in a *Melaleuca cajuputi* breeding population. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51(9): 2433-2437.
- SCHIMLECK, L. R.; MORA, C.; DANIELS, R. F. (2003b): Estimation of the physical wood properties of green *Pinus taeda* radial samples by near infrared spectroscopy. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere* 33(12): 2297-2305.
- SIVONEN, H.; MAUNU, S. L.; SUNDHOLM, F.; JAMSA, S.; VIITANIEMI, P. (2002): Magnetic resonance studies of thermally modified wood. *Holzforschung* 56(6): 648-654.
- STEELINK, C. (1966): Stable free radicals in lignin and lignin degradation products. *Advances in Chemistry Series* 59(1): 51-64.
- STEELINK, C.; TOLLIN, G. (1962): Stable free radicals in soil humic acid. *Biochimica et Biophysica Acta* 59(1): 25-34.
- VIITANIEMI, P.; JÄMSÄ, S.; SUNDHOLM, F. (2001): Method of determining the degree of modification of a heat modified woodproduct. WO 01/53812 A1.
- WELZBACHER, C. (2010): TMT-interlab-test to establish suitable quality control techniques - Structure and first results. The International Research Group on Wood Protection. IRG/WP 10-40503.
- WELZBACHER, C.; BRISCHKE, C.; RAPP, A. (2009): Estimating the heat treatment intensity through various properties of thermally modified timber (TMT). The International Research Group on Wood Protection. IRG/WP 09-40459.
- WILLEMS, W.; TAUSCH, A.; MILITZ, H. (2010): Direct estimation of the durability of high-pressure steam modified wood by ESR-spectroscopy. The International Research Group on Wood Protection. IRG/WP 10-40508.



WILLIAMS, P.; NORRIS, K. H. (2001): Near-infrared technology in the agricultural and food industries, American Association of Cereal Chemists.

ZAMAN, A.; ALÉN, R.; KOTILAINEN, R. (2000): Thermal behavior of scots pine (*Pinus sylvestris*) and silver birch (*Betula pendula*) at 200-230°. *Wood and Fiber Science* 32(2): 138-143.



Qualitätssicherung von TMT in der betrieblichen Praxis

Wolfram Scheiding¹, Christian Welzbacher²

¹ Institut für Holztechnologie Dresden gemeinnützige GmbH

² Heinz-Piest-Institut für Handwerkstechnik an der Leibniz-Universität Hannover

Zusammenfassung

Die thermische Modifikation von Holz als ein alternatives Holzschutz-Verfahren hat im letzten Jahrzehnt in Forschung und Industrie zunehmend Bedeutung erlangt und befindet sich in Form unterschiedlicher Prozesse in der industriellen Umsetzung und Vermarktung. Thermisch modifiziertes Holz (TMT) als Produkt der Modifikationsprozesse stellt zunächst ein Halbfertigprodukt dar, welches verlässliche Daten zu seinen Leistungseigenschaften braucht, um richtig verarbeitet und verwendet zu werden, besonders im Falle von CE-kennzeichnungspflichtigen Produkten. Die Eigenschaften der verfügbaren TMT-Produkte variieren in einem gewissen Rahmen, bedingt durch vorgegebene Schwankungen der Prozesse und Holzqualitäten. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit einer Qualitätssicherung für TMT-Prozesse und TMT-Produkte, um bestimmte geforderte oder deklarierte Eigenschaften dauerhaft sicherzustellen. Eine solche geforderte betriebliche Qualitätssicherung umfasst sieben Kernelemente: Erstprüfung, Werkseigene Produktionskontrolle (WPK), Fremdüberwachung, Produktkennzeichnung, Dokumentation, Reproduzierbarkeit und Rückverfolgbarkeit.

In der Praxis kann die betriebliche Qualitätssicherung in bestehende Qualitätssicherungs-Systeme von Überwachungsorganisationen bzw. Gütegemeinschaften eingebunden werden, wobei Gegenstand der Überwachung sowohl die Produkte mit ihren Leistungseigenschaften und Kennwerten als auch der Produktionsprozess selbst sowie die werkseigene Produktionskontrolle sind. Derzeit sind bereits parallel zur Normung verschiedene Systeme zur Qualitätssicherung verfügbar, u. a. das von der International Thermowood Association etablierte "ThermoWood® production and product quality control" (www.thermowood.fi), das niederländische KOMO-System für Bauprodukte "Timber modification" sowie das von dem Entwicklungs- und Prüflabor Holztechnologie GmbH (EPH) entwickelte "Qualitätszeichen TMT". Aufbauend auf diesen Systemen wurde im Auftrag der Fachgruppe „Thermoholz“ des Bundesverbandes Säge- und Holzindustrie Deutschland e. V. (BSHD) ein umfangreiches Qualitätssicherungssystem für TMT durch das Institut für Holztechnologie Dresden gemeinnützige GmbH und das Institut für Berufswissenschaften im Bauwesen (IBW), Fachbereich Holztechnik, der Leibniz Universität Hannover, erarbeitet. Die betriebliche Umsetzung wird mit diesem Beitrag spezifiziert und erläutert.

Durch die Implementierung dieses Systems in die betriebliche Praxis sind die geprüften und zertifizierten Thermohölzer nicht mehr nur "dunkles Holz", sondern technische Produkte mit gesicherten Qualitäten.

1 Zentrales Thema Qualitätssicherung

Bereits seit vielen Jahren ist die Qualitätssicherung eines der zentralen Themen im Bereich thermisch modifizierter Hölzer (TMT). Diese wurden bis zum Anfang des vergangenen Jahrzehnts zunächst in Finnland produziert und nach Zentraleuropa exportiert; mit den Firmen Plato (NL) und



Menz Holz (D) begann man auch außerhalb Finnlands mit der Produktion. Heute gibt es in Europa knapp 100 TMT-Hersteller, davon 8 in Deutschland, und fast 30 in Übersee.

Wie für neue Produkte üblich, bestanden und bestehen kundenseitig hohe (überhöhte) Erwartungen, die durch schöne Bilder und verbale Produktbeschreibungen der Hersteller und Händler genährt werden. Herstellerseitig wurde bald erkannt, dass ohne eine umfassende Qualitätssicherung kein noch so gutes Produkt dauerhaft am Markt platziert und gehalten werden kann. Auch durch Wettbewerbsprodukte, wie WPC oder chemisch modifizierte Hölzer (Accoya, Belmadur, Kebony) entstand der Zwang, Qualitätssicherung als Marketingargument zu nutzen.

Selbstverständlich liegt es im Eigeninteresse jedes Produzenten, die Qualität seiner Produkte dauerhaft sicherzustellen. Gründe für die Etablierung einer Qualitätssicherung sind neben dem Marketingaspekt vor allem die Vorbeugung von Reklamationen sowie formale Anforderungen. Diese ergeben sich z. B. aus der CE-Kennzeichnungspflicht von Bauprodukten auf Basis harmonisierter Normen, wie Fenstern (EN 14351-1:2010-08) oder Holzfußböden (EN 14342:2008-09). Soll modifiziertes Holz als Rahmenwerkstoff in RAL-zertifizierten Fenstern eingesetzt werden, wird geprüft, ob die benötigte Qualität erreicht und diese dauerhaft sichergestellt wird (VFF-Merkblatt HO.06-4 „Modifizierte Hölzer für den Fensterbau“). Grundelemente der Qualitätssicherung sind auch gefordert, wenn TMT nach der Europäischen Technischen Spezifikation CEN/TS 15679:2007 deklariert wird.

Die Qualitätssicherung umfasst sieben wichtige Elemente, auf die nachfolgend näher eingegangen wird:

- Erstprüfung,
- Werkseigene Produktionskontrolle (WPK),
- Fremdüberwachung,
- Produktkennzeichnung,
- Dokumentation,
- Reproduzierbarkeit,
- Rückverfolgbarkeit.

2 Hauptelemente der Qualitätssicherung

2.1 Erstprüfung

Die Erstprüfung erfolgt üblicherweise durch unabhängige, anerkannte, vorzugsweise akkreditierte Prüfstellen. Diese ermitteln die wichtigsten Produkteigenschaften nach anerkannten Prüfmethoden. Dies können Prüfnormen oder Hausverfahren der Prüfstellen sein. Auch wenn ein Hersteller über die entsprechende Prüftechnik verfügt, werden Erstprüfungen in aller Regel durch externe Prüfstellen erfolgen.

Das Material für die Erstprüfung sollte aus mehreren Produktionschargen entnommen werden, und die Prüfungen getrennt erfolgen.

Anforderungen bezüglich bestimmter Eigenschaften bestehen bei den bisher üblichen Verwendungsbereichen – Terrassenbelägen, Fassadenbekleidungen, Fenster – nur vereinzelt. Dazu zählt z. B. die biologische Dauerhaftigkeit, das Emissionsverhalten (nur bei Verwendung in Innenräumen) oder die Haltefestigkeit für Verbindungsmittel. Viele andere Eigenschaften werden geprüft und deklariert, um das Produkt zu charakterisieren und die Verwendbarkeit für bestimmte Zwecke abzuschätzen.

2.2 Werkseigene Produktionskontrolle (WPK)

Kern der Qualitätssicherung (QS) im Betrieb ist die werkseigene Produktionskontrolle. Diese geht weit darüber hinaus, als das Holz nur nach bestimmten Prozessabläufen (Programmen) zu behandeln. Dies wird in Abb. 1 veranschaulicht:

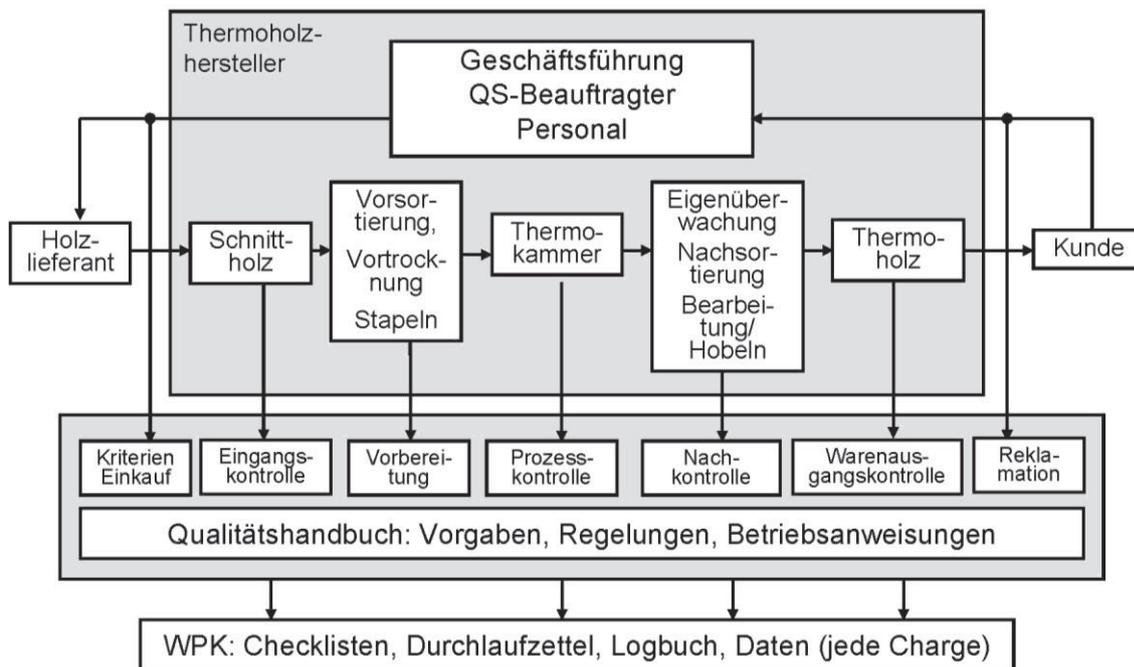


Abb. 1: Produktionsprozess, WPK und interne Dokumentation (Qualitätshandbuch)

Es genügt nicht, alle Qualitätssicherungsmaßnahmen vom Einkauf bis zum Versand nur durchzuführen, denn sie müssen auch geregelt sein und in den betrieblichen Abläufen implementiert werden. Dies kann z. B. in Form von Betriebsanweisungen oder anderweitigen schriftlichen Anweisungen erfolgen. Zentrales Dokument ist ein Qualitätshandbuch, in dem alle QS-relevanten Belange geregelt werden; ebenso sollten dort Vorlagen für Protokolle usw. verankert sein.

Das Personal ist in Fragen der Qualitätssicherung zu befähigen sowie regelmäßig und nachweislich zu belehren. Die Geschäftsführung sollte einen QS-Verantwortlichen benennen, der mit entsprechenden Kompetenzen ausgestattet wird.

Die durchgeführten QS-Maßnahmen sind ebenfalls schriftlich zu dokumentieren. Hierfür haben die verschiedenen TMT-Hersteller eigene Lösungen etabliert, z. B. in Form von Protokollen, Checklisten für die Eingangskontrolle des Holzes, Logbüchern für die Thermobehandlung selbst oder zur Freigabe von Ware zur Auslieferung.

Die schriftliche Dokumentation ist wichtig, um die Rückverfolgbarkeit zu gewährleisten. Diese ist ein wichtiges Element, das für Produkte mit CE-Kennzeichnung verlangt wird. Die Bedeutung der Rückverfolgbarkeit wird spätestens dann klar, wenn eine Reklamation zu bearbeiten ist. Im besten



Fall kann dann (gerichtsfest) nachgewiesen werden, dass alles ordnungsgemäß ablief, und so unberechtigte Ansprüche (hoffentlich) abgewehrt werden können.

Die WPK beinhaltet zunächst die Kontrolle der Holzqualität des Ausgangsmaterials entsprechend der vom Hersteller festgelegten Anforderungen. Material, das diesen Anforderungen nicht entspricht, muss aussortiert und gekennzeichnet werden.

An dieser Stelle soll kurz auf die Frage der Holzsortierung eingegangen werden. Es wurde wiederholt darauf hingewiesen, dass ein thermisch modifiziertes Holz durch Holzart, Sortierung, Hersteller bzw. Verfahren sowie die Behandlungsstufe charakterisiert ist. Die Sortierung berücksichtigt Holzmerkmale wie Jahrringbau, Astigkeit, Faserverlauf oder Schädigungen (Bläue, Fäule).

Der Einfluss der (Güte-)Sortierung auf die Produktqualität wurde in der Vergangenheit häufig unterschätzt. Die Hoffnung, man könne die ungünstigen Merkmale „wegmodifizieren“, ist der Erkenntnis gewichen, dass sich diese eher verstärken. Mit andern Worten: Nur gutes Rohholz gibt gutes Thermoholz.

Obwohl TMT bisher üblicherweise nicht für tragende Zwecke eingesetzt wird, so ist eine Gütesortierung entsprechend Bauholz eine sinnvolle Möglichkeit, um die Sortierqualität von TMT bzw. des Ausgangsmaterials zu definieren. Hierzu kann z. B. die Sortiernorm für Bauholz DIN 4074 „Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit“ oder die EN 1912:2004+A4:2010 „Bauholz für tragende Zwecke – Festigkeitsklassen – Zuordnung von visuellen Sortierklassen und Holzarten“ herangezogen werden. Alternativ ist die Sortierung nach DIN EN 942:2007-06 „Holz in Tischlerarbeiten - Allgemeine Anforderungen“ (Sortierklassen J2, J5, J10, J20 ... J50) möglich.

So wünschenswert es auch ist, dass der Hersteller eine bestimmte Sortierqualität definiert (und deklariert), so schwierig kann dies in der praktischen Umsetzung sein, da nicht immer ausreichendes Material verfügbar ist, man aber an die eigene Vorgabe gebunden ist. Hinzu kommt, dass TMT zunächst ein Halbfertigfabrikat ist, dessen Weiterverarbeitung und Verwendung offen ist. Daher wird die Gütesortierung des Holzes meist nicht durch QS-Systeme festgelegt, sondern liegt in der Verantwortung der einzelnen Hersteller.

Zur Prozessüberwachung sollten die Prozessparameter elektronisch aufgezeichnet und die Aufzeichnungen für mindestens 5 Jahre aufbewahrt werden. Eventuell sind Rückstellproben von jeder Charge möglich (Platzfrage). Die wichtigsten Parameter, die während des Prozesses möglichst an mehreren Messstellen erfasst werden, sind Holztemperatur, Kammertemperatur und Zeit.

Zu den Möglichkeiten, im Rahmen der WPK anhand von Prüfungen an Material der laufenden Produktion im Labor des Herstellers auf Zielgrößen zu schließen, sei an dieser Stelle auf die Beiträge von Torner und Altgen im Rahmen dieser Holzschutztagung verwiesen.

2.3 Fremdüberwachung

Mit der regelmäßigen Fremdüberwachung durch externe, anerkannte (vorzugsweise akkreditierte) Prüfstellen wird die Übereinstimmung mit der Erstprüfung gewährleistet. Die Fremdüberwachung beinhaltet üblicherweise eine Begehung der Produktionsstätte mit Überprüfung der WPK sowie die Probenahme für die Überwachungsprüfung. Eine Fremdüberwachung findet üblicherweise einmal jährlich statt, wobei das Intervall kostenintensiver und aufwendiger Prüfungen verlängert werden kann.

Es ist wichtig zu definieren, welche Abweichung eines Prüfergebnisses der Fremdüberwachung gegenüber der Erstprüfung zulässig ist. Bei der biologischen Dauerhaftigkeit wird erwartet, dass



die Klasse bestätigt wird, bei mechanisch-physikalischen Kennwerten, die immer einer bestimmten Streuung unterliegen, könnte eine Abweichung von $\pm 20\%$ ein akzeptabler Anhaltspunkt sein.

2.4 Produktkennzeichnung

Die Produktkennzeichnung kann entweder am Produkt selbst oder auf der Verpackungseinheit erfolgen. Während die erstere Möglichkeit inzwischen bei Bauholz mit CE-Kennzeichnung bzw. Ü-Zeichen üblich ist, wurde dies bei TMT nur von der Fa. Menz Holz für OHT eingeführt. Weit einfacher ist die Kennzeichnung der Verpackungseinheit mit einem Etikett o. ä., wodurch wichtige Informationen übermittelt werden können. Aus der Produktkennzeichnung sollten mindestens folgende Angaben ersichtlich sein:

- Produktname,
- Hersteller (ggf. Lieferant),
- Holzart,
- Behandlungsstufe (ggf. vorgesehener Verwendungszweck),
- Charge bzw. Herstellungsdatum.

Wichtig ist zudem, dass zu einer Produktkennzeichnung die entsprechende technische Dokumentation verfügbar ist. Dies können gedruckte Unterlagen sein, die der Holzhändler bereithält, oder Dokumente (pdf-Dateien), die aus dem Internet heruntergeladen werden können.

2.5 Dokumentation

Die Dokumentation umfasst einerseits die interne Dokumentation im Rahmen der WPK (s. o.) und andererseits die Dokumentation „für draußen“ in Form technischer Unterlagen, wie Datenblättern, Flyern, Lieferscheinen usw. Für die Erstellung der Dokumentation ist der Hersteller (ggf. auch der Holzhändler) zuständig. Wird der Hersteller fremd überwacht, so ist auch die Dokumentation Gegenstand der Überwachung. Die technischen Unterlagen sollten alle relevanten Prüfergebnisse sowie sonstigen technischen Angaben enthalten, z. B. zur Bearbeitung, Beschichtung, Verklebung und zu Verbindungsmitteln.

2.6 Reproduzierbarkeit

Hierunter ist die Sicherstellung einer gleichbleibenden Qualität zu verstehen. Gleichbleibend bedeutet, dass die natürlichen bzw. objektiven Schwankungen hinsichtlich der Holzgüte (Sortierqualität, siehe 2.1.) oder hinsichtlich bestimmter Eigenschaften innerhalb eines akzeptablen Bereichs liegen. Diese Gleichheit ist für drei hierarchische Ebenen zu gewährleisten:

- innerhalb eines Stückes Holz (homogene Modifizierung),
- innerhalb einer Charge (homogen behandelte Kammerladung),
- von Charge zu Charge (über die Zeit gleichbleibende Qualität).

Die Reproduzierbarkeit wird insbesondere durch die WPK und die regelmäßige Fremdüberwachung sichergestellt. Besonders wichtig ist die gezielte Probenahme, damit die geprüften Probestücke und damit die Prüfergebnisse repräsentativ sind. Eine Möglichkeit ist das Vorgehen nach DIN CEN/TS 12169:2008-04 „Kriterien zur Konformitätsprüfung eines Loses Schnittholz“.

2.7 Rückverfolgbarkeit

Die Rückverfolgbarkeit wird u. a. für CE-kennzeichnungspflichtige Produkte gefordert und ist wichtig für die Bearbeitung von Reklamationen.

Anhand der Produktkennzeichnung kann zunächst der Weg eines Produktes über die Lieferkette bis zum Hersteller zurückverfolgt werden. Dort ist dann die betriebsinterne Dokumentation gefragt, mit der im besten Fall nachzuweisen ist, dass der Herstellungsprozess ordnungsgemäß war. Landet ein Reklamationsfall vor einem Gericht, bekommen die für die Rückverfolgbarkeit relevanten Dokumente eine ganz besondere Bedeutung.

3 Privatwirtschaftlich organisierte Qualitätssicherungssysteme

Die betriebliche Qualitätssicherung kann in Qualitätssicherungs-Systeme eingebunden sein, die von Überwachungsorganisationen wie Prüfinstituten oder Hersteller- bzw. Gütegemeinschaften entwickelt und angeboten werden. Grundlage der Überwachung sind Anforderungen, die sich aus gesetzlichen Regelungen, Normen oder z. B. durch von einer Gütegemeinschaft erstellten Vergaberichtlinien ergeben, sowie die Absicherung einer gleichbleibenden Qualität, damit sich die z. B. in einer Erstprüfung ermittelten Kennwerte auch auf Produkte späterer Produktionschargen anwenden lassen. Gegenstand der Überwachung sind sowohl Produkte mit ihren Leistungseigenschaften und Kennwerten als auch der Produktionsprozess selbst sowie die werkseigene Produktionskontrolle. Das Zusammenspiel der Beteiligten ist schematisch in Abb. 2 dargestellt.

