

**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein

**Band:** 155 (2004)

**Heft:** 12

**Artikel:** Untersuchungen zum Einfluss der Wärmebehandlung auf die Beständigkeit von Fichtenholz gegenüber holzerstörenden Pilzen

**Autor:** Bächle, Fritz / Niemz, Peter / Heeb, Markus

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1098152>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 12.04.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Untersuchungen zum Einfluss der Wärmebehandlung auf die Beständigkeit von Fichtenholz gegenüber holzerstörenden Pilzen

FRITZ BÄCHLE, PETER NIEMZ UND MARKUS HEEB

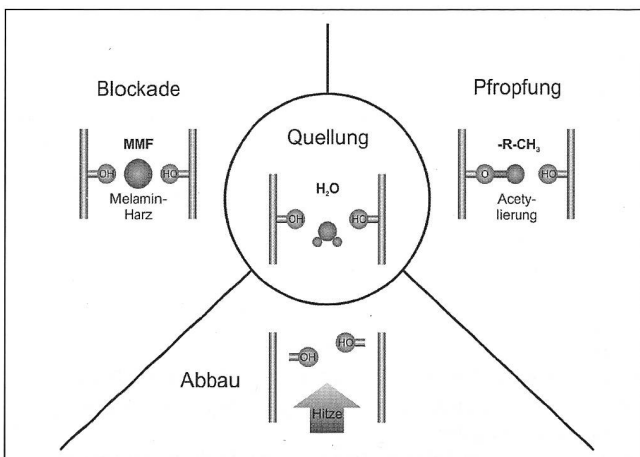
**Keywords:** Heat treatment; oil-heat treatment; autoclave; wood decaying fungi; blue-stain fungi; outdoor weathering; *Picea abies*. FDK 81 : 84

## 1. Einleitung

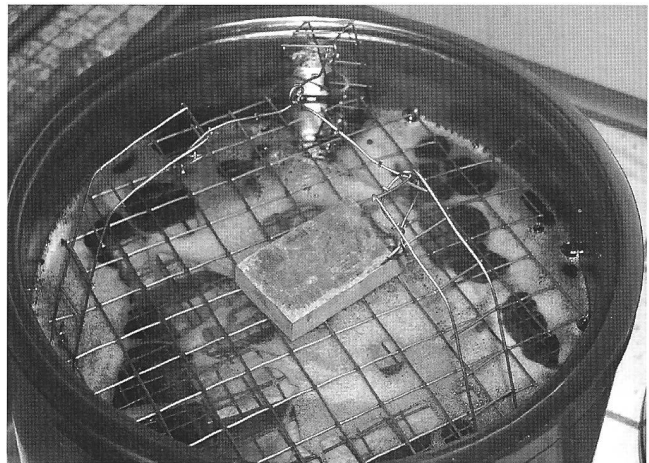
Bereits seit Jahrzehnten ist bekannt, dass durch eine thermische Behandlung von Holz die Gleichgewichtsfeuchte sowie das Quellen und Schwinden vermindert werden. Dieser Effekt kann auch durch Acetylierung oder Phtalierung erreicht werden (vgl. *Abbildung 1*). Bereits KOLLMANN & FENGEL haben 1965 festgestellt, dass Hygroskopizität und Schwindung durch Behandlung in einem Bad aus flüssigem Metall bei Temperaturen zwischen 120 °C und 320 °C deutlich herabgesetzt werden können. Auch auf Festigkeitsreduzierungen wurde in dieser Arbeit bereits verwiesen. HAKKOU 2003 ermittelte, dass ab etwa 175 °C ein starker Masseverlust auftritt (hervorgehoben durch die Degradation der Hemizellulose) und ab etwa 135 °C der Benetzungswinkel von Wasser sprunghaft ansteigt, d.h. das Holz stark hydrophob wird. Arbeiten an der ETH Zürich (BÄCHLE 2002; BROX 2003) haben ebenfalls gezeigt, dass das Quellen und Schwinden durch eine thermische Behandlung vermindert werden kann. Nach KOLLMANN & FENGEL 1965 spielt die Behandlungsdauer aber erst ab einer Temperatur von etwa 180 °C eine deutliche Rolle. Dies zeigten auch Arbeiten von SCHANACK (2002).

Durch die Wärmebehandlung erfährt das Holz über den gesamten Querschnitt eine chemische Modifikation (KAMDEM *et al.* 2000), was zu einer erhöhten Resistenz gegenüber Pilzen führt. WÄLCHLI *et al.* (1988) stellten fest, dass erst ab Temperaturen von 240 °C eine Resistenzsteigerung erzielt wird. Heute industriell verwendete Prozesse basieren auf einer Behandlung in einer inerten Gasatmosphäre, oder einer Wasserdampf-Atmosphäre. Dadurch ist einerseits ein Sauerstoffabschluss gegeben, und andererseits der Wärmetransport gewährleistet (RAPPEL 2001).

Eine neue, industriell genutzte Entwicklung stellt die Öl-Hitze-Behandlung dar (Firma Menz, Deutschland). Bei diesem Verfahren wird Pflanzenöl als Wärmeträger verwendet, um einerseits einen gleichmässigen Wärmetransport und andererseits den Luftabschluss sicher zu stellen. Damit wird neben der Modifikation durch die Hitze noch eine zusätzliche (teilweise) Imprägnierung durch das Öl erzielt. Der verwendete Temperaturbereich liegt zwischen 180 °C und 220 °C (MILITZ 2002),



**Abbildung 1:** Modifikation der Zellwand.



**Abbildung 2:** Öl-Hitze-Behandlung im Labor.

wobei die Temperatur im Holzinneren während zwei bis vier Stunden aufrecht erhalten wird. Durch eine Öl-Hitze-Behandlung wird ebenfalls eine erhöhte Resistenz gegen Pilzbefall erzielt, wie SAILER *et al.* (2000) und SAILER (2001) zeigten.

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es also zu testen, wie sich Öl-Hitze-behandeltes Holz im Vergleich zu rein thermisch behandeltem sowie unbehandeltem Holz verhält. Zu diesem Zweck wurden aus Fichte (*Picea abies* (L.) Karsten) genormte Holzproben hergestellt, entsprechend den Vorgaben behandelt (die eine Hälfte wurde zusätzlich während drei Wochen künstlich bewittert) und anschliessend allesamt nach EN 113 und EN 152 geprüft.

## 2. Material und Methodik

### 2.1 Versuchsmaterial

Als Versuchsmaterial diente *Picea abies*.

