

Hochschule für Architektur, Bau und Holz HSB
CH 2504 Biel-Bienne

Fachbereich Holz
Vertiefungsrichtung:
Process Management (PCM)

DIPLOMARBEIT

Unkonventionelle Methoden der Oberflächenbehandlung von Holz

von

Markus Jakob
von Lauperswil, Kanton Bern

8308 Illnau, im März 2004
Rütlistrasse 74

Diplomarbeit Nr.
F / 4 / D / 367 / 04 / 0

Sperrfrist: 0 Jahre

© 2004

CH 8092 Zürich

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung, Verbreitung und Übersetzung vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form ohne schriftliche Genehmigung reproduziert oder über elektronische Systeme verbreitet werden. Die Genehmigung ist bei der ETH einzuholen.

Verfasser

Markus Jakob
Rütlistrasse 74
8308 Illnau

Erstprüfender Dozierender

Dr. Andreas Hurst, Fachbereichsleiter Holz, HSB Biel

Zweitprüfender Dozierender

Dr. Ernst Zürcher, Dozent für Werkstoffkunde, HSB Biel

Experte

Kolb Josef, Josef Kolb AG, 8593 Uttwil

Anschrift der HSB Biel

Hochschule für Architektur, Bau und Holz HSB
Fachbereich Holz
Solothurnstrasse 102
Postfach 6071
CH 2504 Biel

Praktikumstelle

ETH Zürich
Professur Holzwissenschaften
8092 Zürich

Abstract Deutsch

Durch das gewachsene Umweltbewusstsein der Bevölkerung erlebte Holz in den letzten Jahren als Baumaterial einen Aufschwung. Gleichzeitig stieg das Interesse an geeigneten und umweltfreundlichen Varianten zum Schutz des Holzes.

Wie haben unsere Vorfahren Holzbauten errichten und erhalten können, die Jahrhunderte überdauert haben? Das ist die vordergründige Frage dieser Diplomarbeit. Es wurde über historische Gebräuche des Holzschutzes recherchiert und mit Hilfe der Literatursauswertung einen Überblick über die historischen Holzschutzgebräuche unserer Vorfahren und die neuesten unkonventionellen Holzschutzmassnahmen verschafft.

Aufbauend auf die aus der Literaturrecherche gewonnenen Erkenntnisse zu historischen Holzschutz-Massnahmen, wurden einige überlieferte und im Vergleich dazu moderne Methoden des Holzschutzes folgenden Versuchen unterzogen:

- Beständigkeit gegen Pilzbefall nach DIN EN 113
- Wasserdampfdurchlässigkeit nach DIN EN 52615
- Wasseraufnahmekoeffizienten nach DIN EN ISO 15148
- Dimensionsänderungen im Feucht-Wechselklima
- Verhalten bei Freibewitterung

Aus den oben genannten Versuchen geht hervor, dass die unkonventionellen Methoden durchaus eine Alternative zu den modernen Behandlungsarten darstellen können, solange sie vor Witterung und hoher Feuchte geschützt angewendet werden. Bei der Freibewitterung zeigt sich eindeutig, dass die historischen Behandlungsarten anfällig für eine witterungsbedingte Auswaschung sind.

Mittels Pilzbeimpfung konnte festgestellt werden, dass einige der historischen Methoden (Borsäure, Soda, Pottasche und Rauchkondensat) im unbewitterten Zustand durchaus befriedigende Resultate erzielen, während im bewitterten Zustand deutlich schlechtere Ergebnisse erreicht werden. Dies liegt daran, dass diese Behandlungsmittel kaum oder gar nicht im Holz fixiert werden.

Im Hinblick auf die Literaturrecherche und die Ergebnisse aus den durchgeführten Versuchen haben die historischen Behandlungsarten, nach Ansicht des Verfassers, durchaus die Berechtigung wieder aufgegriffen und angewendet zu werden. Doch müsste das Einsatzgebiet dieser Behandlungsarten genau definiert werden und die Architekten müssten durch die Holzbauunternehmen auf allfällige Probleme aufmerksam gemacht werden.

Abstract Englisch

Because of the grown environmental awareness of the population wood has experienced in the last few years a boom as a building material. Simultaneously the interest in suitable and non-polluting variants to the protection of the wood climbed.

How was it possible for our ancestors to build and preserve wood constructions which could survive over centuries? This is the main question of this thesis. Researches over historic uses of the wood protection were made and with help of literature analysis an overview over the historic wood protection of our ancestors and the newest unorthodox wood precautions were done.

Based on the recognitions won out of the literature research of historic wood protection-measures, some traditional and in the comparison modern methods of the wood protection were subjected to following tests:

- Resistance to fungal decay based on DIN EN 113
- Water vapour permeability based on DIN EN 52615
- Water absorption coefficient based on DIN EN ISO 15148
- Dimension changes in a humid alternating atmosphere
- Natural weathering behaviour

Through the tests above follows that the unorthodox methods can represent an alternative to the treatments, as long as they are used protected from weather and high humidity. The natural weathering shows clearly that the historic treatment is susceptible to a weather contingent washing out.

The fungus test has shown that some of the historic methods (boric acid, soda, potash and fluid smoke) achieve in unweathered condition satisfying results, while in the weathered condition clearly worse results are reached. The reason for this result is that these treatment methods are hardly or not at all fixed in the wood.

With regard to the literature research and the results out of the carried out tests, the historic treatments have, in the opinion of the author, the right to be taken up and used again. Nevertheless the field of application must be exactly defined and the wood building businesses must call the architects attention to possible problems.

Vorwort

Diese Diplomarbeit entstand während meines einjährigen Praktikums an der Professur Holzwissenschaften (ETH Zürich), das Bestandteil meines Studiums zum Holzingenieur FH ist.

In diesem Jahr lernte ich viel Neues über den Werkstoff Holz. Vor allem bot mir dieses Praktikum Einblick in die Holzforschung, ein für mich total neues Gebiet.

So hatte ich während dieses Jahres Einblicke in viele verschiedene Forschungsprojekte.

In der vorliegenden Diplomarbeit befasse ich mich mit unkonventionellen Oberflächenbehandlungen von Holz, die im Aussenbereich Anwendung finden sollen.

Anhand dieses Themas hatte ich einen guten Einblick in die verschiedenen Forschungsbereiche. Nebst dem Studium von Literatur wurden verschiedene Behandlungen im Labor getestet, aber auch Freilandversuche durchgeführt und schlussendlich anhand der erhaltenen Ergebnisse abgewogen, inwieweit die gewählten Methoden in der Praxis anwendbar sind.

Ich möchte an dieser Stelle Prof. Dr. Ing. habil. Peter Niemz und allen Mitarbeitern der Professur Holzwissenschaften danken, die mich während des ganzen Praktikums mit ihrem Fachwissen unterstützten und mir ein angenehmes Arbeitsklima boten.

Weiter richtet sich mein Dank an die Herren Heeb und Zraggen der EMPA St. Gallen (Fachgruppe Holzschutz/Mikrobiologie), die mich in die Welt der holzerstörenden Pilze einführten und mich bei den Pilzversuchen tatkräftig unterstützten.

Auch möchte ich mich für das zur Verfügung stellen der Holzschutzmittel bei Herrn W. Minder, Yverdon und Herrn E. Huber, Firma Pentol, Grellingen bedanken.

Ein grosser Dank geht auch an das Kuratorium des Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung, aus dessen Fonds die nötigen finanziellen Mittel kamen.

Ein weiterer Dank geht an diverse Personen, welche mir mit Rat und Tat zur Seite standen. Es sind dies die Herren Soltermann, Bartlomé und Kägi. Auch den beiden betreuenden Dozenten Herrn Dr. A. Hurst und Herrn Dr. E. Zürcher gilt mein Dank, sie waren Ansprechpartner bei Fragen aller Art und unterstützten mich in allen Belangen.

Weiter möchte ich mich bei meiner Freundin und meinen Eltern recht herzlich bedanken, die mich während des ganzen Jahres in jeder Art unterstützten.

Mein letzter Dank richtet sich an alle jene, die ich vergessen habe in meinen Dank einzuschliessen.

Inhaltsübersicht

<u>Abstract Deutsch.....</u>	<u>I</u>
<u>Abstract Englisch</u>	<u>I</u>
<u>Vorwort.....</u>	<u>I</u>
<u>Inhaltsübersicht.....</u>	<u>I</u>
<u>Inhaltsverzeichnis</u>	<u>I</u>
<u>1 Einleitung.....</u>	<u>1</u>
1.1 Problemstellung.....	1
1.2 Ziel der Diplomarbeit	1
1.3 Vorgehensweise	1
<u>2 Literaturoswertung aktueller Holzschutz</u>	<u>1</u>
2.1 Begriff Holzschutz.....	1
2.2 Heute bekannte Holzschutzmassnahmen.....	1
2.3 Auswahl von Holzschutzmassnahmen	1
2.4 Problematik der (chemischen) Holzschutzmittel	1
2.5 Unkonventioneller Holzschutz	1
<u>3 Literaturoswertung historischer Holzschutz.....</u>	<u>1</u>
3.1 Historische Übersicht zur Entwicklung des Holzschutzes	1
3.2 Historischer Holzschutz.....	1
3.3 Methoden um 1900.....	1
<u>4 Versuche / Ergebnisse.....</u>	<u>1</u>
4.1 Versuchsübersicht.....	1
4.2 Trägermaterial	1
4.3 Holzschutzmittel.....	1
4.4 Pilzbefall.....	1
4.5 Wasserdampfdurchlässigkeit nach DIN 52615	1
4.6 Wasseraufnahmekoeffizienten nach DIN EN ISO 15148.....	1
4.7 Freilandbewitterung	1
4.8 Wechselklima.....	1
<u>5 Folgerungen / Umsetzung.....</u>	<u>1</u>

Verzeichnisse.....	1
Abbildungsverzeichnis	1
Tabellenverzeichnis	1
Quellenverzeichnis.....	1
Zwingende Formen.....	1
Eidesstattliche Erklärung	1
Note / Abnahmeerklärung	1
Teilnoten.....	1
Schriftliche Beurteilung der Arbeit durch die Prüfer.....	1
Anhang.....	1

Inhaltsverzeichnis

1	<u>Einleitung.....</u>	<u>1</u>
1.1	Problemstellung.....	1
1.2	Ziel der Diplomarbeit	1
1.3	Vorgehensweise	1
2	<u>Literaturauswertung aktueller Holzschutz</u>	<u>1</u>
2.1	Begriff Holzschutz.....	1
2.2	Heute bekannte Holzschutzmassnahmen.....	1
2.3	Auswahl von Holzschutzmassnahmen	1
2.4	Problematik der (chemischen) Holzschutzmittel	1
2.5	Unkonventioneller Holzschutz	1
2.5.1	Holzmodifikation	1
2.5.1.1	Thermoholz	1
2.5.1.2	Acetylierung.....	1
2.5.2	Baulicher Holzschutz	1
3	<u>Literaturauswertung historischer Holzschutz.....</u>	<u>1</u>
3.1	Historische Übersicht zur Entwicklung des Holzschutzes	1
3.2	Historischer Holzschutz.....	1
3.3	Methoden um 1900.....	1
3.3.1	Übersicht.....	1
3.3.2	Beschreibung ausgewählter Methoden	1
3.3.2.1	Konservierung durch Austrocknung des Holzes.....	1
3.3.2.2	Konservierung des Holzes durch Luftabschluss	1
3.3.2.3	Imprägnierung mit antiseptischen Substanzen.....	1
3.3.2.4	Entfernung der leicht zersetzlichen Saftbestandteile	1
3.3.2.5	Versteinerung / Verkieselung von Holz.....	1
4	<u>Versuche / Ergebnisse.....</u>	<u>1</u>
4.1	Versuchsübersicht.....	1
4.2	Trägermaterial	1
4.3	Holzschutzmittel.....	1
4.3.1	Auswahl der Holzschutzmittel / Behandlungsarten	1
4.3.2	Beschreibung der einzelnen Behandlungsarten	1
4.3.2.1	U-653	1
4.3.2.2	E-653	1
4.3.2.3	Konzentrat des Kreislaufwassers der Firma Pavatex	1
4.3.2.4	Borsäure H_3BO_3	1
4.3.2.5	Soda $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$, Pottasche K_2CO_3	1
4.3.2.6	Holzteer.....	1
4.3.2.7	Thermoholz	1

4.3.2.8	Warmrauch	1
4.3.2.9	Rauchkondensat modifiziert Variante 1-4	1
4.3.2.10	Pento Fluid IP	1
4.3.2.11	Lasinol UV ⁵³	1
4.3.2.12	Pento Antihydro ⁵³	1
4.3.2.13	Osmo Color Gard Braun ^{Classic} (Zaun- und Gartenlasur)	1
4.3.2.14	Alerce unbehandelt / gekocht	1
4.3.2.15	Unbehandelt	1
4.4	Pilzbefall	1
4.4.1	Einleitung	1
4.4.2	Begriffe	1
4.4.2.1	Statistische Auswertung	1
4.4.2.2	Massenverlust	1
4.4.2.3	Korrekturwert	1
4.4.3	Material	1
4.4.3.1	Übersicht	1
4.4.3.2	Prüfkörper	1
4.4.3.3	Nährmedium	1
4.4.3.4	Die verwendeten Pilze	1
4.4.4	Methode	1
4.4.4.1	Messprinzip	1
4.4.4.2	Prüfeinrichtung und Messanordnung	1
4.4.5	Versuchsbedingungen	1
4.4.6	Resultate und Diskussion	1
4.5	Wasserdampfdurchlässigkeit nach DIN 52615	1
4.5.1	Einleitung	1
4.5.2	Begriffe	1
4.5.2.1	Relative Luftfeuchtigkeit	1
4.5.2.2	Diffusionszahl	1
4.5.2.3	Dampfleitzahl	1
4.5.2.4	Wasserdampf-Diffusionsstromdichte	1
4.5.2.5	Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl	1
4.5.2.6	Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke	1
4.5.2.7	Rohdichte	1
4.5.2.8	Feuchtigkeitsgehalt	1
4.5.3	Material	1
4.5.4	Methode	1
4.5.4.1	Messprinzip	1
4.5.4.2	Prüfeinrichtung und Messanordnung	1
4.5.5	Versuchsbedingungen	1
4.5.6	Resultate und Diskussion	1
4.5.6.1	Unbehandelt und U-653	1
4.5.6.2	Thermoholz und Warmrauch	1
4.5.6.3	Osmo Color und Pento Fluid IP	1
4.5.6.4	Schlussfolgerung	1
4.6	Wasseraufnahmekoeffizienten nach DIN EN ISO 15148	1
4.6.1	Einleitung	1
4.6.2	Begriffe	1
4.6.2.1	Statistische Auswertung	1
4.6.2.2	Massendifferenz	1

4.6.2.3	Wasseraufnahmekoeffizient.....	1
4.6.3	Material.....	1
4.6.4	Methode.....	1
4.6.4.1	Messprinzip.....	1
4.6.4.2	Prüfeinrichtung und Messanordnung.....	1
4.6.4.3	Versuchsbedingungen.....	1
4.6.5	Resultate und Diskussion.....	1
4.7	Freilandbewitterung.....	1
4.7.1	Einleitung.....	1
4.7.2	Begriffe.....	1
4.7.2.1	L*a*b*-Farbsystem.....	1
4.7.3	Material.....	1
4.7.4	Methode.....	1
4.7.5	Versuchsbedingungen.....	1
4.7.6	Resultate und Diskussion.....	1
4.7.6.1	Visuelle Beurteilung.....	1
4.7.6.2	Farbmessungen.....	1
4.7.6.3	Schlussfolgerung.....	1
4.8	Wechselklima.....	1
4.8.1	Einleitung.....	1
4.8.2	Material.....	1
4.8.3	Methode.....	1
4.8.3.1	Messprinzip.....	1
4.8.3.2	Prüfeinrichtung und Messanordnung.....	1
4.8.3.3	Versuchsbedingungen.....	1
4.8.4	Resultate und Diskussion.....	1
5	<u>Folgerungen / Umsetzung.....</u>	<u>1</u>
	<u>Verzeichnisse.....</u>	<u>1</u>
	Abbildungsverzeichnis.....	1
	Tabellenverzeichnis.....	1
	Quellenverzeichnis.....	1
	Literatur.....	1
	Normen.....	1
	Internet.....	1
	<u>Zwingende Formen.....</u>	<u>1</u>
	Eidesstattliche Erklärung.....	1
	Note / Abnahmeerklärung.....	1
	Teilnoten.....	1
	Schriftliche Beurteilung der Arbeit durch die Prüfer.....	1
	<u>Anhang.....</u>	<u>1</u>

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Das Entstehen und Vergehen von Holz ist ein sich ständig wiederholender Prozess und in sich geschlossener Kreislauf. Wer offenen Auges durch die Natur geht, der kennt vermodernde Stämme oder Wurzelreste, aus denen neues Leben spriesst, neue Bäumchen wachsen. Ermöglicht wird dies durch eine Vielfalt von Pilzen und tierischen Organismen, welche in einem für sie geeigneten Angebot von Sauerstoff und Feuchtigkeit ihren Beitrag leisten. Wird Holz als Baumaterial im weitesten Sinne verwendet, so muss in diesen Kreislauf eingegriffen werden und die von Nützlingen zu Schädlingen gewordenen Organismen müssen abgehalten, in ihrer Entwicklung gehemmt oder schliesslich abgetötet werden.