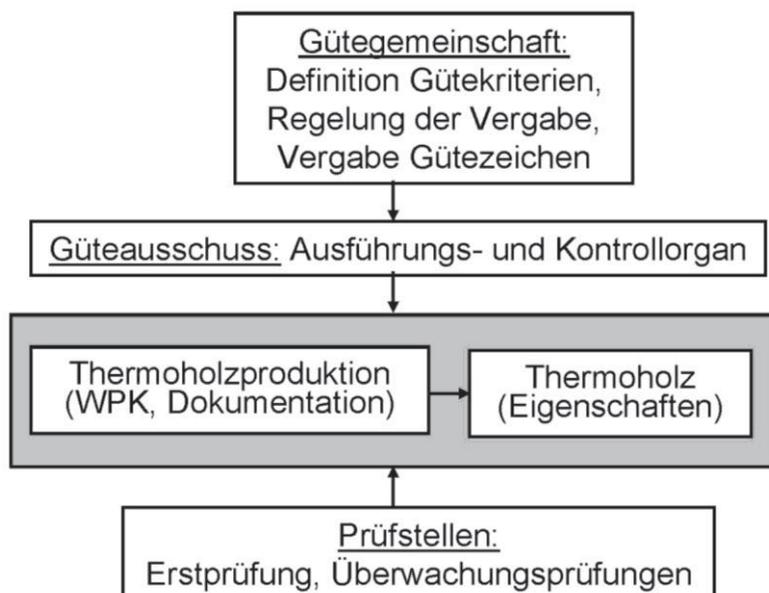


Abb. 2: Gütekriterien, Überwachung und Prüfung durch unabhängige Dritte

Parallel zur Normung sind verschiedene Systeme zur Qualitätssicherung verfügbar. Dazu zählen die von der International Thermowood Association etablierte "ThermoWood® production and product quality control" (www.thermowood.fi), das niederländische KOMO-System für Bauprodukte "Timber modification" sowie das von der Entwicklungs- und Prüflabor Holztechnologie GmbH (EPH) entwickelte "Qualitätszeichen TMT". Obwohl diese drei Systeme seit einigen Jahren am Markt sind, ist die Zahl der zertifizierten Betriebe bzw. Produkte – im Gegensatz zur Zahl der Hersteller – noch gering.



Auf dem 7. Europäischen TMT-Workshop in Dresden wurde im April diesen Jahres mit dem "Qualitätssiegel Thermoholz" ein weiteres System vorgestellt. Dieses beruht auf einer Initiative der Fachgruppe „Thermoholz“ im Bundesverband Säge- und Holzindustrie Deutschland e. V. (BSHD). Mit der Erarbeitung des Qualitätssicherungskonzeptes wurden das Institut für Holztechnologie Dresden gemeinnützige GmbH und das Institut für Berufswissenschaften im Bauwesen (IBW), Fachbereich Holztechnik, der Leibniz Universität Hannover, beauftragt. Das durch die beiden Autoren dieses Beitrags erstellte Konzept basiert maßgeblich auf den Vergaberichtlinien zum "Qualitätszeichen TMT", das vom EPH, dem Tochterunternehmen des IHD, vergeben wird. Ebenfalls flossen langjährige Erfahrungen des IBW mit der thermischen Modifizierung in die Erarbeitung ein. Träger des Qualitätssicherungs-Systems "Qualitätssiegel Thermoholz" ist der eigens hierzu gegründete "Thermoholz-Qualität e. V.", dessen Geschäftsstelle beim BSHD in Berlin angesiedelt ist.

Sowohl das "Qualitätszeichen TMT" als auch das "Qualitätssiegel Thermoholz" umfassen die o. g. Hauptelemente der Qualitätssicherung, wie sie auch im Rahmen der CE-Kennzeichnung oder bei geregelten bzw. zugelassenen Bauprodukten üblich bzw. nachzuweisen sind. Mit dem von der EPH vergebenen „Qualitätszeichen TMT“ sind Fromsseier (Celloc) sowie Hagensieker (proGoodWood) und Firstwood zertifiziert, während das „Qualitätssiegel Thermoholz“ bisher an Menz Holz (OHT), Timura und Hagensieker verliehen wurde.

Ausblick

Die Aktivitäten zur Qualitätssicherung der Thermoholzhersteller und die verfügbaren und demnächst zu erwartenden Prüfergebnisse, technischen Dokumente und Zertifikate stellen einen entscheidenden Fortschritt im Bereich der thermischen Modifizierung dar. Damit wird sowohl dem Bedarf von Holzverarbeitern, Holzfachhandel und Verbrauchern, aber auch den gesetzlichen, normativen oder vertraglichen Forderungen auf nationaler und europäischer Ebene entsprochen. Alle verfügbaren und notwendigen Informationen (technische Dokumente, Vergabeunterlagen, Qualitätskriterien) werden von Herstellern bzw. Organisationen sukzessive bereitgestellt.

Durch die externe Bewertung der werkseigenen Produktionskontrolle sowie die regelmäßige Fremdüberwachung wird die erforderliche Objektivität und Kontinuität der Qualitätssicherungssysteme sichergestellt.

Damit sind die geprüften und zertifizierten Thermohölzer nicht mehr nur "dunkles Holz", sondern technische Produkte mit gesicherten Qualitäten.

Literatur

DIN 4074 (2012): Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit - Teil 1: Nadelschnittholz.

DIN 4074 (2008): Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit - Teil 2: Laubschnittholz.

DIN CEN/TS 12169 (2008): Kriterien zur Konformitätsprüfung eines Loses Schnittholz.

DIN EN 942 (2007): Holz in Tischlerarbeiten - Allgemeine Anforderungen.

EN 1912 + A4 (2004; 2010): Bauholz für tragende Zwecke – Festigkeitsklassen – Zuordnung von visuellen Sortierklassen und Holzarten.



WPC – Allgemeine Charakteristik und Lebensdauer im Vergleich zu Holz

Andreas Krause¹, Manfred Schmid²

¹ Georg-August-Universität Göttingen, Abteilung Holzbiologie und Holzprodukte

² SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Geschäftsfeld Nachhaltigkeit

Zusammenfassung

Holz-kunststoffkomposite (engl. wood polymer composites; WPC) sind thermoplastisch verarbeitete Holzwerkstoffe, die seit wenigen Jahren auf dem deutschen Markt angeboten werden. Das Hauptprodukt aus WPC (ca. 90 % Marktanteil) sind Terrassenbretter, die durch Extrusion hergestellt werden. Durch neuere Entwicklungen werden auch Produkte durch Spritzguss produziert, die eher mit typischen Kunststoffanwendungen konkurrieren. WPC bestehen in der Regel aus Holz (50 % - 80 %), thermoplastischen Kunststoffen (PE, PP, PVC) und verschiedenen Additiven. Die Verarbeitung erfolgt meist 2-stufig. Im ersten Schritt werden die Bestandteile unter Aufschmelzen des Kunststoffes vermischt (Compoundierung) und im zweiten Schritt in geschmolzenem Zustand in die gewünschte Form gebracht (Konsolidierung). Die Produkte aus WPC weisen Eigenschaften auf, die weder für klassische Holzwerkstoffe noch für herkömmliche Kunststoffe typisch sind.

Besonders die Langzeiteigenschaften sind bei WPC noch relativ unbekannt, sodass erhebliche Unsicherheiten bei Verarbeitern und Anwendern bestehen. Die Langzeitstabilität von Terrassenbrettern aus WPC und Holz in Außenbewitterung wird zurzeit untersucht, um grundlegende Informationen zur Lebensdauer zu erhalten. Die Lebensdauer der Produkte ist eine Basisgröße für die Beurteilung des ökologischen (LCA) und wirtschaftlichen (LCC) Lebenszyklus. Untersucht wurde und wird das Verhalten von drei Terrassenprodukten aus WPC im Vergleich zu imprägniertem Kiefernholz und tropischem Hartholz (Bilinga). Die Untersuchung findet an vier verschiedenen Standorten in Deutschland und Belgien statt, an denen die Terrassen jeweils vier unterschiedlichen Belastungsszenarien ausgesetzt sind. Die Ergebnisse nach einer Vegetationsperiode zeigen, dass zum Teil eine erhebliche Reduzierung des E-Modules an den WPC gemessen wurde, während sich das Holz durch Verfärbungen und Risse verändert hat. Alle Terrassenbretter sind aus technischer Sicht bisher nicht beeinträchtigt. Eine LCA-Studie zeigte, dass das imprägnierte Kiefernholz in allen Kategorien gegenüber den anderen Materialien weniger Umwelteinflüsse aufweist.

1 Rohstoffe und Herstellung

Holz-kunststoffkomposite (WPC) sind ein Verbundwerkstoff, der zu einem großen Anteil (meist mehr als 50 %) aus Holzpartikeln als Füllstoff bzw. Faserverstärkung besteht und durch eine thermoplastische Matrix (meist Polyolefine oder PVC) verbunden ist (Klyosov 2007; Niska 2008). WPC werden aber auch als Holzwerkstoffe bezeichnet, die statt mit einem duroplastischen Klebstoff mit Thermoplasten verklebt werden. Mit Hilfe dieser beiden unterschiedlichen Ansätze ist es möglich die Struktur von WPC zu beschreiben. In der Abb. 1 sind schematisch beide Varianten dargestellt. Enthalten die WPC nur wenig Holz (< 60 %) trifft eher das Faser-Matrix-Model (a) zu, während bei hohen Holzanteilen (> 70 %) eher das Verklebungsmodel (b) das Materialverhalten abbildet. Bei mittleren Holzanteilen stellt sich eine Mischung der beiden Modelle ein.

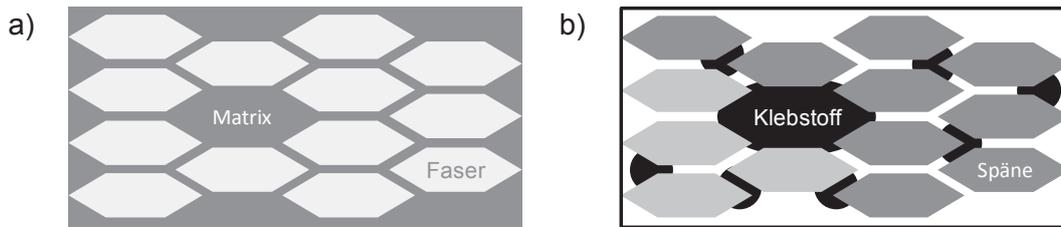


Abb. 1: Schematische Darstellung der Struktur von WPC. a) Die Holzpartikel (Faser) sind einzeln in eine thermoplastische Matrix eingebettet. b) Die Holzspäne werden vom thermoplastischen Klebstoff zusammengehalten.

1.1 Holz in WPC

Als Holzkomponente für WPC wird in Deutschland überwiegend Nadelholz, in der Regel Fichte, verwendet (Vogt 2005). Aus technischer Sicht ist es ebenso möglich, Laubhölzer zu einzusetzen. Unter dem Sammelbegriff WPC werden aber auch Komposite verstanden, die andere Lignocellulosematerialien enthalten. Zu diesen Rohstoffen zählen beispielsweise Bambus, Recyclingpapier, holzige Einjahrespflanzen und Ähnliches (Haider, Eder et al. 2012). Nach dem neuen europäischen Normentwurf CEN/TC 149 WG13 prEN 15534-4 ist es notwendig, die Art der Holzkomponente für WPC-Terrassenbretter wie folgt zu deklarieren: Holz (W), Leinen (F), Hanf (H), Reis (R), Bambus (B), Papier (P), Sisal (S), Kokos (C), Andere (O).

Das Holz in WPC besteht normalerweise aus Holzpartikeln, die wesentlich kleiner sind als Späne für Spanplatten und andere duroplastische Holzwerkstoffe. Die verwendeten Partikelgrößen sind von den Produkten und dem Verarbeitungsverfahren abhängig:

- Holzspäne (mittlere Partikellänge 0,2 bis 2 mm) werden für Produkte eingesetzt, bei denen die Späne noch optisch sichtbar sein sollen. Diese Partikel werden normalerweise zusammen mit Polyolefinen (PE, PP) im Extrusionsverfahren verarbeitet. Typische Produkte dafür sind Terrassenbretter (Abb. 2a).
- Holzmehl (mittlere Partikellänge < 0,2mm) werden aus unterschiedlichen Gründen verwendet (Abb. 2b)
 - Holzmehl wird zusammen mit PVC verwendet, da PVC als Pulvermischung compoundingiert wird und sich so Holz und PVC besser mischen lassen.
 - Holzmehl wird in Produkten eingesetzt, in denen das Holz nicht als einzelne Partikel erkennbar sein soll.
 - Holzmehl wird für das Spritzgussverfahren verwendet, da bei diesem Verfahren die WPC-Schmelze durch enge Kapillaren (z. B. Düse) transportiert werden muss und die Produkte oft geringe Wandstärken aufweisen.
- Holzfasern (thermomechanischer Aufschluss; TMP) werden bisher nicht in WPC-Produkten eingesetzt, da die geringe Schüttdichte und schlechte Dosierbarkeit in den Verarbeitungsprozessen sehr problematisch sind.

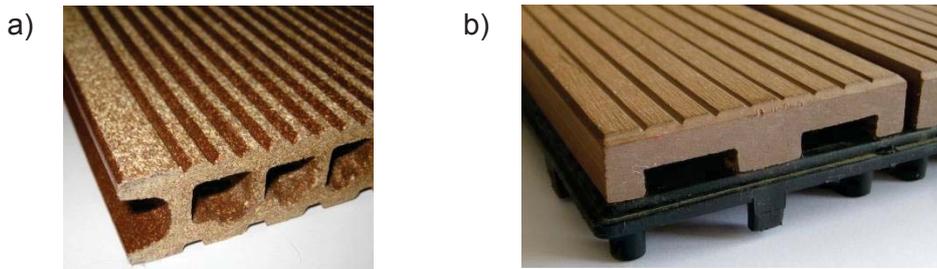


Abb. 2: a) Terrassenbrett aus groben Holzspänen. b) Terrassenbrett aus sehr feinen Partikeln

Die Holzpartikel werden in der Regel aus waldfrischem, entrindetem Rohholz oder aus Sägebrenprodukten hergestellt. Das Herstellen der Partikel erfolgt mittels Mahltechnologie und Trocknung. Holzpartikelmischungen weisen häufig eine Feuchtigkeit von weniger als 6 % auf. Höhere Feuchtigkeit verursacht Probleme bezüglich Dosierung und Entgasung in den Herstellungsprozessen.

1.2 Thermoplastische Matrixmaterialien

Die Holzpartikel in WPC werden durch eine thermoplastische Matrix verbunden bzw. verklebt. Dazu kommen verschiedene Polymere zum Einsatz. Insbesondere die Polyolefine wie Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP) haben sich am Markt durchgesetzt. Zusätzlich dazu wird Polyvinylchlorid (PVC) zur Herstellung von WPC verwendet (Müller, Radovanovic et al. 2012). Andere Polymere haben bisher nur eine untergeordnete Bedeutung. Wichtigstes Kriterium zur Verwendung eines Polymers als Matrix ist die Verarbeitungstemperatur. Da sich Holz oberhalb von 200 °C stark thermisch zersetzt, sollte die Prozesstemperatur diesen Wert nicht überschreiten (Müller, Militz et al. 2012). Die verwendeten Matrixpolymere unterscheiden sich je nach Art und Typ. Die Tabelle 1 gibt einen Überblick, über die wichtigsten Eigenschaften.

Die Verarbeitung von Polyolefinen ist im Vergleich zu PVC relativ problemlos. Allerdings ist durch die hohe Glasübergangstemperatur von PP bzw. die geringe Wärmeformbeständigkeit von PE die Verwendung zum Teil eingeschränkt. Die unterschiedliche Polarität von Holz und Polyolefinen machen die Verwendung eines Haftvermittlers unbedingt notwendig (Mohanty 2004). Im Gegensatz dazu braucht das polare PVC keinen Haftvermittler zum Holz. PVC weist durch die hohe Bewitterungsstabilität Vorteile bei Außenverwendung auf (Fabiyyi and McDonald 2010). Gleichzeitig ist der Einsatzbereich beschränkt, bedingt durch die geringe Schlagzähigkeit, die durch das Holz in WPC weiter verringert wird. Zusätzlich dazu ist die Produktion von WPC auf Basis von PVC technisch komplizierter. Bei zu hoher Temperatur oder Scherung kommt es aus dem PVC zur Abspaltung von HCl. Dadurch wird zusätzlich das Holz degradiert und spaltet ebenfalls Säuren ab. Durch diese sich verstärkenden Faktoren besteht ein erhebliches Risiko im Produktionsprozess (Müller, Militz et al. 2012).



Tabelle 1: Übersicht über Eigenschaften der typischen Polymere für WPC

Eigenschaft	PE-HD	PP	PVC
Kristallinität	Teilkristallin (60 – 80 %)	Teilkristallin (60 – 80 %)	amorph
Gebrauchstemperatur [°C]	-70 – +60	-10 – +110	< 80
Verarbeitungstemperatur [°C]	150 – 180	160 – 200	170 – 190
Maximaler Holzanteil Extrusion [%]	85	80	60
Maximaler Holzanteil Spritzguss [%]	60	60	50
Dichte [g/cm ³]	0,94 – 0,97	0,89 – 0,92	ca. 1,4
E-Modul [MPa]	1000	1300 - 1800	1000-3500
Schlagzähigkeit	hoch	hoch	gering
Polarität	sehr gering	sehr gering	hoch
Wasseraufnahme	sehr gering	sehr gering	gering
Prozessstabilität	sehr hoch	sehr hoch	gering
Bewitterungsstabilität	hoch	hoch	sehr hoch
Kosten [€/kg]	1,2 – 2	1,2 – 2	2 – 2,5

1.3 Additive

Die Herstellung von WPC erfolgt üblicherweise unter Verwendung verschiedener Additive. Die Additive teilen sich in Prozesshilfsmittel und Effektstoffe. Die Prozesshilfsmittel sollen eine optimale Verarbeitung ermöglichen. Deshalb wird durch Gleitmittel die Schmelzeviskosität verringert und durch Stabilisatoren (bei PVC) die Abspaltung von HCl reduziert. Da die Prozesshilfsmittel im fertigen Produkt verbleiben, werden dadurch auch die WPC-Eigenschaften beeinflusst. So führt z. B. die Zugabe von Gleitmittel zu einer verringerten Wasseraufnahme (Adhikary, Park et al. 2011). Die Effektstoffe sollen eine bestimmte Eigenschaft im fertigen Produkt hervorrufen. Bei Polyolefinen wird deshalb Maleinsäureanhydrid gepropftes PP (MAPP) oder PE (MAPE) als Haftvermittler eingesetzt, um die Bindung zwischen dem polaren Holz und den unpolaren Polyolefinen zu verbessern. Meist werden zur farblichen Gestaltung und zum Schutz vor UV-Abbau Pigmente verwendet. Um die Resistenz von WPC gegenüber Mikroorganismen, wie Basidiomyceten, Schimmel, Bläue und Algen zu verbessern werden den WPC-Produkten für Außenanwendungen wie Terrassenbretter unter Umständen Biozide zugesetzt. In der Tabelle 2 ist eine Übersicht über die am häufigsten verwendeten Additive aufgeführt.



Tabelle 2: Übersicht über die häufig verwendeten Additive

Prozesshilfsmittel	Effektstoffe
Gleitmittel	Haftvermittler
Stabilisatoren	Pigmente
	Biozide

1.4 Verarbeitung

Die Verarbeitung der Rohstoffe zu WPC erfolgt in der Regel zweistufig. In einem ersten Prozessschritt werden die Rohstoffe im geschmolzenen Zustand miteinander vermischt (Compoundierung) und im zweiten Prozessschritt in die endgültige Form gebracht (Konsolidierung). Es gibt auch Verfahren bei denen die beiden Schritte in einem Prozess zusammengefasst werden, um das Material nur einmal aufzuschmelzen. Teilweise werden die einzelnen Prozessschritte jeweils von unterschiedlichen Firmen durchgeführt und das Halbzeug (Compound) vermarktet.

1.4.1 Compoundierung

Das Ziel der Compoundierung ist es, die Ausgangsrohstoffe zu vermischen und ein einfach verarbeitbares Compound herzustellen. Der Kunststoff wird dazu unter Temperatur und Scherung geschmolzen, mit dem Holz und den Additiven distributiv und dispersiv gemischt und beim Abkühlen in die Form von Agglomeraten oder Granulaten überführt (Viksne and Rence 2008).

Es ist möglich die Compoundierung mittels grundsätzlich verschiedener Technik durchzuführen. Zwei Verfahren haben sich dabei am Markt hauptsächlich durchgesetzt. Zum einen wird die Heiz-Kühl-Mischer-Technik (HKM) verwendet, die für die Aufbereitung hochgefüllter WPC (> 60 Holzanteil) und WPC auf Basis von PVC eingesetzt wird. Das so hergestellte Compound ist in Form von Agglomerat oder Pulver erhältlich. Zum anderen werden Extrusionsverfahren verwendet, von denen sich insbesondere die parallelen, gleichläufigen Doppelschneckenextruder und die Planetwalzenextruder durchgesetzt haben. Die Doppelschneckenextruder werden für alle Mischungen mit Ausnahme von PVC verwendet und bringen das Compound in die Form von Granulaten. Planetwalzenextruder haben keine Einschränkung des Anwendungsbereiches.

1.4.2 WPC Herstellung durch Profilextrusion

Der überwiegende Anteil der WPC-Produkte (ca. 90 %) wird mittels Extrusionsverfahren hergestellt. Zu den so hergestellten Produkten zählen vor allen Dingen die Terrassenbretter. Für die Extrusion zu WPC-Profilen werden meistens konische oder parallele gegenläufige Doppelschneckenextruder eingesetzt. Diese Extruder haben die Aufgabe, das WPC-Compound aufzuschmelzen, zu homogenisieren und bei hohem Druck (bis zu 350 bar) durch das Extrusionswerkzeug zu pressen. Das Extrusionswerkzeug gibt den Profilen die spezifische Form (z. B. Holzkammerprofile oder Vollprofile) und übergibt das noch weiche Profil an die Kalibrier- und Kühlstrecke. Innerhalb dieses Anschnittes wird zum Teil die Oberfläche durch Bürsten oder Prägen bearbeitet. Am Ende dieser Produktionslinie wird das Profil auf die gewünschte Länge geschnitten. Mit Hilfe von Extrusion ist es möglich sehr hochgefüllte WPC (Holzanteil > 75 %) herzustellen. Die Produktionsgeschwindigkeit ist in der Regel weniger als 1m pro min (Crookston, Young et al. 2011).



1.4.3 WPC Herstellung durch Spritzguss

Weniger verbreitet als die Extrusion ist die Herstellung von WPC-Produkten mittels Spritzgusstechnik. Produkte, wie die Terrassenkassette von Werzalit werden so produziert. Das WPC-Compound wird in der Dosiereinrichtung der Spritzgussmaschine aufgeschmolzen und bis vor die Düse transportiert. Da die Dosiereinrichtung normalerweise nicht über eine Entgasungszone verfügt, muss das Compound sehr trocken (weniger 0,5 % Feuchtigkeit) und gasfrei sein. Die Schnecke der Dosiereinrichtung spritzt die WPC-Schmelze in einem zyklischen Prozess mit hohem Druck (> 1000 bar) durch die Düse in die Kavität des Spritzgusswerkzeugs ein. Dort wird die Schmelze abgekühlt und verfestigt so, dass sie anschließend entformt werden kann. Auf Grund der langen Fließwege, der geringen Durchmesser der Kanäle und der hohen Viskosität der WPC-Schmelze enthalten die Spritzguss-WPC-Produkte weniger Holz als die durch Extrusion hergestellten Produkte (Behravesh, Aghdam et al. 2010).