### 2.2 Wärmebehandlung

Es wurden vergleichend zwei Verfahren getestet, die unter a) und b) weiter ausgeführt werden.

a) Die industrielle Behandlung im Autoklav in Stickstoffatmosphäre: Dabei wird das Holz bei etwa 170 °C im Überdruck mehrere Stunden behandelt. Je nach geplantem Einsatz der Holzbauteile kann die Behandlung in der Intensität variiert werden (Stufe 2 und 3). Für die Versuche wurden Fichtenbretter, aus denen anschliessend die Prüfkörper zugeschnitten wurden, thermisch vergütet.

b) Öl-Hitze-Behandlung: Diese Behandlung erfolgte im Labor (*Abbildung 2*) an Proben im Format der späteren Prüfkörper. Die vorgängig darrgetrockneten Proben wurden für 24 Stunden in auf 200 °C temperiertes Rapsöl getaucht. Die Behandlung erfolgte drucklos. Vergleichsweise wird beim industriell praktizierten Verfahren der Firma Menz Holz bei 220 bis 240 °C während 23 bis 30 Stunden unter Atmosphärendruck im Ölbad gekocht (BERICHT 2003).

Nach 24-stündiger Behandlung wurden die Proben entnommen und während zwei bis drei Tagen zum Abtropfen ausgelegt. Anschliessend wurden die Holzkörper erneut darrgetrocknet um die Masseänderung und somit die Öl-Aufnahme zu ermitteln.

### 2.3 Testung der Resistenz gegenüber holzerstörenden Pilzen nach EN 113 (Basidiomyceten)

Es erfolgte nach EN 113 eine Prüfung der Beständigkeit gegenüber Basidiomyceten. Die Proben hatten die Abmessungen von 25 x 15 x 50 mm (r x t x l). Es wurden je Versuchsreihe zehn Probekörper verwendet. Nach dem Zuschnitt wurden die Proben im Normklima bei 20 °C und 65% relativer Luftfeuchtigkeit gelagert.

Zusätzlich wurden Serien mit jeweils 10 Probekörpern an der Empa St. Gallen künstlich in einer Bewitterungsanlage des Typs QUV bewittert. Dabei wurde mit einem Zyklus von

- 1/4 h Regen (mit Leitungswasser; keine Wasserrückführung) und
- 1/2 h UV-Licht; Temperatur 55 °C

gearbeitet. Die Bewitterung erfolgte über drei Wochen. Dies entspricht einer simulierten Freibewitterung von sechs Monaten (eine Woche künstliche Bewitterung entspricht zwei Monaten natürlicher Freibewitterung). Dadurch konnte die Pilzresistenz der Proben vergleichend im bewitterten und unbewitterten Zustand getestet werden.

#### Getestete Pilze

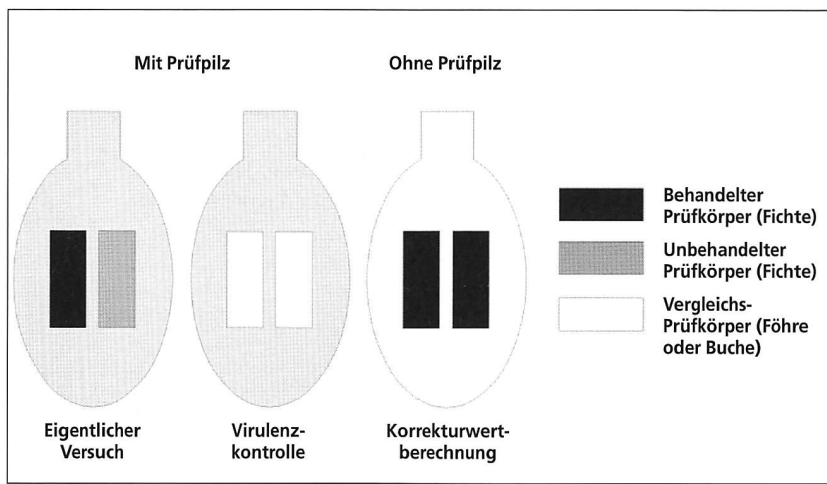
Die Holzproben wurden mit den in *Tabelle 1* aufgeführten Pilzen (ein Weissfäule-, vier Braunfäuleerreger) beimpft.

**Tabelle 1: Verwendete Pilze.**

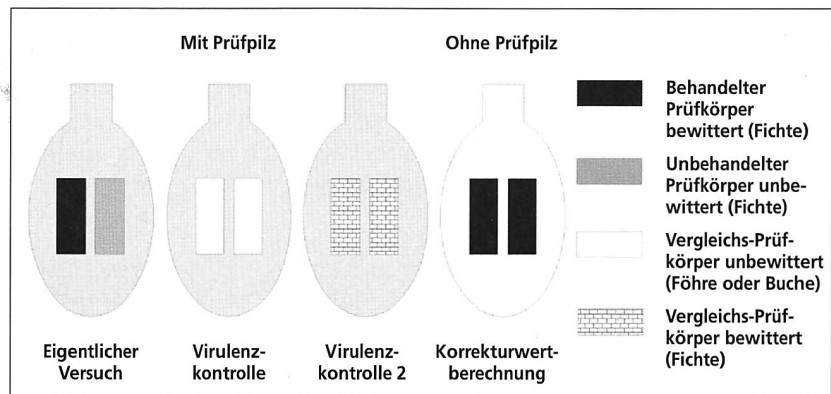
Pilz	deutscher Name	Fäuleart	Empa-Nr.
<i>Trametes versicolor</i>	Schmetterlingstramete	Weissfäule	159
<i>Gloeophyllum trabeum</i>	Balkenblätling	Braunfäule	100
<i>Lentinus lepideus</i>	Schuppiger Sägeblätling	Braunfäule	340
<i>Coniophora puteana</i>	Brauner Kellerschwamm	Braunfäule	62
<i>Poria placenta</i>	Rosafarbener Saftporling	Braunfäule	229

Während die Braunfäuleerreger und die Bläueuntersuchung standardmässig zu der Untersuchung von Nadelholz gehören, wurde zusätzlich noch ein Weissfäuleerreger (*T. versicolor*) getestet. Dabei sollte geprüft werden, ob das Pflanzenöl oder daraus resultierende Abbaustoffe dem Weissfäulepilz als Nahrungsgrundlage dienen könnten. Nach Untersuchungen von TJEERDSMA *et al.* 2000 wird durch die Wärmebehandlung von Holz vor allem die Resistenz gegen Braunfäule erhöht.