Durch das gewachsene Umweltbewusstsein der Bevölkerung erlebte auch Holz als Baumaterial einen Aufschwung und damit stieg auch das Interesse an geeigneten und umweltfreundlichen Oberflächenbeschichtungen. So wird immer mehr verlangt, dass diese giftfrei sein müssen, aber es werden auch hohe Ansprüche (Dauerhaftigkeit, Ästhetik u.a.) an sie gestellt. Diese zwei Punkte - einerseits eine hohe Umweltverträglichkeit, andererseits eine schöne ästhetische langlebige Oberflächenbehandlung - ergeben einen Zielkonflikt.

Einzelne Bauplaner verzichten oft auf eine Oberflächenbeschichtung von Holzfassaden, mit der Begründung, dass unbehandelte Fassaden ökologisch günstiger als behandelte seien.

Doch wenn zum Beispiel eine unbehandelte Holzfassade nach einiger Zeit renoviert wird, weil der Bauherrschaft die unschöne Verwitterung nicht gefällt, dann erfordert dies einen relativ grossen Aufwand an Energie, Arbeit und Material. Im ökologischen Vergleich wäre es wahrscheinlich besser gewesen, wenn man die Fassade von Anfang an fachgerecht beschichtet hätte.

Leider war es bei dem Umfang des Themas nicht immer möglich auf alle Einzelheiten einzugehen. Wer sich intensiver mit dem Thema beschäftigen möchte, findet im Literaturverzeichnis weiterführende Literaturangaben.

1.2 Ziel der Diplomarbeit

Wie haben unsere Vorfahren Holzbauten errichten und erhalten können, die Jahrhunderte überdauert haben und vielfach heute noch bewundert werden?

Das vorgegebene Thema würde einen breiten Spielraum erlauben. Zum einen ist der Begriff Holzschutz aus vielen Blickwinkeln zu betrachten und zu beurteilen, zum anderen gäbe der Faktor Zeit die Möglichkeit, sowohl einen entwicklungsgeschichtlichen Überblick zu verfassen als auch auf Details jüngster Entwicklungstendenzen einzugehen.

Die vorliegende Arbeit verfolgt zwei Ziele

1. Recherche über historische Gebräuche des Holzschutzes und heutige unkonventionelle Holzschutzmassnahmen
2. Ausgewählte Methoden in verschiedenen Versuchen zu vergleichen und zu bewerten

In der Literaturrecherche werden keine Werke berücksichtigt, die vor 1880 geschrieben wurden. Einerseits aus dem Grunde, dass es den Umfang der Arbeit sprengen würde und andererseits die meisten Werke, die vor 1880 verfasst wurden, in althochdeutscher Schrift gedruckt sind.

Das Ziel ist, mit Hilfe der Literatúrauswertung einen Überblick über die historischen Holzschutzgebräuche unserer Vorfahren und die neusten unkonventionellen Holzschutzmassnahmen zu erhalten.

Das zweite Ziel baut auf dem ersten auf. Anhand erster Literatursauswertungen wurden historische sowie neuere Methoden des Holzschutzes ausgewählt und mittels folgender Versuche geprüft:

- Pilzbefall DIN EN 113
- Wasserdampfdurchlässigkeit DIN EN 52615
- Wasseraufnahmekoeffizienten DIN EN ISO 15148
- Wechselklima
- Freibewitterung

Aus Zeitgründen wurden nicht immer alle Behandlungsarten den Versuchen unterzogen.

Diese Versuche sollen aufzeigen, ob ein alternatives Verfahren in Zukunft wieder Fuss fassen könnte.

Die wichtigsten Ergebnisse, ob ein Holzschutzmittel der Versuchsreihe tauglich ist, wird aus den Pilzversuchen erwartet, ist doch die Beständigkeit des Holzes hauptsächlich von der Resistenz gegen Pilze abhängig.

1.3 Vorgehensweise

Zuerst wurde Literatur studiert und ausgewertet.

Während der Literaturrecherche wurden unkonventionelle Holzschutzmittel evaluiert, die ein gewisses Potenzial aufweisen. Es wurden verschiedene Holzschutzmittelhersteller kontaktiert und mit diesen die Ziele der Diplomarbeit diskutiert. Weiter wurden anhand der zur Verfügung stehenden Anlagen die Möglichkeiten für interessante Versuche abgeklärt. Durch interne Gespräche und Kontakte mit der SH-Holz und der EMPA wurde eine geeignete Versuchsreihe zusammengestellt. Während das Literaturstudium vertieft wurde, konnten ergänzend dazu die Versuche geplant und die Proben zugeschnitten und behandelt werden. Am meisten drängten die Proben für die Freibewitterung, da bei diesem Versuch nur Langzeitergebnisse aussagekräftig sind. Dieser Versuch konnte dann auch anfangs April gestartet werden. Die anderen Versuche wurden über das ganze Jahr verteilt und mit Besetzungsplänen der jeweiligen Anlagen koordiniert, was auch reibungslos funktionierte.

2 Literaturauswertung aktueller Holzschutz

2.1 Begriff Holzschutz

Als Holzschutz sind nach DIN 52175 alle Massnahmen zu verstehen, die zur Erhaltung und Verlängerung der Funktionstüchtigkeit und Gebrauchsdauer von Holz und Holzwerkstoffen dienen. Das bedeutet Massnahmen anzuwenden, die eine Wertminderung und/oder Zerstörung von Holz und Holzwerkstoffen, besonders durch Pilze, Insekten und Feuer, verhüten sollen und damit eine lange Gebrauchsdauer sicherstellen.

Der Begriff Holzschutz wird vielfach, im allgemeinen Sprachgebrauch, mit dem chemischen Holzschutz gleichgestellt, womit der Begriff Holzschutz als etwas Negatives betrachtet wird, da Einsatz von Chemie in der Bevölkerung verpönt ist.

Dies bestätigt auch eine kleine Umfrage, die zu Beginn des Praktikums durchgeführt wurde, was Personen unter Holzschutz verstehen. Viele Antworten fielen auf: Ein Mittel/Gift, das man auf das Holz aufträgt.

Holzschutzmittel sind gemäss Stoffverordnung Produkte, die zum Schutz von Holz verwendet werden und zu diesem Zweck Wirkstoffe gegen holzzerstörende und/oder holzverfärbende Organismen enthalten.

Für diese Produkte muss eine Zulassungsbewilligung des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) vorliegen. Die Etiketten solcher Holzschutzmittel müssen mit der Angabe der BUWAL-Nummer sowie dem Gehalt der Wirkstoffe versehen sein. Mittel, die mit einer Holzschutz-Wirkung angepriesen werden, jedoch keine insektenabwehrenden oder pilzbekämpfenden Chemikalien enthalten, fallen nicht unter den Begriff Holzschutzmittel. Sie werden als Holzpflagemittel bezeichnet.

Holzschutzmassnahmen sind von grosser volkswirtschaftlicher Bedeutung, da sie wesentlich zur Erhaltung des Roh-, Bau- und Werkstoffes Holz beitragen und seine Einsatzgebiete erheblich erweitern. Trotzdem wird der Begriff Holzschutz diskriminierend für die Holzverwendung empfunden, doch konnten sich verschiedene Alternativvorschläge, wie Holzkonservierung, Holzveredelung, Holzvergütung nicht durchsetzen.

Auch im Hinblick auf Ökobilanzen sind Holzschutzmassnahmen positiv zu sehen, da sie zur nachhaltigen Nutzung des nachwachsenden Rohstoffes Holz beitragen. Lediglich der Teilbereich des chemischen Holzschutzes ist als potenziell umweltbelastend einzustufen, wobei nach Art und Umfang der Massnahmen erhebliche Unterschiede bestehen.

2.2 Heute bekannte Holzschutzmassnahmen

Holzschutzmassnahmen werden in verschiedene Bereiche unterteilt:

Alternativer Holzschutz

Begriff für alle Holzschutzmassnahmen, die bewusst als Gegensatz zum chemischen Holzschutz verstanden werden.

Biologischer Holzschutz

Dieser Begriff wird irreführend verwendet.

Im wörtlichen Sinn ein Schutz des Holzes mit Hilfe von biologischen Massnahmen, z.B. Einsatz von Pilzen, die das Holz selbst nicht schädigen und einen späteren Befall durch Holzzerstörer verhindern.

Im Sinne der Baubiologie werden Naturprodukte (z.B. Bienenwachs, Borsalz, Holzeisig etc.) empfohlen, von denen angenommen wird, dass sie das Wohlbefinden des Menschen nicht beeinträchtigen.

Natürlicher Holzschutz

Gezielte Ausnutzung der höheren natürlichen Schädlingsresistenz einzelner Holzarten.

Baulicher Holzschutz

Beim "baulichen Holzschutz" wird zwischen konzeptionellem und konstruktivem Holzschutz unterschieden. Der konzeptionelle Holzschutz hat die Aufgabe die Eigenschaften (Quell- Schwindverhalten (Schnitttrichtung beachten!), Stehvermögen etc.) des Bau- und Werkstoffes Holz zu berücksichtigen. Der konstruktive Holzschutz hat die Aufgabe Bedingungen zu vermeiden, die einen Schädlingsbefall ermöglichen oder begünstigen.

Chemischer Holzschutz

Anwendung von chemischen Holzschutzmitteln zum vorbeugenden oder bekämpfenden Holzschutz. Entscheidend für den Schutzerfolg ist nicht nur der Einsatz eines wirksamen Präparates, sondern auch die Anwendung ausreichender Einbringmenge in entsprechender Eindringtiefe durch ein geeignetes Einbringverfahren. Chemischer Holzschutz sollte nur dann angewendet werden, wenn andere Massnahmen zum Schutz des Holzes nicht ausreichend sind.

Integrierter Holzschutz

hat das Ziel verschiedene Massnahmen zum Schutz des Holzes miteinander zu kombinieren, um hierdurch den Einsatz von Holzschutzmitteln zu minimieren .

Physikalischer Holzschutz

wird hauptsächlich als bekämpfender Holzschutz eingesetzt. Vor allem das Verfahren mit Heissluft wird häufig gegen befallenes Holz eingesetzt. Radioaktive Strahlung ist wegen des erforderlichen Aufwandes und aus Sicherheitsgründen für den Holzschutz ungeeignet.

Holzmodifikation

Die Holzmodifikationen bewirken eine Veränderung der molekularen Struktur der Zellwandsubstanzen. Dadurch wird die Dauerhaftigkeit gegen Pilzbefall, die Dimensionsstabilität und das Stehvermögen vergrössert sowie die Schwind- und Quellmasse verringert.

Hierfür bestehen verschiedene Ansatzpunkte: chemische Modifikation, thermische Modifikation sowie Einlagerung von Harzen.

- Von den verschiedenen Möglichkeiten zur *chemischen Modifizierung* wurde bisher die Acetylierung am intensivsten untersucht. Hierbei wird Holz mit Essigsäureanhydrit imprägniert. Bei Temperaturen über 100°C werden die Hydroxylgruppen (OH) der Zellwand in Acetylgruppen überführt und Essigsäure freigesetzt.
- Bei der *thermischen Modifizierung* wird Holz über 150°C erwärmt, wodurch rasch Veränderungen in der Holzsubstanz auftreten. Die thermische Modifikation ist auch für schwer tränkbare Hölzer gut geeignet. Es bestehen unterschiedliche Verfahrensvarianten, die zum Teil bereits zur Praxisreife entwickelt wurden.
- Harze werden in wässrige Lösung durch Vollzelltränkung in die Zellwand eingebracht und nach schonender Rücktrocknung des Holzes bei 90-140°C gehärtet. Es entsteht eine Blockierung der Wasserstoffbrücken, jedoch erfolgt keine chemische Reaktion mit Zellwandbestandteilen.

2.3 Auswahl von Holzschutzmassnahmen

Die Auswahl von Holzschutzmassnahmen sollte sich an den jeweiligen Gegebenheiten orientieren und auch den spezifischen Anforderungen an Funktion und Bedeutung des zu schützenden Objektes Rechnung tragen.

Wichtige Kriterien sind:

- das Ausmass der Gefährdung (Gefährdungsklassen Tabelle 2-1)

- das Risiko eines Schadens
- die erwartete Gebrauchsdauer (für eine kurzzeitige Nutzung sind umfangreiche Massnahmen wenig sinnvoll)
- Art und Anfälligkeit der Konstruktion
- die natürliche Dauerhaftigkeit der gewählten Holzart gegen die möglichen Schädlinge
- Wert oder Bedeutung des Objektes
- Möglichkeit und Aufwand für Wartung und Instandhaltung

Dem sind Aufwand und Kosten der verschiedenen Massnahmen sowie eventuelle Bedenken aus gesundheitlicher und ökotoxikologischer Sicht gegenüberzustellen.

Es stehen die in Kapitel 2.2 „Heute bekannte Holzschutzmassnahmen“ zum Schutz des Holzes zur Verfügung. Nach Möglichkeit sind dabei Massnahmen ohne Einsatz von Chemikalien vorzuziehen.

Entscheidungshilfen können folgende Zusammenhänge geben:

- Je höher die Dauerhaftigkeit des Holzes, desto weniger Massnahmen sind zum Schutz des Holzes erforderlich.
- Je besser der bauliche Holzschutz, desto weniger sind Holzschutzmittel erforderlich. Fehlender baulicher Holzschutz kann nur durch sehr intensiven chemischen Holzschutz ausgeglichen werden.
- Je besser die Wartung und Instandhaltung, desto eher kann auf Massnahmen verzichtet werden.
- Je grösser die Wahrscheinlichkeit von Feuchteanreicherungen an einem Bauteil ist, desto umfangreicher müssen die Massnahmen sein.

Tabelle 2-1 Überblick über die Gefährdungsklassen nach DIN 68800-3 (1990)

Gefährdungs- klasse	Gefährdung durch		Auswaschung	Moderfäule	Beanspruchung
	Insekten	Pilze			
0	nein	nein	nein	nein	innen verbautes Holz, ständig trocken
1	ja	nein	nein	nein	
2	ja	ja	nein	nein	Innenbau mit Feuchteinfluss
3	ja	ja	ja	nein	Aussenbau ohne Erdkontakt
4	ja	ja	ja	ja	Aussenbau mit Erdkontakt

2.4 Problematik der (chemischen) Holzschutzmittel

Holzschutzmittel haben sich in den letzten 50 Jahren zu einer Quelle beträchtlicher Umweltbelastung entwickelt, die auch schon unmittelbar Todesopfer gefordert hat. Grosse Mengen von Kohlenwasserstoffen, Fungiziden und Insektiziden werden jedes Jahr in solchen Mitteln verkauft, die sich über kurz oder lang gleichmässig in unserer Umwelt verteilen und dadurch das Leben nicht lebenswerter machen, auch wenn bunte Herstellerprospekte dies versprechen.

Alle Holzschutzmittel sind giftig, da ihre Wirkung eben auf dieser Giftigkeit beruht, jedoch ist die Gefährdung, die von ihnen ausgeht, sehr unterschiedlich.

Es ist schon schwer zu definieren, was ein Gift ist und was nicht. In genügend grosser Menge genossen ist alles giftig, sogar reines Wasser; eine starke Wasservergiftung kann tödlich verlaufen. Umgekehrt sind viele Stoffe, die als Gifte eingestuft sind, in geringsten Mengen unschädlich, manchmal sogar für den Körper lebensnotwendig.¹

¹ Weissenfeld P. (1983). S. 44

Einige in den chemischen Holzschutzmitteln enthaltenen Stoffe, wie z.B. chlorierte Kohlenwasserstoffe, haben alle eine sehr hohe biologische Halbwertszeit. Das ist die Zeit, in der die Hälfte eines aufgenommenen Stoffes wieder ausgeschieden wird. Werden diese Stoffe im Aussenbereich eingesetzt, so wittert das Holzschutzmittel im Laufe der Zeit ab. Damit verschwinden auch regelmässig die Gifte im Grundwasser oder in den Flüssen. Dort sind sie dann zwar nur in sehr geringen Konzentrationen vorhanden, reichern sich aber in der Nahrungskette an.²

Ein guter Ansatz bei der Entwicklung zukünftiger Holzschutzmittel wäre, das Holz für Pilze und Insekten ungeniessbar zu machen. Es ist vielleicht so wie beim Menschen, was ihm nicht schmeckt, das konsumiert er nicht.

Anforderungen an die heutigen Holzschutzmittel

Holzschutzmittel werden überwiegend flüssig verarbeitet und enthalten chemische Verbindungen mit Giftwirkungen gegen Pilze und/oder Insekten.

Um optimale Schutz- und Verarbeitungsbedingungen zu erlangen, sollten von Holzschutzmitteln möglichst viele der nachgenannten Forderungen erfüllt werden.