2 Materialeigenschaften

Die Materialeigenschaften von WPC unterscheiden sich stark von den Eigenschaften typischer Kunststoffe und auch wesentlich von den duroplastisch gebundenen Holzwerkstoffen. Auf Grund der vielen Parameter in der Rohstoffzusammensetzung und den Produktionsmöglichkeiten unterscheiden sich die Materialeigenschaften verschiedener WPC sehr stark. Im Folgenden wird deshalb nur auf die wichtigsten Eigenschaften für Terrassenbretter eingegangen. Die Beurteilung der Eigenschaften stellt oft eine große Herausforderung dar, da die Standards für Holz bzw. für Kunststoffe nicht ohne Veränderungen für WPC verwendet werden können. Aus diesem Grund wird zurzeit intensiv an einer Europäischen Norm zur Beurteilung von WPC gearbeitet. Der aktuelle Entwurf CEN TS 249 WG 13 für prEN 15534 (2012) enthält folgende Teile:

- Teil 1: Prüfmethode für WPC
- Teil 2: Produkte für tragende Anwendungen (zurzeit nicht bearbeitet)
- Teil 3: Spezifikationen für Compound
- Teil 4: Spezifikationen für Terrassenbretter
- Teil 5: Spezifikationen für Fassadenbretter

2.1 Mechanische Eigenschaften

Die mechanischen Eigenschaften der WPC sind die grundlegenden Schlüsseleigenschaften um die Verwendung in verschiedenen Produkten z. B. Terrassenbretter zu ermöglichen. Eine Zusammenfassung der wichtigsten Eigenschaften findet sich in der Tabelle 3.



Tabelle 3: Mechanische Eigenschaften von WPC im Vergleich zu Fichtenholz und Spanplatten

Eigenschaft	WPC	Fichte	Spanplatte
E-Modul [GPa]	3 – 7	axial 12 / quer 0,5	1,6
Zugfestigkeit [MPa]	30 – 70	axial 90 / quer 3	keine Werte
Biegefestigkeit [MPa]	40 – 80	axial 80	13
Schlagzähigkeit [kJ/m ²]	10 – 20	axial 45	keine Werte
Brinellhärte [N/mm ²]		axial 32 / quer 12	

Die mechanischen Eigenschaften von WPC sind zum Teil sehr stark abhängig vom Holzanteil. Der E-Modul, die Biegefestigkeit und die Härte nehmen mit steigendem Holzanteil in der Regel zu, während die Schlagzähigkeit abnimmt (Bledzki, Faruk et al. 2002). Die Zugfestigkeit ist eher vom Polymer, dem Verbund und der Partikelgröße und -form abhängig. Eine Steigerung der Zugfestigkeit gegenüber der Zugfestigkeit des Basispolymers ist bei optimalen Bedingungen möglich. Das Holz weist somit eine gewisse Faserverstärkungswirkung auf. Diese ist jedoch auf Grund der geringen mechanischen Eigenschaften des Holzes im Vergleich zu Glasfaser und anderen Verstärkungsfasern sehr begrenzt.

2.2 Wasseraufnahme und Dimensionsstabilität

Holz als hygroskopischer Werkstoff steht immer in Wechselwirkung mit der Feuchtigkeit der Umgebung. Zu dieser Feuchtigkeit gehört sowohl die Luftfeuchtigkeit als auch flüssiges Wasser. Analog zu Holz oder zu klassischen Holzwerkstoffen nimmt auch WPC Feuchtigkeit auf. Direkt nach der Herstellung ist die Materialfeuchtigkeit in WPC auf Grund der hohen Verarbeitungstemperaturen weniger als 1 %. Nach dem Abkühlen beginnt die Feuchtigkeitsaufnahme von WPC. Die Geschwindigkeit der Wasseraufnahme hängt von vielen Faktoren ab. Je höher der Holzanteil ist, desto schneller findet der Prozess statt. Das gilt insbesondere für WPC mit sehr hohen Holzanteilen, bei denen das Polymer nicht mehr jedes Partikel ummanteln kann und so Holz zu Holzverbindungen im gesamten Komposit vorhanden sind (vergleiche Abb. 1b). Die maximale Feuchtigkeit entspricht ungefähr der Fasersättigung bezogen auf den Holzanteil. Meist dauert eine solche Aufweitung viele Wochen und Monate (Chaharmahali, Mirbagheri et al. 2010).

Die Aufnahme von Feuchtigkeit im WPC führt stets zu einer Quellung des gesamten Komposites. Die Quellung findet in gewisser Weise anisotrop statt, da die Partikel durch den Produktionsprozess zum Teil in einer Richtung orientiert werden. Diese Anisotropie ist weniger stark ausgeprägt als in massivem Holz. Durch die weniger anisotrope Quellung entsteht vor allem in Terrassenbrettern das Problem des Längenwachstums, welches zu Beschädigungen der Terrasse führen kann. Wegen der geringen Feuchtewechselgeschwindigkeit ist die mittlere Feuchtigkeit in WPC-Produkten im Außeneinsatz deutlich geringer als in vergleichbaren Holzprodukten.

2.3 Resistenz gegenüber Mikroorganismen

Für die Herstellung von WPC werden überwiegend wenig dauerhafte Holzarten verwendet. Aus diesem Grund gibt es ein prinzipielles Risiko, dass WPC von Mikroorganismen befallen werden. Das Risiko wird jedoch dadurch abgemildert, dass die Feuchteaufnahme sehr langsam erfolgt und ausreichend hohe und langanhaltende Feuchtigkeit nur selten erreicht wird. Eine besondere Herausforderung für WPC ist der Zusammenhang zwischen Pilzabbau und der mechanischen Festigkeit, der vermutlich sehr unterschiedlich zu Massivholz verläuft. Aus diesem Grund wird eine



Beurteilung der Dauerhaftigkeit für Terrassenbretter nach der neuen Normung vorgeschrieben. Diese Untersuchung der Resistenz gegenüber Basidiomyceten basiert auf dem Standard ENV 12038 mit erheblichen Abweichungen bezüglich der Feuchtigkeit, und Prüfkörpergröße. In diesem Test werden zusätzlich zum Masseverlust auch die Reduzierung des E-Modules und der Biegefestigkeit ermittelt. Es werden jedoch keine Dauerhaftigkeitsklassen berechnet, sondern die Messwerte angegeben (Schirp and Wolcott 2005; Defoirdt, Gardin et al. 2010; Fabiyi, McDonald et al. 2011).

Außer von holzerstörenden Pilzen können WPC von verfärbenden Pilzen oder Algen befallen werden. Ein vollständiger Schutz gegenüber diesen Organismen ist derzeit nur über ein entsprechendes Schutzmittel zu erreichen. Die Anfälligkeit ist von vielen Parametern, wie z. B. Holzanteil und –art oder der Verwendung von Additiven abhängig.

3 Lebensdauer von WPC-Terrassenbrettern im Vergleich zu Holz

Terrassenbeläge aus WPC sind derzeit ein beliebtes Produkt, welches sowohl im privaten Bereich als auch in öffentlichen Objekten zum Einsatz kommt. Die Hersteller geben häufig viele Jahre lang Garantie auf diese Produkte (z. B. 25 Jahre von Trex). Trotz dieser Garantien ist die Lebensdauer der Produkte schwer abzuschätzen. Aus diesem Grund wurde ein Feldversuch installiert, mit dem die Lebensdauer verschiedener Terrassenbretter aus WPC und Holz abgeschätzt werden soll. Diese Daten werden außerdem für Lebenszyklusuntersuchungen (LCA oder LCC) verwendet. Der Versuch wurde im Jahr 2011 begonnen und wird in Abhängigkeit von den Eigenschaften der Produkte mehrere Jahre andauern.

3.1 Versuchsaufbau

3.1.1 Materialien

In diesem Versuch wurden Terrassenbretter verwendet, die als Produkte derzeit auf dem Markt sind und zum einen mit imprägniertem Kiefernholz und tropischem Hartholz verglichen.

Tabelle 4: Übersicht über die Terrassenbretter für die Lebensdaueruntersuchung

Bezeichnung	Material
WPC/PE1	WPC basierend auf PE mit einem Holzanteil von 70-75 %. Extrudiert als Vollprofil mit gebürsteter Oberfläche. Formulierung und Prozess unterschiedlich zu WPC/PE2
WPC/PE2	WPC basierend auf PE mit einem Holzanteil von 70-75 %. Extrudiert als Hohlkammerprofil mit gebürsteter Oberfläche. Formulierung und Prozess unterschiedlich zu WPC/PE1
WPC/PVC	WPC basierend auf PVC mit einem Holzanteil von ca. 50 %. Extrudiert als Hohlkammerprofil. Oberfläche ohne Nachbearbeitung
impKi	Kesseldruck Imprägniertes Kiefernholz, aus gehobelten Kiefern Brettern mit Rillenprofil und Kern- und Splintanteilen. Imprägnierung entsprechend RAL-GZ 411
Bil	Massive gehobelte Diele mit Rillen aus Bilinga (<i>Nauclea diderrichii</i>). Dauerhaftigkeitsklasse 1 nach EN 350-2



Jeweils 6 Bretter mit 1000 mm Länge wurden mit den dafür vorgesehenen Halteelementen (Klammern oder Schrauben) zu Terrassenelementen auf eine Unterkonstruktion aus Lärchenholz aufgebracht. Pro Material wurden 20 solcher Elemente hergestellt.

3.1.2 Versuchsaufbau

Die Terrassenelemente wurden an vier Standorten in vier Belastungsszenarien im Frühjahr 2011 installiert. Die Standorte repräsentieren typische Bewitterungsregionen in Mitteleuropa:

- Göttingen: kühles Klima mit wenig Sonnenschein und mittlerer gleichmäßig verteilter Niederschlagsmenge
- Würzburg: warmes und trockenes Klima mit sehr hoher Sonnenscheindauer und wenig Niederschlägen
- Karlsruhe: warmes Klima mit mittlerer Sonnenscheindauer und relativ hohe, ungleichmäßig verteilten Niederschlägen
- Sint Denjis (Belgien): atlantisches Klima mit gemäßigten Temperaturen, wenig Sonnenschein, hohen Niederschlägen und hoher Luftfeuchtigkeit
- An diesen vier Standorten wurden die Terrassenelemente jeweils in verschiedenen Bewitterungsszenarien eingebaut. Die Szenarien wurden unterschieden nach benutzt (z. B. als Wege) oder unbenutzt und mit hoher Sonneneinstrahlung oder im Schatten.

Einmal pro Jahr bzw. nach der ersten Vegetationsperiode, wurden die Elemente demontiert, das Gewicht und die Dimensionen der einzelnen Bretter vermessen. Zusätzlich dazu wurde die Durchbiegung der einzelnen Bretter in einem 4-Punkt-Biegeversuch vor und nach Bewitterung untersucht. Das untere Auflager hatte eine Distanz von 900 mm und das obere Auflager 300 mm. Die Durchbiegung wurde nach einer Vorlast von 5 kg für eine Last von 40 kg ermittelt.

Zusätzlich zu den physikalischen Eigenschaften wurden die Veränderungen durch Verfärbung, Risse und sonstige Schäden dokumentiert.

3.2 Ergebnisse und Diskussion

Die Elemente wurden zu etwas unterschiedlichen Zeiten installiert und vermessen. Aus diesem Grund unterscheiden sich die Bewitterungszeiträume in geringem Maße. Während in Sint Denjis eine Bewitterungszeit von 246 Tagen erreicht wurde, wurden die Elemente in Karlsruhe nur 198 Tage bewittert. Diese Unterschiede und die regionale Bewitterungssituation führten dazu, dass in Göttingen und Sint Denjis ca. 15 % weniger Sonnenschein erreicht wurde als in Würzburg, während in Sint Denjis ca. 20 % mehr Niederschlag fiel als in Göttingen. Überraschenderweise war der Niederschlag in Göttingen am geringsten im Vergleich aller Standorte. Die Daten zeigen zwar Unterschiede in der Bewitterung zwischen den Standorten, diese sind nicht so hoch, dass ein Einfluss auf die Ergebnisse wahrscheinlich ist. Es wurden keine Unterschiede zwischen den besonnten und beschatteten oder den benutzten und unbenutzten Terrassenelementen gefunden und deshalb auf eine Darstellung verzichtet.

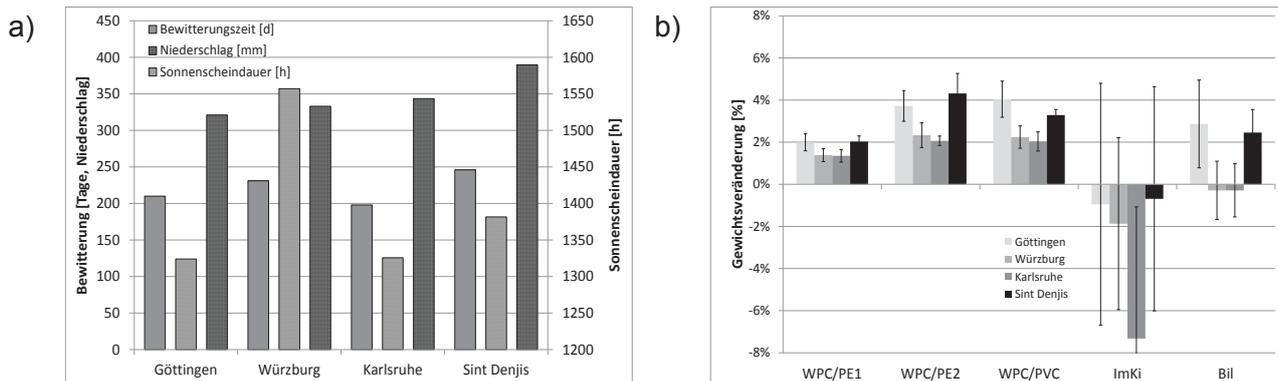


Abb. 3: a) Kumulierte Bewitterungsbedingungen im Expositionszeitraum. b) Veränderung der Gewichte der Terrassenbretter durch die Bewitterung

Die Terrassenbretter veränderten das Gewicht (entspricht weitestgehend der Veränderung der Feuchtigkeit) in Abhängigkeit vom Material und vom Standort. Die WPC nahmen zwischen 1 und 4 % an Gewicht zu. Diese Gewichtszunahme war abhängig vom Standort (in Göttingen und Sint Denjis mehr als in Würzburg und Karlsruhe) und vom Material WPC/PE1 weniger als WPC/PE2 und WPC/PVC. Das Kiefernholz zeigte insgesamt eine Gewichtsreduktion, die darauf zurückzuführen ist, dass das Holz mit höherer Feuchtigkeit geliefert wurde und während der Bewitterung zum Teil getrocknet ist. Bilinga wurde vorgetrocknet verarbeitet und nahm deshalb in der Tendenz an Gewicht zu. Die Schwankungen waren beim Massivholz deutlich größer als bei den WPC. Auch hier zeigte der Standort denselben Einfluss.

Ein häufiges Problem bei Terrassenbrettern aus WPC ist das sogenannte Längenwachstum. Diese Quellung der Bretter in Längsrichtung ist bei Holz unproblematisch, da zwischen 0 % Holzfeuchte und Fasersättigung nicht mehr als 0,5 % Längsquellung erreicht werden. Die Quellung in Längsrichtung für die untersuchten Terrassenbretter ist in Abb. 4a dargestellt. Alle Materialien außer WPC/PVC zeigen nur eine geringe Veränderung der Länge auf, die im Bereich des Messfehlers liegt. WPC/PVC zeigte ein Längenwachstum im Rahmen des erlaubten Wertes des Gütesiegels zwischen 0,3 % und 0,4 %.

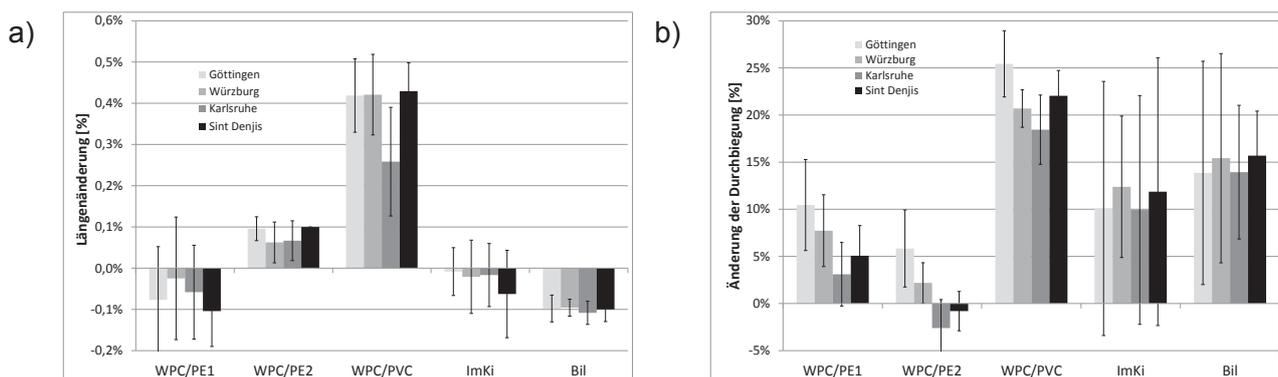


Abb. 4: a) Längenänderung der Terrassenbretter in Abhängigkeit der Materialien und des Bewitterungsstandortes. b) Veränderung der Durchbiegung im 4-Punkt-Biegeversuch

Die Veränderung der Durchbiegung der Terrassenbretter ist in Abb. 4b dargestellt. Die verschiedenen WPC-Materialien verhalten sich sehr unterschiedlich. Während bei WPC/PE2 im Mittel keine Zunahme der Durchbiegung gemessen wurde, zeigten sich bei WPC/PE1 eine leichte Zunahme von ca. 5 % und eine stärkere Zunahme bei WPC/PVC von ca. 20 %. Bil und ImKi zeigten sehr starke Schwankungen der Ergebnisse, was zum einen an einem gewissen Verzug der Bretter (Verdrehen) lag, welches durch das Vorgewicht von 5 kg nicht in jedem Fall vollständig ausgeglichen werden konnte, als auch an der Veränderung der Holzfeuchtigkeit, die sich direkt auf die me-

chanischen Eigenschaften auswirkt. Die Zunahme der Durchbiegung führte jedoch bei keinem Material zu einem technischen Ausfall. Es bleibt abzuwarten, wie sich die Entwicklung in den kommenden Jahren fortsetzt.

Die optische Erscheinung der Terrassenelemente hat sich innerhalb der ersten Bewitterungsperiode zum Teil stark verändert (Abb. 5). Bilinga zeigte starke Vergrauung, die imprägnierte Kiefer am häufigsten Risse. Die WPC wiesen weniger Farbveränderungen auf. Bei WPC/PE1 zeigten sich einige Risse im Inneren der Bretter, bei WPC/PVC wurden teilweise abgebrochene Ecken festgestellt.

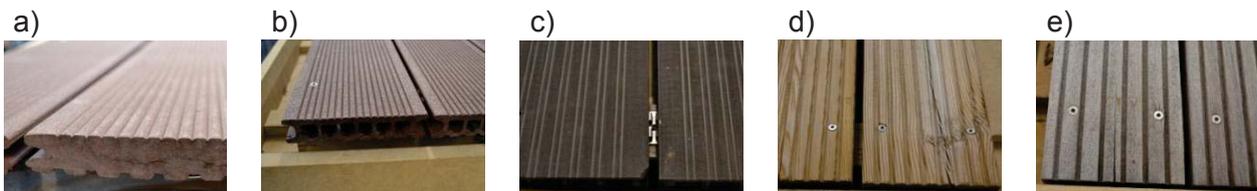


Abb. 5: Bilder der bewitterten Terrassenbretter: a) WPC/PE1. b) WPC/PE2. c) WPC/PVC. d) ImKi. e) Bil

4 Life Cycle Analysis (LCA) von WPC im Vergleich zu Holz

Zur Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit von Produkten existiert die Ökobilanz (engl.: LCA) als am weitesten entwickelte, in ISO 14040/14044 genormte Methode. Hierin werden alle innerhalb eines Produktsystems, eines Prozesses oder einer Dienstleistung anfallenden Stoff- und Energieströme quantifiziert und mit spezifischen Hintergrunddaten vernetzt. Auf diese Weise erfolgt eine Zuordnung in sogenannte Wirkungskategorien, in den folgenden Untersuchungen sind dies der Beitrag zum Treibhauseffekt, die Potentiale, stratosphärisches Ozon abzubauen und bodennahes Ozon zu bilden, zu Eutrophierung und Versauerung beizutragen, sowie Energie zu verbrauchen. Hierdurch können die Umweltauswirkungen eines untersuchten Systems ganzheitlich bilanziert werden.

Abb. 6a stellt Ergebnisse für die Wirkungskategorie Treibhauspotenzial dar. Es werden zwei WPC-Terrassen mit unterschiedlicher Rezeptur (PE-Matrix mit 70 % Holz, PVC-Matrix mit 50 % Holz) verglichen, die Ergebnisse beziehen sich stets auf 1 m² Terrasse. Aus der Abbildung geht eine Dominanz der Herstellungsphase hervor, welche sich aus Rohstoffbereitstellung und Fertigung zusammensetzt. Hier kann auch entnommen werden, dass sich ein geringerer Holzanteil negativ auf das Ergebnis auswirkt. Neben der Herstellung ist auch die thermische Verwertung in einer Müllverbrennungsanlage Ursache für Treibhausgasemissionen. Die Nutzungsphase (Pflege des Deckings mit Wasser und Seife), die für eine angenommene Lebensdauer von 15 Jahren bilanziert wurde, spielt eine zu vernachlässigende Rolle. Selbiges gilt für anfallende Transporte.