Zur Überprüfung der Virulenz der Pilze wurden Holzproben aus Kiefer (*Pinus sylvestris* L., für die Braunfäuleerreger) und Rotbuche (*Fagus sylvatica* L., für die Weissfäuleerreger) verwendet. Zudem wurden sterile Serien mit behandelten Proben aufgesetzt, um zu überprüfen, welches die normalen Veränderungen über den Zeitverlauf sind (Berechnung des Korrekturwertes). Die *Abbildungen 3* und *4* zeigen den Versuchsaufbau.



**Abbildung 3: Aufbau der Pilzversuche für die Serie «unbewittert».**



**Abbildung 4: Aufbau der Pilzversuche für die Serie «bewittert».**

#### Nährmedium

Als Nährmedium für die Pilze wurde ein Malz-Agar-Medium mit folgender Zusammensetzung verwendet:

- Malzextrakt in Pulverform (4%), entsprechend der Firma Oxoid oder Merck;
- Agar der Firma Oxoid, Nr. 1 für *L. lepideus* und *T. versicolor* (2,5%);
- Agar der Firma Merck für *G. trabeum*, *C. puteana* und *P. placenta* (2,5%);
- Leitungswasser.

Der weitere Ablauf bezüglich Herstellung und Behandlung der Agarplatten (zur Pilzkultivierung) sowie der Kolleflaschen (zur Versuchsdurchführung) entsprach dem üblichen Vorgehen nach EN 113.

#### Versuchsdurchführung

Die Pilze wurden je nach bekannter Wachstumsgeschwindigkeit vorgängig aus den Stammkulturen angesetzt. Die maximale Zeitdauer vom Ansetzen der Pilze in den Kolleflaschen bis Einbau der Holzproben betrug drei Wochen (*Lentinus lepideus*).

Nach EN 113 wurden jeweils Zehner-Serien von Proben mit den Pilzen inkubiert. Die Beimpfungsdauer betrug 16 Wochen.

### 2.4 Testung der Resistenz gegenüber holzverfärbenden Pilzen (Bläue) nach EN 152

#### Material und Methoden

Entsprechend EN 152 (Bläuepilze) wurden für alle Serien Proben mit den Abmessungen 10 x 40 x 110 mm (t x r x l) und zusätzlich noch Öl-Hitze-behandelte Proben mit den Abmessun-

gen 20 x 40 x 170 mm verwendet. Bei den Öl-Hitze-behandelten Proben wurde mit den Normkörpern ein allseitiger Schutz simuliert. Mit den grösseren, später auf Normabmessungen zugeschnittenen entstand zusätzlich eine Oberfläche, die nicht der direkten Einwirkung des Öles ausgesetzt war. Je Variante wurden zehn Proben verwendet. Diese Proben wurden einer Freibewitterung ausgesetzt.

### Beimpfung mit Sporensuspension (*Hormonema dematioides*)

Zum Test auf Bläue wurde eine Sporensuspension aus *Aureobasidium pullulans* (Empa-Nr. 316) und *Sclereophoma pithyophila* (Empa-Nr. 315) verwendet, mit der die selbe Probenanzahl wie bei der Freibewitterung beimpft wurde. Nach sechs Wochen Lagerung im Klimaschrank wurden die Proben auf Bläuebefall untersucht. Die Proben wurden nach EN 152 in einzelne Befallskategorien eingeteilt.

### 2.5 pH-Wert

Der pH-Wert wurde nach der Tappi-Norm T 252 von 1998 bestimmt. Dabei wurden in 100 ml destilliertes Wasser 2 g zerkleinertes Holz gegeben. Nach 4 h erfolgte die Messung des pH-Werts der Lösung.

### 2.6 Freibewitterung

Pro Behandlungsart wurden jeweils sieben Proben frei bewittert. Nach etwa 20 Wochen (Mitte Juli bis Anfang Dezember 2003) wurde untersucht, ob sich Anzeichen von Bläue zeigten.

## 3. Versuchsergebnisse

### 3.1 Darrdichte- und Volumenänderung

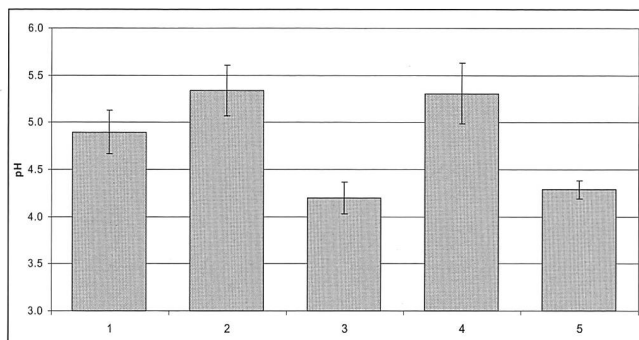
Um den Masseverlust durch den Pilzabbau feststellen zu können, wurde zunächst die Darrmasse der unbeimpften Proben bestimmt. *Tabelle 2* zeigt die Ergebnisse. Die Standardabweichungen der einzelnen Behandlungsgruppen sind sehr gross; trotzdem ist aus den Mittelwerten der Trend des Masseverlustes durch die Wärmebehandlung bei den im Autoklav behandelten Proben gut erkennbar.

**Tabelle 2:** Mittelwerte und Standardabweichungen der Darrdichte vor und nach den jeweiligen Behandlungen.

n = 120 Proben je Variante.

	Mittelwert [kg/m <sup>3</sup> ]	Standard- abweichung [kg/m <sup>3</sup> ]	Variations- koeffizient [%]
<b>Industriell im Autoklav</b>			
unbehandelt	460	35	8,0
Industriell Stufe 2	410	25	6,5
Industriell Stufe 3	400	60	14,5
<b>Im Labor mit Öl</b>			
unbehandelt	445	60	13,0
Öl (vor Behandlung)	445	55	12,5
Öl (nach Behandlung)	475	70	14,5

Bei der Behandlung in Öl stieg die Rohdichte durch das aufgenommene Öl leicht an. Dies dürfte auf das geringe Probenformat und den damit grossen Anteil an Hirnholz zurückzuführen sein, durch welches das Öl stärker aufgenommen wird. Bei grösseren Probenformaten, wie sie industriell üblich sind, dürfte der Effekt nicht auftreten. Ebenfalls erkennbar ist, dass mit steigender Behandlungsstärke die Standardabweichung



**Abbildung 5:** pH-Werte für unterschiedliche thermische Behandlungen.

n = 4 Messungen pro Variante. 1 = unbehandelt, 2 = Vakuum, 3 = Sauerstoffatmosphäre, 4 = Rapsöl, 5 = Autoklav Stufe 2.

stark zunimmt. Offensichtlich wirkt sich die Inhomogenität der Proben auch auf den Masseverlust stark aus.