- breiter Einsatzbereich (Pilze, Insekten, Feuer)
- hohe Giftigkeit bei geringer Konzentrationen
- unbedenklich für Mensch und Tier nach der Fixierung im Holz
- Umweltneutral hinsichtlich der Vernichtung von Rest- oder Verlustbeständen
- unbedenklich bei der Verarbeitung für Menschen
- lange Wirksamkeitsdauer
- geringe Auslaugbarkeit
- gute Eindring- und Verteilungseigenschaften
- einfache Kontrollmöglichkeit für Qualität und Quantität des Schutzmittels
- einfache und preisgünstige Verarbeitungsmöglichkeit
- keine negative Beeinflussung der Masshaltigkeit und Festigkeit des Holzes
- schnelle Trocknung und Weiterverarbeitungsmöglichkeit
- gute Leim- und Anstrichverträglichkeit
- kein Ausschwitzen
- keine Verfärbung oder Ausbleichung bei pigmentierten Mitteln

Keines der heute im Handel erhältlichen Schutzmittel erfüllt alle diese Bedingungen. Die Hersteller bemühen sich jedoch durch Forschung und Weiterentwicklung, ein Optimum an positiven Bedingungen zu erreichen.^{3 4}

2.5 Unkonventioneller Holzschutz

Alternativer, ökologischer oder natürlicher Holzschutz ist heute das Stichwort für zahlreiche umweltbewusste Handwerker, die viel mit Holz umgehen. Dabei möchte man erreichen, dass Holz ebenso wirkungsvoll gegen Organismen geschützt ist wie bislang bei den eher problematischen Schutzmitteln. Gleichzeitig sollen aber keinerlei Gefahren für Mensch und Ökosystem auftreten. Diesem Produktprofil zu genügen, ist nicht leicht. Ausserdem ist eine wesentliche Konsequenz der Naturgesetze von Energie- und Massenerhalt, auf den Einsatz nichtregenerativer Rohstoffe zu verzichten. Es können künftig nur erneuerbare Rohstoffe, die natürlichen Kreisprozessen entstammen, genutzt werden.

Aus den in Kapitel 2.2 „Heute bekannte Holzschutzmassnahmen“ wird die Zukunft sicherlich einer Kombination von Holzmodifikation und baulichem Holzschutz gehören. Deswegen wird in den nachfolgenden Kapiteln nochmals auf diese eingegangen.

² Weissenfeld P. (1983). S. 44-46

³ Lohmann U. (1998). S. 163

⁴ DIN 52175 (1975)

2.5.1 Holzmodifikation

Unter dem Begriff Holzmodifizierung versteht man die Veränderung der Zellwand des Holzes sowohl als Massnahme zum Schutz des Holzes durch Erhöhung der Dauerhaftigkeit gegen Pilzbefall als auch zur Verbesserung von Dimensionsstabilität und Stehvermögen durch Verringerung von Quellen und Schwinden.

Ansätze für eine Modifizierung gab es bereits vor über 100 Jahren, doch haben sie erst in jüngster Zeit im Rahmen der intensiven Suche nach Alternativen zum chemischen Holzschutz breites Interesse gefunden, wobei heute im Zuge eines erhöhten Gesundheits- und Umweltbewusstseins höhere Kosten bei eventuell auch geringer Wirksamkeit in Kauf genommen werden. Entsprechend intensiv wird derzeit auf diesem Gebiet national und international geforscht. Bisher liegen zwar Erfolg versprechende Resultate vor, die Anwendung ist aber noch auf Sondergebiete beschränkt.

Die meisten Modifikationen des Holzes bewirken eine Veränderung der molekularen Struktur der Zellwandsubstanz. Es wird angenommen, dass holzzerstörende Pilze diese nur erschwert abbauen können bzw. dass infolge verminderter Quellung der Zellwand diese für Wasser und Pilzsporen weniger zugänglich ist, indem zwischen den einzelnen Zellulosemolekülen keine Wassermoleküle mehr eingelagert werden können.

Hierfür bestehen verschiedene Ansatzpunkte:

- chemische Modifizierung
- Hitzemodifizierung
- Einlagerung von Harzen

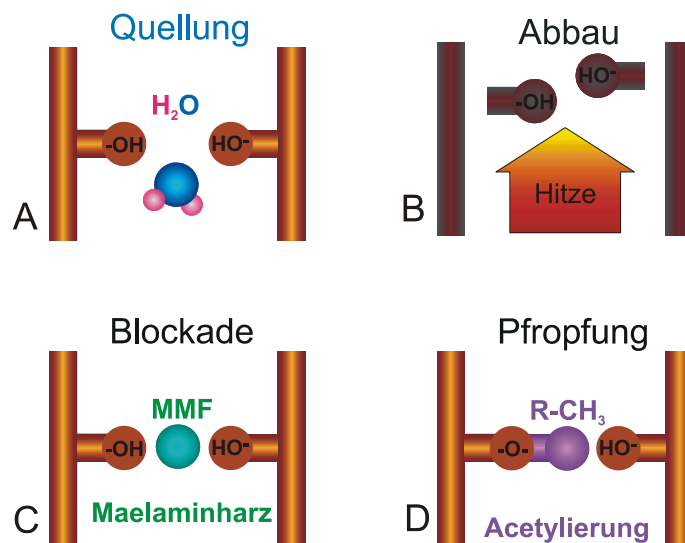


Abbildung 2-1 Modifikation von Holz: A) normale Quellung, B) Thermische Modifizierung, C) Einlagerung von Harzen, D) Acetylierung⁵

Ohne Berücksichtigung der späteren Entsorgung ergeben sich für modifiziertes Holz höhere Kosten als für herkömmlich chemisch geschütztes Holz.

Unter Modifikation des Holzes versteht man heute die Veränderung der Zellstruktur des Holzes.

Bei allen hier beschriebenen Modifikationsverfahren werden keine Biozide eingesetzt. Das Holz enthält auch nach der Behandlung nur Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff.

⁵ Lohmann U. (2003). Holzlexikon L-Z. S. 91

Die Marktchancen für modifiziertes Holz in der Aussenanwendung sind durchaus gegeben, da gerade jene Holzeigenschaften verbessert werden, die von den Entscheidungsträgern als besonders wichtig für die Materialwahl gesehen werden. Dies gilt insbesondere für Kriterien „Dauerhaftigkeit“ und „Wartungsaufwand“.

2.5.1.1 Thermoholz

Bei der thermischen Modifikation kommt es zu einem Masseverlust in Abhängigkeit von der verwendeten Parameterkombination (Feuchte, Wärme, Druck). Eine Erhöhung aller drei Faktoren bringt einen vermehrten Abbau von Holzsubstanz, besonders bei Durchführung der Versuche in Luftumgebung.

Um eine thermische Holzmodifikation handelt es sich, wenn Temperaturen von deutlich über 100°C über einen gewissen Zeitraum, in einem ein- oder mehrstufigen Prozess unter einer Gasatmosphäre gefahren werden.

Der Abbau des Holzzuckers erfolgt so, dass sie später von holzerstörenden Pilzen nicht mehr genutzt werden können. Der Effekt der Dauerhaftigkeit hängt auch mit der verminderten Fähigkeit Wasser langfristig aufzunehmen zusammen. Der selektive Abbau der Hemizellulosen führt zu einer Reduktion der Hydroxylgruppen (Abbildung 2-1). Dadurch wird die Hygroskopizität verkleinert und die Dimensionsstabilität erhöht.

Grösster Schwachpunkt sämtlicher thermischer Behandlungen ist derjenige, dass das Holz fast nicht mehr für den konstruktiven Bereich verwendet werden kann. Die thermische Modifikation des Holzes führt nämlich zu einer starken Festigkeitsabnahme des Holzes. Statischen Belastungen kann das behandelte Holz nicht mehr ausgesetzt werden.

Die thermische Modifikation ist auch für schwer tränkbare Holzarten gut geeignet.

Drei bekannte thermische Verfahren sind:

Thermisch

(Balz Holz, Schweiz)

Stickstoff-Atmosphäre; Behandlungsdauer: 0.5 - 4h; Temperatur: 160 - 270°C

Hydrothermisch

(Thermowood, Finnland; bois perdure, Frankreich; Plato-Verfahren, Niederlande)

Wasserdampf-Atmosphäre; Behandlungsdauer: 24 - 46h; Temperatur: 180 - 240°C

Öl-thermisch

(Menz Holz, Deutschland)

Bad aus Pflanzenöl; Behandlungsdauer: 5 – 24 h; Temperatur: 180 - 260°C

2.5.1.2 Acetylierung

Von den verschiedenen Möglichkeiten zur chemischen Modifizierung wurde bisher die Acetylierung am intensivsten untersucht. Hierbei wird Holz mit Essigsäureanhydrit imprägniert. Bei Temperaturen über 100°C werden die Hydroxylgruppen (OH) der Zellwand in Acetylgruppen überführt (Abbildung 2-1) und Essigsäure freigesetzt, aus der wiederum Essigsäureanhydrit rückgewonnen werden kann.

Die Acetylierung ist eine über Reaktionstemperatur, Reaktionsdauer und Katalysatorwahl gut steuerbare Reaktion.

Bei der Acetylierung werden die Hydroxylgruppen der Zellulose, der Hemizellulose oder des Lignins durch den Säureester ersetzt. Darüber hinaus wird die innere Porenstruktur des Holzes verstopft. Damit wird die Hygroskopizität des Holzes vermindert und somit eine bessere Dimensionsstabilität erreicht (Quellen/Schwinden reduziert sich um 70 – 80%). Zudem wird der mikrobielle Abbau durch Pilze erschwert, indem die funktionellen Gruppen durch die chemische Modifizierung blockiert werden.

Das behandelte Holz enthält (wie unbehandeltes auch) nur Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff und Sauerstoff als chemische Bausteine und bleibt damit frei von toxischen Substanzen.⁶

Nachteilig ist ein intensiver Geruch nach Essigsäure. Die Festigkeitseigenschaften werden bei richtiger Prozessführung nicht beeinträchtigt.

2.5.2 Baulicher Holzschutz

Anwendung konzeptioneller und konstruktiver Massnahmen, die verhindern sollen, dass im verbauten Holz Bedingungen auftreten, die eine Schädlingsentwicklung ermöglichen.

Der konzeptionelle Holzschutz ergänzt den konstruktiven Holzschutz mit den spezifischen Holzeigenschaften, wie Quellung und Schwindung, Stehvermögen, die gezielt berücksichtigt werden. Beispielsweise hat die Einschnittart einen unmittelbaren Einfluss auf die Rissbildung und damit auch auf die Durchfeuchtung von Holzkonstruktionen als Voraussetzung für Pilzbefall.

Der bauliche Holzschutz richtet sich in erster Linie gegen den Pilzbefall, für dessen Entstehung i.d.R. eine hohe Holzfeuchte erforderlich ist. Entsprechend sollen durch den baulichen Holzschutz Feuchteanreicherungen im Holz verhindert werden. Für einen baulichen Holzschutz gegen Insekten bestehen nur wenige Möglichkeiten, da diese auch in lufttrockenem Holz auftreten können. Der bauliche Holzschutz ist in DIN 68800-2 geregelt.

Der vorbeugende chemische Holzschutz ist nur dann gerechtfertigt, wenn durch geeignete Holzauswahl und/oder Ausschöpfung aller baulichen Massnahmen (DIN 68800 Teil 2) Gefahren von Bauschäden durch Insekten oder Pilze nicht ausgeräumt werden können.

Der bauliche Holzschutz wurde über Jahrhunderte als selbstverständlich angesehen und hat zur Bewährung alter Holzbauten entscheidend beigetragen. Er ist auch heute noch erste Voraussetzung für die Haltbarkeit von Holzkonstruktionen. Chemische Holzschutzmassnahmen sind nur als Ergänzung aufzufassen, durch die höhere Anforderungen erfüllt bzw. konstruktive Fehler oder Zwänge ausgeglichen werden können.

Die Verfahren und Konstruktionen zum Abhalten von Feuchtigkeit sind im Detail vielfältig ausgeführt worden. So sind in den meisten Bibliographien über Holzschutz einige Kapitel dem baulichen Holzschutz, vor allem dem historischen baulichen Holzschutz, gewidmet.

Es besteht eine Wechselbeziehung zwischen Holzschutz und Bauphysik, welche die Beständigkeit von Material und Bauteil vital beeinflussen können.

In dieser Diplomarbeit wird nicht näher auf den baulichen Holzschutz eingegangen, da dies den Rahmen der Diplomarbeit sprengen würde.

Gelegentlich herrscht der Eindruck, dass der architektonische Ausdruck im Konflikt mit einer technischen einwandfreien Konstruktion steht. Anders ausgedrückt: Es werden formal-ästhetische Gesichtspunkte vor baulich-konstruktiv gute Konzeptionen und Detaillösungen gestellt und somit ist ein Einsatz von chemischem Holzschutz unumgänglich. In besonderem Masse trifft dies für Fassaden zu und ist sicherlich ein Hauptgrund dafür, dass die Aussenwand von Gebäuden und ihre Elemente überdurchschnittlich häufig von Bauschäden betroffen sind.⁷ Können heutige kubische Bauten Jahrhunderte überleben?

Es sind viele hundertjährige Holzbauten bekannt, die heute noch intakt und bewohnt sind und das meist nur durch einen geeigneten baulichen Holzschutz wie Wetterausrichtung und grosse Vordächer, welche die Holzfassade schützen. Darum sollte man versuchen die heutige moderne Bauweise vermehrt mit den historischen Überlieferungen zu verbinden.

⁶ Niemz P (2002). Vorlesungsskript: Holztechnologie I

⁷ Kompetenz-Zentrum Holz (2001). 9. Jahrgang Heft 2

3 Literaturlauswertung historischer Holzschutz

3.1 Historische Übersicht zur Entwicklung des Holzschutzes

Auszug aus der Zusammenstellung der seit dem Jahre 1700 zum Konservieren des Holzes angewendeten Mittel. Verschieden angewandte Mittel werden in der Zeittafel immer wieder erwähnt. Auf Wiederholungen wurde verzichtet, da bei diesen Mitteln meistens nur die Zusammensetzung oder das Verfahren geändert wurde.

Tabelle 3-1 Zusammenstellung der seit 1700 angewendeten Konservierungs-Mittel^{8 9}

Jahr	Autor	Angewendete Mittel	Art und Weise der Konservierung
1705	Homberg	Quecksilberchlorid	Eintauchen des Holzes in die wässrige Lösung des Salzes
1740	Reed	Holzessig	Eintauchen des Holzes
1740	Fagot	Eisenvitriol	Eintauchen
1756	Hales	Holzessig, Teeröl	Durchtränken des Holzes mittels angebrachter Bohrungen
1767	Jackson	Lösung von Seesalz, Kalk, Zinkvitriol, Alaun, Bittersalz und Asche in Seewasser	Das Holz wird mit kleinen Löchern versehen und in die Lösung eingelegt
1772	Horlemann	Seewasser	Einlegen des Holzes
1798	White	Gebrannter Kalk	Einhüllen und Trocknen des Holzes in gebranntem Kalk
1806	Perkins	Seesalz	Die Zwischenräume des Holzes sollen mit Salzkristallen ausgefüllt werden
1808	Engl. Admiralität	Oberflächliche Verkohlung	
1815	Semple	Trocknen des Holzes durch Rauch, dann eintauchen in erhitzten Teer oder Leinölfirnis	
1818	Philosoph. Magazine	Konzentrierte Lösung von Soda oder Pottasche, dann holzessigsäures Eisen oder Blei	Bestreichen des Holzes mit der ersten siedenden Lösung, dann mit der zweiten Flüssigkeit
1822	Cook	Pottaschenlösung	Einlegen des Holzes
1822	Prechtel	Dämpfe von Teer	Das Holz wird erst reinem Wasserdampf, dann dem Dampf einer Mischung von Wasser und Teer ausgesetzt
1824	Cox	Mischung von Fischtran, Harz und Schwefel	Tränkung des Holzes durch Anstreichen oder Einreiben
1830	Cte. De Marolles	Einlegen des Holzes in schlammiges Wasser, dann trocknen desselben	
1832	?	Rauch	Das Holz wird dem Rauch von langsam verbrennendem grünem Holz lange Zeit ausgesetzt
1837	Gesellschaft in Annaberg	Wasserglas und Salzsäure	Einlegen des Holzes während 30 Tagen in Wasserglaslösung, dann einlegen in verdünnte Salzsäure
1841	Bourdon	Lohe, Gerbsäure	Imprägnieren des Holzes mit Abkochung von Lohe
1847	Cox	Erhitzen bis nahe zum Verkohlen, Eintauchen in Teer	Anwendung der Luftleere und des Drucks
1848	Hutin und Boutigny	Schieferöl, oberflächliches Verbrennen, Teer, Pech, Gummilack	Eintauchen in Schieferöl, anzünden und auslöschen in Pech

⁸ Heinzerling Ch. (1885). S. 201-210

⁹ Clausnitzer K.-D. (1989). S. 206-233

1850	François	Zinksalz, Sulfide der Alkali- und Erdmetalle	Eintauchen des Holzes in die Zinklösung, abwaschen mit der zweiten Lösung
1852	De Fontenay	Fettsäure, an Metalloxyde gebunden, Schmieröle	Eintauchen des Holzes in die bis zum Sieden erhitzten Fette
1853	Dering	Rückstände aus galvanischen Batterien	Einlegen
1858	Engl. Anstrich	Bleiweiss, Bleiglätte, Leim, Leinöl, Terpentinöl	Auftragen mittels Maurerkelle
1869	Büttner und Möhring	Borax	Imprägnieren
1873	Hochberger	Petroleum	Anstreichen
1879	Boulton	Kresotöl	Tränken, patentiertes Verfahren
1895	Camp	Chlorzink	Vorbeugung gegen Hausschwamm
1900	Malenkovic	Flusssäure	Anmeldung eines Patents
1908	Haupt	Bekämpfung des Holzwurms	Mehrständiger Aufenthalt im richtig erhitzten Backofen
1913	Bayer AG	Holzschutzsalz Basilit kommt in den Handel	
1921	Wolman	Arsenverbindungen	Erhöht die Schwerauslaugbarkeit
ab 1930	Dänemark	Heissluft	Aussetzen des Holzes an heisser Luft
1933	Gunn	Borverbindungen	Patent angemeldet
1940	Deutschland	90% des Holzschutzmittelbedarfs werden durch Kresot gedeckt	
1944	Deutschland	Alle Holschutzmittel werden prüfpflichtig	
ab 1945 bis ca. 1980	Es werden Tausende neue Patente für verschiedene Holzschutzmittel angemeldet. Die meisten basieren auf Chrom, Fluor, Quecksilber, Salze, etc. Die Verfahren und Holzschutzmittel werden nur gering verändert.		
1963	Kurir	Atommüll	Soll die Erbmasse der Holzschädlinge destruktiv beeinflussen
ab 1970			

3.2 Historischer Holzschutz

Eine besondere Bedeutung erlangten die Konservierungsmethoden des Holzes, als man grosse Mengen Holz für den Eisenbahnunterbau als Schwellen und für Telegraphenstangen verwendete. Die als Eisenbahnschwellen und Telegraphenstangen verwendeten Hölzer sind voll der Witterung ausgesetzt und unterliegen daher in nicht konserviertem Zustand einer raschen Fäulnis oder Vermoderung.¹⁰

So wurden auch, bevor Konservierungsmethoden bekannt waren, Versuche zur Dauerhaftigkeit des Holzes gefahren. Die Hölzer wurden an der Luft im Freien, an der Luft vor Regen geschützt, im Wasser und in der Erde gelagert. Anschliessend wurde verglichen, welches Holz an welchem Ort das dauerhafteste ist. So konnte das richtige Holz am richtigen Ort eingesetzt werden.