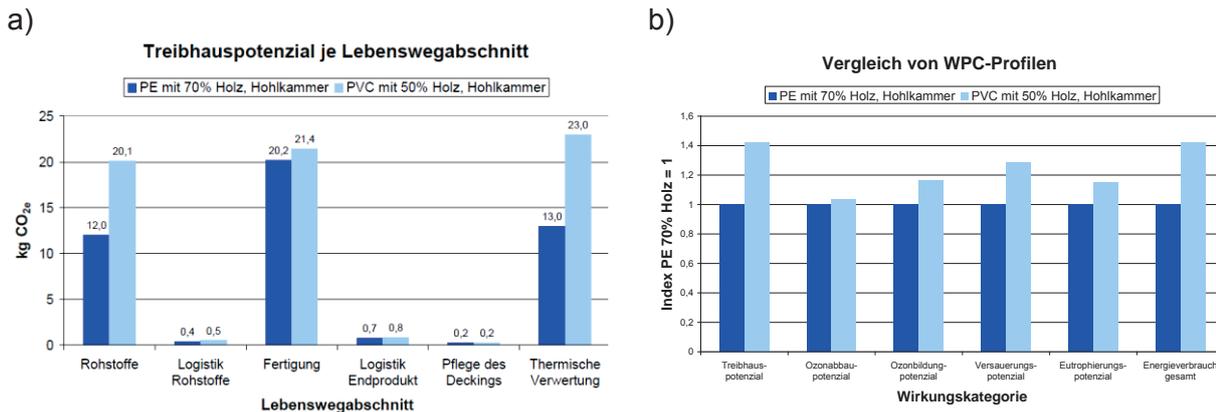


Abb. 6: a) Treibhauspotenzial von WPC-Deckings im Vergleich. b) Umweltauswirkungen von WPC-Deckings über den gesamten Lebenszyklus im Vergleich

Die Beiträge der einzelnen Lebenswegabschnitte setzen sich für die anderen Wirkungskategorien grundsätzlich sehr ähnlich zusammen: Die Herstellungsphase ist Verursacher der wesentlichen Emissionen, daneben sind auch die Emissionen aus der Verbrennung am Lebenswegende relevant. Pflege und Logistik können dagegen vernachlässigt werden. Ein höherer Holzanteil wirkt sich signifikant auf die Emissionen aus der Rohstoffbereitstellung und der thermischen Verwertung aus, kaum aber auf die Fertigung.

Anhand des in Abb. 6b dargestellten Vergleichs der absoluten Beiträge beider WPC-Terrassen zu den untersuchten Wirkungskategorien zeigt sich folgende, auch durch Untersuchungen mit anderen Parameter bestätigte, Faustregel: Die Umweltwirkungen nehmen mit steigendem Holzanteil stets ab.

Der abschließende Vergleich von WPC-Terrasse (PE-Matrix mit 70 % Holz) mit Kiefer und Bilinga ist in Abb. 7 zu sehen. Während die Kiefer – bei einer theoretisch identisch angenommenen Lebensdauer von 15 Jahren – in allen Wirkungskategorien die geringsten Umweltwirkungen aufweist, ist das WPC-Hohlkammerprofil dem Tropenholz in vier Kategorien überlegen. Die sichtbaren Nachteile bei Treibhaus- und Eutrophierungspotenzial resultieren dabei im Wesentlichen aus der thermischen Verwertung. Optimierungspotenzial wird in einem zukünftig evtl. umsetzbaren stofflichen Recycling von WPC gesehen, in der Steigerung von Energie- und Materialeffizienz, sowie – als ganz zentraler Punkt – in einer möglicherweise gegebenen längeren Lebensdauer.

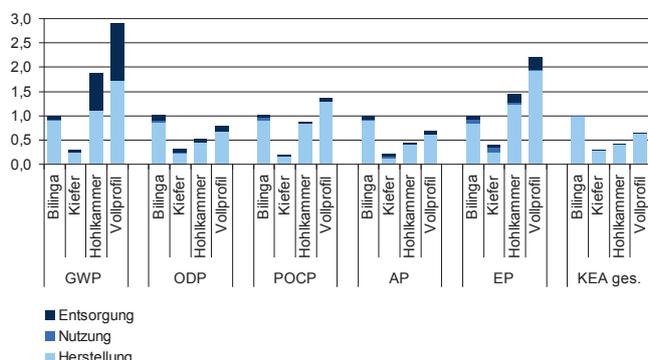


Abb. 7: WPC- und Holzterrassen im Vergleich

Zur Bewertung der ökologischen und ökonomischen Nachhaltigkeit von WPC-Deckings wurde die Software-Anwendung Elwood 2.0 entwickelt, die es dem WPC-Hersteller ermöglicht, Optimierungspotenziale über den gesamten Lebenszyklus hinweg zu identifizieren. Mittels in der Software



hinterlegter Ökobilanzdaten wurde der dazu benötigte Dateninput minimiert. Anwender können mit wenigen Klicks die Auswirkungen bspw. geänderter WPC-Rezepturen, optimierter Transportdistanzen, erhöhter Energieeffizienzen oder gesteigerten produktionsinternen Recyclings ermitteln. Elwood 2.0 ist über SKZ – Das Kunststoff-Zentrum beziehbar.

Das IGF-Vorhaben 16379 N der Forschungsvereinigung FSKZ e. V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Wir bedanken uns für die finanzielle Unterstützung.

Literatur

- ADHIKARY, K. B.; PARK, C. B.; ISLAM, M. R.; RIZVI, G. M. (2011): Effects of Lubricant Content on Extrusion Processing and Mechanical Properties of Wood Flour-High-density Polyethylene Composites." *Journal of Thermoplastic Composite Materials* 24(2): 155-171.
- BEHRAVESH, A. H.; AGHDAM, A. Z.; SOURY, E. (2010): Experimental Investigation of Injection Molding of Wood/Plastics Composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 29(3): 456-465.
- BLEDZKI, A. K.; FARUK, O.; HUQUE, M. (2002): Physico-mechanical studies of wood fiber reinforced composites. *Polymer-Plastics Technology and Engineering* 41(3): 435-451.
- CHAHARMAHALI, M.; MIRBAGHERI, J.; TAJVIDI, M.; NAJAFI, S. K.; MIRBAGHERI, Y. (2010): Mechanical and Physical Properties of Wood-Plastic Composite Panels. *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 29(2): 310-319.
- CROOKSTON, K. A.; YOUNG, T. M.; HARPER, D.; GUESS, F. M. (2011): Statistical reliability analyses of two wood plastic composite extrusion processes. *Reliability Engineering & System Safety* 96(1): 172-177.
- DEFOIRDT, N.; GARDIN, S.; VAN DEN BULCKE, J.; VAN ACKER, J. (2010): Moisture dynamics of WPC and the impact on fungal testing. *International Biodeterioration & Biodegradation* 64(1): 65-72.
- FABIYI, J. S.; MCDONALD, A. G. (2010): Physical Morphology and Quantitative Characterization of Chemical Changes of Weathered PVC/Pine Composites. *Journal of Polymers and the Environment* 18(1): 57-64.
- FABIYI, J. S.; MCDONALD, A. G.; MORRELL, J. J.; FREITAG, C. (2011): Effects of wood species on durability and chemical changes of fungal decayed wood plastic composites. *Composites Part a-Applied Science and Manufacturing* 42(5): 501-510.
- HAIDER, A.; EDER, A.; SOBCZAK, L.; GRESTENBERGER, G. (2012): Market opportunities for Bio-based-composites. 9th WPC, Natural Fibre and other innovative Composites Congress and Exhibition, Stuttgart/Fellbach, Carl Hanser Verlag, München.
- KLYOSOV, A. A. (2007): *Wood-plastic composites*. Hoboken, NJ, Wiley.



- MOHANTY, S.; NAYAK, S. K.; VERMA, S. K.; TRIPATHY, S. S. (2004): Effect of MAPP as coupling agent on the performance of sisal-PP composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 23(18): 2047-2063.
- MÜLLER, M.; MILITZ, H.; KRAUSE, A. (2012): Thermal degradation of ethanolamine treated poly(vinyl chloride)/wood flour composites. *Polymer Degradation and Stability* 97(2): 166-169.
- MÜLLER, M.; RADOVANOVIC, I.; GRÜNEBERG, T.; MILITZ, H.; KRAUSE, A. (2012): Influence of various wood modifications on the properties of polyvinyl chloride/wood flour composites. *Journal of Applied Polymer Science* 125(1): 308-312.
- NISKA, O. (2008): *Wood-polymer composites*. Cambridge, Woodhead Publishing.
- SCHIRP, A.; WOLCOTT, M. P. (2005): Influence of fungal decay and moisture absorption on mechanical properties of extruded wood-plastic composites. *Wood and Fiber Science* 37(4): 643-652.
- VIKSNE, A.; RENCE, L. (2008): Effect of Re-Compounding on the Properties of Polypropylene/Wood Flour Composites. *Progress in Rubber Plastics and Recycling Technology* 24(3): 153-169.
- VOGT, D.; KARUS, M.; ORTMANN, S.; SCHMIDT, C.; GAHLE, C. (2005): *Studie Wood-plastic composites (WPC) - Holz-Kunststoff-Verbundwerkstoffe - Märkte in Nordamerika, Japan und Europa mit Schwerpunkt auf Deutschland - Technische Eigenschaften - Anwendungsgebiete - Preise - Märkte - Akteure*. Hürth, Nova-Institut GmbH.



Einführung in den Themenblock DIN 68800 – Spannungsfeld durch neue Richtlinien – Möglichkeiten und Grenzen

Hubert Willeitner

1 Einleitung

Über die fortschreitende Neubearbeitung von DIN 68800 wurde auf den vergangenen Holzschutztagungen regelmäßig berichtet: Leipzig 2005, Biberach 2007 und Göttingen 2010. Inzwischen ist die Norm mit Ausgabedatum 2011-10 (Teil 1) bzw. 2012-02 (Teile 2 bis 4) erschienen und durch die Praxis unterschiedlich aufgenommen worden. Vor allem vonseiten des Holzbaus wurde die Betonung des baulichen Holzschutzes, dem die Norm einen Vorrang einräumt, begrüßt, während vonseiten der Anwendung von Holzschutzmitteln die Neufassung sehr kritisch gesehen wird und zu Teil 1 eine Schlichtung und nach deren Scheitern ein Schiedsverfahren beantragt wurde, was letztlich zurückgewiesen wurde.

Die Erarbeitung der Neufassung war sehr aufwendig. Sie betrifft ein schwer in exakt definierbare Regeln zu fassendes naturwissenschaftlich/technisches Gebiet von vorbeugenden Maßnahmen ohne (baulicher Holzschutz, dauerhafte Holzarten) und mit Anwendung von Holzschutzmitteln bis zur Bekämpfung eines eingetretenen Befalls.

In dem letzten Themenblock der diesjährigen Holzschutztagung nehmen nun Vertreter aus verschiedenen Anwendungsbereichen der Norm jeweils aus Ihrer Sicht Stellung. Dabei bringt bereits der Titel des Blockes „Spannungsfeld durch neue Richtlinien“ zum Ausdruck, dass die Neuausgabe von DIN 68800 durchaus Probleme beinhaltet, gleichzeitig aber auch „Möglichkeiten“ eröffnet, denen jedoch „Grenzen“ gesetzt sind.

2 Neue Konzeption

Im Rahmen der Neubearbeitung von DIN 68800 wurden alle allgemeinen Aussagen in Teil 1 zusammengefasst, während die Ausführungsbestimmungen in den Teilen 2 bis 4 erfolgen. Als Kurzformel gilt: Teil 1 regelt das Was und Warum, und die Teile 2 bis 4 das Wie (baulich/ mit Holzschutzmitteln/ Bekämpfung). Ferner wurden aus dem bisherigen Teil 5 (Schutz von Holzwerkstoffen: 1978-05) die allgemeinen Aussagen in Teil 1 und die Regelungen zur Durchführung in Teil 3 übergeführt, sodass dieser entfällt. Ebenso wurde, soweit zutreffend DIN 52175 (1975-01) eingearbeitet, die ebenfalls entfällt.

Die neue Konzeption betrifft vor allem die Teile 1 und 3, wobei Teil 1 völlig neu ist und keine Ähnlichkeit mit dem bisherigen Teil 1 (1974-05) aufweist, während aus dem bisherigen Teil 3 (1990-04) sämtliche allgemeinen Regelungen, insbesondere die Festlegung der Gefährdungsklassen (jetzt als Gebrauchsklassen bezeichnet) sowie die Hinweise zur natürlichen Dauerhaftigkeit in Teil 1 überführt wurden, sodass sich Teil 3 nur noch mit den Bestimmungen zur Anwendung von Holzschutzmitteln (bisher „vorbeugender chemischer Holzschutz“) befasst. Tabelle 1 gibt einen Überblick, wie die bisherigen Normen in die Neubearbeitung überführt wurden.



Im Rahmen der neuen Konzeption wurden auch die einschlägigen Europäischen EN-Normen berücksichtigt und eingearbeitet. Näheres hierzu siehe u. a. in dem Beitrag zur vorangegangenen Holzschutztagung in Göttingen (Willeitner 2010, dort Tabellen 4 und 5).

Tabelle 1: Überführung der bisherigen Regelungen in die Neubearbeitung

Bisher	Regelung	Neu	Anmerkungen
DIN 68800-1: 1974-05	Allgemeine Aussagen	Teil 1	Ausführlicher
	Überblick über Maßnahmen	Teil 1	Kürzer / spezifischer
	Planung	Teil 1 / Teil 3	Detaillierter
	Anforderungen an Ausführenden	Teil 1 / Teil 3	Detaillierter
DIN 68800-3: 1990-04	Gefährdungsklassen	Teil 1	Jetzt Gebrauchsklassen
	Natürliche Dauerhaftigkeit	Teil 1	Wesentlich umfangreicher
	Notwendigkeit / fehlende Notw.	Teil 1	Spezifischer
	Durchführung	Teil 3	Wesentliche Änderungen
DIN 68800-5: 1978-05*	Gefährdung	Teil 1	Eingearbeitet
	Durchführung	Teil 3	Jetzt erheblich gekürzt
DIN 52175: 1975-01*	Begriffe	Teil 1 / Teil 3	Spezifischer
	Gefährdung	Teil 1	Spezifischer
	Verfahren	Teil 3	Spezifischer
	Hinweise zur Durchführung	Teil 3	Ausführlicher
* DIN 68800-5 und DIN 52175 entfallen Die Teile 2 und 4 sind nicht betroffen			

3 Entwicklung von DIN 68800 im gesellschaftspolitischen Umfeld

3.1 Die Zeit nach Ende des Zweiten Weltkriegs

Die Zeit nach dem Zweiten Weltkrieg war geprägt durch Wiederaufbau bei allgemeiner Materialnot. Allgemein galt der Primat des Materialschutzes. Für den Baustoff Holz wurden Schutzmaßnahmen dringend gefordert. So schrieben z. B. Becker und Theden 1947 „*Je knapper der Werkstoff Holz wird, um so wichtiger ist die Anwendung eines wirksamen Holzschutzes*“, was seinerzeit grundsätzlich als „chemischer Holzschutz“ = Anwendung von Holzschutzmitteln verstanden wurde. Der bauliche Holzschutz wurde demgegenüber weitestgehend vernachlässigt, obwohl bereits in der noch einteiligen Erstausgabe von DIN 68800:1956-09 dieser als Abschnitt 2 noch vor dem chemischen Holzschutz in Abschnitt 3 geregelt wurde. Einleitend wurde 1956 in Abschnitt 1.1 jedoch nur allgemein die Notwendigkeit für Maßnahmen zum Schutz des Holzes erwähnt (Tabelle 2).

Auch bei der ersten Überarbeitung der Norm wurde in Teil 3, Abschnitt 5 sehr allgemein festgelegt, dass chemischer Holzschutz bei Gefahr eines Angriffes durch holzerstörende Pilze ‚und/oder‘ Insekten notwendig ist. 1981 wurden dann zur stärkeren Differenzierung von Holzschutzmaßnahmen sog. „Schutzklassen“ eingeführt, ohne dass ein Konsens für eine bereits damals in Diskussion befindliche Schutzklasse 0 erzielt werden konnte. Gleichzeitig wurde in dem für den chemischen Holzschutz zuständigen Teil 3, Abschnitt 6.2 festgelegt: „Alles für die Standsicherheit [...] wirksame Holz muss vorbeugend geschützt werden“ (Tabelle 2).



Tabelle 2: Veränderungen zur Anwendung von Holzschutzmittel im Rahmen der Überarbeitungen von DIN 68800

Ausgabe	Teil	Aussagen zur Notwendigkeit von chemischem Holzschutzmaßnahmen ¹
1956	--- ²	In Abschnitt 1.1: kurzer Hinweis auf die Notwendigkeit, dafür zu sorgen, dass Bauholz „ <i>nicht durch die Lebenstätigkeit holzerstörender Pilze und Insekten vorzeitig unbrauchbar</i> “ wird, ohne Differenzierung zwischen Pilzen und Insekten und ohne Hinweis auf bestimmte Maßnahmen
1974	3 ³	In Abschnitt 5 wird sehr allgemein festgelegt, dass chemischer Holzschutz bei <u>Gefahr eines Angriffes</u> durch holzerstörende Pilze „ <u>und/oder</u> “ Insekten notwendig ist, ohne Differenzierung derselben
1981	3 ³	Einführung von "Schutzklassen" ⁴ zur gezielteren Anwendung von Holzschutzmitteln; klare Formulierung, wann es für Insekten „ <u>und</u> “ und wann „ <u>oder</u> “ heißen muss, d. h., es ist eine getrennte Betrachtung vorgesehen In Abschnitt 6.2 des für den chemischen Holzschutz zuständigen Teil 3: „ <i>Alles für die Standsicherheit [...] wirksame Holz muss vorbeugend geschützt werden</i> “.
1990	3 ³	Begriff "Gefährdungsklassen" ⁵ und "GK 0" ⁶ problemlos aufgenommen. Dabei wird für GK 0 ein Insektenbefall toleriert, wenn keine <u>Gefahr von Bauschäden</u> zu erwarten ist, während in früheren Fassungen bereits die <u>Gefahr eines Insektenbefalls</u> Anlass für besondere Holzschutzmaßnahmen war ⁷ Nach Abschnitt 2.5.1 sind „ <i>chemische Holzschutzmaßnahmen [...] nach vorrangiger Ausschöpfung der baulichen Maßnahmen</i> “ vorzunehmen
2011	1	In Abschnitt 1: „ <i>Verpflichtung, bauliche Maßnahmen zu berücksichtigen</i> “ in Abschnitt 8.1.3: „ <i>Ausführungen mit besonderen baulichen Holzschutzmaßnahmen [...] sollten [...] bevorzugt werden.</i> “ aber auch „ <i>wird [...] der Schutzerfolg allein durch bauliche Maßnahmen [...] und die natürliche Dauerhaftigkeit [...] nicht sichergestellt, so sind zusätzlich vorbeugende Holzschutzmaßnahmen mit Holzschutzmitteln [...] vorzunehmen</i> “
<p>¹ Unterstreichungen durch den Autor, wörtliche Zitate kursiv</p> <p>² Nur ein Normteil</p> <p>³ Obwohl Teil 3 den chemischen Holzschutz regelt, enthielt er in früheren Ausgaben auch allgemeine Regelungen, die in der Neuausgabe in Teil 1 übergeführt wurden</p> <p>⁴ Kein Konsens für den Begriff "Gefährdung" (wurde als negativ für den Holzeinsatz eingestuft) sowie zur Einführung einer "Schutzklasse 0"</p> <p>⁵ In der Neuausgabe 2011 als weitgehend identische „Gebrauchsklassen“ bezeichnet</p> <p>⁶ Eine GK 0 war bereits im Vorwege durch die Bauaufsicht eingeführt worden</p> <p>⁷ Wegen der anderen Bedingungen für die Entwicklung Holz zerstörender Pilze gelten die Regelungen nicht für die <u>Gefahr eines Pilzbefalls</u></p>		

3.2 Umwelt und Gesellschaft

Mit Beginn der 60er Jahre des vorigen Jahrhunderts traten zunehmend Gedanken zum Umweltschutz in den Vordergrund (s. Abb. 1), maßgeblich ausgelöst durch das 1962 in den USA erschienene Buch „Der stumme Frühling“ (Carson 1968). Bereits 1974 wurde in dem damals FDPgeführten Innenministerium das UBA gegründet und 1980 die Partei „Die Grünen“.

1976 wurden bei dem Chemieunglück in Seveso erstmals Dioxine bewusst wahrgenommen (Koch, Vahrenholt 1978), die u. a. intensive Diskussionen über Holzschutzmittel, insbesondere PCP, auslösten bis hin zu einer freiwilligen Beschränkung der Holzschutzmittelhersteller bezüglich einer Anwendung von PCP (1985) und schließlich zur PCP-Verbotsverordnung (1989).

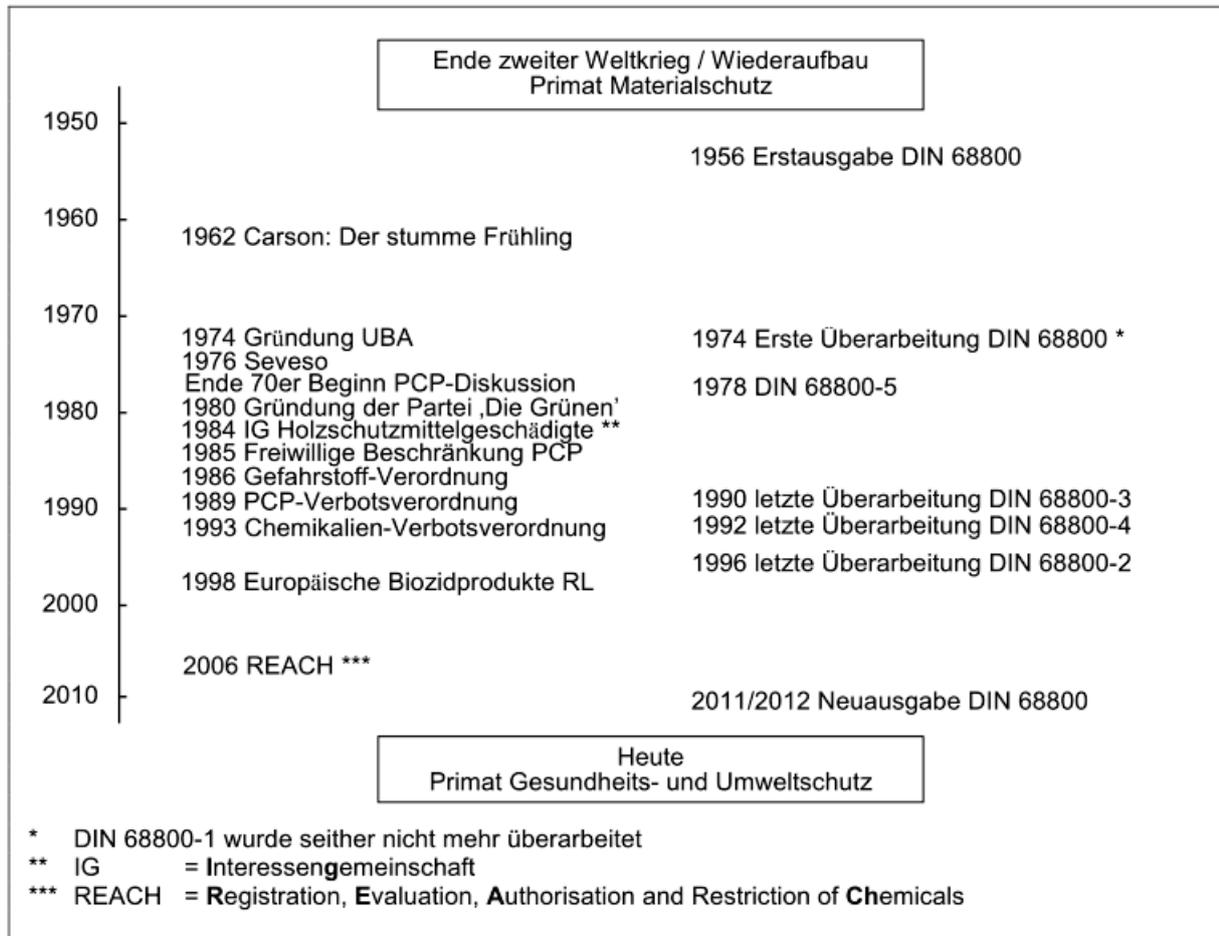


Abb. 1: Charakteristische Daten zur Stellung der Umwelt und zur Bearbeitung von DIN 68800

Allgemein ist auf die seit den 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts zunehmende Skepsis gegenüber „Chemie“ im Allgemeinen und Holzschutzmittel im Besonderen zu verweisen. Es begann die sog. Bio- bzw. Öko-Welle (bezüglich Holzschutzmittel vgl. Willeitner 1984). Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, dass ein Buch zu „Holzschutz ohne Gift“ (Weißfeld 1983), 2011 bereits in der 17. Auflage erschienen ist.