Die bei den im Labor mit Öl behandelten Proben gemessene Längen- und Volumenänderung (*Tabelle 3*) zeigte, dass die Hitzebehandlung vor allem auf die Länge in tangentialer Richtung eine Auswirkung hat. In tangentialer Richtung beträgt die Längenabnahme 1,85%, in radialer Richtung dagegen nur 0,64%. Die Volumenreduzierung betrug 2,44%.

**Tabelle 3:** Längen- und Volumenabnahme, welche durch die Öl-Hitze-Behandlung verursacht wird.

Mittelwerte aus jeweils 120 Proben.

	Relativ in %
<b>Schnittrichtung</b>	
- radial	0,64
- tangential	1,85
Volumen	2,44

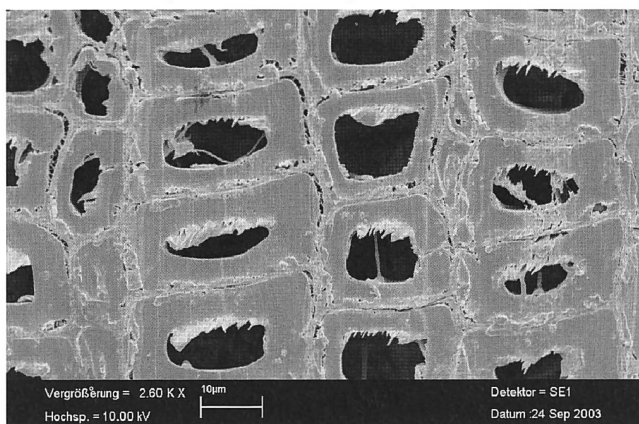
### 3.2 pH-Wert

Die Messungen des pH-Wertes erfolgten an der Universidad Austral de Chile in Valdivia.

Die Werte schwanken gegenüber unbehandeltem Fichtenholz um 0,75 Einheiten nach oben und unten (*Abbildung 5*). Scheinbar steigt der pH-Wert bei Behandlungen ohne Anwesenheit eines gasförmigen Mediums (Vakuum, Öl) leicht an, während bei Anwesenheit eines Gases (Sauerstoff, Stickstoff) der pH-Wert leicht sinkt. Trotz des geringen Stichprobenumfangs zeichnen sich eindeutige Gruppen ab.

### 3.3 Pilzresistenz

*Tabelle 4* und *5* sowie die *Abbildungen 6* bis *8* zeigen eine Zusammenstellung der Versuchsergebnisse für die beiden Be-



**Abbildung 6:** Rasterelektronische Aufnahme von Fichtenholz (Behandlung im Autoklav, Stufe 2), beimpft mit *Trametes versicolor*.

handlungsarten in Öl und im Autoklav. Dabei wurde der Masseverlust des unbehandelten Holzes als 100% gesetzt. Gegenübergestellt sind die Ergebnisse vor und nach dreiwöchiger künstlicher Kurzzeitbewitterung.

**Tabelle 4: Masseänderung in % (Mittelwerte) für mit Öl behandelte Proben.**

Masseverlust des unbehandelten Holzes = 100%.

Pilz	unbewittert	bewittert
<i>Coniophora puteana</i>	4	12
<i>Gloeophyllum trabeum</i>	10	16
<i>Poria placenta</i>	33	31
<i>Lentinus lepideus</i>	41	34
<i>Trametes versicolor</i>	162	150

**Tabelle 5: Masseänderung in % (Mittelwerte) für industriell im Autoklav mit wärmebehandeltem Holz.**

Masseverlust des unbehandelten Holzes = 100%.

Pilz	Stufe 2		Stufe 3	
	unbewittert	bewittert	unbewittert	bewittert
<i>Coniophora puteana</i>	5	6	89	13
<i>Gloeophyllum trabeum</i>	68	33	18	0
<i>Poria placenta</i>	150	120	89	73
<i>Lentinus lepideus</i>	71	175	14	100
<i>Trametes versicolor</i>	178	92	72	17

### Unbewitterte Proben

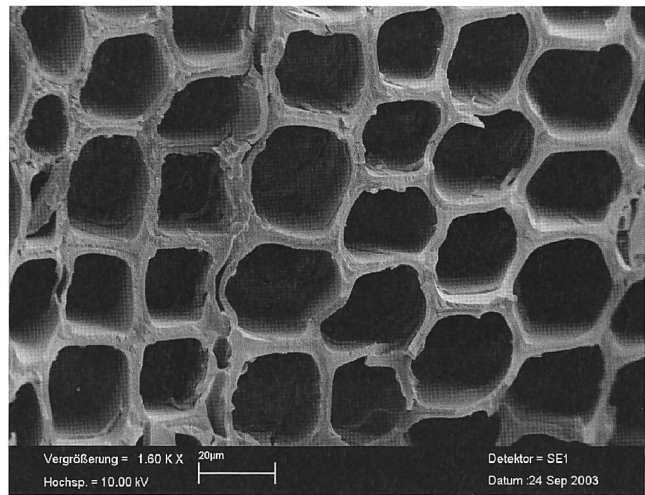
Die Abbauraten der beiden Pilze *Coniophora puteana* und *Gloeophyllum trabeum* zeigen klar, dass einerseits eine thermische Behandlung zu einer besseren Pilzresistenz führt und andererseits diese auch von der Stärke der Behandlung abhängig ist. Während bei *C. puteana* beim im Autoklav behandelten Holz beide Behandlungsstärken Masseverluste von nur etwa 5% des unbehandelten aufweisen, beträgt der Masseverlust bei *G. trabeum* für die schwache Behandlung rund 68%, bei der stärkeren Behandlung deren 33% des unbehandelten Holzes. Für diesen Pilz sind auch deutliche Unterschiede zwischen den beiden Behandlungsmethoden erkennbar. Für *P. placenta* und *L. lepideus* sind die Resultate nicht eindeutig ausgefallen. Erschwerend kommt hinzu, dass der Prüfpilz *L. lepideus* nicht in ausreichendem Masse gewachsen ist, so dass das Resultat nach DIN-Norm nicht gültig ist.

Bei *Trametes versicolor* handelt es sich um den Erreger einer simultanen Weissfäule, d.h. Lignin, Zellulose und Hemicellulose werden ungefähr zu gleichen Teilen abgebaut. Die Abbauraten der im Öl behandelten Proben übersteigt hier sogar jene der unbehandelten Probekörper zum Teil erheblich. Beim im Autoklav behandelten Holz wird dagegen auch hier eine Verbesserung der Beständigkeit erreicht. Die erheblichen Unterschiede zwischen den einzelnen Pilzen zeigen, dass ein wesentlicher Einfluss der Pilzart auf das Ergebnis vorhanden ist. Die Prüfung der Resistenz gegenüber nur einem Pilz ist also unzureichend.