Die uns bekannt gewordenen ersten schriftlichen Mitteilungen über die Konservierung des Holzes stammen aus den ersten Jahren des 18. Jahrhunderts, und zwar war es Homburg, der 1705 zur Konservierung des Holzes das Eintauchen desselben in eine wässrige Lösung von Quecksilberchlorid empfahl. Im Laufe des 18. Jahrhunderts wurden namentlich in England verschiedene Patente über Mittel zur Holzkonservierung genommen und in anderen Ländern Vorschläge hierüber gemacht.¹⁰

Quecksilberverbindungen, Kupferverbindungen, Zinkverbindungen, fluorhaltige Verbindungen und Bleiverbindungen - nur um einige zu nennen - wurden bis Mitte des 20. Jahrhunderts angewendet. Und somit sind auch in der Literatur sehr viele Kapitel diesen Verfahren gewidmet. Doch in dieser Arbeit wird nicht näher darauf eingegangen, da schon zu

¹⁰ Heinzerling Ch. (1885). S. 2

dieser Zeit mehrfach an der Unschädlichkeit für Mensch und Tier gezweifelt wurde. Heutzutage weiss man, dass viele dieser Verfahren sehr schädlich für die Umwelt sind.

So wird auch beschrieben, dass mit Quecksilbersublimat getränkte Rebpfähle die Reben zum absterben brachten¹¹.

Es soll schon vorgekommen sein, dass durch Brot Quecksilbervergiftungen entstanden sind, weil das zum Beheizen oder Anfeuern des Backofens verwendete Holz von ausrangierte kyanisierten* Schwellen herrührte.¹²

Holz richtig angewendet und eingebaut, kann auch bei starker Klimabeanspruchung seine Funktion jahrhundertlang gut erfüllen. Historische Holzbauten belegen dies in grosser Zahl. Als Beispiel seien die norwegischen Holzkirchen (Stabkirchen) genannt, die zum grössten Teil zwischen dem 11. und 13. Jahrhundert errichtet wurden (siehe Abbildung 3-1). Alle Aussenbauteile sind bei diesen komplizierten Baukörpern aus Holz und weisen einen guten Zustand auf.¹³



Abbildung 3-1 Die norwegische Stabkirche Borgund¹⁴

3.3 Methoden um 1900

3.3.1 Übersicht

Die Methoden, deren man sich zur Konservierung des Holzes um 1900 bediente, lassen sich in folgende Gruppen einteilen.

Konservierung durch Austrocknung des Holzes

- Trocknen in Darröfen
- Trocknen mit überhitztem Wasserdampf resp. Dämpfen des Holzes
- Ankohlen des Holzes
- Räuchern des Holzes

Konservierung des Holzes durch Luftabschluss

- Überzug mit einer undurchdringlichen Schicht

¹¹ Bub F., Tilger B. (1922). S. 517

* mit Sublimat behandelt

¹² Heinzerling Ch. (1885). S. 133

¹³ Anonymus

¹⁴ www.nord-weg.de/architektur/Stabkirchen_einzigartig%20auf%20der%20Welt.htm [Stand Feb. 04]

- Konservierung der Hölzer mit Flüssigkeiten, welche nach dem Verdampfen der Lösungsmittel die Poren verstopfen
- Luftabschluss durch Erzeugung von unlöslichen Verbindungen im Holz

Imprägnierung des Holzes mit antiseptisch wirkenden Substanzen

- Imprägnierung durch Metallsalze
- Imprägnierung mit Teeröl und ähnlichen Produkten

Konservierung durch Entfernung der leicht zersetzlichen Saftbestandteile aus dem Holz

- durch Auslaugen des Holzes mit Wasser
- durch Auskochen des Holzes
- Verdrängen des Saftes durch Komprimierung des Holzes

3.3.2 Beschreibung ausgewählter Methoden

3.3.2.1 Konservierung durch Austrocknung des Holzes

Darrtrocknen

Trocknet man das Holz bei 90-100 °C hinreichend lange, so kann man dem Holz das gesamte Wasser entziehen, gleichzeitig gerinnen bei dieser Temperatur die im Holz enthaltenen Proteine. Das darrtrockene Holz ist widerstandsfähiger gegen Fäulnis als feuchtes Holz. Kommt aber das trockene Holz mit Feuchtigkeit wieder in Berührung saugt es wieder Wasser auf und unterliegt wie das nicht konservierte Holz der Fäulnis.

Bringt man aber die aus dem Trocknungssofen kommenden Feuerungsgase direkt in Berührung mit dem Holz, so sollen die im Rauch enthaltenen antiseptischen Stoffe, beispielsweise bei Verwendung von Holz als Heizmaterial, Kresot, Holzessig etc., den Konservierungsprozess noch vervollständigen. Die Wirkung dieser im Rauch enthaltenen antiseptischen Stoffe scheint nur eine sehr minimale zu sein: erstens sind diese Stoffe nur in ganz verdünntem Zustand im Rauch enthalten; zweitens haften sie sich meistens nur an die Oberfläche des Holzes, und da die Dauer der Einwirkung kurz ist, so dringen die im Rauch enthaltenen antiseptischen Stoffe kaum merklich in das Holz ein.¹⁵

Heute wird das Trocknen des Holzes nicht mehr als Holzschutz angesehen, es sollte als selbstverständlich angesehen werden, dass Holz mit der geforderten Holzfeuchte verbaut wird.

Ankohlen

Man kann wohl diese Konservierungsmethode des Holzes als eine der am weitest verbreiteten bezeichnen. Jeder Landwirt oder Handwerksmann, welcher Pfähle in den Boden schlägt, kohlt den in die Erde kommenden Teil an und glaubt dadurch das Holz längere Zeit vor Fäulnis zu schützen. Über den Wert der Konservierung durch Ankohlen des Holzes differieren die Ansichten. Einige halten das Ankohlen für gut, während andere es als mehr nachteilig als vorteilhaft für die Konservierung des Holzes betrachten.¹⁶

Bevor Pfähle in den Boden geschlagen werden, kohlt man den in die Erde kommenden Teil an und glaubt nun das Holz hinreichend gegen Fäulnis geschützt. Das Verfahren beruht auf einem Gebrauch, der Tief ins Altertum zurückreicht. Bei Ausgrabungen in Ephesos sowie in Herkulaneum und Pompeji wurden die in den Boden gerammten Gründungspfähle teilweise angekohlt vorgefunden; das gleiche hat man bei freigelegten Pfahlbauten festgestellt.¹⁷

¹⁵ Heinzerling Ch. (1885). S. 64

¹⁶ Heinzerling Ch. (1885). S. 78

¹⁷ Bub F., Tilger B. (1922). S. 371

Ebenso bestätigen Funde von angekohltem Tamariskenholz im Wadi Quena und im Gebiet der Fayun-Wüste aus einer Zeit um 5000 v.Chr. diese Technik.¹⁸

Man benutzte dieses recht einfache Verfahren, um die Lebensdauer der Hölzer zu verlängern. Durch das kontrollierte Verschwelen der äusseren Holzschicht blieb die statische Tragfähigkeit erhalten und die Resistenz gegen holzerstörende Schädlinge nahm zu.¹⁹ Die Anwendungen gingen von angeschwärzten Pfählen bis zu 3 cm tief angeschwärzte Schiffsrümpfe. Das Ankohlen kannte keine Grenzen, und als die Holzkohle immer mehr an Bedeutung gewann, löste der Holzteer, der bei der Herstellung von Holzkohle gewonnen werden kann, das Ankohlen ab.

Verschiedene Verfahren, die zum Ankohlen bzw. Verschwelen benutzt wurden:

- **Flammeinwirkung**

Das einfachste Verfahren zur Ankohlung des Holzes besteht darin, dass man es unter wiederholtem Drehen in ein offenes Feuer hält oder legt.

- **Hoherhitzte Luft**

Ein Vorgänger des heutigen Thermoholzes, wobei dazumal die obersten Schichten verkohlten, da Spuren von Sauerstoff in den Anlagen vorhanden waren.

- **Hoherhitzte Flüssigkeiten**

Als Flüssigkeiten kommen hochsiedende Öle in Betracht, die auf über 150°C, d. h. eine Temperatur, bei der die Verkohlung langsam beginnt, erhitzt werden.

- **Elektrischen Strom**

Mit Strom glühend gemachte Drähte werden über das Holz geführt.

Einzelne Negativpunkte, die Gegner des Ankohlens nannten:

Bei unvorsichtigem Ankohlen kann das Holz rissig werden, und wenn die entstehenden Risse tief eindringen, können von aussen kommende Fäulniserreger in dasselbe dringen und Fäulnis bewirken. Wird mit Pilzen infiziertes Holz nur oberflächlich oder nur der Teil, der in die Erde kommt, angekohlt, so werden die im Holz enthaltenen Pilze nur oberflächlich zerstört und die im Inneren des Holzes noch vorhandenen unzerstörten Pilzmyceliumfäden können das Faulen des Holzes in bekannter Weise bewirken. Ein weiterer Übelstand, namentlich bei der partiellen Ankohlung des Holzes, ist, dass der Fäulnisprozess von dem nicht angekohlten Teil des Holzes ausgeht und von da aus auf die ganze Holzmasse übergeht.²⁰

Auch in der neusten Auflage des Holzlexikons wird dieses Verfahren als unwirksam betrachtet.²¹

„Ankohlen des Holzes, ist als Schutz gegen Fäulnis eine uralte, aber praktisch unwirksame Behandlungsart, die besonders bei Pfählen u.ä. Anwendung fand. Soweit von der dünnen angekohlten Randschicht überhaupt eine Schutzfunktion ausgeht, wird diese durch die sich bildenden Risse wirkungslos. Der Effekt des Ankohlens kann nicht mit einer Hitzebehandlung verglichen werden, da das Holz selbst nicht erhitzt wird.“

Räuchern

Es ist bekannt, dass Holz (Dachschindeln) und Deckstroh von Häusern, die keinen Schornstein haben oder in denen sich der Rauch frei im Innern verbreitet, eine ausserordentlich lange Dauer aufweisen. Nach Jahrhunderten noch leistet solch „geräuchertes“ und zugleich gedarrtes Holz vorzügliche Dienste.²²

¹⁸ Leisse B. (1996). S. 107

¹⁹ Leisse B. (1996). S. 103

²⁰ Heinzerling Ch. (1885). S. 80

²¹ Lohmann U. (2003). S. 44

²² Buresch E. (1880). Der Schutz des Holzes. S. 35

Das konservierende Potenzial von Rauch wird seit ca. 1830 in Kresot-Bestandteilen gesehen.²³

Beim Räuchern werden Holzabfälle, namentlich grobe Sägespäne, auch grünes harziges Astholz, unter beschränkter Luftzufuhr unterhalb des Trockengutes verschwelt. Damit sich möglichst viele teerhaltige Rauchgase entwickeln, soll dabei ein offenes Feuer vermieden werden. Nach dem Anbrennen der Späne darf daher so lange keine Feuerungstür mehr geöffnet werden, bis alle Späne vollständig verbrannt sind. Die Rauchgase müssen sich in der Kammer derart verbreiten, dass sie die Hölzer langsam und von allen Seiten umspülen.²⁴

Man schreibt dem Rauch durch seinen Gehalt an so genannten empyreumatischen* Stoffen, wie Kresot, Phenol, Methylphenole, Ameisensäure u.a., eine gewisse pilzabwehrende Kraft zu, doch kann diese Wirkung nur gering sein, da diese Stoffe nur in kleinen Mengen im Rauch vorkommen, sich ausserdem nur an der Oberfläche des Holzes absetzen, ohne tiefer in dieses einzudringen. Unter anderem entstehen beim Räuchern auch krebserregende (carcinogene) polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe, wie das Benzpyren.²⁵

Die konservierenden Eigenschaften des Rauches auf alle organischen Körper waren schon im Altertum bekannt, später erkannte man, dass diese konservierenden Eigenschaften auf den Gehalt des Rauches von bestimmten organischen Verbindungen, wie z.B. Kresot, Phenol, etc. zurückzuführen seien. So wurden diese flüchtigen Stoffe in der Trockendestillation gewonnen und die dunkelbraune zähflüssige Masse (Holzteer) direkt auf/ins Holz aufgebracht.²⁶

3.3.2.2 Konservierung des Holzes durch Luftabschluss

Überzug mit einer undurchdringlichen Schicht

Nach früheren Anschauungen hatte die äussere Umhüllung der Hölzer den Zweck, den Zutritt der Luft zum Holz zu verhindern, da man annahm, dass der Luftsauerstoff die Zersetzung des Holzes bewirke. In Wirklichkeit wird jedoch die erhöhte Dauerhaftigkeit der trockenen Hölzer nur durch das Fernhalten der Feuchtigkeit und damit das Pilzwachstums bedingt.

Zum Einsatz kamen vor allem Ölfarben, Paraffin, Harze, Kautschuke, aber auch Stoffe rein erdiger Natur wie Lehm und Beton sowie Metallummantelungen²⁷.

Heute werden immer noch solche Methoden angewendet mit modernsten Acrylfarben. Doch auch diese erfüllen den gewünschten Schutz nur, solange wie die Farbschicht intakt ist.

Das Holz durch Luftabschluss zu schützen, erweist sich nur dann wirksam, wenn das Holz vollständig trocken erhalten bleibt. Feuchtes Holz unterliegt, auch wenn dasselbe mit einem luft- und wasserdichten Überzug versehen wird, bald der Fäulnis.

Konservierung der Hölzer mit Flüssigkeiten, welche nach dem Verdampfen der Lösungsmittel die Poren verstopfen

Streng genommen müsste diese Methode bei den Imprägniermethoden beschrieben sein. Aber dazumal wurden bei den Imprägniermethoden nur diejenigen Verfahren beschrieben, die sich auf die Tränkung mit antiseptischen Substanzen bezog. So wurde das Verstopfen der Poren dem Kapitel Konservierung durch Luftabschluss untergeordnet.

²³ A. Scheden (1860). Rationell praktische Anleitung zur Konservierung des Holzes oder die Holzfäule, die Ursache ihrer Entstehung und die Mittel zu ihrer Verhinderung. Leipzig: Matthes S.54

²⁴ Bub F., Tilger B. (1922). S. 874-876

* durch Verkohlung entstanden

²⁵ www.chemienet.info/8-kons.html [Stand Mai 03]

²⁶ Heinzerling Ch. (1885). S. 176

²⁷ Bub F., Tilger B. (1922). S. 320-393

Um eine wirksame Konservierung durch Verstopfen der Poren zu erreichen, sollte das Holz möglichst trocken sein. Zum Ausfüllen der Poren verwendete man Fette, Paraffin, Harze etc., entweder in geschmolzener oder gelöster Form.