Diese Entwicklung ist auch in der Gesetzgebung zu vermerken. Beispiele sind die seither mehrmals überarbeitete Gefahrstoffverordnung (1986) und Chemikalienverbotsverordnung (1993) sowie die Europäische Biozidprodukte Richtlinie (1998) aber auch REACH (2006). Im Vergleich zu der Zeit nach Kriegsende kann heute von einem Primat des Gesundheits- und Umweltschutzes gesprochen werden. Charakteristische Daten hierzu sind in Abb. 1 zusammengestellt.

Als Beispiel für die internationale Einschätzung sei auf die 2004 erfolgte Umbenennung der 1969 gegründeten Internationalen Holzschutzgesellschaft von dem stärker auf die Anwendung von Holzschutzmitteln bezogenen Begriff „Wood Preservation“ in den umfassenderen Begriff „Wood Protection“ verwiesen.

3.3 Reaktionen in DIN 68800

In DIN 68800 wurde die vorstehend gezeigte Entwicklung aufgenommen, für vorbeugende Maßnahmen insbesondere durch Einführung der „GK 0“ bei gleichzeitiger Umbenennung der „Schutzklassen“ in „Gefährdungsklassen“ (2011 „Gebrauchsklassen“) und den Hinweis auf die „*vorrangige Ausschöpfung baulicher Maßnahmen*“ (beides in der Ausgabe 1990 zu Teil 3; s. Tabelle 2). Für die „GK 0“ gilt dabei der Grundsatz, dass keine „Bauschäden durch Insekten“ zu erwarten sind, im



Gegensatz zu den früheren Ausgaben, in denen bereits die Gefahr eines Insektenbefalls Anlass für besondere Holzschutzmaßnahmen war.

In der Neubearbeitung 2011/2012 wird nun in dem übergeordneten **Teil 1** bereits in Abschnitt 1 „Anwendungsbereich“ die Berücksichtigung baulicher Maßnahmen als „*Verpflichtung*“ benannt und in Abschnitt 8.1.3 bestimmt „*Ausführungen mit besonderen baulichen Holzschutzmaßnahmen [...] sollten [...] bevorzugt werden*“, mit der Einschränkung, dass „*zusätzlich vorbeugende Holzschutzmaßnahmen mit Holzschutzmitteln [...] vorzunehmen*“ sind, wenn „*der Schutzerfolg allein durch bauliche Maßnahmen [...] und die natürliche Dauerhaftigkeit [...] nicht sichergestellt*“ wird (vgl. Tabelle 2).

DIN 68800-2 regelt noch in der Ausgabe 1984 ausschließlich Maßnahmen zum Feuchteschutz, und definiert den Begriff „vorbeugende bauliche Maßnahmen“ in Abschnitt 1 als „*alle konstruktiven und bauphysikalischen Maßnahmen, die eine unzuträgliche Veränderung des Feuchtegehaltes [...] verhindern sollen*“. In der Ausgabe 1996 werden auch Maßnahmen gegen Insekten aufgenommen und insbesondere die sog. „besonderen baulichen Maßnahmen“ zum Erzielen einer GK 0 eingeführt. Diese Regelungen werden in der Neuausgabe 2012 deutlich erweitert. Einen Überblick hierzu gibt Tabelle 3. Bemerkenswert für die Veränderungen im allgemeinen Bewusstsein ist ferner, dass in dem DGfH-Merkheft zum baulichen (!) Holzschutz (Anonymus o. J.) auch chemische Schutzmaßnahmen behandelt werden und dass dort das Holzschutzmittelverzeichnis mit Stand vom 1.1.1950 abgedruckt ist.

Tabelle 3: Entwicklung der Regelungen in DIN 68800-2 für bauliche Maßnahmen

Regelung	Ausgabe der Norm ¹				
	1956	1974	1984	1996	2012
Umfang	Nur Feuchteschutz			Auch spezifische Maßnahmen gegen Insekten	
Besondere bauliche Maßnahmen	Keine			Abschnitt 7	Abschnitt 6
Weitere Maßnahmen für Zuordnung zu GK 0	Keine			Abschnitte 8 - 10	Abschnitte 7 – 10.1, Anhang A
Beispielskizzen	Keine			5	13 + 23 ²
Geschützte Holzwerkstoffe	Nicht geregelt	geregelt = Klasse 100 G			Klassen 100 G nicht mehr erhalten
¹ 1956 nur 1 Teil; ab 1974 DIN 68800-2 ² Beispielskizzen in Anhang A für GK 0					

Die grundsätzlich geänderte Einstellung zu Bioziden spiegelt sich ebenfalls in der Neuausgabe 2012 von **DIN 68800-3** wider: In Abschnitt 8.2.2 wird für den Bereich der GK 1 (ausschließlich Gefährdung durch Insekten) ausdrücklich festgelegt „*Mittel, die zusätzlich mit einem Fungizid ausgerüstet sind, dürfen nur in begründeten Ausnahmefällen zum Einsatz kommen*“, während z. B. Zycha 1955 genau umgekehrt schreibt: „*wird der vorbeugende Schutz nur in wenigen Spezialfällen so sein dürfen, dass er sich gegen einen bestimmten Schädling richtet. Nach Möglichkeit wird er [...] universell sein müssen.*“

Auch für Bekämpfungsmaßnahmen nach **DIN 68800-4** ist eine geänderte Einstellung zur Anwendung von Holzschutzmitteln festzustellen. Wie Tabelle 4 veranschaulicht werden Maßnahmen ohne Anwendung von Holzschutzmitteln zunehmend berücksichtigt. Gleichzeitig werden ab 1992



Möglichkeiten aufgezeigt, wann im Anschluss an eine Bekämpfung ohne vorbeugende Wirksamkeit auf eine vorbeugende Behandlung mit Holzschutzmitteln verzichtet werden kann, während dies zuvor stets zu erfolgen hatte.

Tabelle 4: Entwicklung der Regelungen in DIN 68800-4 für Maßnahmen zur Bekämpfung eines Insektenbefalls

Maßnahme	Ausgabe der Norm ¹			
	1956	1974	1992	2012
Bekämpfungsmittel ²	4.2.4: kurzer Hinweis	2.2: Hinweis 5.2: Regelung	5.2: Regelung	9.2: ausführlich
Heißluftverfahren ³	4.2.6: Hinweis	2.2: Hinweis	5.3: Regelung	9.3: ausführlich
Feuchtereguliertes Warmluftverfahren ³	----	----	----	9.3.4: kurzer Hinweis
Toxische Gase	4.2.6: Hinweis	2.2: Hinweis	5.4: Regelung	9.4.2: ausführlich
Erstickende Gase ³	----	----	----	9.4.3: Regelungen für beschränkten Einsatz
Elektrophysikalische Verfahren ³	----	----	----	10: kurzer Hinweis auf beschränkten Einsatz

¹ 1956 nur 1 Teil; ab 1974 DIN 68800-4; die Ziffern verweisen auf den zutreffenden Abschnitt
² Bekämpfend wirkende Holzschutzmittel mit gleichzeitig vorbeugender Wirksamkeit
³ Ab 1992 Hinweise, wann auf eine „Nachbehandlung“ wegen fehlender vorbeugender Wirkung verzichtet werden kann

3.4 Fazit

Seit Ende des Zweiten Weltkriegs erfolgte in der Gesellschaft ein allmählicher aber entscheidender Wandel in der Einstellung zu Umwelt und Gesundheit, der sich auch auf die Regelungen zum Schutz des Holzes in DIN 68800 ausgewirkt hat. Dabei ist strittig, inwieweit alle Festlegungen zum Verzicht auf Holzschutzmittel in der neuen DIN 68800 ausreichend durch wissenschaftliche Untersuchungen belegt sind.

4 Die neue DIN 68800

Die „neue DIN 68800“ wurde u. a. auf der letzten Holzschutztagung vorgestellt (Willeitner 2010). Nachfolgend werden die Normteile nur kurz charakterisiert.

Der neue Teil 1 „Allgemeines“ wurde völlig neu konzipiert. Lediglich die Definition für „Holzschutz“ wurde unverändert von DIN 52175 (1975-01) übernommen. Teil 1 behandelt alle allgemeinen Fragen und „ergänzt in Verbindung mit DIN 68800-2 und DIN 68800-3 die DIN EN 1995-1-1 mit DIN EN 1995-1-1/NA in Bezug auf die Standsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit während der vorgesehenen Nutzungsdauer von Holzbauwerken“. Er „enthält die Verpflichtung, bauliche Maßnahmen zu berücksichtigen“.

Die bisherigen Gefährdungsklassen wurden entsprechend DIN EN 335 in Gebrauchsklassen umbenannt mit einer Unterteilung der Klasse 3 in 3.1 (außen, ohne Erdkontakt, keine Wasseranreicherung) und 3.2 (wie 3.1 aber Wasseranreicherung möglich) und einer neuen Klasse 5 für Holz im Meerwasser. Neu sind ausführliche Regelungen für natürlich dauerhafte Holzarten sowie detail-



lierte Angaben zur Auswahl von Schutzmaßnahmen in den verschiedenen Gebrauchsklassen. Dabei werden Produkte mit CE-Kennzeichnung den nach DIN 68800 hergestellten Produkten gleichgestellt und als mögliche Alternative aufgeführt. Die thermische sowie chemische Modifikation werden in einem informativen Anhang kurz charakterisiert.

Der neue Teil 2 „Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau“ differenziert zwischen stets einzuhaltenden grundsätzlichen Maßnahmen und besonderen baulichen Maßnahmen zur Erzielung von GK 0. Hierfür werden die Möglichkeiten erweitert. Für Brettschichtholz, Balkenschichtholz und Brettsperrholz sowie für mit $t \geq 55^\circ\text{C}$ technisch getrocknetes Bauholz gilt, dass unter Dach keine Bauschäden durch Insekten zu erwarten sind. Die Verwendung von Holzwerkstoffen der früheren Holzwerkstoffklasse G 100 wird nicht mehr gefordert.

Nach wie vor regelt Teil 2 Maßnahmen zur Vermeidung einer erhöhten Holzfeuchte als Voraussetzung für einen Pilzbefall. Ferner wird wie bisher betont, dass „DIN 68800-3 ergänzend anzuwenden“ ist, wenn „die Dauerhaftigkeit nicht mit“ den Maßnahmen nach DIN 68800-2 „gesichert werden kann“.

Der neue Teil 3 „Vorbeugender Schutz von Holz mit Holzschutzmitteln“ (bisher chemischer Holzschutz) beschränkt sich auf geschütztes Holz wobei die Norm nicht mehr – wie bisher – den Weg zum geschützten Holz regelt, sondern das Holz als geschütztes Produkt, das durch „Eindringtiefeanforderungen“ in verschiedenen Eindringtiefe-Klassen bei gleichzeitiger Erfüllung der Aufnahmeanforderung gekennzeichnet ist. Hierdurch ist weitgehend freigestellt, wie ein ausreichender Schutz für die jeweilige GK zu erzielen ist. DIN EN 15228 für schutzbehandeltes Bauholz ist damit ebenso berücksichtigt wie die Anwendung von Produkten mit CE-Kennzeichnung. Eine wichtige aus EN 351-1 übernommene Regelung betrifft den Bezug der Einbringmengen bei Kesseldrucktränkung, nunmehr ausschließlich auf den imprägnierten Bereich und nicht mehr, wie bisher, auf das insgesamt behandelte Holz.

Die Anforderungen an den Schutz von tragenden und nicht tragenden Hölzern werden in getrennten Abschnitten geregelt. Ein normativer Anhang behandelt die werkseigene Produktionskontrolle. Der vorbeugende chemische Schutz von Holzwerkstoffen (bisher DIN 68800-5) wurde als normativer Anhang integriert. Ein umfangreicher informativer Anhang enthält „Hinweise zur Anwendung von Holzschutzmitteln bei nicht tragenden Holzbauteilen, welche anschließend beschichtet werden sollen“.

Der neue Teil 4 „Bekämpfungs- und Sanierungsmaßnahmen gegen Holz zerstörende Pilze und Insekten“ behandelt unverändert Bekämpfung und Sanierung (neu im Titel) eines Befalls durch Pilze und Insekten. Die Norm gilt ausdrücklich „in Verbindung mit DIN 68800-1 bis DIN 68800-3“ (bisher nicht so klar). Neue Entwicklungen werden aufgegriffen, wie Elektrophysikalische Verfahren gegen begrenzten Insektenbefall, thermische Verfahren, Molekularbiologische Verfahren zur Identifizierung des Echten Hausschwamms, Heißluftverfahren als mögliche „integrierte Maßnahme“ zur Bekämpfung des Echten Hausschwamm in einem informativen Anhang (zu neu berücksichtigten Verfahren s. auch Tabelle 4).

Neu ist der Begriff „Regelsanierung“ für eine in der Praxis bewährte Bekämpfungsmethode von weitgehender Allgemeingültigkeit im Vergleich zu Sonderverfahren. Für die Beurteilung der Standicherheit wird ausdrücklich darauf verwiesen, einen Tragwerksplaner einzubeziehen.



Literatur

- ANAONYMUS (o. J): Erläuterungen zum Merkblatt über baulichen Holzschutz. DGfH Merkheft 1.
- BECKER, G.; THEDEN, G. (1947): Ergebnisse und Aufgaben auf dem Holzschutzgebiet. Die Technik 2, S. 494-504.
- CARSON, R. (1968): Der stumme Frühling. DTV München (Englische Erstausgabe 1962 „Silent Spring“).
- KOCH, E. R.; VAHRENHOLT, F. (1978): Seveso ist überall – Die tödlichen Risiken der Chemie. Kiepenheuer & Wisch.
- WEISSENFELD, P. (1983): Holzschutz ohne Gift. Ökobuch-Verlag (heute WEISSENFELD, P., KÖNIG, H. 2011, 17 Aufl.).
- WILLEITNER, H. (1984): Was bedeuten natürlicher, biologischer und alternativer Holzschutz? Holz-Zentralbl. 110: S. 698-699.
- WILLEITNER, H. (2010): DIN 68800-1, ein neuer Ansatz. In: Tagungsband 26. Holzschutz-Tagung am 22. und 23. April 2010 in Göttingen.
- ZYCHA, H. (1955): Probleme des Holzschutzes gestern und heute. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten (Pflanzenpathologie) und Pflanzenschutz 62, S. 11 – 17.



Besonderheiten bei der Ausführung und Planung von baulichen Holzschutzmaßnahmen

Roland Glauner

Holzbau Deutschland – Bund Deutscher Zimmermeister

Zusammenfassung

Der Verbraucher hat in den vergangenen Jahren ein immer stärker werdendes Bedürfnis entwickelt, natürliche und unbehandelte Produkte zu erwerben. Was früher nur den belächelten „Öko-Hardlinern“ vorbehalten war, findet man nun in nahezu allen Zielgruppen. Die Aufmerksamkeit des Verbrauchers auf natürliche Produkte geht von Nahrungsmitteln über Textilien bis hin zur Wohnqualität. Die Neufassung der DIN 68800 kommt diesem Anspruch auf eine möglichst natürliche und umweltgerechte Bauweise entgegen und bietet mehr Möglichkeiten den Holzschutz ohne biozidhaltige Mittel auszuführen. Dennoch besteht der bauliche Holzschutz nach Teil 2 der Norm keineswegs einfach im Weglassen von Holzschutzmitteln, sondern ist immer eine sorgsam zu planende und genau auszuführende Maßnahme. In bestimmten Detailpunkten ist der konstruktive Holzschutz sogar eine planerische Herausforderung. Ausschreibungstexte und Ausführungspläne müssen vom Planer der Holzschutzmaßnahme präzise verfasst und vom Ausführenden überprüft und sorgfältig umgesetzt werden, damit das zu schützende Holzbauteil dem baulichen Holzschutz gerecht wird.

1 Der Begriff „Baulicher Holzschutz“

Nach dem Wortlaut der neuen DIN 68800 versteht man unter dem Begriff „Baulicher Holzschutz“ alle planerischen, konstruktiven, bauphysikalischen und organisatorischen Maßnahmen, die eine Minderung der Funktionstüchtigkeit von Holz und Holzwerkstoffen besonders durch Pilze, Insekten oder Meerestiere während der Gebrauchsdauer verhindern oder einschränken und darüber hinaus Schäden durch übermäßiges Quellen und Schwinden des Holzes und der Holzwerkstoffe verhindern. Auch wenn diese Definition in der Vorgängernorm so nicht enthalten war, ist dies aber bei weitem keine neue Definition. Der bauliche Holzschutz ist in unseren klimatischen Breitengraden so alt wie der Mensch Häuser baut. Ein Dach mit Dachneigung und Dachvorsprung zu konstruieren, dient einzig und allein dem Zweck, das Regenwasser schnell vom Baukörper abzuleiten und dieses möglichst vom restlichen Baukörper fernzuhalten. Schaut man sich die überlieferte traditionelle Zimmererkunst an, so findet man überall Spuren des konstruktiven Holzschutzes, von der Zapfenentwässerung bis zur Sparrengometrie. Auch die genannten organisatorischen Maßnahmen sind nicht neu, das Anbringen von verwitterbaren und einfach austauschbaren „Verschleißbauteilen“ sind althergebrachte konstruktive Maßnahmen um die darunterliegenden tragenden Holzbauteile zu schützen.

In der neuen Normenreihe der DIN 68800 werden bauliche Maßnahmen in grundsätzliche bauliche Maßnahmen und besondere bauliche Maßnahmen unterschieden. Die grundsätzlichen baulichen Maßnahmen müssen in jedem Fall angewendet werden, während die besonderen baulichen Maßnahmen nur dann angewendet werden müssen, wenn das Bauteil in die Gebrauchsklasse 0 (GK 0) eingeordnet werden soll.

2 Wesentliche Änderungen des baulichen Holzschutz nach neuer DIN 68800

2.1 Was bedeutet „unter Dach“

In der neuen DIN 68800 wird schon bei der Einteilung von Gebrauchsklassen von dem Begriff „unter Dach“ gesprochen, welcher in der alten Normenausgabe nicht auftaucht. „Unter Dach“ beschreibt, ob ein Bauteil der direkten Bewitterung ausgesetzt ist oder nicht. Der Wortlaut der Norm DIN 68800-1 in Abschnitt 3.22 lautet:

„... durch Überdeckung eines Daches vor der Witterung geschützt, wobei zwischen Vorderkante Überdeckung und Unterkante des Bauteils ein Winkel von höchstens 60°, bezogen auf die Horizontale, vorhanden ist.“

Damit ein Bauteil nicht der Witterung und damit in GK 0 bis GK 2 einzustufen ist, muss es eine obere Abdeckung besitzen, wie in der folgenden Abbildung dargestellt.

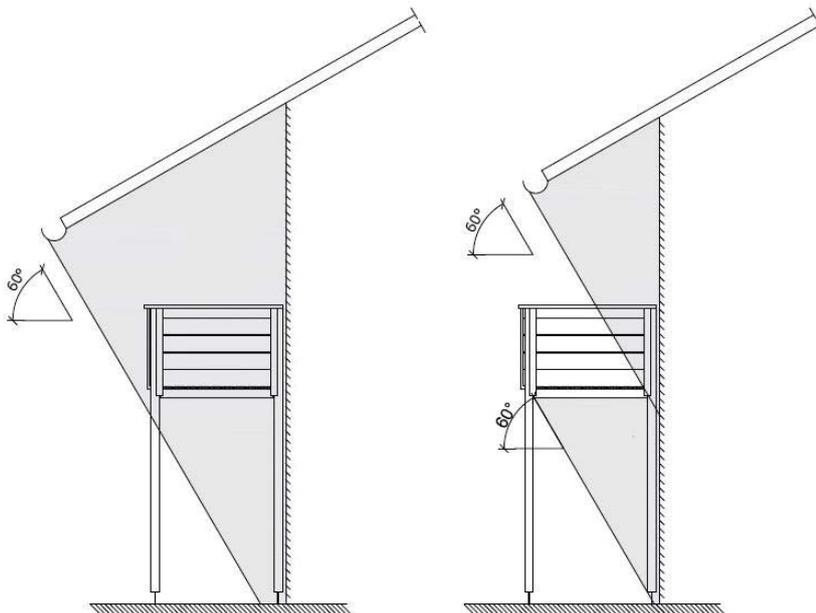


Abbildung 1: Bauteile in den grauen Bereiche sind als „unter Dach“ anzusehen

Von dieser Regelung sind vor allem konstruktive Dachbauteile wie Sparren oder Pfetten betroffen. Will man in diesen Bereichen weiterhin mit den üblichen Holzarten Fichte, Kiefer und manchmal auch Tanne arbeiten, ist es erforderlich mit baulichen Maßnahmen die Vorgaben für die GK 0 zu erreichen.

Als Maßnahme gegen holzerstörende Insekten reicht es technisch getrocknetes Holz wie Konstruktionsvollholz zu verwenden oder auch durch die Kontrollierbarkeit zu gewährleisten, dass ein Befall rechtzeitig aufgedeckt wird, bevor diese erhebliche Schädigungen am Bauwerk hinterlassen kann. Um die o. g. Bauteile gegen Bewitterung und die damit einhergehende nicht zuträgliche Auffeuchtung zu schützen, ist entweder die genannte 60°-Regel einzuhalten oder eine andere Abdeckung gegen die Bewitterung herzustellen.