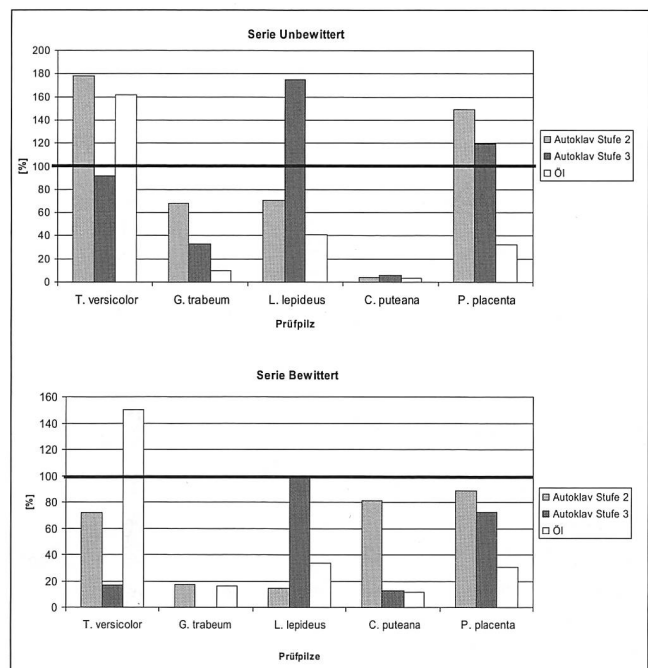
### Bewitterte Proben

Vergleicht man bewitterte und unbewitterte Proben so zeigt sich, dass die prinzipielle Tendenz der Resistenzhöhung durch die Wärmebehandlung erhalten bleibt. Die Ergebnisse sind jedoch sehr differenziert. Durch die Bewitterung kann sowohl eine Erhöhung als auch eine Reduzierung des Masseverlustes auftreten (Tabellen 4 und 5).

Bei allen Prüfpilzen sind deutliche Unterschiede zwischen den unbehandelten und den behandelten Probekörpern ersichtlich. Zudem ist erkennbar, dass bei der stärkeren Behand-



**Abbildung 7: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Bruchfläche einer industriell im Autoklav behandelten Probe (Stufe 2), beimpft mit *Gloeophyllum trabeum*.**



**Abbildung 8: Masseverluste der behandelten Probekörper im Vergleich zu unbehandelten Vergleichsproben.**

Masseverlust der unbehandelten Proben = 100%. Oben: unbewittert, unten: mit Bewitterung.

lungsstufe 3 im Autoklav, der Masseverlust geringer ist als bei der Stufe 2. So beträgt z.B. bei *C. puteana* der Masseverlust bei den behandelten Proben 89%, (Stufe 2) bzw. 13% (Stufe 3) des Masseverlustes der unbehandelten Proben, bei *G. trabeum* sogar nur deren 18% für Stufe 2 und 0% für Stufe 3. Eine Ausnahme bildet *Lentinus lepideus*: wie bei der Serie «unbewittert» sind auch bei der Serie «bewittert» die Resultate nicht gültig, da auch hier der Pilz laut Norm nicht genügend gewachsen ist.

Durch die Öl-Hitze-Behandlung kann der Masseverlust auf rund einen Drittel oder sogar weniger gesenkt werden. Lediglich *T. versicolor* als Weissfäuleerreger zeigt ein entgegengesetztes Resultat. Von diesem Pilz wird das Holz wie bei der Behandlung im Autoklav sogar stärker abgebaut als das unbehandelte.

Die Versuchsergebnisse zeigen trotz der Ausreisser in den Resultaten, dass eine Hitzebehandlung von Holz eine gesteigerte Resistenz gegenüber Pilzen zur Folge hat. Unter anderem in der Diplomarbeit von LADNER 2003 zeigen sich für die-

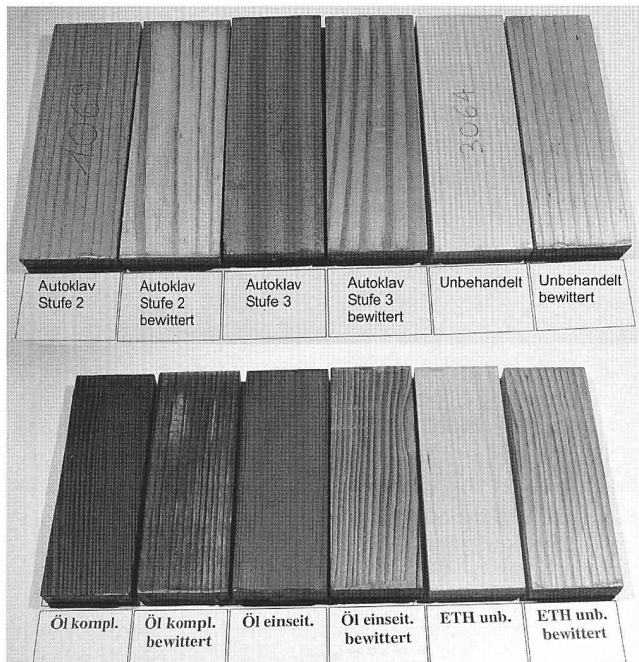


Abbildung 9: Probekörper vor und nach 20 Wochen Bewitterung.

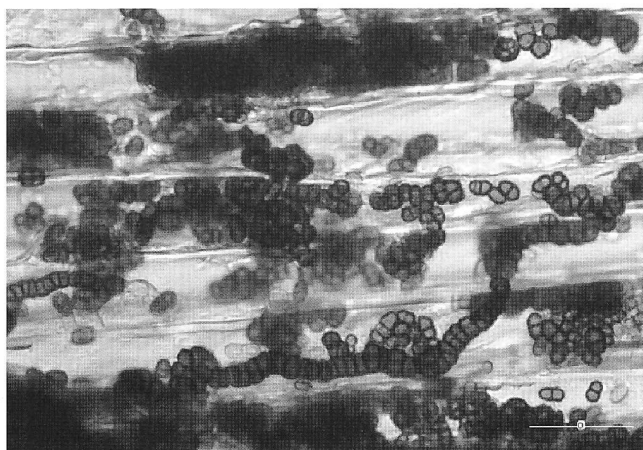


Abbildung 10: Mikroskopische Aufnahme von mit Bläue befallenen Proben aus *Pinus radiata*.

selben Pilze und eine ähnliche Behandlung die gleichen Tendenzen.