Z. B. bewährte sich eine Mischung aus Harz und Paraffin, gelöst in gewöhnlichem Petroleum-Benzin sehr gut. Der Mischung, die aus Paraffin und Petroleum besteht, wurde soviel Harz beigemischt, wie sich lösen liess. In dieser 40°C erhitzten Flüssigkeit wurden die Hölzer bis zu 12 h eingelegt. Das auf diese Weise getränkte Holz war sehr hydrophob.²⁸

Luftabschluss durch Erzeugung von unlöslichen Verbindungen im Holz

Das zu behandelnde Holz wurde mit zwei verschiedenen Flüssigkeiten getränkt. Diese zwei Flüssigkeiten bildeten durch eine Wechselwirkung einen unlöslichen Niederschlag im Holz. Es wurden viele verschiedene Mittel verwendet. Als erste Flüssigkeit wurden z.B. Zinkvitriol, Kupferchlorid, Eisenvitriol u.a. verwendet. Häufig wurde als zweite Flüssigkeit Kalkwasser bevorzugt. Andere verwendeten als erste Lösung Zinkchlorid, die durch Reaktion mit schwacher Seifenlösung eine unlösliche Zinkseife im Holz entstehen liess.

Die wesentlichen Nachteile dieser Verfahren waren, dass das Holz zweimal getränkt werden musste und somit eines hohen Zeitaufwands bedarf. Weiter ging die Wechselzersetzung im Holz nur sehr unvollständig vor sich und es entstand meistens nur in der obersten Schicht ein unlöslicher Niederschlag. Es wurde nie ein vollständiger Abschluss der Luft und Feuchtigkeit erreicht.²⁹

3.3.2.3 Imprägnierung mit antiseptischen* Substanzen

Die verschiedenen Verfahren, deren man sich bediente, um zur Konservierung dienende Substanzen in das Holz zu bringen, lassen sich in folgender Weise klassifizieren.³⁰

- Ein- oder mehrmaliges Anstreichen der Hölzer
- Einlegen der Hölzer in die kalte oder erwärmte Imprägnierflüssigkeit
- Kochen der Hölzer in der Imprägnierflüssigkeit
- Einpressen der zur Konservierung dienenden Flüssigkeit unter Druck
- Einpressen der Imprägnierflüssigkeit durch hydraulischen Druck
- Aufsaugung der Imprägnierflüssigkeit durch die gewöhnliche Lebenstätigkeit der Pflanze
- Das Holz wird den Dämpfen der konservierenden Substanz ausgesetzt.

Aus der heutigen Sicht kann man sagen, dass sich eigentlich nur zwei dieser Verfahren durchgesetzt haben. Sicherlich das ein- oder mehrmalige Anstreichen des Holzes, wobei hier anzumerken ist, dass mit einem Oberflächenanstrich mit geringer Tiefenwirkung nicht die gleich guten Resultate erzielt werden wie beim Einpressen mit Druck. Beim Einpressen mit Druck wurden über die letzten Jahrzehnte diverse Verfahren entwickelt und patentiert. So wurden für verschiedene Imprägniermittel eigene Verfahren entwickelt.

Die am häufigsten verwendeten Imprägniermittel waren:

Zinkchlorid, Kupfervitriol, Quecksilbersublimat, Kresot, Eisensalze, Kalk, Borax, Wasserglas, Arsenverbindungen, Bleisalzen, Teeröl, Lösungen von Paraffin.

Heute werden hauptsächlich Imprägniermittel auf der Metallsalzbasis verwendet. Chrom macht den grössten Teil der verwendeten Verbindungen aus, da Chrom im Holz fixiert werden kann und somit schwer auswaschbar ist. Doch wird mittelfristig ein Verbot der Chromverbindungen zu erwarten sein, da diese sehr giftig sind.

²⁸ Heinzerling Ch. (1885). S. 84/85

²⁹ Heinzerling Ch. (1885). S. 85-88

* keimtötend

³⁰ Heinzerling Ch. (1885). S.88-107

Borate

Erst Mitte des 20. Jahrhundert ist man sich über die Wirksamkeit des Bors gegenüber holzerstörenden Organismen klar geworden, parallel mit der zunehmenden Bedeutung des Schutzes im Hochbau. Als hervorragende Vorteile der Borverbindungen können ihre gute und vielseitige vorbeugende Wirksamkeit gegen Insekten und Pilze, ihre geringe Toxizität für Menschen und Tiere und das Fehlen von Eigengeruch und Gasphase (Dampfabgabe) genannt werden. Ihre Toxizität ist mit derjenigen von Kochsalz vergleichbar. Sie sind also nicht „ungiftig“, doch stellen sie die zurzeit mit Abstand „harmlosesten“ Holzschutzmittel dar. Dieser Umstand, die natürliche Herkunft und ihre Anwesenheit als Spurenelement in der Erdkruste, im Wasser und sogar in Pflanzen machen Borverbindungen in der Meinung vieler zum natürlichen ökologischen Holzschutzmittel Nr. 1 - sofern sie nicht mit Stoffen synthetischer Herkunft verschnitten sind.

Als Nachteil der Borverbindungen muss die Unbeständigkeit gegen Wassereinflüsse genannt werden. Sie können bei Beregnung oder auch bei ständig hoher Holzfeuchte durch Diffusion ausgelaugt werden, so dass eine Verwendung im Freien und unter dauerfeuchten Bedingungen nicht in Betracht kommt. Dies reduziert ihre Anwendbarkeit deutlich. Borverbindungen sind daher nur für witterungsgeschütztes Holz unter Dach einsetzbar.^{31 32}

Soda, Pottasche

Im österreichischen Brixental gibt es über 600 Jahre alte Holzhäuser ohne jegliche Fäulnisbildung, die – als einzige Holzbehandlung – seit Jahrhunderten nur regelmässig mit Soda bzw. Pottaschenlaugen abgelautet werden.³³

Sodalauge und Pottaschenlösung (=Holzasche, gelöst in Wasser) wird in manchen baubiologischen Kreisen als vorbeugendes Holzschutzmittel empfohlen. Frühere Anwendungen an Holz im Aussenbereich ohne weitere Folgeschäden durch holzerstörende Organismen gab Anlass, eine passable Holzschutzwirksamkeit zu erwarten. Wahrscheinlich aber wären Schädlinge ohnehin nicht gewachsen, wurde der Holzschutzeffekt durch den guten konstruktiven Holzschutz erreicht.³⁴

Wie zuvor die Borate ist auch bei Soda und Pottasche das Problem der Wasserlöslichkeit, was ein eingeschränktes Anwendungsgebiet aufzwingt. Daher ist bei solchen Holzschutzmittel der konstruktive Holzschutz umso wichtiger.

Holzteer

Schon im Altertum wurden Hölzer im Aussenbereich mit Pech behandelt. Es ist ein gutes preiswertes Mittel zur Behandlung von Aussenverbreterung und Fachwerk. Aufgrund seiner dunklen Farbtonung ist auf der Südseite allerdings wegen der starken Aufheizung der Oberfläche Vorsicht angebracht.³⁵

Der Holzteer wird durch eine trockene Destillation gewonnen. Die trockene Destillation von Holz ist ein Vorgang, bei dem die Holzmasse unter Luftabschluss allmählich erhitzt wird. Die Holzmasse verkohlt und zersetzt sich, wobei sich eine Vielzahl von flüchtigen Zersetzungsprodukten bildet. Diese flüchtigen Stoffe werden in einem Kühler kondensiert. Auf diese Weise erhält man nacheinander diverse farblose bis gelbliche wässrige und ölige Flüssigkeiten, die allmählich braun und zuletzt schwarz werden. Mit dieser Farbveränderung

³¹ Leisse B. (1996). S. 100-103

³² Lohmann U. (2003). S. 175

³³ Weissenfeld P. (1983). S. 110

³⁴ Leisse B. (1996). S. 131

³⁵ Weissenfeld P. (1983). S. 19-110

geht eine Änderung der Konsistenz einher, so dass die zuletzt kondensierten Substanzen wie Pech im Kühler erstarren. Die Restmasse des erhitzten Holzes ist reine Holzkohle.³⁶

Über die Problematik der Holzeisenbahnschwellen³⁷

Mit Teeröl imprägnierte Bahnschwellen dürfen seit dem 1. Oktober 2001 nur noch zur Verwendung ausserhalb von Wohnsiedlungen abgegeben werden. Die Abgabe ist zulässig für Gleisanlagen, Hang- und Lawinenverbauungen, Lärmschutzwände, Weg- und Strassenbefestigungen, Sockelbereiche von Leitungsmasten und andere vergleichbare Anlagen.

Für Krebs erzeugende Substanzen in teeröhlhaltigen Holzschutzmitteln gelten neu Grenzwerte. Der Verkauf von gebrauchten Schwellen, deren Holzschutzmittel über diesen Grenzwerten liegen, wird nach dem Juli 2005 verboten sein.

Für bereits eingebaute Schwellen gibt es keine Sanierungspflicht. Empfohlen wird die Sanierung auf Kinderspielplätzen, in Innenräumen und wenn sie als Gartenmöbel verwendet werden.

Wer die Bahnschwellen entsorgen will, ist verpflichtet, sie umweltgerecht zu entsorgen, z.B. in einer Kehrichtverbrennungsanlage.

3.3.2.4 Entfernung der leicht zersetzlichen Saftbestandteile

Zur Zeit als man noch glaubte, dass der Zellsaft die Zersetzung des Holzes bewirke, hielt man die möglichst vollständige Entfernung desselben oder die Überführung der darin vorkommenden Proteine in unlöslichen, koagulierten Zustand für die wirksamste Methoden der Holzkonservierung.³⁸

Das Auslaugen der Hölzer hat den Zweck, die gelösten oder eingetrockneten Zellsaftbestandteile zu entfernen und das Holz zugleich für eine spätere Tränkung aufnahmefähiger zu machen. Ausgelaugtes Holz ist erheblich weniger wasseranziehend, trocknet deshalb rascher, schwindet und quillt nur noch in geringerem Masse und auch gleichmässiger.³⁹

Die in der Praxis vielfach verbreitete Auffassung, dass Auslaugen gegen Pilz- und Insektenbefall schütze, ist nicht haltbar.⁴⁰

Auslaugen des Holzes mit Wasser

Dieses Verfahren ist das einfachste. Das geschälte Rundholz wird zu diesem Zweck in möglichst rasch fliessendes Wasser vollständig untergetaucht. Hier bleibt das Holz bis zu zwei Jahren. Der Erfolg dieser Art des Auslaugens ist sehr gering, da der Vorgang sehr langsam erfolgt. An ein vollständiges Auslaugen der löslichen Stoffe ist nicht zu denken.

Auskochen des Holzes

In kochendem Wasser kann das Holz schneller ausgelaugt werden. Doch ist dieses Verfahren infolge seiner Umständlichkeit gewöhnlich nur bei kleineren Werkstücken anwendbar. Man kann annehmen, dass nur anorganische und organische Salze sowie Kohlenhydrate neben anderen organischen Bestandteilen in Lösung gehen.

³⁶ Leisse B. (1996). S. 103-112

³⁷ <http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/wegweiser/faq/artikel/20021016/00188/> [Stand Mai 03]

³⁸ Heinzerling Ch. (1885). S. 195

³⁹ Bub F., Tilger B. (1922). S. 302

⁴⁰ Lohmann U. (2003). S. 80

Verdrängen des Saftes durch Komprimierung des Holzes

Man versuchte Holz dadurch vom Saft zu befreien, indem man die Holzstämme unter starkem Druck durch Metallwalzen gleiten liess, die allmählich enger gestellt wurden und dabei auf das Holz einen stetig wachsenden Druck ausübten. Wohl wurde das Holz auf diese Weise härter, dichter und schwerer, hatte auch die kleineren Schwind- und Quellmasse, doch büsste es auch erheblich an Elastizität ein.⁴¹

Auch an der ETH Zürich wurden solche Versuche durchgeführt. Mit dem Ergebnis, dass der Energieaufwand in keinem Verhältnis zu den erreichten Zielen steht.⁴²

3.3.2.5 Versteinerung / Verkieselung von Holz

Da das in der Natur vorkommende fossile Holz eine gleiche Dauerhaftigkeit wie Gestein zeigt, hat man die Versteinerung des Holzes künstlich nachzuahmen versucht. Schon um 1850 erkannte man die Dauerhaftigkeit von versteinertem Holz. Da die natürlich versteinerten Hölzer nicht oder schwer zu bearbeiten sind, versuchte man den Vorgang künstlich nachzuahmen. Es wurden diverse Verfahren entwickelt⁴³, doch auf ein wirklich befriedigendes Ergebnis kam man bis heute noch nicht.

Unter der Leitung von Dr.- Ing. M. Bucker wird an der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) seit mehreren Jahren die Versteinerung des Holzes versucht. Nach dem aktuellen Stand kann Holz bisher nur im Labor versteinert werden. Mit einem speziell entwickelten Verfahren werden alle zugänglichen Oberflächen mit Kieselgel beschichtet. Die ersten Ergebnisse sind viel versprechend. So weisen diese Proben eine verringerte Feuchteaufnahme, erhöhte Formstabilität, verbesserte biologische Beständigkeit und Erhalt der mechanischen Eigenschaften auf. Weiter stellt die Entsorgung des Holzes und daraus gefertigter Produkte keine Probleme dar, da keine gesundheitsgefährdenden Substanzen vorliegen oder bei der Entsorgung entstehen.⁴⁴

Zweck der Verkieselung ist, Härte und Druckfestigkeit des Holzes und die Entflammbarkeit herabzusetzen und die natürliche Dauerhaftigkeit zu verbessern.⁴⁵

⁴¹ Bub F., Tilger B. (1922). S. 303

⁴² Niemz P. (2002). S. 57

⁴³ Bub F., Tilger B. (1922). S. 378-392

⁴⁴ Bucker M., Böcker W. (2001). Mineralisiertes Holz, Faltblatt von BAM-IV.2 und der DGfH

⁴⁵ Lohmann U. (2003). S. 571

4 Versuche / Ergebnisse

4.1 Versuchsübersicht

Tabelle 4-1 Übersicht über die getätigten Versuche und verwendeten Holzschutzmittel

	1	2	3	4	5
U-653	X	X	X	X	X
E-653	X				X
Pavatex	X				X
Borsäure	X				X
Soda	X				X
Pottasche	X				X
Osmo Color	X		X	X	X
Holzteer	X				X
Thermoholz			X	X	
Warmrauch	X		X	X	
Rauchkondensat modi. Var.1	X			X	
Rauchkondensat modi. Var.2	X			X	
Rauchkondensat modi. Var.3	X			X	
Rauchkondensat modi. Var.4	X			X	
Pento Fluid	X		X	X	X
Lasinol UV	X				X
Pento Antihydro	X				X
Alerce	X				
Alerce gekocht	X				
unbehandelt	X	X	X	X	X

1	Pilzbefall DIN EN 113
2	Wechselklima
3	Wasserdampfdurchlässigkeit DIN 52615
4	Wasseraufnahmekoeffizienten DIN EN ISO 15148
5	Freibewitterung

4.2 Trägermaterial

In den vorliegenden Versuchen wurde hauptsächlich die Fichte als Versuchsholz ausgewählt, da gerade sie in unseren Breiten vielfach genutzt wird und gleichzeitig aber für ihre geringe Dimensionsstabilität und geringe Dauerhaftigkeit bekannt ist. Die genaue Form, wie die Fichte (*Picea abies*) in den jeweiligen Versuchen verwendet wurde, wird in jedem Versuch einzeln beschrieben.

4.3 Holzschutzmittel

4.3.1 Auswahl der Holzschutzmittel / Behandlungsarten

Die Auswahl der Holzschutzmittel musste möglichst schnell erfolgen, damit erste Ergebnisse der Langzeitversuche bis Ende des Praktikums vorlagen. Es wurde auf die Literaturrecherche gestützt. Weiter wurde mit Holzschutzmittelherstellern Kontakt aufgenommen, die einige Systeme zur Verfügung stellten.

Leider stand für diesen Teil der Arbeit zu wenig Zeit zur Verfügung, denn schon kurz nach Versuchsbeginn und tieferer Literaturrecherche konnte festgestellt werden, dass sich einzelne Systeme nicht eignen werden.

Bei den Produkten, bei denen Herstellerangaben vorhanden waren, wurden diese eingehalten. Die Auftragsmenge kann von Probe zu Probe variieren, da pro Produkt nur einmal die Auftragsmenge abgemessen wurde und die nachfolgenden Proben nach Gefühl der Referenzprobe behandelt wurden.

4.3.2 Beschreibung der einzelnen Behandlungsarten

4.3.2.1 U-653

Dieses natürliche Produkt wurde von W. Minder, Yverdon über Jahre nach den Geheimnissen der Natur entwickelt.

Dieses sehr basische Seifenprodukt reagiert mit dem sauren Regen und Nebel, entfernt mit antistatischer Kraft Staub und Verunreinigungen, lässt Moose, Algen und die meisten Pilze austrocknen. Ein Steinfilm wird auf den Porenwänden gebildet, durch den kein Wasser mehr eindringen kann. Trotzdem bleibt die Oberfläche atmungsaktiv. U-653 kann auch auf Beton oder Backstein angewendet werden.

Die in U-653 enthaltenen mineralischen Bestandteile sind nicht elastisch, das heisst nicht rissüberbrückend. Sie sind jedoch wegen der starken Alkalität fungizid und haben antibakterielle Eigenschaften.

Anwendung: Das Mittel wurde mit dem Pinsel 2-mal aufgetragen. Die Auftragsmenge war ca. 3 dl pro m².

Die behandelten Proben wurden mit handelsüblichem Mineralwasser besprüht, da zu wenig Zeit zur Verfügung stand diese natürlich zu bewittern. Diese Massnahme wurde von Herrn Minder empfohlen.