Dies ist aber keine neue Erkenntnis, schon früher haben Zimmerer über Generationen dafür gesorgt, dass exponierte Details, wie Pfettenköpfe und Flugsparren, ausreichend abgedeckt werden. Sparren haben üblicherweise im Traufbereich eine Verjüngung an der Unterseite, welche nicht nur einen optischen Ursprung hat, sondern gerade bei hohen Sparren mit flachen Dachneigungswinkeln verhindert, dass Regen an die besonders empfindlichen Sparrenköpfe gelangen kann. Auch

alte Abdeckungen der Pfettenköpfe sind vielerorts noch in ihrer regionalen Ausführungsweise zu bewundern, wie bsp. Schieferabdeckungen in den rheinischen Schiefergebirgen oder kunstvoll verzierte Hirnholzbretter im Alpenraum.

Durch die Maßgabe den baulichen Holzschutz zu bevorzugen, sind die Planer und Ausführenden nun mehr denn je verpflichtet und gefordert konstruktive Lösungen anzubieten, welche aber auch den architektonischen Ansprüchen des modernen Holzbaus entsprechen. Die Praxis zeigt schon jetzt an vielen Beispielen, dass hier gute Möglichkeiten auch ohne großen Mehraufwand möglich sind. Wie bei allen Bauausführungen muss aber auch hier die Planung sorgfältig und frühzeitig erfolgen. Dies gilt vor allem bei Bauten, welche aufgrund des architektonischen Zeitgeistes nur mit wenig bis gar keinem Dachüberstand ausgestattet sind.



Abbildung 2: historischer konstruktiver Holzschutz im Dach- und Pfettenbereich

2.2 Sockelausführung von Außenwänden in Holzbauweise

Als große Neuerung gegenüber der Vorgängernorm beinhaltet der neue Teil 2 der Norm Ausführungen mit denen Außenwände in Holzbauweise mitsamt ihren Schwellen der GK 0 zugeordnet werden können. Hierzu heißt es in Abschnitt 5.2.1.3 der DIN 68800-2 (2012):

„Bei Wänden mit einem dauerhaft wirksamen Wetterschutz nach 5.2.1.2 sind Sockelausbildungen mit folgenden Abständen zwischen Unterkante Holz und Oberkante Gelände ohne weiteren Nachweis zulässig:

≥ 30 cm; oder

≥ 15 cm, wenn zusätzlich ein Kiesbett (Korngröße mindestens 16/32) mit mindestens 15 cm Breite und einem Abstand Außenkante Kiesbett zur Außenkante Schwelle von mindestens 30 cm oder ein Wasser ableitender Belag mit mindestens 2 % Gefälle vorhanden ist; oder

≥ 5 cm mit zusätzlichen geeigneten Abdichtungsmaßnahmen nach DIN 18195-4.“

Da dieser Passus bei den grundsätzlichen baulichen Maßnahmen geführt wird, sind die genannten Abstände bei diesen Ausführungsvarianten in jedem Fall zu beachten.

Befolgt man zusätzlich die Regeln der besonderen baulichen Maßnahmen nach Abschnitt 6 und 7 können Sockeldetails in GK 0 und damit ohne chemischen Holzschutz oder besonders dauerhaften Kernhölzern ausgeführt werden. Während die genannten Konstruktionen mit ausreichend Bodenabstand oder mit ausreichend angelegtem Kiesbett recht unkompliziert auszuführen sind, gilt es bei den Konstruktionen, welche direkt an das Erdreich herangeführt werden sollen, ganz be-



sondere Sorgfalt walten zu lassen. Hierbei muss der Verantwortliche der Holzschutzmaßnahme darauf achten, dass die verwendeten Baumaterialien für diesen Detailpunkt aufeinander abgestimmt sind und es später nicht zu Schäden kommt. Um nur beispielsweise einige Gefahrenpunkte aufzuführen, seien hier mangelhafte Eckpunkte bei der Verwendung von stark sorptiven Materialien wie Holzfaserdämmplatten genannt. Desweiteren kann im Fußpunkt der Wand eine Art Gummistiefeffekt entstehen, wenn die äußere Abdichtung mit besonders dichten Materialien ausgeführt wird. Sowohl bei der Planung als auch bei der Ausführung ist viel Augenmerk darauf zu verwenden, dass die Bauteile die planmäßig geforderten Anforderungen an den baulichen Holzschutz auch in den Montagebereichen der zumeist vorgefertigten Elemente erfüllen.

2.3 Dachlatten

Gerade für das Dachdecker- und Zimmerergewerbe ist besonders auf die neue Formulierung zu Dach- und Konterlatten hinzuweisen. Aufgrund der den holzerstörenden Insekten unzutraglichen klimatischen Bedingungen direkt unter der Außenhaut eines Gebäudes und wegen der Kleinteiligkeit und damit weitestgehend rissfreien Bauteile wurde im Abschnitt 6.1 in der neuen DIN 68800-2 folgender Satz formuliert.

„Latten hinter Vorhangfassaden, Dach- und Konterlatten sowie Traufbohlen, ferner Dachschalungen werden der Gebrauchsklasse GK 0 zugeordnet. Dies gilt auch für im Freien befindliche Dachbauteile, wenn diese so abgedeckt sind, dass eine unzutragliche Veränderung des Feuchtegehaltes nicht vorkommen kann.“

Dies ist keine große Änderung zur Vorgängernorm, bereits hier mussten Dach- und Konterlatten sowie Traufbohlen bei den üblichen Dachaufbauten in die GK 0 einsortiert werden. Leider ist dies aber in einigen Regionen Deutschlands bisher nie beachtet worden. Gerade im Norden gibt es einige sogenannte Holzfachhändler, welche überhaupt keine unimprägnierten Dachlatten anbieten. Eigene Recherchen ergaben, dass es darüber hinaus sogar angebliche Fachhändler gibt, die nicht einmal festigkeitssortierte Dachlatten im Angebot hatten. In Zukunft kann es aber jedem als Mangel ausgelegt werden, wenn imprägnierte Dachlatten aufgebracht werden. Im Streitfall ist nämlich nachzuweisen, weshalb die baulichen Maßnahmen entgegen der Formulierung in der Norm nicht ausreichend sind. Es bleibt daher zu hoffen, dass die wesentlich klarere Formulierung in der neuen Norm sowie die Aufbereitung dieser Abschnitte in den entsprechenden Fachinformationen der Verbände zukünftig dazu beitragen werden, das unnötige Einbringen von Bioziden bei Dach- und Konterlatten zu verhindern. Um ein mangelfreies Bauwerk abzugeben sind Planer und Ausführende angehalten, die Ausschreibungstexte genau zu formulieren und darauf zu achten, dass die gelieferten Dach- und Konterlatten auch der ausgeschriebenen Qualität entsprechen.

2.4 Lebensdauer

Als weiteres Novum hat der Teil 1 der Norm im Abschnitt 7.2 festgeschrieben, dass Holzschutzmaßnahmen der DIN 68800-1 dann nicht erforderlich sind, wenn innerhalb der vorgesehenen Nutzungsdauer keine Bauschäden zu erwarten sind.

Im Einzelfall kann man diesen Passus heranziehen, wenn man auf Maßnahmen nach DIN 68800 verzichten möchte. Allerdings ist dies bei weitem kein „Freibrief“ auf jegliche Holzschutzmaßnahmen zu verzichten. Ermöglicht wird aber, dass bspw. leicht ersetzbare Bauteile als Verschleißbauteile nun auch normativ eingesetzt werden können. Dies öffnet im baulichen Holzschutz einige Einsatzmöglichkeiten, welche in der Praxis zwar schon vielfach erfolgreich ausgeführt wurden aber bisher keine normative Grundlage hatten. Besonders seien im Holzbau hier Terrassenbeläge oder Verschleißbretter im unteren Fassadenbereich genannt. Es muss allerdings darauf aufmerksam gemacht werden, dass die in der Norm genannte Nutzungsdauer mit dem Bauherrn vereinbart werden muss. Je länger der Nutzungszeitraum ist, desto unsicherer ist aber auch die Einschätzung



des Planers, ob Bauschäden im entsprechenden Zeitraum auftreten können. Daher ist es immer ratsam den Bauherren schriftlich darauf hinzuweisen, dass er die Bauteile von fachkundiger Hand in festgelegten Abständen kontrollieren lassen muss. Bestenfalls können in solchen Fällen direkt Wartungsverträge vereinbart werden. Damit der Planer Anhaltspunkte für die Lebensdauer von bewittertem Holz im jeweiligen Schutzniveau hat, bietet der Anhang eine Tabelle mit zu erwartenden Lebensdauern von ausgewählten Holzbauteilen, welche Näherungsweise auch für ähnliche Bauteile herangezogen werden können.

Literatur

DIN 68800-1 (2011): Holzschutz – Teil 1: Allgemeines.

DIN 68800-2 (2012): Holzschutz – Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau.

Abbildungen

Abbildung 1 aus Fachregeln des Zimmererhandwerks Teils 2: Balkone und Terrassen.

Abbildung 2 Ortgangdetail aufgenommen von Markus Nattrodt.



"DIN 68800 – Anwendung von Holzschutzmitteln im Spannungsfeld der neuen Richtlinien?"

Wendelin Hettler

Dr. Wolman GmbH

Zusammenfassung

Insbesondere in den Normteilen 1 und 2 der DIN 68800 wurde die Chance verpasst, Holzschutznormen im Konsens der beteiligten Interessenskreise zu erstellen und ein gleichberechtigtes Nebeneinander von rein baulichen Schutzmaßnahmen und dem Schutz des Holzes mit Holzschutzmitteln zu erreichen. Es kann in Frage gestellt werden, ob diese beiden Normteile jemals den Status von allgemein anerkannten Regeln der Technik erreichen können. Richtiger wäre gewesen, Planer und Bauherr offen über Möglichkeiten, Grenzen und Risiken der verschiedenen Holzschutzmaßnahmen zu informieren und Ihnen somit die Basis für eine eigene verantwortliche Entscheidung zu geben.

Entscheidend ist, dass Planer und Bauherr zunächst die für ihr Bauvorhaben gewünschten Schutzziele festlegen. Soll allein ein Bauschaden im Sinne des Verlustes der Standsicherheit vermieden werden oder ist ein weiter gehender Schutz gegen Wertminderung gewünscht? Planern und Bauherrn wird empfohlen, sich bei der Beantwortung dieser Frage neben der DIN 68800 Normenreihe auch anderer Informationsquellen zu bedienen.

Wenn bei tragendem Holz der Schutzerfolg durch bauliche Maßnahmen alleine oder durch die Verwendung natürlich dauerhafter Holzarten nicht sichergestellt werden kann, ist eine vorbeugende Behandlung mit Holzschutzmittel vorzunehmen. Dabei finden zugelassene Holzschutzmittel Verwendung, die die strengen Anforderungen eines vorsorglichen Gesundheits-, Arbeits- und Umweltschutzes erfüllen.

1 Einleitung

Nachdem 2003 das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) einen Vorschlag der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung (DGfH) eine Neukonzeption der Holzschutznormung DIN 68800 Teile 1-3 zu finanzieren abgelehnt hatte, trat die DGfH und der Bund Deutscher Zimmermeister (BdZ) 2004 an die Deutsche Bauchemie (DBC) heran, die Erstellung von Normvorlagen für die Überarbeitung der Normenreihe 68800 zur Hälfte zu finanzieren und personell zu unterstützen. Die Notwendigkeit der Einarbeitung europäischer Normen (EN) in das nationale Normenwerk aber insbesondere das Versprechen eines gleichberechtigten Nebeneinanders von baulichem Holzschutz und des Schutzes mit Holzschutzmitteln haben die DBC und deren Mitgliedsfirmen dazu veranlasst, bereits vor der Aufnahme der eigentlichen Normungsarbeit sich in erheblichem Maße finanziell und personell zu engagieren. Ausgehend von vier Normvorlagen, die 2006 fertiggestellt wurden, wurden in den DIN Gremien bis 2009 Normentwürfe erarbeitet, die nach dem Abarbeiten der Einsprüche zu den Ende 2011 bzw. Anfang 2012 veröffentlichten Normteilen der DIN 68800 führten.

Der grundsätzliche Aufbau der Normenreihe DIN 68800 -Teil 1 ist Steuerungsnorm für die Teile 2-4, das praktisch zeitgleiche Neuerscheinen aller vier Normteile und ein Großteil der Norminhalte werden seitens der DBC begrüßt und unterstützt. Da aber insbesondere in den Teilen 1 und 2 der



DIN 68800 wesentliche Teile der Normen nicht im Konsens, sondern gegen die Einwände vieler Experten aus dem Bereich der Hersteller und Anwender von Holzschutzmitteln verabschiedet wurden, werden wichtige Abschnitte dieser Normen von den in der DBC vertretenen Holzschutzmittelherstellern weiterhin abgelehnt.

Im Folgenden soll auf einige dieser umstrittenen Norminhalte eingegangen werden.

2 Schutz vor Wertminderung als Anspruch von DIN 68800-1

Im Abschnitt 1 „Anwendungsbereich“ erhebt DIN 68800-1 den Anspruch, nicht nur den Schutz von verbautem Holz vor Zerstörung durch holzerstörende Organismen zu regeln, sondern auch den Schutz vor Wertminderung dieser Hölzer. Als wertmindernd einzustufen sind beispielsweise Verfärbungen durch Organismen z. B. Bläuepilze, Schimmelpilze, aber auch der Befall holzerstörender Insekten – ohne dass bereits ein Bauschaden im Sinne des Verlusts der Standsicherheit eingetreten ist. Allerdings geht DIN 68800 nur in sehr begrenztem Umfang auf Maßnahmen zum Schutz vor Wertminderungen ein. Planer und Bauherr sollten prüfen, inwieweit ein Schutz vor Wertminderung für das Bauvorhaben von Bedeutung ist.

3 Gefährdung von Holz und Holzwerkstoffen und Bauschaden

Hierunter versteht DIN 68800-1 jede Einbausituation, die eine Beeinträchtigung der Holzeigenschaften aufgrund holzschädigender Organismen ermöglicht. Eine Beeinträchtigung liegt nicht nur vor, wenn die Standsicherheit eines Holzbauteiles betroffen ist, sondern auch bei Veränderungen, die eine Wertminderung verursachen.

DIN 68800-1 definiert die „Gefahr von Bauschäden“ als „mögliche Beeinträchtigung von Bauteilen durch Holz zerstörende Organismen im Hinblick auf die bestimmungsgemäße Nutzung.“ Insbesondere aus Sicht der Bauaufsicht bedeutet die mögliche Beeinträchtigung der bestimmungsgemäßen Nutzung für tragende Holzbauteile jedoch ausschließlich den Verlust der Standsicherheit. In diesem Sinne verweist die Norm darauf, dass das bloße Vorkommen von Organismen an Holz und/oder Holzwerkstoffen nicht zwangsläufig zu Zerstörungen in einem Ausmaß führt, das die Standsicherheit beeinträchtigt.

Damit soll gemäß DIN 68800 zwar das Risiko eines Bauschadens im Sinne des Verlustes der Standsicherheit vermieden werden, der Befall des Holzes durch holzerstörende Organismen wird jedoch billigend in Kauf genommen. DIN 68800-1 orientiert sich im Wesentlichen an den bauaufsichtlichen Erfordernissen zur Gefahrenabwehr wie der Standsicherheit, nicht jedoch an der Erwartungshaltung des Bauherrn/Auftragsgebers.

4 Bietet technisch getrocknetes Holz einen ausreichenden Insektenschutz?

Nach DIN 68800-1 ist „Für Bauteile aus Brettschichtholz und Brettsperrholz ist in den Gebrauchsklassen 1 und 2 erfahrungsgemäß die Gefahr eines Bauschadens durch Holz zerstörende Insekten nicht zu erwarten, bei anderen bei Temperaturen ≥ 55 °C technisch getrockneten Hölzern als unbedeutend einzustufen.“

Als Konsequenz daraus lässt die Norm als vorbeugende Maßnahme für Hölzer in Gebrauchsklasse 1 die Verwendung technisch getrockneten Holzes zu (GK 0 Einstufung), ohne dass hinreichen-



den wissenschaftlichen Belege oder ausreichend dokumentierte Langzeiterfahrungen für die Aussage vorliegen, dass ein Befall durch holzzerstörende Insekten an technisch getrocknetem Holz nicht stattfinden kann. Im Gegenteil bestätigen Untersuchungen sehr wohl die Möglichkeit eines Befalls.

Dennoch wurde es abgelehnt, diese Information in die Norm aufzunehmen und damit Planern oder Bauherren eine entscheidende Information zur Festlegung des gewünschten Schutzzieles genommen.

5 Ungleiche Anforderungen an die Natürliche Dauerhaftigkeit und mit Holzschutzmitteln geschütztes Holz

Die in den Normen ungleiche Anforderung zwischen natürlich dauerhaftem Holz und einem vorbeugend mit einem Holzschutzmittel geschützten Holz kann an folgendem Beispiel einer Verwendung in der Gebrauchsklasse 3 aufgezeigt werden:

Während für holzschutzmittelbehandeltes Holz ein Holzabbau von maximal 3 % zulässig ist, wird für ein natürlich dauerhaftes Holz der Dauerhaftigkeitsklasse 3-4 (eingestuft mittels Laborprüfung nach DIN EN 350-2) wie z. B. Douglasienkernholz ein Gewichtsverlust über 20 % toleriert, was nahezu einem kompletten Verlust der Festigkeitseigenschaft des Holzes gleichkommt. Trotz dieser erheblichen Unterschiede im Masseverlust wird die Douglasie nach DIN 68800-1 zur Verwendung in Gebrauchsklasse 3.1 erlaubt. Allerdings kann daraus auch geschlossen werden, dass bei gleichem Gefährdungsrisiko holzschutzmittelbehandelte Hölzer eine wesentlich höhere Sicherheit bieten.

6 Vorrang baulichen Holzschutzes

Nach DIN 68800-1 sind **grundsätzliche bauliche Holzschutzmaßnahmen** nach DIN 68800-2 bei Planung und Ausführung stets zu berücksichtigen, auch dann, wenn sich durch diese Maßnahmen die Zuordnung zu einer Gebrauchsklasse nicht ändert.

Grundsätzliche bauliche Maßnahmen wie z. B.

- Vermeidung aller Einflüsse, z. B. aus Bodenfeuchte und Niederschlägen, die bei Transport, Lagerung und Montage zu einer unzuträglichen Veränderung der Holzfeuchte der Holzbauteile führen
- bei Holzbauteilen für die Verwendung in GK 0 bis GK 2 Maßnahmen zur Vermeidung von Tauwasser
- Verhindern einer unzuträglichen Feuchteerhöhung von Holz und Holzprodukten als Folge hoher Baufeuchte.

Diese Maßnahmen führen grundsätzlich zu einer Verringerung des Gefährdungsrisikos von Holz und sind deshalb sowohl bei rein baulichen Holzschutzmaßnahmen als auch bei der Verwendung von mit Holzschutzmittel behandeltem Holz sinnvoll.

Darüber hinaus sollten nach DIN 68800-1 aber auch Ausführungen mit **besonderen baulichen Holzschutzmaßnahmen** nach DIN 68800-2 gegenüber Ausführungen bevorzugt werden, bei denen vorbeugende Schutzmaßnahmen mit Holzschutzmitteln nach DIN 68800-3 erforderlich sind.



Gründe, die dieser Festlegung einer Rangfolge widersprechen sind z. B.:

- Im Sinne des vorsorglichen Gesundheits-, Arbeits- und Umweltschutzes werden Holzschutzmittel und deren Wirkstoffe europäisch durch die zuständigen Gesundheits- und Umweltbehörden aber auch national z. B. durch das DIBt anhand umfangreicher Datensätze bewertet.
- Mit Holzschutzmittel behandeltes Holz wird nur für die Einsatzbereiche zugelassen in denen die strengen Anforderungen an den Gesundheits-, Arbeits- und Umweltschutz erfüllt werden; für Aufenthaltsräume auch die VOC/SVOC-Kriterien bzgl. Innenraumluftqualität.

Für die Festlegung einer solchen Maßnahmenrangfolge gibt es weder eine sachliche, wissenschaftliche Begründung, noch legt die Norm nachvollziehbare Bewertungs- und Beurteilungskriterien fest, die eine derartige Vorgehensweise rechtfertigen würden.

7 Einstufung von Dach- oder Balkonstützen in GK 0

In DIN 68800-2 werden Randbedingungen aufgeführt, bei deren Einhaltung senkrecht stehende, direkt bewitterte Dach- oder Balkonstützen aus Brettschichtholz mit Querschnittsmaßen $\leq 20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ oder Vollhölzer mit Querschnittsmaßen $\leq 16 \text{ cm} \times 16 \text{ cm}$ der GK 0 zugeordnet werden können. Ein Schutz gegen Pilze wird allerdings nur dann erreicht, wenn die Holzfeuchte 20 % nicht übersteigt. Ein Schutz vor einem Befall durch holzerstörende Insekten ist unabhängig von der Holzfeuchte ebenfalls nicht gegeben. Somit liegt es in der Verantwortung des Planers oder des Bauherrn, ob sie das Risiko eines Bauschadens bzw. eines Befalls durch holzerstörende Pilze oder Insekten eingehen wollen oder sich für eine Holzschutzimprägnierung als sichere Maßnahme entscheiden.

8 Imprägniertes Fichtenschnittholz mit tragender Funktion im Außenbereich

Nach DIN 68800-3 wird für Schnittholz mit tragender Funktion in der GK 3 eine Schutzmitteleindringtiefe von 6 mm (NP3) gefordert, die praktikabel nur in einem Kesseldruckverfahren in Verbindung mit einer vorangegangenen Perforation des Holzes erfüllt werden kann, da bei Fichtenholz Kern- und Splintholz nicht zu unterscheiden sind und die Penetrationsanforderung dann auch für den Kernholzbereich gilt.

Über die Eindringtiefeanforderung hinaus ist ein bauaufsichtlicher Verwendbarkeitsnachweis erforderlich. Welche Anforderungen zur Erfüllung des bauaufsichtlichen Verwendbarkeitsnachweises gestellt werden, stand zum Zeitpunkt der Veröffentlichung von DIN 68800-3 noch nicht fest.

Von den zuvor genannten Anforderungen wird jedoch Brettschichtholz und kerngetrenntes, gehobertes Schnittholz mit tragender Funktion in der GK 3.1 ausgenommen, für die lediglich die Eindringtiefeklasse NP 1 (keine Anforderung an die Eindringtiefe) gefordert wird, sofern die zusätzlichen Vorgaben gemäß DIN 68800-3 wie z. B. regelmäßige Nachkontrolle oder eine erforderlichenfalls notwendige Nachbehandlung erfolgt.