Die künstliche Bewitterung der einen Serie ergab völlig andere Resultate als für die unbewitterte Serie. Die bewitterten Proben weisen einen geringeren Masseverlust auf. Es scheint, dass durch die Bewitterung oberflächennahe Stoffe ausgewaschen werden, welche für das Pilzwachstum förderlich sind. Die Öl-Hitze-Behandlung zeigt für alle vier Braunfäule-Erreger eine gesteigerte Resistenz. Nur für den Weissfäule-Erreger ist im behandelten Zustand ein grösserer Masseverlust zu verzeichnen. Weiterhin zeigt sich deutlich, dass die beiden verschiedenen Behandlungstufen im Autoklav sich auf die Intensität des Pilzbefalles auswirken.

Der entscheidende Vorteil der thermischen Behandlung ist deren Witterungsbeständigkeit; im Gegensatz zu vielen Holzschutzmitteln kann hier nichts ausgewaschen werden. Die Modifizierung der Zellwand ist zudem tief ins Holz hinein wirksam, auch geringfügige mechanische Schädigungen des Holzes dürften keine Auswirkungen auf den Schutz haben.

Die Abbildung 6 und 7 zeigen rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Struktur von pilzbefallenem Holz. Abbildung 6 zeigt eine mit *Trametes versicolor* beimpfte Probe. Gut erkennbar ist die für Weissfäule typische Ablösung der Zellen entlang der Mittellamellen. Abbildung 7 zeigt das für Braunfäule typische kurzfasrige Bruchbild.

### 3.4 Beständigkeit gegenüber holzverfärbenden Pilzen

#### Pilzverfärbungen nach EN 152 (Bläue)

Nach etwa 20 Wochen (Mitte Juli bis Anfang Dezember 2003) konnten visuell keine Anzeichen von Bläue festgestellt werden (siehe Abbildung 9). Hierbei muss bemerkt werden, dass im Untersuchungszeitraum überwiegend extrem trockenes und heisses Wetter herrschte (Sommer 2003). Gut erkennbar ist auch die starke Vergrauung der Oberflächen.

Zusätzlich wurden nach verschiedenen Methoden im Labor (im Vakuum, im belüfteten Trockenschrank) thermisch behandelte Proben von *Picea abies* und *Pinus radiata* D. Don frei bewittert (vgl. dazu UGALDE 2002). Nach einer Zeitdauer von rund sechs Monaten konnte trotz der Hitzebehandlung an diesen Proben an der Oberfläche ein Bläuepilz festgestellt werden. Dieser wurde als *Hormonema dematioides* identifiziert (vgl. Abbildung 10), welcher eine Sporenform von *Sclereophoma pithyophila* ist (d.h. die beiden Namen repräsentieren dieselbe Art). Dabei handelt es sich zwar nicht um einen typischen Bläuepilz, er ruft aber die selben Symptome hervor. Häufiger ist er an lebenden, gesunden Koniferen zu treffen (vor allem an Nadeln und Zweigen).

#### Beimpfung mit Sporensuspension (*Hormonema dematioides*)

Die Mittelwerte der makroskopischen Bewertung nach EN 152 sind in Tabelle 6 angegeben.

Zu bemerken ist, dass von den Öl-Hitze-behandelten Proben die Variante «einseitiger Schutz» bessere Ergebnisse brachte, als die Variante mit einer kompletten Ölschicht. Im Holzinneren konnte nach Aufsägen sämtlicher Proben praktisch kein Bläuebefall festgestellt werden. Lediglich an fünf von 16 unbehandelten Proben konnte eine Befallstiefe von knapp 1 mm festgestellt werden.

Tabelle 6: Befallskategorien der verschiedenen Behandlungsvarianten; makroskopische Auswertung.

Industriell im Autoklav Stufe 2	Industriell im Autoklav Stufe 3	Industriell unbehandelt	Öl komplett	Öl einseitig	Labor unbehandelt	Kiefer
2	2,5	2,5	1	0	2	3

0: nicht verblaut

1: unbedeutend verblaut; nur vereinzelt verblaute Stellen mit Durchmesser von maximal 2 mm.

2: verblaut; höchstens zu einem Drittel durchgehend oder zur Hälfte stellenweise verblaut.

3: stark verblaut; mehr als zu einem Drittel durchgehend oder mehr als zur Hälfte stellenweise verblaut.

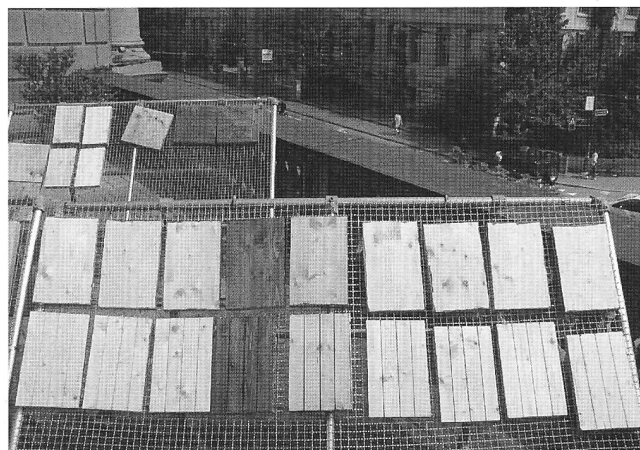
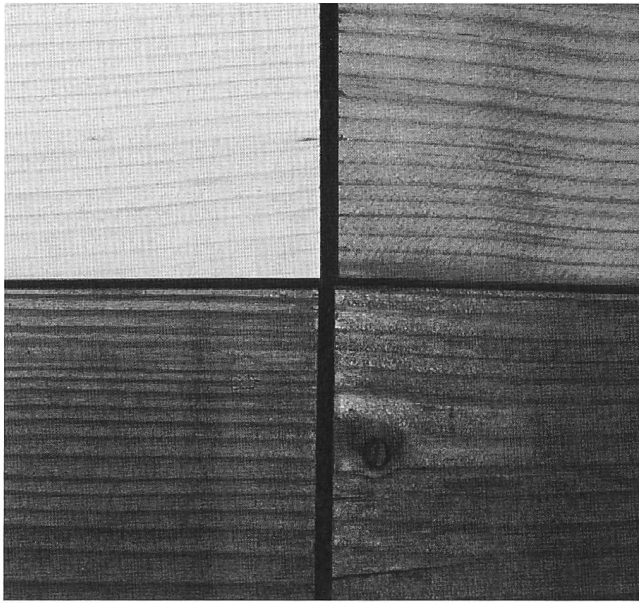


Abbildung 11: Bewitterungsstand.