Giftklasse: U-653 ist giftklassenfrei, frei von organischen Lösungsmitteln, erzeugt keine problematischen Dämpfe für den Anwender, enthält natürliche Substanzen. Kann sorglos auch bei Bienenstöcken eingesetzt werden.⁴⁶

Der pH-Wert wurde mit Indikatorpapier gemessen. pH-Wert: 12

Merkbblatt: siehe Anhang A5, Seite A-40

4.3.2.2 E-653

Dieses Produkt stammt wie das U-653 von W. Minder, Yverdon. E-653 besteht hauptsächlich aus speziellem Holzstaub. Dieses Mittel lässt eiserne Teile rasch rosten, da es eine natürliche Säure ist.

Anwendung: siehe Anwendung U-653

Giftklasse: siehe Giftklasse U-653

Der pH-Wert wurde mit Indikatorpapier gemessen. pH-Wert: 5

4.3.2.3 Konzentrat des Kreislaufwassers der Firma Pavatex

Einfachheitshalber wird in den weiteren Kapiteln nur noch der Name Pavatex für dieses Konzentrat des Kreislaufwassers verwendet.

Für die Herstellung von Weichfaserplatten werden enorme Mengen Wasser verwendet (als Fliessmittel etc.). Dieses Prozesswasser ist nach einigen Produktionsdurchgängen Abfall. Dieses Wasser darf nicht der Kanalisation beigegeben werden, sondern muss aufwendig entsorgt werden. Eine Semesterarbeit an der SH-Holz (P. Iseli, M. Soltermann) gab den Anstoss dieses Kreislaufwasser als Holzschutzmittel einzusetzen.

Dieses Konzentrat besteht hauptsächlich aus Nadelholzinhaltsstoffen, wie Zucker, Harz, Paraffin etc. Es wurde durch die Hydrolyse gewonnen.

Anwendung: Die Proben wurden im Exsikkator vakuumimprägniert, d.h. drei Stunden bei einem Unterdruck von ca. 40 mbar. Es wurden verschiedene Verfahren getestet, doch bei diesem Vakuumverfahren wurde die beste Aufnahme des Mittels verzeichnet. Durch dieses Verfahren wurde ca. 200 kg/m³ eingebracht, wodurch bei einem Festkörpergehalt von ca. 34.5% eine Einbringmenge von ca. 70 kg/m³ resultiert.

⁴⁶ www.wminder.ch [Stand Nov. 03]

Giftklasse: Da das Kreislaufwasser nicht der Kanalisation beigegeben werden kann, wird vermutet, dass die ganzen Inhaltsstoffe nicht unschädlich für die Umwelt sind.

Genauere Angaben können dazu aber nicht gemacht werden.

Der pH-Wert wurde mit Indikatorpapier gemessen. pH-Wert: 4

4.3.2.4 Borsäure H_3BO_3

Vergleiche Kapitel 3.3.2.3 Borate

Das Borsalz ist als Pulver im Fachhandel erhältlich.

Anwendung: Man stellt eine 5-10%ige Lösung her, indem das Borsalz in heissem Wasser gelöst wird⁴⁷. Es wurde eine 8%ige Lösung (80 g Borsäure pro Liter Wasser) hergestellt. Diese Lösung wurde zweimal bei ca. 80°C mit dem Pinsel aufgetragen.

Giftklasse: Das Element Bor ist mit rund 10-30 ppm Anteil ein nicht unwesentlicher Bestandteil der obersten Erdkruste. In der Natur gibt es zahlreiche Verbindungen mit diesem Element. Die wichtigsten sind anorganische Metallborate bzw. Sauerstoffverbindungen des Bors wie z.B. Borsäure oder Borax.⁴⁸

Geringe Toxizität ist mit derjenigen von Kochsalz vergleichbar.

4.3.2.5 Soda $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, Pottasche K_2CO_3

Vergleiche Kapitel 3.3.2.3 Soda, Pottasche

Das Soda und Pottaschenpulver sind im Fachhandel erhältlich.

Da sich die Rezeptur und Anwendung nicht von einander unterscheiden, wurden die Produkte zusammengefasst.

Anwendung: Es wurde eine 5%ige Lösung (50g Soda oder Pottasche pro Liter Wasser) hergestellt⁴⁹. Die Lösung wurde aufgekocht und bei 80°C mit dem Pinsel aufgetragen.

Giftklasse: Stark alkalisch

4.3.2.6 Holzteer

Vergleiche Kapitel 3.3.2.3 Holzteer

Holzteer ist die Bezeichnung für die zähflüssige bis halbfeste, braun- bis tiefschwarze Flüssigkeit, die bei der Destillation von Holz, v.a. von harzreichen Hölzern anfällt.

Wie bei den Teeren, die aus Stein- und Braunkohle gewonnen werden, ist auch die Zusammensetzung von Holzteer weitgehend ungeklärt. Bekannt ist, dass Holzteer im Vergleich zu den Stein- und Braunkohlenteeren einen geringeren Kohlenstoffgehalt besitzt.

Sein Phenolgehalt liegt etwa bei 40% (Steinkohlenteer ca. 0,4%).

Der Holzteer ist im Fachhandel erhältlich.

Anwendung: Der Holzteer wurde mit 10% Spezialverdünner (Hocharomatisches Kohlenwasserstofflösemittel, Shellsol A⁵⁰) gemischt und mit dem Pinsel 2-mal aufgetragen.

Giftklasse: Krebserregende Substanzen wie Benzo-a-pyren (1.5-3.0 ppm) vorhanden.

Siehe auch Kapitel 3.3.2.3 über die Problematik der Holzseisenbahnschwellen.

4.3.2.7 Thermoholz

Vergleiche Kapitel 2.5.1.1 Thermoholz

Anwendung: Die Proben wurden im Labor der ETH Zürich mit Hitze behandelt. Die zugeschnittenen Proben wurden während 24 Stunden bei 200°C im Vakuumschrank modifiziert.

⁴⁷ Weissenfeld P. (1983). S. 53

⁴⁸ Leisse B. (1996). S. 100-103

⁴⁹ Weissenfeld P. (1983). S. 111

⁵⁰ www.kremer-pigmente.de [Stand Feb. 04]

Giftklasse: Ein Vorteil von Thermoholz ist seine Ungiftigkeit, da dem Holz keine Biozide oder andere Behandlungsmittel zugeführt werden und das Holz auch nach der Behandlung nur Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff enthält.
PH-Wert: 5.4⁵¹

4.3.2.8 Warmrauch

Vergleiche 3.3.2.1 Räuchern

Beim Rauchverfahren konnte an der SH-Holz in Biel eine Räucherammer benutzt werden (Fessmann, Turbo 1800 RT). Beim Räuchern möchte man die Holztrocknung und die Konservierung des Holzes miteinander verbinden. So wurde nur sägefresches (80-110% Holzfeuchte) Holz geräuchert und im Zyklus von 12 Minuten räuchern und 20 Minuten trocknen in 43 Stunden auf ca. 9% Holzfeuchte heruntergetrocknet (Trockenzeit bestimmt durch Nomogramm - Abbildung 4-1).

In der Kammer herrschte während des ganzen Verfahrens eine Temperatur von 60°C. Die für diese Versuchsreihe zugeschnittenen Proben wurden zuerst drei Stunden mit Wasser vakuumimprägniert, so dass sie einen hohen Wassergehalt (60-90%) aufwiesen. Trockenzeit bestimmt nach Bosshart.⁵²

Giftklasse: Beim Räuchern entstehen auch krebserregende polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), vor allem das Benzo-a-pyren.

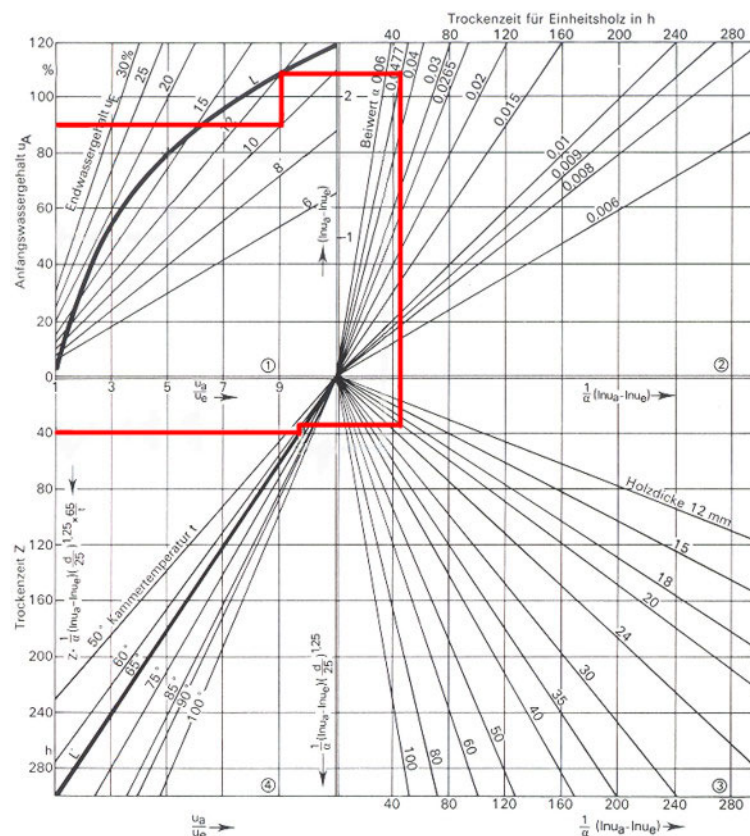


Abbildung 4-1 Nomogramm zur Ermittlung der Trockenzeit (nach R. Keylwerth 1951).

Die Trockenzeit ist abhängig von Anfangs- und Endfeuchtigkeit (u_A bzw. u_E); darauf wird im Quadranten 1 des Nomogrammes Rücksicht genommen. Die beiden Argumente werden in der stark ausgezogenen

⁵¹ Bächle F. (2004). S. 13

⁵² Bosshard H. (1984). S. 103

Leitlinie (L) in Hinsicht auf die weitere Bestimmung der Trocknungszeit zusammengefasst. Nach den entsprechenden Wassergehalten ($u_A=90\%$, $u_E=10\%$) ist im Koordinatensystem der massgebende Leitpunkt zu finden (rote Linie). Die Trocknung wird sodann beeinflusst durch den Wärmeübergang von der Umgebungsatmosphäre in das Holz. Dafür sind Beiwerte α errechnet worden. Für Weichholz arbeitet man erfahrungsgemäss mit dem Beiwert $\alpha=0.0477$. Vom Leitpunkt des 1. Quadranten ist im 2. Quadranten der Beiwert zu berücksichtigen, im 3. Quadranten sodann die Brettdicke (20 mm). Schliesslich wird die Trockenzeit massgebend bestimmt durch die Kammertemperatur; der direkte Zusammenhang ist zu ermitteln, indem der Schnittpunkt der roten Linie mit der geltenden Temperaturgerade (60°C) auf die Leitgerade L' übertragen wird. Das gesuchte Ergebnis, die erforderliche Trockenzeit, findet man in der Ordinate des 4. Quadranten.

4.3.2.9 Rauchkondensat modifiziert Variante 1-4

Hierbei handelt es sich um ein Rauchkondensat, das verschieden modifiziert wurde. Die verschieden modifizierten Rauchkondensate wurden mittels eines Dampfkochtopfs in die Proben imprägniert. Die genauen Angaben behält die HSB Biel vorerst zurück.

Kontaktperson an der HSB Biel: E. Zürcher

4.3.2.10 Pento Fluid IP⁵³

Pento Fluid ist ein farbloses, wasserverdünnbares, offenporiges Anstrichsystem mit grosser Eindringtiefe auf der Basis von Leinöl-Fischölkalkydharnen. Dank des hohen Festkörpergehaltes (ca. 53%) reduziert Pento Fluid IP das Schwinden und Quellen sowie die Rissbildung.

Vom Hersteller wird empfohlen die Behandlung alle 3-5 Jahre zu wiederholen.

Anwendung: Das Produkt wurde nach Herstellerangaben verarbeitet und mit dem Pinsel aufgetragen. Einmal Pento Fluid allseitig plus 2-mal Pento Fluid sichtseitig. Zwischen den einzelnen Anstrichen wurde die Trocknungszeit von 24h eingehalten.

Giftklasse: Das Produkt ist giftklassenfrei, doch sollten Reste nicht ins Abwasser, Oberflächengewässer, Grundwasser oder Boden gelangen. Grössere Produktmengen als Sonderabfall entsorgen. Die Dämpfe können zu Reizungen der Atemorgane führen.

Wirkstoffe: 0.9% Iodopropinyl-butylcarbammat,
0.49% 4,5-Dichlor-2-octyl-4-isothiazolin-3-on

Merkbblatt: siehe Anhang A5, Seite A-41

4.3.2.11 Lasinol UV⁵³

Lasinol UV ist eine farblose, wasserverdünnbare, sehr wetterbeständige und feuchtigkeitsresistente Lasur auf Basis eines Acryl-Polyurethan-Bindemittels. Bei der Anwendung von Lasinol UV sollte zuerst der Untergrund mit Pentol Aquagrund BI behandelt werden. Diese farblose wasserverdünnbare Holzschutzgrundierung hat die Eigenschaft, vorbeugend gegen Insekten- und Bläuebefall zu wirken.

Anwendung: Die Produkte wurden nach Herstellerangaben verarbeitet und mit dem Pinsel aufgetragen. Zuerst wurde reichlich Pentol Aquagrund BI aufgetragen. Nach der Trocknungszeit von 10 h wurde dann Lasinol UV allseitig aufgetragen und nach einer weiteren Stunde nochmals, aber nur sichtseitig.

⁵³ www.pentol.ch [Stand Aug. 03], Pentol Holzschutz, CH-4203 Grellingen

Giftklasse: Giftklassenfrei, Produktreste als Sonderabfall entsorgen.

Lasinol UV:

Nicht einatmen, nicht in Oberflächengewässer, Grundwasser oder Boden gelangen lassen.

Keine Holzteile behandeln, die von landwirtschaftlichen Nutztieren abgeleckt oder benagt werden.

Aquagrund BI:

Nicht einatmen, Haut und Augenkontakt vermeiden, nicht in Wohn- oder Schlafräumen anwenden, Fischgift, nicht in Oberflächengewässer, Grundwasser oder Boden gelangen lassen.

Wirkstoffe:

Lasinol UV: Wirkstofffrei

Aquagrund BI: 0.6% Iodpropinyl-butylcarbamate, 0.05% Permethrin.

Merkblatt: siehe Anhang A5, Seite A-43

4.3.2.12 Pento Antihydro⁵³

Pentol Antihydro ist eine speziell wasserabweisende, offenporige, lösemittelhaltige Imprägnierung. Wasser perlt auf rohem Holz noch nach Jahren ab.

Bei der Anwendung mit Pento Antihydro sollte zuerst eine Grundierung mit vorbeugender Wirkung gegen Pilz-, Insekten- und Bläuebefall verwendet werden. Penta Stabilo ist eine farblose, tief eindringende ölige Imprägnierung, die diesen Anforderungen entspricht.

Anwendung: Die Produkte wurden nach Herstellerangaben verarbeitet und mit einem Pinsel aufgetragen. Zuerst wurde reichlich Penta Stabilo allseitig aufgetragen. Nach der Trocknungszeit von 15h wurde dann Pento Antihydro einmal sichtseitig aufgetragen.

Giftklasse: Giftklassenfrei, Produktreste als Sonderabfall entsorgen.

Pentol Antihydro:

Keine Holzteile behandeln, die von landwirtschaftlichen Nutztieren abgeleckt oder benagt werden. Nicht in Oberflächengewässer, Grundwasser, Boden oder Kanalisation gelangen lassen, auch nicht in kleinen Mengen. Trinkwassergefährdung bereits beim Auslaufen geringster Mengen in den Untergrund.

Penta Stabilo:

Fisch- und Bienengift, nicht einatmen, Haut und Augenkontakt vermeiden, nicht in Oberflächengewässer, Grundwasser oder Boden gelangen lassen.

Wirkstoffe:

Pento Antihydro: Wirkstofffrei

Penta Stabilo: 0.8% Tolyfluanid, 0.05% Permethrin.

Merkblatt: siehe Anhang A5, Seite A-47

4.3.2.13 Osmo Color Gard Braun^{Classic} (Zaun- und Gartenlasur)

Die Zaun- und Gartenlasur ist ein lösemittelbasierender, leicht pigmentierter ökologischer Anstrich, der aus dem Saft der Waid-Pflanze hergestellt wird.

Anwendung: Das Produkt wurde nach Herstellerangaben verarbeitet und mit dem Pinsel 2-mal aufgetragen. Zwischen den einzelnen Anstrichen wurde die Trocknungszeit von 12h eingehalten.

Giftklasse: Giftklassenfrei, unbedenklich für Mensch Tier und Pflanze nach getrocknetem Anstrich.

Die üblichen Vorsichtsmassnahmen beim Umgang mit Chemikalien beachten.

Produktreste als Sonderabfall entsorgen.