Durch die Anforderung einer 6mm Eindringtiefe im Fichtenkernholz wird die Verwendung von nach der bisherigen DIN 68800-3 imprägniertem Fichtenholz in der GK 3 für tragende Funktionen praktisch ausgeschlossen und das, obwohl positive Erfahrungen an in großer Stückzahl eingesetzten Fichtenhölzer vorliegen.



Nicht akzeptabel erscheint auch, dass die Bauaufsicht für alle behandelten schwer tränkbaaren Holzarten in der GK 3 und 4 als Zusatzanforderung einen bauaufsichtlichen Verwendbarkeitsnachweis einfordert, bis heute aber keine Kriterien genannt hat, die für einen solchen Nachweis zu erfüllen sind.



Die neue DIN 68800 – Fluch oder Segen für Außenholzprodukte?

Uwe Halupczok

Deutscher Holzschutzverband für Außenholzprodukte e. V. (DHV) und Gütegemeinschaft Imprägnierte Holzbauelemente e. V. (GIH)

Zusammenfassung

Ausgehend von der Annahme, dass es den einzelnen Normenausschüssen bei ihrer Arbeit nicht nur darum ging, vorhandene europäische Normen in nationale Bestimmungen umzusetzen, sondern vor allem auch darum, die Rahmenbedingungen für den Einsatz des nachwachsenden Rohstoffs Holz zu verbessern und ihn damit zu fördern, muss – nachdem nun alle Teile vorliegen und erstmals in ihrer komplexen Gesamtheit beurteilt werden können – stark bezweifelt werden, dass insbesondere Letzteres mit der neuen DIN 68800 tatsächlich erreicht werden kann: Aufgrund ihrer Unausgewogenheit zu Lasten langjährig bewährter, vorbeugender chemischer Schutzmaßnahmen und Holzarten wie der Fichte muss eher befürchtet werden, dass ein zwar anfänglich durchaus möglicher Aufwärtstrend bei der Holzverwendung im Außenbereich mittelfristig wieder abgebremst und schließlich sogar rückläufig sein wird, sobald die Nebenwirkungen der Norm beim Verbraucher spürbar geworden sind und sich die mit „alternativen“ Holzarten und Schutzmaßnahmen verbundenen Versprechungen als falsch herausgestellt haben.

1 Einleitung

Das bisherige, den Holzschutz regelnde Normenwerk soll demnächst durch die neue, vierteilige Normenreihe DIN 68800 abgelöst werden. Diese hat den Anspruch, sowohl nationalen Belangen als auch europäischen Anforderungen Rechnung zu tragen. Die für Außenholzprodukte entscheidenden Anforderungen finden sich in den Teilen 1 und 3.

Während die bauaufsichtliche Einführung von Teil 1 in der ersten Jahreshälfte 2013 erwartet wird (mit in den jeweiligen Bundesländern dann bindender Wirkung), scheint für den Teil 3 momentan noch offen zu sein, ob überhaupt und wenn ja, wann ein solcher Schritt erfolgen wird.

Unter der Voraussetzung, dass Teil 3 ebenfalls bauaufsichtlich eingeführt wird, kann damit gerechnet werden, dass die neue DIN 68800 künftig erhebliche Auswirkungen auf Außenholzprodukte haben wird.

2 Wesentliche Inhalte und Änderungen

Qualitätsverbesserung bei Außenholzprodukten durch höhere grundsätzliche Anforderungen

Die meisten Außenholzprodukte (z. B. Hölzer für den Garten-, Landschafts- und Spielplatzbau, für Lärmschutzwandelemente und die Land- und Forstwirtschaft) wurden in der Vergangenheit aus Gründen, die hier nicht betrachtet werden können, häufig dem nicht tragenden Bereich zugeordnet. Bei genauer Betrachtung haben viele von ihnen oder zumindest Teile von ihnen jedoch eindeutig eine tragende Funktion. Hersteller, Planer, Händler und Endverbraucher müssen sich daher



künftig mit den für beide Bereiche geltenden Anforderungen an den Schutz dieser Außenholzprodukte auseinandersetzen, um wirklich „normgerecht“ zu sein und ein für ihre Zwecke optimal geeignetes Produkt zu produzieren bzw. zu erhalten. Vor diesem Hintergrund ist die Tatsache, dass die neue DIN 68800-3 künftig auch an nicht tragende Holzbauteile konkrete Anforderungen stellt und es nicht mehr nur bei Empfehlungen belässt, sehr zu begrüßen.

Ebenfalls positiv sind die Regelungen hinsichtlich der notwendigen Fachkenntnisse zu bewerten, die bis dato nur bei der Anwendung von Maßnahmen zum vorbeugenden Schutz von Holz mit Holzschutzmitteln für tragende Bauteile zu erbringen waren. Nach der neuen Norm dürfen diese nur noch von Fachbetrieben durchgeführt werden, was deren Position nur stärken kann. Dass dies für nicht tragende Holzbauteile lediglich als Empfehlung formuliert ist, trägt richtigerweise dem Umstand Rechnung, dass viele Mittel zum Schutz von Außenholzprodukten in Do-it-yourself-Verfahren verarbeitet werden. Für industrielle Anwender hat dies keinerlei Konsequenzen.

Förderbestimmungen für natürlich dauerhafte Holzarten diskriminieren imprägnierte Hölzer

Bekanntermaßen sind die Möglichkeiten für konstruktive Schutzmaßnahmen im Außenbereich begrenzt. Unter baulichen Maßnahmen ist deshalb bei ihnen vor allem der Einsatz natürlich dauerhafter Holzarten zu verstehen. Die neue Normenreihe enthält zahlreiche Bestimmungen, die den Einsatz natürlich dauerhafter Holzarten im Außenbereich direkt oder indirekt fördern – auf Kosten anderer Schutzmaßnahmen.

Zu diesen Bestimmungen gehören solche, die baulichen Holzschutzmaßnahmen einen „Vorrang“ einräumen. Obwohl im Prinzip bereits in der alten DIN 68800-3 verankert (und damit kein Novum!) werden sie künftig vermutlich einen deutlich höheren Stellenwert haben als bisher. Davon werden nicht tragende Hölzer im Außenbereich besonders betroffen sein, da der für den tragenden Bereich geltende Zusatz, dass der Einsatz von Holzschutzmitteln dort erforderlich ist, wo der Schutzerfolg auf andere Art nicht sichergestellt werden kann, für sie lediglich als „Kann“-Bestimmung formuliert ist.

Weiter zählt die Forderung, dass bauliche Maßnahmen stets zu berücksichtigen sind, zweifelsfrei zu den „Förderbestimmungen“ für natürlich dauerhafte Holzarten. Für tragende Holzbauteile wurde dies bereits in der alten Norm verlangt. Neu sind lediglich die direkte Formulierung und die Erweiterung auf den nicht tragenden Bereich – was diesen Maßnahmen zumindest optisch zu einem höheren Stellenwert verhilft. Da sie aber auch konstruktive Maßnahmen beinhalten, die i. d. R. auf die Vermeidung oder zeitliche Begrenzung des Kontaktes der Holzoberfläche mit Feuchtigkeit abzielen, kann dieser Passus jedoch durchaus auch positive Auswirkungen im Rahmen vorbeugender chemischer Schutzmaßnahmen haben.

Zu einem vermehrten Einsatz natürlich dauerhafter (Farbkern-)Hölzer könnten ferner die z. T. deutlich erweiterten, im neuen Regelwerk enthaltenen Listen mit den zulässigen Holzarten führen. In diesem Zusammenhang von Bedeutung ist auch, dass die für tragende Holzbauteile anzuwendende neue Zuordnungstabelle, in der genau beschrieben wird, welche Dauerhaftigkeitsklassen in den jeweiligen Gebrauchsklassen gefordert werden, für den nicht tragenden Sektor nur empfehlenden Charakter hat. Einsetzbar sind hier nicht nur diejenigen Hölzer, die in einer weiteren, speziellen und sehr umfangreichen Liste aufgeführt sind. Die neuen Normen öffnen auch Tür und Tor für einige Hölzer, über deren Eigenschaften größtenteils keine oder nur unzureichende wissenschaftlich abgesicherte Erkenntnisse vorliegen. Zudem enthält Teil 1 für Anwendungen in Gebrauchsklasse 3.2 eine Aufweichung hinsichtlich der Anforderungen an die hier normalerweise zu erbringende natürliche Dauerhaftigkeit: Dort dürfen künftig - unter der Voraussetzung, dass eine ausreichende Wartung und Pflege sichergestellt ist - für nicht tragende Zwecke auch Hölzer der Dauerhaftigkeitsklasse 3 eingesetzt werden.



Der Anhang E der neuen DIN 68800-1 hat informativen Charakter und dient ebenfalls der Förderung des Einsatzes natürlich dauerhafter Holzarten im nicht tragenden Bereich, indem er beispielhaft aufgezeigt, wo diese - alternativ zu vorbeugenden, chemischen Holzschutzmaßnahmen - u. a. im Außenbereich verwendet werden können. Allerdings kann er mit seinen Empfehlungen, welche Mindestanforderungen bei verschiedenen Bauteilen an die Dauerhaftigkeitsklassen ohne zusätzliche vorbeugende chemische Schutzmaßnahmen einsetzbarer Holzarten in Abhängigkeit von der erwarteten Gebrauchsdauer zu stellen sind, auch zu einem Problem für die Anwendung von Holz im Außenbereich werden: Bei vielen Nutzern der Norm könnte nämlich bei alleiniger Betrachtung der Tabelle mit Gebrauchsdauern von bis zu 30 Jahren eine (zu) hohe Erwartungshaltung entstehen, zumal die Zuordnung der Dauerhaftigkeitsklassen vielfach lediglich auf Erfahrungswerten oder Einschätzungen zur Lebensdauer der sich jeweils dahinter verbergenden Holzarten beruht.

Überzogene Anforderungen bei tragenden Holzbauteilen und für die Holzart Fichte

Bei den die Anwendungsverfahren für Holzschutzmittel regelnden Bestimmungen ist in der neuen Norm mit der Empfehlung für Druckverfahren in Gebrauchsklasse 3 und der Forderung für Druckverfahren in Gebrauchsklasse 4 nur der tragende Bereich zufriedenstellend geregelt. Für nicht tragende Holzbauteile in der neuen Gebrauchsklasse 3.1 gibt es dagegen überhaupt keine Empfehlung oder gar Forderung für ein bestimmtes Verfahren. Wie hier die notwendigen Eindringtiefen und Einbringmengen bei Schnittholz gut tränkbarer sowie Rundholz generell mit anderen als mit Druckverfahren erreicht werden sollen, bleibt offen. Gefordert und damit gefördert wird jetzt aber die Anwendung des Druckverfahrens u. a. für Gebrauchsklasse 3.2.

Die in der neuen Norm für tragende Holzbauteile geforderten Eindringtiefenklassen werden vermutlich erhebliche Konsequenzen für die Anwendung von imprägniertem Holz im Außenbereich haben. Ohne Not und unter Verdrängung jahrzehntelanger, positiver Erfahrungen wurden für Rund- und Schnittholz schwer tränkbarer Holzarten in den Gebrauchsklassen 3.1, 3.2 und 4 Eindringtiefen festgelegt, die im Prinzip nur mit Hilfe einer Perforation erreicht werden können. Zusätzlich wird für sie in diesen Gebrauchsklassen ein bauaufsichtlicher Verwendbarkeitsnachweis gefordert, obwohl das Schutzziel mit Erreichung der jeweiligen Eindringtiefe und vorgegebenen Einbringmenge sicher erreicht wird – mit katastrophalen Folgen insbesondere für die Holzart Fichte. Für nicht tragende Holzbauteile sind in der neuen DIN 68800-3 erstmalig eindeutige Anforderungen an die zu erbringenden Eindringtiefen enthalten. Damit leistet sie einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Imprägnierqualität in diesem Bereich. Mit der Festlegung für tragende und nicht tragende Holzbauteile geltender Toleranzen wird den inhomogenen Eigenschaften des Werkstoffes ausreichend Rechnung getragen.

Bei den Einbringmengen müssen die in den bauaufsichtlichen Zulassungen (bei nicht tragenden Holzbauteilen auch in den Bewertungsverfahren) festgelegten Werte erreicht werden. Sie beziehen sich künftig allerdings auf den zu imprägnierenden Bereich. Für die Imprägnierbetriebe bedeutet dies ein Umdenken, zumal in den derzeitigen Zulassungsbescheiden immer noch auf Gesamtholz abgehoben wird. Auch bei den Einbringmengen lässt die Norm richtigerweise bestimmte Toleranzen zu. Sie gelten für tragende und nicht tragende Holzbauteile, können jedoch abweichend hiervon zwischen Kunde und Imprägnierbetrieb frei vereinbart werden.

Die mit einer Ausnahme geltende, grundsätzliche Verpflichtung zur Nachbehandlung von Trockenrissen bei tragenden Holzbauteilen ist gemäß neuer Norm im nicht tragenden Bereich lediglich als Empfehlung formuliert, was vor dem Hintergrund ihrer im Vergleich zu tragenden Holzbauteilen untergeordneten Bedeutung nur auf den ersten Blick angemessen erscheint. Angesichts der in der Praxis im Außenbereich durchaus auftretenden Schadensfälle bei Holzbauteilen mit oben liegenden Trockenrissen wäre eine Übernahme der für tragende Holzbauteile geltenden Anforderungen angebracht gewesen.



Mehr Verbrauchersicherheit durch Qualitätskontrollen und Kennzeichnung

Dass die Prüfung des Tränkerfolgs bei tragenden und nicht tragenden Holzbauteilen gemäß neuer DIN 68800-3 künftig im Rahmen einer werkseigenen Produktionskontrolle zu erfolgen hat, ist auch bei Außenholzprodukten als wesentlicher Beitrag zur Verbesserung der Imprägnierqualität zu werten. Zugelassen ist dabei sowohl die direkte - bei Vorliegen bestimmter Voraussetzungen – auch die indirekte Überprüfung von Eindringtiefe und Einbringmenge. Dies ermöglicht eine leichtere innerbetriebliche Umsetzung dieser Forderung. Mehr als bedauerlich ist der Umstand, dass die Norm formaljuristisch keinen ausdrücklichen Hinweis auf die Zulässigkeit existierender, privatrechtlicher Qualitätsüberwachungsgemeinschaften wie z. B. der Gütegemeinschaft Imprägnierte Holzbaulemente e. V. (RAL-GZ 411) zur Durchführung dieser Kontrollen enthalten darf, die durch entsprechende Einbindung eine wesentliche Aufwertung erfahren hätten.

Mit Hilfe der an die Bescheinigung über die durchgeführten Maßnahmen zum vorbeugenden Schutz von Holz mit Holzschutzmitteln und die Kennzeichnung von Produkten gestellten Anforderungen der neuen Norm kann sich der Anwender von Außenholzprodukten genauere Kenntnisse über die Eigenschaften imprägnierter Hölzer und deren richtigen Einsatz verschaffen. Sie sind als Beitrag zum Verbraucherschutz zu werten und können helfen, Probleme mit nicht dem Einsatzzweck entsprechend imprägnierten Hölzern zu vermeiden. Das die Bescheinigung bei Massensortimenten auf der Verpackungseinheit angegeben werden muss, hilft dem Hersteller, den Aufwand für die Erstellung dieser Bescheinigungen insbesondere bei Außenholzprodukten in Grenzen zu halten. Eine Alternative zu diesen Bescheinigungen in Form von Unterlagen von Gütegemeinschaften oder gleichwertigen Institutionen in Verbindung mit einer entsprechenden Produktkennzeichnung und weitreichenden Gewährleistungsaussagen ist aus formalrechtlichen Gründen in der neuen Norm leider nicht vorgesehen und bleibt dem Kommentar vorbehalten.

3 Ausblick

Nennenswerte Auswirkungen auf Außenholzprodukte werden DIN 68800-1 (2011) und DIN 68800-3 (2012) nur haben, wenn beide bauaufsichtlich eingeführt sind, wesentlich stärker als bisher zum festen Vertragsbestandteil bei Einkäufen und Ausschreibungen werden und die Einhaltung der Normanforderungen konsequent überprüft wird.

Wer von den Herstellern von Außenholzprodukten dann auf der Gewinner- und wer auf der Verliererseite stehen wird, ist nicht leicht zu beantworten, da die Hersteller in Deutschland z. T. sehr unterschiedlich aufgestellt sind: Da sind zunächst die reinen Imprägnierbetriebe zu nennen, die diese Produkte traditionell aus mit Holzschutzmitteln behandelten Hölzern herstellen. Daneben gibt es Betriebe, die mit neuartigen Schutzverfahren oder neuartigen Materialien wie WPC o. ä. operieren oder solche, die ausschließlich natürlich dauerhafte Holzarten verwenden. Mehrheitlich dürfte es sich aber um Mischbetriebe handeln, die über mehrere Standbeine verfügen. Hinsichtlich der Auswirkungen der Norm auf die Hersteller gilt: Was dem einen sein Freud, ist des anderen sein Leid!

Zu den (anfänglichen) Gewinnern könnten auf jeden Fall die Verwender natürlich dauerhafter Holzarten zählen, da das Normenwerk zahlreiche Bestimmungen und Empfehlungen enthält, die einer Förderung gleichkommen. Betroffen sein dürfte insbesondere der nicht tragende Bereich in Gebrauchsklasse 3.1, in dem insbesondere exotische Holzarten verstärkt zur Anwendung kommen könnten. Profitieren werden dort vermutlich auch einige heimische Holzarten, deren Einsatz nun ohne vorbeugende chemische Schutzmaßnahmen auch in höheren Gebrauchsklassen als bislang zulässig sein wird.



Die verstärkte Verwendung natürlich dauerhafter Holzarten kann zumindest mittelfristig negative Konsequenzen für imprägnierte Holzbauelemente haben und deren Anteil am großen Kuchen der Außenholzprodukte schrumpfen lassen. Ob diese Entwicklung tatsächlich aber so verläuft und vor allem von Dauer sein wird, dürfte wesentlich von der Verfügbarkeit dieser Hölzer in Quantität und Qualität (Stichwort: Kernholz) und der künftigen Preisentwicklung abhängen. Eine wichtige Rolle wird dabei auch der Beantwortung der Frage zukommen, ob sich die ihnen in der Norm zugesprochenen Eigenschaften, besonders hinsichtlich ihrer Dauerhaftigkeit, in der Praxis widerspiegeln werden oder nicht. Die Erfahrungen aus der Vergangenheit haben gezeigt, dass hier (Wunsch-) Vorstellungen und Realität häufig weit auseinander liegen. Einfluss auf die Entwicklung könnte auch das steigende Umweltbewusstsein beim Endverbraucher nehmen: Nicht immer sichergestellte, nachhaltige Holzgewinnung, weite Transportwege etc. sprechen deutlich für die heimischen Holzarten, von denen viele dann allerdings eines hochwertigen, vorbeugenden chemischen Holzschutzes bedürfen.

Trotz der insgesamt einseitigen Ausrichtung des Normenwerks enthält speziell die neue DIN 68800-3 auch viele Anforderungen, die zu einer Qualitätssteigerung bei imprägnierten Hölzern führen und damit deren Marktchancen deutlich verbessern können. Für den nicht tragenden Bereich sind diese Anforderungen erstmals klar formuliert, womit es den heimischen Herstellern gelingen sollte, sich auf dem Markt von Billigprodukten mit fragwürdigen Eigenschaften abzugrenzen oder Produkten aus natürlich dauerhaften Holzarten Paroli zu bieten. Die Pflicht zur Prüfung der Schutzbehandlung im Rahmen einer werkseigenen Produktionskontrolle wird den Trend zu mehr Qualität noch verstärken, was privatrechtlichen Qualitätssicherungsgemeinschaften wie der RAL-Gütegemeinschaft Imprägnierte Holzbauelemente e. V. (RAL-GZ 411) ungeahnten Zulauf bescheren könnte. Schwierig wird es in Zukunft speziell für die Fichte als schwer zu imprägnierender Holzart werden: Ihr Einsatz für tragende Konstruktionen im Außenbereich setzt künftig eine entsprechende Perforation voraus, um die geforderten Eindringtiefen zu erreichen. Die entsprechende Technik ist derzeit allerdings nur begrenzt vorhanden und bei sichtbaren Holzbauteilen stößt eine Perforation häufig noch auf Ablehnung. Imprägnierindustrie, Schutzmittelhersteller und Holzhandel sind gut beraten, sich dieses Themas anzunehmen, schnellstmöglich Lösungen zu erarbeiten und Aufklärung zu betreiben. Insgesamt spielen diese verschärften Anforderungen leicht imprägnierbaren Holzarten wie der Kiefer in die Hände, deren Marktanteil bei den Außenholzprodukten voraussichtlich steigen wird.

Die Frage, ob die neue Normenreihe ein Fluch oder ein Segen für Außenholzprodukte ist, lässt sich derzeit nur schwer abschließend beantworten, da es stark auf den Blickwinkel ankommt. Die Anlagen zu einer Entwicklung sowohl in die eine als auch in die andere Richtung sind in der neuen Norm jedenfalls enthalten.

Literatur

DIN 68800-3 (1990): Holzschutz im Hochbau - Teil 3: Vorbeugender chemischer Holzschutz.

DIN 68800-1 (2011): Holzschutz - Teil 1: Allgemeines.

DIN 68800-3 (2012): Holzschutz - Teil 3: Vorbeugender Schutz von Holz mit Holzschutzmitteln.



DIN 68800 (2011): Konsequenzen für den Fensterbau

Dirk Lukowsky

Fraunhofer-Institut für Holzforschung (WKL)

Zusammenfassung

Mit der Neufassung der DIN 68800 wird anerkannt, dass die Einbausituation eines Holzfensters dessen Gefährdung durch Fäulnis maßgeblich beeinflusst. Bei Fenstern in `normaler` Einbausituation wird daher auch bei der Verwendung von Splintholz kein vorbeugender Schutz gegen holzzerstörende Pilze mehr gefordert. Diese Änderung im Normenwerk berücksichtigt, dass vorbeugender chemischer Holzschutz nie dazu dienen soll, nennenswerte handwerkliche Mängel aufzufangen. Bekannt ist, dass Fenster auch ohne vorbeugenden chemischen Holzschutz im Laufe ihrer erwarteten dreißigjährigen Nutzungsdauer keine Fäulnis aufweisen, wenn sie handwerklich sauber gefertigt wurden, die Eckverbindungen vollflächig verklebt sind, die Regenschutzschiene nach den einschlägigen Regelwerken ausgeführt wurde und die Beschichtung in angemessenen Abständen gepflegt wird.

Die Norm sieht vor, dass Fenster, die stärker als üblich beansprucht werden oder an die höhere Anforderungen hinsichtlich der Nutzungssicherheit gestellt werden, aus dauerhafteren Holzarten hergestellt werden oder aber nur am Einzelteil, also am noch nicht zusammengebauten Fenster, chemisch behandelt werden. Der bislang übliche vorbeugende Schutz gegen Fäulnis durch Tauchen oder Fluten am verklebten Fensterrahmen gehört damit der Vergangenheit an.