**Abbildung 12:** Vergrauung von industriell im Autoklav behandeltem Fichtenholz.

Links: unbehandelt, rechts: Stufe 2, oben: ohne Bewitterung, unten: nach 230 Tagen Bewitterung (Anfang April bis Ende November 2003).

### 3.5 Bewitterung

#### Künstliche Bewitterung

Tabelle 7 zeigt die Farbänderung nach dreiwöchiger künstlicher Bewitterung. Insbesondere das industriell im Autoklav behandelte Holz vergraut recht schnell. Beim im Autoklav behandelten Holz kommt es zu einer Farbverschiebung in Richtung grün und blau. Zudem ist bei allen Probekörpern eine Verschiebung im Bereich L\* in Richtung weiss ersichtlich. Sie nehmen also einen grauen Farbton an. Dieser Effekt war bei Öl-Hitze-behandeltem Holz nicht so ausgeprägt.

**Tabelle 7:** Farbkennwerte der Proben nach dreiwöchiger künstlicher Bewitterung.

x = Mittelwert, s = Standardabweichung.

Farbverschiebungen -L\* nach +L\*: schwarz nach weiss, -a\* nach +a\*: grün nach rot, -b\* nach +b\*: blau nach gelb.

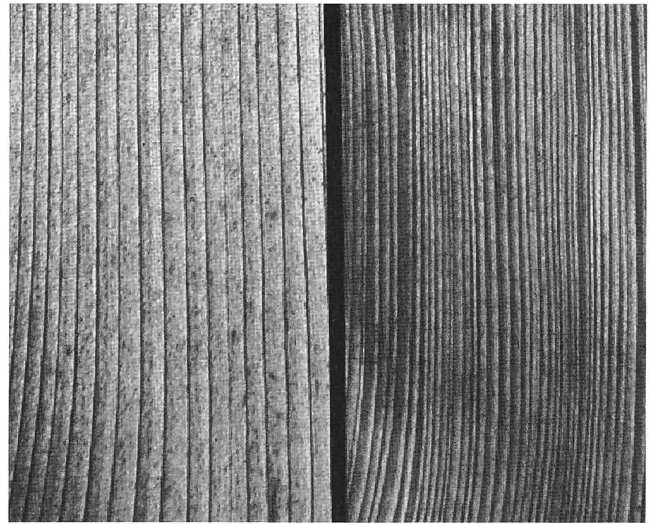
Verfahren	L*		Kennwert Lab a*		b*	
	x	s	x	s	x	s
Autoklav 2	78,63	1,554	3,48	0,370	7,13	0,827
Autoklav 3	76,11	3,120	2,25	0,388	4,87	1,327
unbehandelt	81,98	1,400	5,67	0,701	10,90	1,228
Öl-Hitze-behandelt	56,97	3,060	6,15	1,051	11,72	1,962

#### Freibewitterung

Abbildung 11 zeigt den Bewitterungsstand. Die Proben waren nach Süden ausgerichtet, das Gitter war 45° aus der Horizontalen geneigt.

Abbildung 12 zeigt die Ergebnisse. Die wärmebehandelten Proben vergrauen gleich stark und schnell wie unbehandelte Proben. Nach der Bewitterung kann die behandelte Probe nicht mehr von der unbehandelten Probe unterschieden werden.

Zum Vergleich zeigt Abbildung 13 eine mit Öl behandelte Probe. Die Öl-Hitze-behandelte Holzprobe zeigte auch nach



**Abbildung 13:** Vergrauung von Öl-Hitze-behandeltem Fichtenholz.

Rechts: Öl-behandelt ohne Bewitterung; links: Öl-behandelt nach 85 Tagen Bewitterung (Anfang September bis Ende November 2003).

drei Monaten eine deutlich geringere Vergrauung als die rein thermisch behandelte.

In der Arbeit von MITSUI *et al.* (2001) wird festgehalten, dass die Farbveränderung von Holz durch die thermische Behandlung stark von der jeweiligen Behandlungsmethode abhängt.

Einzigste Möglichkeit dies zu verhindern, wäre wohl der Einsatz eines UV-Blockers. Dies wäre beim Öl-Hitze-behandeltem Holz gleichzeitig mit der Wärmebehandlung möglich, während bei der rein thermischen Behandlung eine weitere nachgeschaltete Bearbeitung nötig wäre.

Da das Holz durch eine thermische Behandlung einen relativ dunklen Farbton erhält, kann ein Bläuebefall visuell nicht mehr so gut festgestellt werden. Vor allem bei den Öl-thermisch-behandelten Proben zeigt sich, dass allein aufgrund der potenziellen Verfärbungen nicht mehr von einem Befall ausgegangen werden kann.

## Zusammenfassung

Labortechnisch in Rapsöl sowie industriell im Autoklav (unter Stickstoffatmosphäre) wärmebehandeltes Fichtenholz wurde nach EN 113 auf die Beständigkeit gegenüber Basidiomyceten (vier Braun- und ein Weissfäuleerreger) getestet. Nach EN 152 wurde zusätzlich die Resistenz gegenüber Bläue geprüft. Ebenso wurden der pH-Wert und die Alterung der Oberflächen bei Freibewitterung ermittelt. Bei den Braunfäuleerregern wurde durch die Wärmebehandlung eine deutliche Reduzierung des Masseverlustes erreicht. Dabei ist ein deutlicher Einfluss der Pilzart aber auch der Behandlungsintensität auf den Masseverlust vorhanden. Bei Behandlung mit *Trametes versicolor* (simultane Weissfäule mit gleichzeitigem Abbau von Lignin, Zellulose und Hemizellulose) übersteigt dagegen der Masseverlust der behandelten Prüfkörper den der unbehandelten. Die erheblichen Unterschiede zwischen den einzelnen Pilzen zeigen, dass ein wesentlicher Einfluss der Pilzart auf das Ergebnis vorhanden ist. Die Prüfung der Resistenz gegenüber nur einem Pilz ist also unzureichend. Bei den bewitterten Proben wurden ähnliche Ergebnisse erzielt. Dabei ist die Tendenz nicht immer einheitlich. Bläue konnte teilweise an wärmebehandeltem Holz im oberflächennahen Bereich festgestellt werden. Der pH-Wert des im Autoklav wärmebehandelten Holzes ist deutlich niedriger als der des unbehandelten Holzes. Die Farbe des wärmebehandelten Holzes ist nicht UV stabil.

Die durch die Ölbehandlung erreichte Farbgebung der Holzproben erweist sich aber als stabiler gegenüber UV-Bestrahlung als die Behandlung im Autoklav.