Nicht in Gewässer oder Kanalisation gelangen lassen.⁵⁴

⁵⁴ Sicherheitsdatenblatt 1611 OSMO COLOR Gard Braun

Wirkstoffe: Wirkstofffrei

Merkblatt: siehe Anhang A5, Seite A-51

4.3.2.14 Alerce unbehandelt / gekocht

Alerce (*Fitzroya cupressoides* Johnst.) kommt in Südamerika (z.B. Südchile und Südargentinien) vor. Da dieses Holz gegenüber Pilzen und Insekten sehr dauerhaft ist, wurde anhand dieses Holzes versucht aufzuzeigen, ob ein Holz dem die Inhaltsstoffe ausgewaschen wurden resistenter oder unresistenter ist.

Die Hälfte der Proben wurden direkt dem Pilzversuch ausgesetzt. Die andere Hälfte wurde zuerst zehn Stunden im Dampfkochtopf gekocht, wobei das Wasser 4-mal ausgewechselt wurde. Anschliessend wurden die Proben noch eine Stunde in Alkohol gekocht. Auf diese Weise wurde ein Grossteil der Inhaltsstoffe ausgewaschen, was leider nicht durch eine Gewichtsabnahme unterlegt werden kann, doch wurde bei jedem Wasserwechsel eine dunkelbraune Brühe weggeschüttet.

4.3.2.15 Unbehandelt

Um einen Bezugswert zu den verschiedenen Behandlungsarten zu haben, wurden bei jeder Versuchsreihe unbehandelte Proben als Kontrolle mitgetestet.

4.4 Pilzbefall

4.4.1 Einleitung

Holzerstörende Pilze an bewitterten Holzbauteilen wie Fassaden, Fenstern, Fensterläden und Balkonen haben eine grosse wirtschaftliche Bedeutung. Bei entsprechenden biogenen Schäden sind anstelle eines blossen Ersatzes oder einer chemischen Behandlung der fehlerhaften Bauteile die Detailfehler der Konstruktion zu beheben, so dass das Holz nicht mehr durchnässt werden kann.⁵⁵

Um zu überprüfen, inwieweit die verschiedenen Behandlungsarten die Resistenz gegenüber holzerstörenden Pilzen beeinflussen, wurden sogenannte „Abbauversuche“ in Anlehnung an DIN EN 113 durchgeführt, bei denen behandelte und unbehandelte Prüfkörper aus Fichte dem Angriff von holzerstörenden Pilzen (vgl. Tabelle 4-2) in Reinkultur ausgesetzt wurden. Dazu wurden die Prüfkörper in die Versuchsschalen mit den Prüfpilzen eingebaut und nach Versuchsablauf der Grad der Holzerstörung über den prozentuellen Massenverlust der Prüfkörper ermittelt.

4.4.2 Begriffe

4.4.2.1 Statistische Auswertung

Mittelwert \bar{x}

Der arithmetische Mittelwert ist die Summe der Einzelwerte x_i der Stichprobe geteilt durch ihre Anzahl n .

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{Formel 1}$$

Varianz s^2

Die Varianz s^2 einer Stichprobe ist die Summe der Quadrate der Abweichungen der Einzelwerte vom arithmetischen Mittelwert dividiert durch die Zahl der Freiheitsgrade, $f = n - 1$.

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad \text{Formel 2}$$

Standardabweichung s

Die Standardabweichung s der Stichprobe ist die positive Wurzel aus der Varianz.

Sie ist ein Mass für die Streuung der Einzelwerte x_i um den Mittelwert \bar{x} . Die Standardabweichung hat die Masseinheit der Einzelwerte.

$$s = \sqrt{s^2} \quad \text{Formel 3}$$

⁵⁵ Lignatec 14/2001

4.4.2.2 Massenverlust

Der prozentuale Massenverlust ist der Massenverlust ausgedrückt als Prozentanteil der Anfangstrockenmasse.

$$M = \frac{m_0 - m_3}{m_0} \cdot 100 [\%] \quad \text{Formel 4}$$

M Massenverlust [%]

m_0 Anfangsdarrmasse

m_3 Enddarrmasse

4.4.2.3 Korrekturwert

Massenänderungen der Kontrollprüfkörper (e_3) machen es möglich, den Korrekturwert (C) für die Veränderungen der Masse der behandelten Prüfkörper zu bestimmen, die auf andere Einflüsse als den Angriff der holzerstörenden Pilzen zurückzuführen sind.

Der Korrekturwert C ist der durchschnittliche prozentuale Massenverlust der vier behandelten Kontrollprüfkörper (e_3) jeder Behandlungsart. Der entsprechende Wert für C wird von dem prozentualen Massenverlust eines jeden behandelten Prüfkörpers e_1 subtrahiert, um den korrigierten Massenverlust zu erhalten.

4.4.3 Material

4.4.3.1 Übersicht

Mit M. Heeb (Fachgruppe Holzschutz/Mikrobiologie der EMPA St. Gallen) wurden die geeigneten Pilze für die jeweiligen Behandlungsarten bestimmt. (vgl. Tabelle 4-2 und 4-3)

Tabelle 4-2 Übersicht der verwendeten Behandlungen und Pilze

	<i>Coniophora puteana</i>	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	<i>Poria placenta</i>	<i>Lentinus lepideus</i>	<i>Fomitopsis pinicola</i>
U-653	X	X	X		
E-653	X	X	X		
Pavatex	X	X	X		
Borsäure	X	X	X		
Soda	X	X	X		
Pottasche	X	X	X		
Osmo color	X	X	X		
Holzteer	X	X		X	
Warmrauch	X	X			X
Rauchkondensat modi. Var.1	X	X			X
Rauchkondensat modi. Var.2	X	X			X
Rauchkondensat modi. Var.3	X	X			X
Rauchkondensat modi. Var.4	X	X			X
Pento Fluid	X	X	X		
Lasinol UV	X	X	X		
Pento Antihydro	X	X	X		
Alerce gekocht	X	X			X
Alerce	X	X			X
Fichte unbehandelt	X	X	X	X	X

4.4.3.2 Prüfkörper

Die Abbaubersuche wurden an Fichtenproben durchgeführt, wobei ausschliesslich fehlerfreies Holz ohne Fäule und Risse verwendet wurde. Die Prüfkörper hatten eine Abmessung von $25 \times 15 \times 50$ mm ($r \times t \times l$). Der Zuschnitt erfolgte im lufttrockenen Zustand, was einer ungefähren Holzfeuchte von ca. 12% entspricht.

Pro Pilzart und Behandlungsvariante wurden jeweils je acht behandelte und unbehandelte Prüfkörper bereitgestellt. Total wurden so über 1000 Klötze benötigt und hergestellt.

4.4.3.3 Nährmedium

Als Nährmedium für die Pilze wurde ein Malz-Agar-Medium verwendet, welches folgendermassen zusammengesetzt war:

- Malzextrakt in Pulverform (4%), entsprechend der Firma Oxoid oder Merck
- Agar der Firma Oxoid, Nr. 1 für *Lentinus lepideus* (2,5%)
- Agar der Firma Merck für *Gloeophyllum trabeum*, *Coniophora puteana*, *Poria placenta*, *Fomitopsis pinicola* (2,5%)
- Leitungswasser

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

4.4.3.4 Die verwendeten Pilze

Tabelle 4-3 Verwendete Pilze

Pilz		Fäuleart	EMPA- Nr.
<i>Coniophora puteana</i>	Brauner Kellerschwamm	Braunfäule	62
<i>Gloeophyllum trabeum</i>	Balkenblättling	Braunfäule	100
<i>Poria placenta</i>	Rosafarbener Saftporling	Braunfäule	229
<i>Lentinus lepideus</i>	Schuppiger Sägeblättling	Braunfäule	340
<i>Fomitopsis pinicola</i>	Rotrandiger Baumschwamm	Braunfäule	567

Coniophora puteana (Brauner Kellerschwamm)

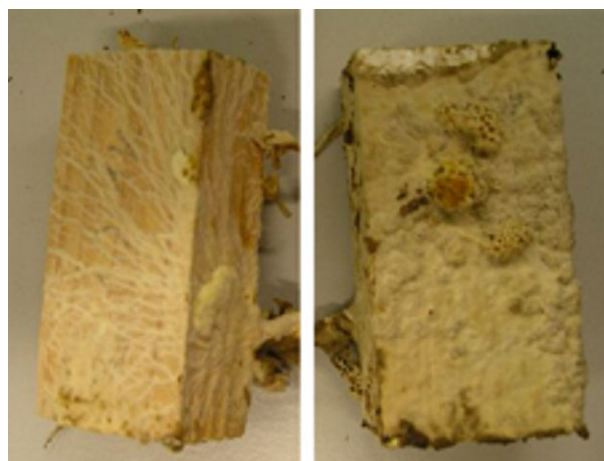


Abbildung 4-2 mit *Coniophora puteana* überwachsene Proben, links mit Pottasche behandelte Probe rechts unbehandelte Kontrollprobe

Der Braune Kellerschwamm ist ein gefährlicher Gebäudepilz, der am häufigsten in Neubauten auftritt. Ebenso findet man ihn in feuchten Altbauten.

Die optimalen Lebensbedingungen sind eine Holzfeuchtigkeit von 50-60% und eine Temperatur von 22-24°C.

Der Name Kellerschwamm ist insofern irreführend, als der Pilz innerhalb von Gebäuden nicht nur in Kellern, sondern bis zum Dachgeschoss überall an feuchten Stellen auftreten kann.

Das befallene Holz zeigt den für die Braunfäule typischen Würfelbruch (Abbildung 4-3) und lässt sich bei fortgeschrittener Vermorschung zu Pulver zerreiben. Die Fruchtkörper stellen dünne, im trockenen Zustand berüchtigte Krusten dar, die wie das Mycel dem Holz fest anliegen. Ist das verbaute Holz mit dem Braunen Kellerschwamm befallen, werden die befallenen Stellen trocken gelegt und der Kellerschwamm stirbt ab. Um dem Kellerschwamm vorzubeugen, ist vorzugsweise nur trockenes Holz zu verbauen.^{56 57 58}



Abbildung 4-3 durch Braunfäule verursachter Würfelbruch⁵⁹

Gloeophyllum trabeum (Balkenblättling)

Der Balkenblättling tritt auf Nadel- und Laubholz auf. Er gehört zu den wirtschaftlich gefährlichsten Holzerstörern an lagerndem und verbaute Nadelholz, wo er Braunfäule bewirkt. Sehr häufig ist er an Fensterholz anzutreffen.

Die optimalen Lebensbedingungen sind eine Holzfeuchtigkeit von 35-60% und eine Temperatur von 26-35°C.

Während die meisten Hauspilze von aussen an das Holz heranwachsen, nachdem die Sporen auf der Oberseite oder im umgebenden Boden ausgekeimt sind, befallen die Blättlinge das Holz von innen heraus. Sie bewirken also eine Innenfäule, die dadurch zustande kommt, dass die Sporen in die Holzrisse fliegen. Die Blättlinge haben die Fähigkeit bei hoher Temperatur und Trockenheit in eine Trockenstarre zu verfallen, aus der sie beim Wiedereintreten günstiger Lebensbedingungen wieder aufleben können. Da das Holz von innen her zerstört wird und meistens von aussen noch intakt erscheint, trifft man sehr selten auf Oberflächenmycel. Häufig findet man aber Fruchtkörper, die aus den Spalten des Holzes hervorbrechen. Sie sind lederartig und korkig.^{60 61 62}

⁵⁶ Grosser D. (1985). S. 66-70

⁵⁷ Schmidt O. (1994). S. 157-160

⁵⁸ Breitenbach J. Kränzlin F. (1986). S. 208/209

⁵⁹ Foto M. Jakob

⁶⁰ Schmidt O. (1994) S. 147/148

⁶¹ Breitenbach J. Kränzlin F. (1986). S. 310/311

⁶² Bavendamm W. (1969) S. 31-35



Abbildung 4-4 *Gloeophyllum trabeum* (Balken Blättling)⁶³

***Poria placenta* (Rosafarbener Saftporling)**

Gehört zu der Gruppe der Poren(haus)schwämme. Er ist auch bekannt unter den Synonymen *Oligoporus placenta* und *Tyromyces placenta*. Der Rosafarbene Saftporling befällt vorwiegend Nadelholz, sowohl in feuchten Neu- als auch Altbauten.

Die optimalen Lebensbedingungen sind eine Holzfeuchtigkeit von ca. 40% und eine Temperatur von 25-31°C.

Der rosafarbene Saftporling ist wie die schon erwähnten Pilze ein Braunfäuleerreger.

Es wird ein gut entwickeltes, wattenartiges, reinweisses Oberflächenmyzel gebildet, das sich gut von der Unterlage ablösen lässt. Die Fruchtkörper sind anfangs weisse, später rosafleischfarbene, lila, flache, enganliegende dünne Häute oder Polster, die in trockenem Zustand von lederiger bis hornartiger Beschaffenheit und in feuchtem Zustand weich, wachsig bis fleischig zäh sind.⁶⁴



Abbildung 4-5 Kolleschale, oben Kontrollprobe, unten mit Pavatex Kreislaufwasser behandelte Probe

⁶³ www.forst.uni-muenchen.de [Stand Jan. 04]

⁶⁴ Lignovisionen Band 3 (2002)

***Lentinus lepideus* (Schuppiger Sägeblättling)**

Der Schuppige Sägeblättling ist ein wichtiger Kernzerstörer der Nadelhölzer. Man findet ihn nicht nur im Wald an toten Nadelholzstämmen, sondern auch am bearbeiteten Holz, sofern genügend Feuchtigkeit für seine Entwicklung vorhanden ist.

Die optimalen Lebensbedingungen sind eine Holzfeuchtigkeit von 30-40% und eine Temperatur von 27-29°C.

Da der Pilz resistent gegen Teeröl ist, wurde er für die Prüfung des Buchenteeröls verwendet. Auch ist er sehr widerstandsfähig gegenüber Trockenheit und hohen Temperaturen.

Der Pilz bildet sehr selten Oberflächenmycel, somit fällt er erst auf, wenn er Fruchtkörper bildet, die aus den Spalten herauswachsen. Die Fruchtkörper besitzen meist einen Hut mit einem Stiel, wie wir es von Speisepilzen gewohnt sind. Der ledrige, zähe Hut ist bis zu 15 cm gross und von bräunlicher oder ockergelber Farbe und mit dunklen Schuppen bedeckt.^{65 66 67}



Abbildung 4-6 *Lentinus lepideus*, häufig auf Eisenbahnschwellen anzutreffen⁶⁸

***Fomitopsis pinicola* (Rotrandiger Baumschwamm)**

Der Rotrandige Baumschwamm kommt an Laubholz und Nadelholz gleichermassen vor. Buche und Fichte sind dabei bevorzugte Substrate.

Die optimalen Lebensbedingungen sind eine Holzfeuchtigkeit von 30-40% und eine Temperatur von 26-35°C.

Der Rotrandige Baumschwamm ist ein Wundparasit und Saprophyt*, kann aber auch an verbaute Holz Braunfäule hervorrufen.

Die Fruchtkörper sind bis ca. 30 cm breit und in Abhängigkeit von Alter und Wuchsbedingungen extrem unterschiedlich in Form und Färbung. Völlig orange-rötliche Exemplare kommen ebenso vor wie schwarze mit schmalen orangefarbenen Rand oder breitem rotem Randbereich.^{69 70}

⁶⁵ Weiss, Wagenführ, Kruse (2000). S. 82-84

⁶⁶ Bavendamm W. (1969). S. 35/36

⁶⁷ Schmidt O. (1994). S. 149

⁶⁸ www.holzfragen.de/seiten/saegeblaettling.html [Stand Jan. 04]

* Pilze, die auf abgestorbenen Pflanzenteilen leben.

⁶⁹ www.forst.uni-muenchen.de/EXT/LST/BOTAN/LEHRE/PATHO/PILZE/FAEULE/fomitop.htm [Stand Jan 04]



Abbildung 4-7 *Fomitopsis pinicola* (Rotrandiger Baumschwamm)⁷¹

4.4.4 Methode

4.4.4.1 Messprinzip

Die Prüfkörper wurden während 16 Wochen den verschiedenen Pilzen ausgesetzt. Mittels des Anfangs- und Enddarrgewichts des jeweiligen Prüfkörpers konnte so der prozentuelle Massenverlust berechnet werden.

4.4.4.2 Prüfeinrichtung und Messanordnung

Der gesamte Versuch wurde an der EMPA St. Gallen (Fachgruppe Holzschutz/Mikrobiologie) durchgeführt. Alle benötigten Anlagen und Materialien konnten mitverwendet werden (QUV, Autoklav, Gassterilisation, Klimakammer, Brutschrank, Kolleschalen u.a.).