Das Holzfenster der Zukunft wird daher einen Vermerk tragen, für welche Einbausituation es hergestellt wurde. Holzfenster mit starker Beanspruchung aufgrund der Einbausituation werden in Zukunft aus natürlich dauerhaften Holzarten gefertigt oder einen vorbeugenden chemischen Holzschutz aufweisen, der aufgrund der Einzelteilbehandlung die kritischen Stellen der Fenster auch tatsächlich schützt.

1 Rahmenbedingungen für den Holzfensterbau

In Deutschland wurden 2011 ca. 24 % (3,1 Mio. Fenstereinheiten) aller Fenster aus Holz hergestellt. Davon sind zwei Drittel reine Holzfenster und ein Drittel Holz-Metall-Fenster, die von ca. 3830 Fensterbaubetrieben hergestellt wurden (Anonymus 2012). Geschätzte 30 % der hergestellten Holzfenster bestehen aus Kiefer mit hohen Splintanteilen. Gemäß einer Studie zur Häufigkeit von Fäulnis an Fenstern kann grob abgeschätzt werden, dass etwa 0,5 % aller normal beanspruchten Fenster aus Kiefer oder Fichte durch Fäulnis versagen, während dieser Anteil bei den hoch beanspruchten Fenstern bis zu 10 % beträgt (Lukowsky, Moarcas 2008). Fäulnis tritt fast ausschließlich an Eckverbindungen und Pfostenanschlüssen auf. Der vorbeugende chemische Holzschutz wird in den meisten Betrieben am verklebten Rahmen durch Fluten oder Tauchen aufgebracht. In die kritischen Eckverbindungen und Pfostenanschlüsse gelangt dabei kein Wirkstoff. Die vorgesehenen Einbringmengen der Holzschutzmittel gegen Fäulnis werden zudem selten erreicht (Lukowsky, Moarcas 2008).



2 Änderungen der 68800 -1 und -3 im Wortlaut

2.1 DIN 68800-3 (1990)

In der alten DIN 68800-3 von 1990 heißt es im Abschnitt 12, Hinweise für den Schutz von nichttragendem maßhaltigem Holz (Außenfenster und Außentüren):

12.1: Außenfenster und Außentüren gehören der Gefährdungsklasse 3 an. Wenn nachträglich ein dauerhaft wirksamer Oberflächenschutz, z. B. durch Instandhaltung und rechtzeitige Instandsetzung, gewährleistet ist, können Außenfenster und Außentüren in die Gefährdungsklasse 2 eingestuft werden. Ein ausreichender Oberflächenschutz des Holzes wird jedoch erst durch ein komplettes Anstrichsystem erreicht.

12.2: Erforderlich ist ein chemischer Holzschutz gegen Bläue und holzerstörende Pilze; es sei denn, es wird das Kernholz von Holzarten der Resistenzklassen 1 und 2 nach DIN 68 364 verwendet. Soll bei Splintholz sowie bei Kernholz von Holzarten der Resistenzklassen 3 bis 5 (nach DIN 68 364) auf einen chemischen Holzschutz verzichtet werden, so ist dies schriftlich zu vereinbaren.

Demnach war ein chemischer Holzschutz gegen Fäulnis für alle Splinthölzer und (dem Wortlaut nach) auch für das Kernholz von Lärche, Douglasie und Kiefer gefordert, es sei denn, der Verzicht auf die Behandlung wurde schriftlich vereinbart. Voraussetzung war ein nicht näher spezifizierter, dauerhaft wirksamer Oberflächenschutz durch Beschichtungen.

2.2 DIN 68800-1 (2011) und DIN 68800-3 (2012)

In dem informativen Anhang E des Teil 1 der DIN 68800 (2011) werden *‘Hinweise für die Planung von Holzschutzmaßnahmen für nicht tragende Bauteilen’* gegeben. Ein entscheidender Grundsatz dieses Anhangs ist: *„Die Notwendigkeit von Holzschutzmaßnahmen und deren Intensität wird neben der Gebrauchsklasse zusätzlich durch die spezifischen Einsatzbedingungen und individuellen Anforderungen bestimmt ... [z. B.] die vom Nutzer erwartete Verwendungsdauer, Wert oder Bedeutung der Bauteile, Konstruktionsdetails, lokale klimatische Bedingungen, Höhe des Wartungs- und Pflegeaufwandes und der zu erwartende Aufwand bei späteren Reparaturen oder beim Austausch.“*

In der Tabelle E.1 des Anhangs wird eine Mindest-Dauerhaftigkeit des verwendeten Holzes anhand der Kriterien der Witterungsbeanspruchung, einem normalen bzw. besonderen Schutzniveau und der erwarteten Gebrauchsdauer dargestellt. Werden Hölzer mit einer geringeren natürlichen Dauerhaftigkeit verwendet, ist ein vorbeugender chemischer Holzschutz anzuwenden.

Normal beanspruchte Holzfenster können gemäß der Tabelle aus Splintholz ohne vorbeugenden chemischen Schutz gegen Fäulnis gefertigt werden, wenn eine Lebensdauer von 30 Jahren als ausreichend angesehen wird. Mit zunehmender erwarteter Lebensdauer oder besonderem Schutzniveau sind dauerhaftere Holzarten empfohlen. Aus der Fußnote d ergibt sich, dass Fichtensplintholz in Bereichen verwendet werden kann, für die eine natürliche Dauerhaftigkeit von 4 empfohlen wird.

Als stark beansprucht gelten laut Fußnote f Fenster der West- und Südseiten, mit folgenden Kriterien: z. B. Einbau fassadenbündig, freistehend oder Berglage, Meeresnähe oder höher als 3. Stockwerk. Auch für stark beanspruchte Fenster werden Kernhölzer mit der natürlichen Dauerhaftigkeit von 3-4, also z. B. Lärche, Douglasie und Kiefer immer als ausreichend angesehen.

Voraussetzung für die Einstufungen ist jeweils eine für den Fensterbau geeignete Holzart und eine dauerhaft intakte Beschichtung.



Im informativen Anhang C der aktuellen DIN 68800-3 (2012) finden sich wichtige Hinweise zur Durchführung vorbeugender Holzschutzmaßnahmen mit Holzschutzmitteln für maßhaltige Bauteile (Fenster). Die Fußnote b der Tabelle C.1 bekräftigt, dass die Möglichkeiten zur Verwendung weniger dauerhafter Holzarten ohne vorbeugenden chemischen Holzschutz eine einwandfreie Konstruktion und Holzqualität bedingen und dass im Zweifelsfall eine Schutzbehandlung erfolgen sollte.

Unter C.2.5 wird festgelegt, dass im Zusammenhang mit einem Beschichtungssystem nach DIN EN 927-1 die Eindringtiefenklasse NP 1 (keine Anforderung) für die Schutzmittelbehandlung gilt.

Im Abschnitt C.5.1 wird gefordert, dass das notwendige Beschichtungssystem die Anforderungen der DIN EN 927-2 erfüllen muss. Für die Praxis besonders relevant ist folgender Absatz:

„Um bei der Anwendung vorbeugend wirksamer Holzschutzmittel im Nichtdruckverfahren (z. B. Streichen, kurzzeitiges Tauchverfahren) einen wirksamen Schutz gegen Holz zerstörende Pilze im Bereich von Eckverbindungen zu erreichen, sollten die Bauteile vor dem Zusammenfügen einzeln imprägniert werden, ohne dass dadurch die geforderte Qualität der Verklebung [...] beeinträchtigt wird.“

Der Absatz beschreibt, dass mit einer Holzschutzbehandlung am verklebten Rahmen kein Schutz der Eckverbindungen erreicht wird. Da bekanntermaßen Fäulnis fast ausschließlich an Eckverbindungen auftritt, und diese demnach in jedem Fall eines Schutzes bedürfen, sollte daher ein Schutz am Einzelteil erfolgen. Da der Begriff „sollte“ normungstechnisch eine sehr starke Aufforderung bedeutet, ist damit die Imprägnierung gegen holzerstörende Pilze am fertig verklebten Rahmen fast ausgeschlossen.

3 Konsequenzen für den Fensterbau

Trotz des bekannten Beharrungsvermögens der Branche kann davon ausgegangen werden, dass die Neufassung der DIN 68800 zu einer differenzierten und besseren Holzschutzbehandlung von Holzfenstern in Deutschland führt. Die wesentlichen Neuerungen sind in informativen Anhängen der Normenteile 1 und 3 aufgeführt. Sie stellen aus Sicht von Holzschutzexperten die allgemein anerkannten Regeln der Technik dar und sind demnach grundsätzlich zu beachten. In der Hoffnung, dass die letztlich positiven Auswirkungen der Änderungen auch von den einschlägigen Verbänden und Lobbygruppen unterstützt und in der Branche auch tatsächlich umgesetzt werden, sind folgende Konsequenzen für den Fensterbau zu erwarten:

- Holzfenster werden zukünftig einen Vermerk tragen, ob sie für normale oder für starke Witterungsbeanspruchung vorgesehen sind und welches Schutzniveau sie dabei für die erwartete Gebrauchsdauer erreichen. Vergleichbare Differenzierungen sind in anderen Branchen, z. B. für Laminatböden, bereits seit Langem etabliert (Abb. 1).



Bereich	Klasse	Verwendung
Wohnbereich	21	mäßige Beanspruchung z.B. Schlafzimmer, Gästezimmer, ...
	22	normale Beanspruchung z.B. Wohn- und Esszimmer, ...
	23	starke Beanspruchung z.B. Küche, Flur, Arbeitszimmer, ...
Gewerblicher Bereich	31	mäßige Beanspruchung z.B. Hotelzimmer, Konferenzraum, ...
	32	normale Beanspruchung z.B. Büros, Warteräume, ...
	33	starke Beanspruchung z.B. Großraumbüros, Kaufhäuser, ...

Abb. 1: Bei der Auswahl von Laminatböden kann zwischen 6 verschiedenen, mit genormten Leistungseigenschaften hinterlegten Beanspruchungsgruppen ausgewählt werden

- Der Einsatz von dauerhaften Kernhölzern wird zukünftig zunehmen. Wenn Fenster zu mindestens 95 % aus dem Kernholz von Kiefer, Lärche oder Douglasie bestehen, kann mit der uneingeschränkten Verwendbarkeit und einem besonderen Schutzniveau geworben werden. Die Verwendung von Fichtenholz wird zunehmen, da sie unter vielen Bedingungen eine Werbung mit einem besonderen Schutzniveau zulässt.
- Die Effektivität von vorbeugenden Holzschutzbehandlungen wird zunehmen, da gegen Fäulnis nur noch am Einzelteil imprägniert wird. Firmen, die nicht in der Lage oder nicht willens sind, die notwendigen technischen Änderungen vorzunehmen, können auf eine Behandlung verzichten, wenn sie die Fenster nur für normale Witterungsbeanspruchung ausloben oder dauerhafte Holzarten verwenden.
- Die Qualität von Holzfenstern wird zunehmen. Da in der Norm ausdrücklich beschrieben ist, dass bei sorgfältiger handwerklicher Fertigung bei normaler Witterungsbeanspruchung keine Fäulnis zu erwarten ist, kommt der Fertigungsqualität gerade im Streitfall eine höhere Bedeutung zu und die Schutzwirkung von Holzschutzmitteln kann nicht mehr als Ersatz für mangelnde handwerkliche Qualität herangezogen werden. Wenn dies dazu führt, dass zukünftig mehr Fenster vollflächig verklebte (und damit abgedichtete) Eckverbindungen aufweisen, ist bereits ein großer Schritt in die richtige Richtung getan.

Literatur

- LUKOWSKY, D.; MOARCAS, O. (2007): Optimierung des chemischen Holzschutzes im Fensterbau. Tagungsband der 25. Holzschutztagung der DGfH. S. 93-103.
- ANONYMUS (2012): Marktbereinigung in der Fensterbranche setzt sich fort – VFF veröffentlicht aktuelle Strukturanalyse. Bauelemente Bau. 4. S. 6-8.



DIN 68800, Teil 4: Auswirkungen auf die Altbausanierung

Ekkehard Flohr

Ing.-Büro E. Flohr GmbH

Zusammenfassung

Inhaltlich hat sich auf den ersten Blick an der neuen Bekämpfungsnorm (Teil 4) nicht viel geändert. Vergleicht man jedoch das frühere Inhaltsverzeichnis mit dem neuen, so fallen Verschiebungen beziehungsweise neue Gliederungspunkte auf. Erst auf den zweiten Blick offenbaren sich dann Veränderungen, die für die Praxis von Bedeutung sind.

Nachfolgend werden, ohne Anspruch auf eine umfassende Darstellung, ein paar Normenabschnitte herausgegriffen und erläutert.

1 Anwendungsbereich (Punkt 1 der Norm)

Gegenüber der früheren Norm werden die Bekämpfungsmaßnahmen noch deutlicher nicht nur für tragende, sondern auch für nichttragende Bauteile geregelt. Dies ist nachvollziehbar und logisch. Denn holzerstörende Pilze und Insekten unterscheiden nicht, wie Holzsubstanz im Gebäude konstruktiv beansprucht wird. So kann ein Befall beispielsweise an einem Fenster oder einer Paneelverkleidung ohne weiteres auf tragende Bauteile im Gebäude übergreifen. Um dieser Gefahr zu begegnen, wird der Bekämpfungsmaßnahme an nichttragenden Bauteilen derselbe Stellenwert zugeordnet wie an tragenden Bauteilen.

2 Bedeutung des Echten Hausschwamms (Punkt 3.4 der Norm)

Für die Praxis ist eine eindeutige Unterscheidung des Echten Hausschwamms zu anderen Nassfäuleerregern von immenser Bedeutung. Dieser Pilz gilt als gefährlichster und zugleich am schwierigsten zu bekämpfender Gebäudepilz. Begründet wird dies durch eine Bündelung von Fähigkeiten, die andere Pilze kaum beziehungsweise nur vereinzelt besitzen. Darunter sind folgende vier Eigenschaften zu verstehen:

- Er baut Holz bereits bei vergleichsweise geringer Holzfeuchte ab.
- Er kann mit Hilfe ausgeprägter Stränge Wasser und Nährstoffe transportieren.
- Er durch- und überwächst anorganische (poröse) Materialien.
- Er kann unter seinem dichten Oberflächenmyzel ein für den Holzabbau günstiges Klima schaffen.

Da die in der Anmerkung zu Punkt 3.4 der Norm aufgeführten Pilze die vier Eigenschaften nur vereinzelt beziehungsweise in geringerer Ausprägung besitzen, sind sie den Nassfäulepilzen zuzuord-

nen. Dies gilt für die dem Hausschwamm verwandten Arten (z. B. Wilder Hausschwamm und Fältlingshäute).

3 Regelsanierung (Punkt 3.12 der Norm)

Hierbei handelt es sich um einen neu eingeführten Begriff zur Verfahrensbeschreibung, der überall dort umzusetzen ist, wo beispielsweise im profanen Wohnungsbau keine denkmalpflegerische oder restauratorische Auflagen dagegen sprechen. Demgegenüber können Sondermaßnahmen separat vereinbart und in die Regelsanierung integriert ausgeführt werden, zum Beispiel elektro-physikalische Verfahren gegen Holz zerstörende Insekten oder Heißluftverfahren gegen Echten Hausschwamm. Die Sonderverfahren sind stets für den speziellen Einzelfall zu planen und festzulegen. Im Abschnitt 10 sowie im Anhang E der Norm wird dazu Stellung genommen.

4 Sanierungsbereiche bei Befall durch Echten Hausschwamm (Punkt 8.2.1.3, 8.2.2.2.1 und 8.2.2.2.2 der Norm)

Resultierend aus den Eigenarten des Echten Hausschwamms fordert die Norm folgerichtig den Rückschnitt beziehungsweise Ausbau schwammbefallener Holzbauteile 1,0 m über den sichtbaren Befall hinaus bzw. 0,5 m in Sonderfällen. Werden Schütt- und Dämmstoffen durchwachsenen, beträgt der Sicherheitsabstand mindestens 1,5 m. Da der Pilz sich über die mit bloßem Auge sichtbaren Befallsgrenzen hinaus ausbreiten kann (Substrathyphen im Holz, Myzel und Hyphen in porösen Schüttstoffen) werden die o. g. Sicherheitsabstände gefordert. Sind jedoch moderne, anorganische, nichtporöse Bau- und Dämmstoffe überwachsen, so kann der beim Ausbau geforderte Sicherheitsabstand weit unter 1,5 m liegen. Dies setzt voraus, dass zweifelsfrei die Grenze des Myzelwachstums erkannt wird.



Abb. 1: Am Dämmmaterial (Polystyrolhartschaum) in einer Trockenbauwand ist deutlich die Wachstumsgrenze des Echten Hausschwamms zu erkennen.

Wird Mauerwerk vom Echten Hausschwamm bewachsen, so ist dies bis 1,5 m in alle Richtungen mit einem Schwammsperrmittel zu behandeln. Dies erfolgt tiefenwirksam im Bohrloch- bzw. Bohrlochdrucktränkverfahren. Handelt es sich lediglich um einen nachgewiesenermaßen oberflächlichen Myzelbewuchs, so ist eine Oberflächenbehandlung im Schaum- oder Flutverfahren ausreichend.

Bevor mit der Behandlung des Mauerwerks begonnen wird, sind Vorarbeiten notwendig. Dazu zählen:

- Abstemmen des Wandputzes;
- Auskratzen beziehungsweise Entfernen von losem und schadhaftem Fugenmörtel;
- Abflammen der Mauerflächen;
- sorgfältiges Reinigen der Mauerwerksoberflächen und der Fugen.

An dieser Stelle soll das Auskratzen des losen Fugenmörtels erläutert werden. Vielfach ist in der Praxis zu beobachten, dass diese Maßnahme fehlerhaft interpretiert wird. Auch fehlerhafte Ausschreibungen führen zu Maßnahmen, die der Normtext so nicht fordert. Er verlangt lediglich das Auskratzen von losem und schadhaftem Fugenmörtel. Intakter und fester Fugenmörtel kann in der Wand verbleiben. Wird dieser fälschlicherweise in einer Tiefe von etwa zwei Zentimetern mit entfernt, so kann dies bei dünneren Wänden zusammen mit den Bohrarbeiten zu gravierenden Gefügezerstörungen führen.



Abb. 2: Das beidseitige Auskratzen von festem Fugenmörtel an einer 24er Mauerwerkswand kann zu erheblichen Gefügezerstörungen führen und hat zu unterbleiben.

5 Sanierungsbereiche bei Befall durch Nassfäulepilze (Punkt 8.3.2.1 der Norm)

Grundsätzlich können durch Nassfäulepilze befallene Holzbauteile im Gebäude verbleiben. Es sind lediglich stark geschädigte und nicht mehr tragfähige Hölzer abzuschneiden. Dabei beträgt der Sicherheitsbereich nach wie vor 30 cm.

Führt eine weniger starke Schädigung zum Erhalt der Holzsubstanz, so sind Bedingungen zu schaffen, die eine weitere Ausbreitung des Pilzes verhindern, zum Beispiel Beseitigung der Feuchtequelle und Behandlung mit einem Holzschutzmittel.

Entscheidet man sich, das pilzbefallene Holz zu erhalten, kommt dem Sachverständigen eine besondere Verantwortung zu. Neben einer oberflächlichen Beurteilung hat er auch unzugängliche Bereiche und das Holzinnere zu überprüfen. An Balkenköpfen bedeutet dies, dass sie umfangreich freigelegt und gegebenenfalls endoskopisch untersucht werden müssen.



Abb. 3: Bei einer oberflächlichen Nassfäuleschädigung kann der Balkenkopf nach Bebeilung und Imprägnierung erhalten werden. Dazu ist eine umfassende Freilegung notwendig.

6 Insektenbekämpfung (Punkt 9.2.1 und 9.2.2 der Norm)

Eine Behandlung mit bekämpfenden Holzschutzmitteln wird dann notwendig, wenn eine Insektenaktivität nachgewiesen wurde. Neben den offensichtlichen Befallsbereichen ist auch augenscheinlich nicht befallenes Holz in die Behandlung einzubeziehen. Dies macht Sinn, da man unter Praxisbedingungen nicht feststellen kann, ob beispielsweise vom Hausbock Eigelege in Trockenrissen abgelegt wurden oder ob es einen erst wenige Monate alten Befall an anderer Stelle gibt.

Kann man aufgrund der Gebäudesituation und des Schadbildes relativ sicher den Befallsbereich eingrenzen, können in Abhängigkeit von der Insektenart (Hausbock oder Gewöhnlicher Nagekäfer), differenzierte und „abgeschwächte“ Bekämpfungsstrategien für die nicht befallenen Holzbauteile gewählt werden. Voraussetzung dafür ist, dass die betroffenen Bauteile mindestens sechs Jahre lang zugänglich und kontrollierbar bleiben. In der Regel ist dies bei nicht ausgebauten Dachstühlen der Fall.



Sind Teile des Dachstuhl vom Hausbock befallen, so können die nicht befallenen Holzbauteile mit einem bekämpfenden Holzschutzmittel (Ib), gegebenenfalls mit verminderter Aufwandmenge, imprägniert oder regelmäßig einer Kontrolle unterzogen werden (Monitoring).

Wird der Gewöhnliche Nagekäfer in Dachstühlen angetroffen, ist der Befall oft auf eine Fehlnutzung oder eine Leckage mit erhöhtem Feuchteintrag zurückzuführen. Nach Beseitigung der Feuchteursache wird diesem Insekt die Lebensgrundlage entzogen. Aus diesem Grund ist zu prüfen, ob auf einen vorbeugenden Schutz und auf ein Monitoring verzichtet werden kann.

7 Sondermaßnahmen gegen Echten Hausschwamm (Anhang E der Norm)

Die Sondermaßnahme zur Bekämpfung des Echten Hausschwamms (Heißluftverfahren) kann aufgrund von Anwendungseinschränkungen nur in den seltensten Fällen als alleinige Maßnahme eingesetzt werden. Aus diesem Grund ist sie grundsätzlich in die Regelsanierung zu integrieren.

Neben Voraussetzungen und Anwendungsbeschränkungen (z. B. Bauteildimension, Erreichbarkeit) werden auch Überwachungsmaßnahmen und erforderliche flankierende Schritte erläutert. Zu den Mindestanforderungen einer erfolgreichen Heißluftbehandlung gehört eine ausreichende letale Wärmedosis. Diese kann wahlweise durch unterschiedliche Temperatur-Zeit-Verhältnisse erreicht werden (z. B. 16 h bei 50 °C, 8 h bei 55 °C oder 2 h bei 60 °C).