## Summary

### Examination of the influence of heat treatment on the resistance of spruce timber to wood decaying fungi

Spruce wood that was heat treated in rape oil (laboratory scale) and in an autoclave with a nitrogen atmosphere (industrial scale), respectively, was tested according to EN 113 for its resistance to basidiomycetes (4 brown and 1 white rot). In addition, resistance to blue-stain fungi was tested according to EN 152 and pH-values were measured in an outdoor ageing process. Influenced by the thermal treatment a clear decrease of mass loss induced by brown rot can be seen. There is an obvious influence of the kind of fungi and the level of treatment. Inoculated with *Trametes versicolor* (simultaneous white rot) a higher mass loss can be seen in the heat-treated specimens than in the untreated specimens. The big differences in the results between the fungi show that the type of fungi plays a role in the degree of influence. It would therefore seem that tests using only one fungus are insufficient. Similar results were achieved by testing previously weathered samples. The tendencies are not always similar. Blue-stain was occasionally detected near the surface of heat-treated wood. The pH-value of wood treated in an autoclave is clearly lower than that of untreated wood. The colour of the heat-treated wood is not UV stable. However, the colour achieved by the oil-heat-treatment is more stable than that achieved by a treatment in an autoclave.

## Résumé

### Etude de l'influence du traitement thermique sur la résistance du bois d'épicéa aux champignons destructeurs

La résistance du bois d'épicéa – traité thermiquement dans l'huile de colza (laboratoire) et en autoclave dans une atmosphère nitrogène (industrie) – aux basidiomycètes (quatre champignons provoquant la pourriture brune et un la pourriture blanche) a été testée selon la norme européenne EN 113. On a en outre vérifié la résistance au bleuissement selon EN 152 et mesuré le pH et le vieillissement des surfaces soumises aux effets de la corrosion atmosphérique. Le traitement thermique a permis de diminuer sensiblement les réductions de masse dues aux pourritures brunes. L'espèce fongique et l'intensité du traitement jouent un rôle capital à ce sujet. Le traitement avec *Trametes versicolor* (pourriture blanche décomposant simultanément la lignine, la cellulose et l'hémicellulose) engendre par contre une réduction de masse plus élevée pour l'échantillon traité que pour celui qui ne l'est pas. Les différences considérables existant entre les champignons soulignent l'importance de l'espèce sur le résultat. Le contrôle de la résistance à un seul champignon est par conséquent insuffisant. Des résultats similaires ont été obtenus pour les échantillons soumis aux effets de la corrosion atmosphérique. Mais dans ce cas, la tendance n'est pas toujours uniforme. On a ainsi pu observer des traces de bleuissement à proximité de la surface de pièces de bois traitées thermiquement. Le pH des échantillons traités en autoclave est nettement inférieur à celui du bois non traité. La couleur du bois traité en autoclave est influencée par les ultraviolets. Celle des échantillons traités à l'huile est par contre plus stable.

Traduction: CLAUDE GASSMANN

## Literatur

- BÄCHLE, F. 2002: Versuche mit thermisch behandeltem Fichten- und Buchenholz. Unveröffentlichter Forschungsbericht, Professur Holzwissenschaften, ETH Zürich.
- BERICHT 2003: 1. Europäische Thermoholztagung in Dresden. Verfahren, Produkte, Märkte. Institut für Holztechnologie, Dresden.
- BROX, M. 2003: Vergleich verschiedener Methoden der thermischen Vergütung von Fichtenholz. Grosser Beleg an der TU Dresden, durchgeführt an der ETH Zürich, Professur Holzwissenschaften.
- HAKKOU, M. et al. 2003: Evolution of wood hydrophobic properties during heat treatment; in: Proceedings of the first European conference on wood modification. Ghent, Belgium, 2003.
- KAMDEM, D.P.; PIZZI, A.; TRIBOULOT, M.C. 2000: Heat-treated timber: potentially toxic by products presence and extent of wood cell wall degradation. Holz als Roh- und Werkstoff 58: 253–257.
- KOLLMANN, F.; FENGEL, D. 1965: Änderung der chemischen Zusammensetzung von Holz durch thermische Behandlung. Holz als Roh- und Werkstoff 12: 461–468.
- LADNER, C. 2003: Dauerhaftigkeit von modifiziertem Holz gegenüber holzerstörenden Pilzen. Diplomarbeit am Institut für Forstentomologie, Forstpathologie und Forstschutz der Universität für Bodenkultur, Wien.
- MILITZ, H. 2002: Thermal treatment of wood: European processes and their background. IRG/WP 02-40241.
- MITSUI, K.; TAKADA, H.; SUGIYAMA, M.; HASEGAWA, R. 2001: Changes in the Properties of Light-Irradiated Wood with Heat treatment. Holzforschung 55: 601–605.
- RAPP, O. 2001: Review on heat treatments of wood. Proceedings of the special seminar held in Antibes, France. COST Action E22.
- SAILER, M. 2001: Anwendung von Pflanzenölimprägnierung zum Schutz von Holz im Aussenbereich. Dissertation im Fachbereich Biologie der Universität Hamburg.
- SAILER, M.; RAPP, A.O.; LEITHOFF, H. 2000: Improved resistance of Scots pine and spruce by application of an oil-heat treatment. IRG/WP 00-40162.
- SCHANACK, F. 2002: Untersuchungen zur hydrothermischen Vergütung von *Pinus radiata* D. Don. Grosser Beleg an der TU Dresden; durchgeführt an der Universidad austral de Chile, Valdivia.
- TJEERDSMA, B.F.; STEVENS, M.; MILITZ, H. 2000: Durability aspects of (hydro) thermal treated wood. IRG/WP 00-40160.
- UGALDE, G. 2002: Untersuchungen zu thermisch behandeltem *Pinus radiata*. Unveröffentlichte Arbeit an der Professur Holzwissenschaften der ETH Zürich.
- WÄLCHLI, O.; GRAF, E.; ZGRAGGEN, B. 1988: Verhalten von thermisch behandeltem Holz gegenüber holzerstörenden Pilzen (Basidiomyceten). Bericht Nr. 23120, Abteilung Biologie, Empa St. Gallen.

## Autoren

FRITZ BÄCHLE, Dipl. Forsting. ETH, Institut für Baustoffe, Schafmattstrasse 6, ETH Hönggerberg, 8093 Zürich. E-Mail: baechle@ibwk.baug.ethz.ch.  
 Prof. Dr.-Ing. habil. PETER NIEMZ, Institut für Baustoffe, Holzphysik, Schafmattstrasse 6, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich.  
 MARKUS HEEB, Empa, Abteilung Holz, Lerchenfeldstrasse 5, 9014 St. Gallen.