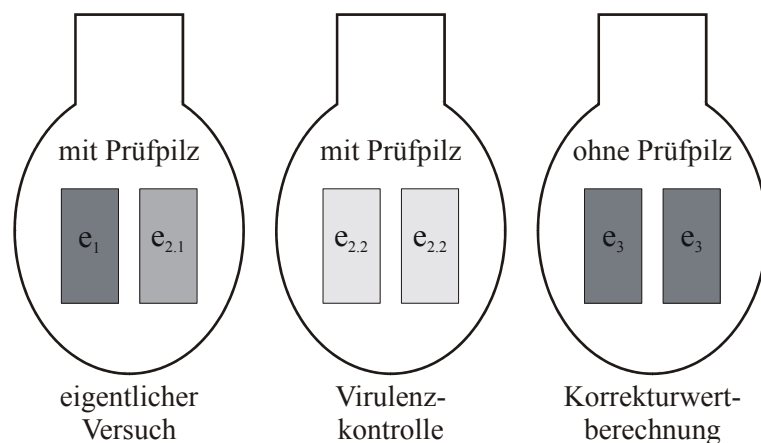


Abbildung 4-8 Aufbau der Pilzversuche

- e_1 behandelte Prüfkörper
- $e_{2.1}$ unbehandelte Prüfkörper
- $e_{2.2}$ Virulenzprüfkörper
- e_3 behandelte Kontrollprüfkörper zur Berechnung des Korrekturwertes C

⁷⁰ Holz Lexikon A-K (2003)

⁷¹ <http://www.mykonet.ch> [Stand Dez 03]

4.4.5 Versuchsbedingungen

Bei den Prüfkörpern e_1 und e_3 wurden vor Versuchsbeginn die Hirnenden mit einer pilzresistenten Acrylfarbe abgedichtet, so dass die Pilzsporen das Holz nicht von der Hirnholzseite befallen konnten.

Die Prüfkörper wurden in behandelte Prüfkörper e_1 und in unbehandelte Prüfkörper $e_{2.1}$ unterteilt, die zusammen dem Pilzangriff ausgesetzt wurden.

Pro Pilzart und Behandlungsvariante wurden jeweils je acht behandelte und unbehandelte Prüfkörper bereitgestellt. Die Hälfte, also je vier, der behandelten Proben wurden an der EMPA St. Gallen künstlich bewittert. In Bewitterungsanlagen des Typs QUV wurde mit einem Zyklus von $\frac{1}{4}$ h Regen (mit Leitungswasser, keine Wasserrückführung) und $\frac{1}{2}$ h Licht (UV-Licht, Temperatur 55°C) eine Zeit von sechs Monaten simuliert. Eine Woche künstliche Bewitterung entspricht einem Zeitraum von zwei Monaten natürlicher Bewitterung.

Zur Kontrolle der Virulenz der verwendeten Prüfpilze wurden zudem jeweils sechs unbehandelte Prüfkörper $e_{2.2}$ aus Föhrensplintholz dem Angriff jeweils eines Prüfpilzes ausgesetzt.

Die behandelten Kontrollprüfkörper e_3 dienten zur Ermittlung jener Massenänderungen während des Versuchszeitraums, die auf andere Einflüsse als den Angriff der Prüfpilze zurückzuführen sind. Diese Kontrollprüfkörper e_3 wurden in genau gleicher Weise wie die Prüfkörper e_1 behandelt, aber in ein unbeimpftes Versuchsgefäß eingebracht. Die ermittelte Massenänderung wurde in einem Korrekturwert (C) ausgedrückt.

Weiter wurden diese Kontrollprüfkörper e_3 zur Bestimmung des Akklimatisationsfaktors verwendet. Alle Proben wurden zuerst normalklimatisiert und danach auf 0.01 g genau gewogen. Die Kontrollprüfkörper wurden anschliessend darrgetrocknet und anhand des Akklimatisationsgewichts und des Darrgewichts ein Akklimatisationsfaktor bestimmt. Mit diesem Faktor wurde dann für die restlichen Proben der jeweiligen Behandlungsart das Anfangsdarrgewicht errechnet. Dieser Faktor ist nötig, da die Holzschutzmittel bei hoher Hitze (Darrtrocknen) Schaden erleiden könnten und so nicht mehr so pilzresistent wären.

Das Nährmedium wurde nach Abfüllung in die Kolleschalen und Sterilisierung beimpft. Die Prüfkörper wurden den Pilzen ausgesetzt, sobald das Myzel die Oberfläche vollständig bewachsen hatte. In jedes Versuchsgefäß wurde unter sterilen Bedingungen ein zuvor sterilisiertes Glasbänkchen, das als Unterlage diente, eingebracht.

In jedes beimpfte Versuchsgefäß wurde ein behandelter Prüfkörper e_1 und ein nicht behandelter Kontrollprüfkörper $e_{2.1}$ gelegt.

Jeweils zwei nicht getränkte Prüfkörper zur Kontrolle der Virulenz $e_{2.2}$ wurden in ein beimpftes Versuchsgefäß eingebracht. Für die Ermittlung des Korrekturwertes (C) wurden je zwei behandelte Kontrollprüfkörper e_3 in ein unbeimpftes Versuchsgefäß eingebaut.

Alle Prüfkörper wurden vor dem Einbau sterilisiert.

Nach dem Einbau der Prüfkörper kamen die Versuchsgefässe für 16 Wochen in den Brutschrank ($22\pm 2^\circ\text{C}$, $70\pm 5\%$ rel. Luftfeuchte).

Am Ende des Versuches wurden die Prüfkörper aus den Versuchsgefässen entnommen, der Bewachungsgrad bestimmt (siehe Tabelle 4-4) und von anhaftendem Myzel befreit und auf 0.01 g genau gewogen, d.h. die Masse m_2 wurde ermittelt. Nach dem Darren wurde die Masse m_3 jedes Prüfkörpers auf 0.01 g gewogen.

Der Massenverlust jedes behandelten Prüfkörpers e_1 wird errechnet, indem der Massenverlust ($m_0 - m_3$) als Prozentanteil der Anfangstrockenmasse (m_0) ausgedrückt wird.

Anschliessend werden die Ergebnisse auf die Gültigkeit nach den Kriterien der Norm DIN EN 113 geprüft.

Tabelle 4-4 Tabelle zum optischen Bestimmen des Bewachungsgrades

Bewachungsgrad	Bewachungs-%
0	kein Bewuchs
1	<10%
2	10-25%
3	25-50%
4	>50%<100%
5	100% (komplett)

Der durch das untersuchte Holzschutzmittel erreichte Schutz des Holzes wird als ausreichend angesehen, wenn der korrigierte Massenverlust der Prüfkörper weniger als 3% der Anfangsdarrmasse beträgt und höchstens ein Prüfkörper einen Massenverlust erlitten hat, der grösser als 3,0%, aber kleiner als 5,0% ist. Je Pilz und Behandlungsart wurde dies bestimmt und bei Erreichen dieser Werte wurde das Mittel für diesen Pilz als „in Ordnung (i.O.)“ befunden.

Anschliessend wurden die Proben visuell überprüft. Dabei wurde kontrolliert, ob die errechneten Massenverluste mit dem tatsächlichen Befall übereinstimmen. Dafür wurden die Proben auch aufgetrennt, um den Befall im Prüfkörperinnern zu begutachten. Nötigenfalls wurde der Wert abgeändert. Das heisst, man teilte sie in die Gruppen <3%, >3%...<5% oder >5% ein. Solche Anpassungen sind nötig, da nicht immer der Akklimatisationsfaktor mit allen Proben übereinstimmt.

4.4.6 Resultate und Diskussion

Alle Behandlungsarten wurden den beiden Versuchspilzen *Coniophora puteana* und *Gloeophyllum trabeum* und einem dritten Pilz ausgesetzt (vgl. Tabelle 4-2).

Damit die Ergebnisse als gültig betrachtet werden können, muss ein minimaler Massenverlust (siehe Kapitel 4.4.2.2) der Virulenzprüfkörper von mind. 20% vorliegen. *Gloeophyllum trabeum* war bei den bewitterten Proben nicht völlig aktiv, wie auch *Lentinus lepideus*, der fast nicht aktiv war (vgl. Tabelle 4-5). *Gloeophyllum trabeum* im unbewitterten sowie *Poria placenta* im unbewitterten und bewitterten Zustand erreichten die 20% nicht, doch kann hier von einer genügend hoher Aktivität der Pilze ausgegangen werden, da einzelne Ausreisser unter den Virulenzproben waren.

Tabelle 4-5 Durchschnittlicher Massenverlust [%] und Standardabweichung der Virulenz Proben. Detailwerte siehe Anhang A1, Tabellen A1-20

Virulenz		Massenverlust [%] $\bar{x} \pm s$
Unbewittert	<i>Coniophora puteana</i>	28.71 \pm 19.29
	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	18.30 \pm 8.11
	<i>Poria placenta</i>	19.50 \pm 5.71
	<i>Lentinus lepideus</i>	3.03 \pm 5.13
	<i>Fomitopsis pinicola</i>	60.98 \pm 1.29
Bewittert	<i>Coniophora puteana</i>	35.71 \pm 12.87
	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	14.51 \pm 2.59
	<i>Poria placenta</i>	19.83 \pm 2.74
	<i>Lentinus lepideus</i>	0.94 \pm 0.09
	<i>Fomitopsis pinicola</i>	62.02 \pm 2.45

Damit ein Behandlungsmittel als wirksam befunden wird, muss es bei allen getesteten Pilzen ein i.O. aufweisen (vgl. Tabelle 4-6 bis und mit Tabelle 4-16). Dies wird in diesem Versuch nur von dem Pento Fluid IP (Tabelle 4-10) erreicht. Sowohl bei den bewitterten wie auch bei den unbewitterten Proben hat das Pento Fluid den Test bestanden. Anzumerken ist noch, dass das Pento Fluid nicht dem sehr aktiven und rabiaten *Fomitopsis pinicola* ausgesetzt wurde.

Weiter wurden gute Ergebnisse mit den unkonventionellen Mitteln erreicht. Sie bestanden jedoch den Test bei den bewitterten Proben nicht. Doch für die unbewitterten Proben von Borsäure, Soda, Pottasche, Holzteer, Rauchkondensat mod. Varianten 1-3, Lasinol UV und Pento Antihydro war der Befund nach dem Pilzangriff in Ordnung (vgl. nachfolgende Tabellen). Damit kann die Aussage gemacht werden, dass der Einsatz dieser oben genannten Behandlungsarten geschützt vor Witterung und hoher Luftfeuchte durchaus gerechtfertigt ist.

Die Behandlungsarten U-653, E-653, Pavatex, Osmo Color, Warmrauch, Rauchkondensat mod. Variante 4 bestanden die Prüfung der bewitterten und der unbewitterten Proben nicht. So erstaunt sehr, dass das im Fachhandel erhältliche Osmo Color bei allen getesteten Pilzen durchfällt.

Im Vergleich zwischen der gekochten und naturbelassenen Alerce, konnte aufgezeigt werden, dass die naturbelassene Alerce viel resistenter ist als die, deren Inhaltsstoffe ausgewaschen wurden (vgl. Tabelle 4-15). Bei den Standardpilzen *Coniophora puteana* und *Gloeophyllum trabeum* sind nur sehr kleine Unterschiede festzustellen. Doch beim *Fomitopsis pinicola* zeigen sich sehr grosse Unterschiede. Wurden die naturbelassenen Proben kaum oder gar nicht befallen, so weisen die gekochten einen Massenverlust um die 42% auf.

Tabelle 4-6 Mittlerer Massenverlust, Standardabweichung und Befund der mit U-653 und E-653 behandelten Proben. Detailwerte siehe Anhang A1, Tabellen A1-1 und A1-2

¹⁾ Bewachungsgrad (siehe Tabelle 4-4)

Produkt/Variante		U-653		E-653	
Prüfzustand	Prüfpilz	Massenverlust [%] $\bar{x} \pm s$	Befund ¹	Massenverlust [%] $\bar{x} \pm s$	Befund ¹
Unbewittert	<i>Coniophora puteana</i>	0.36 \pm 0.44	i.O.	3.25 \pm 3.35	
	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	1.22 \pm 1.04	i.O.	3.71 \pm 1.80	
	<i>Poria placenta</i>	16.44 \pm 1.01		18.10 \pm 1.32	
Bewittert	<i>Coniophora puteana</i>	18.21 \pm 8.27		17.50 \pm 6.30	
	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	4.07 \pm 0.65		3.28 \pm 0.56	
	<i>Poria placenta</i>	19.85 \pm 0.53		19.20 \pm 1.97	

Tabelle 4-7 Mittlerer Massenverlust, Standardabweichung und Befund der mit Pavatex und Borsäure behandelten Proben. Detailwerte siehe Anhang A1, Tabelle A1-3 und A1-4

¹⁾ Bewachungsgrad (siehe Tabelle 4-4)

Produkt/Variante		Pavatex		Borsäure	
Prüfzustand	Prüfpilz	Massenverlust [%] $\bar{x} \pm s$	Befund ¹	Massenverlust [%] $\bar{x} \pm s$	Befund ¹
Unbewittert	<i>Coniophora puteana</i>	8.79 \pm 10.69		0.06 \pm 0.11	i.O.
	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	1.85 \pm 1.94	i.O.	0.11 \pm 0.13	i.O.
	<i>Poria placenta</i>	7.19 \pm 2.26		0.07 \pm 0.13	i.O.
Bewittert	<i>Coniophora puteana</i>	28.79 \pm 11.17		8.45 \pm 16.17	
	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	7.86 \pm 2.75		1.83 \pm 2.25	
	<i>Poria placenta</i>	18.83 \pm 2.09		0.14 \pm 0.20	i.O.

Tabelle 4-8 Mittlerer Massenverlust, Standardabweichung und Befund der mit Soda und Pottasche behandelten Proben. Detailwerte siehe Anhang A1, Tabelle A1-5 und A1-6

¹⁾ Bewachungsgrad (siehe Tabelle 4-4)

Produkt/Variante		Soda		Pottasche	
Prüfzustand	Prüfpilz	Massenverlust [%] $\bar{x} \pm s$	Befund ¹	Massenverlust [%] $\bar{x} \pm s$	Befund ¹
Unbewittert	<i>Coniophora puteana</i>	0.21 \pm 0.27	i.O.	0.26 \pm 0.25	i.O.
	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	0.26 \pm 0.18	i.O.	0.35 \pm 0.26	i.O.
	<i>Poria placenta</i>	0.00 \pm 0.00	i.O.	0.04 \pm 0.07	i.O.
Bewittert	<i>Coniophora puteana</i>	24.51 \pm 5.99		16.03 \pm 7.89	
	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	2.14 \pm 1.37	i.O.	3.33 \pm 0.83	
	<i>Poria placenta</i>	15.94 \pm 4.23		16.79 \pm 3.72	

Tabelle 4-9 Mittlerer Massenverlust, Standardabweichung und Befund der mit Osmo Color und Pento Fluid IP behandelten Proben. Detailwerte siehe Anhang A1, Tabelle A1-7 und A1-16

¹⁾ Bewachungsgrad (siehe Tabelle 4-4)

Produkt/Variante		Osmo Color		Pento Antihydro	
Prüfzustand	Prüfpilz	Massenverlust [%] $\bar{x} \pm s$	Befund ¹	Massenverlust [%] $\bar{x} \pm s$	Befund ¹
Unbewittert	<i>Coniophora puteana</i>	3.85 \pm 7.70		0.18 \pm 0.15	i.O.
	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	3.57 \pm 1.09		0.30 \pm 0.39	i.O.
	<i>Poria placenta</i>	21.28 \pm 1.03		1.28 \pm 1.50	i.O.
Bewittert	<i>Coniophora puteana</i>	11.90 \pm 9.19		0.59 \pm 0.35	i.O.
	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	3.88 \pm 2.30		2.54 \pm 0.45	i.O.
	<i>Poria placenta</i>	20.78 \pm 1.41		16.16 \pm 1.53	

Tabelle 4-10 Mittlerer Massenverlust, Standardabweichung und Befund der mit Pento Fluid und Lasinol UV behandelten Proben. Detailwerte siehe Anhang A1, Tabelle A1-14 und A1-15

¹⁾ Bewachungsgrad (siehe Tabelle 4-4)

Produkt/Variante		Pento Fluid		Lasinol UV	
Produkt/Variante	Pento Fluid	Massenverlust [%] $\bar{x} \pm s$	Befund ¹	Massenverlust [%] $\bar{x} \pm s$	Befund ¹
Unbewittert	<i>Coniophora puteana</i>	0.08 \pm 0.12	i.O.	0.32 \pm 0.37	i.O.
	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	0.01 \pm 0.01	i.O.	0.55 \pm 0.38	i.O.
	<i>Poria placenta</i>	0.01 \pm 0.02	i.O.	0.25 \pm 0.32	i.O.
Bewittert	<i>Coniophora puteana</i>	0.12 \pm 0.18	i.O.	0.95 \pm 0.94	i.O.
	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	0.00 \pm 0.00	i.O.	0.98 \pm 0.13	i.O.
	<i>Poria placenta</i>	1.54 \pm 2.25	i.O.	3.80 \pm 2.09	

Tabelle 4-11 Mittlerer Massenverlust, Standardabweichung und Befund der mit Warmrauch behandelten Proben. Detailwerte siehe Anhang A1, Tabelle A1-9

¹⁾ Bewachungsgrad (siehe Tabelle 4-4)

Produkt/Variante		Warmrauch	
Prüfzustand	Prüfpilz	Massenverlust [%] $\bar{x} \pm s$	Befund ¹
Unbewittert	<i>Coniophora puteana</i>	2.16 \pm 4.05	
	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	1.43 \pm 1.41	i.O.
	<i>Fomitopsis pinicola</i>	45.12 \pm 6.76	
Bewittert	<i>Coniophora puteana</i>	27.34 \pm 1.76	
	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	3.86 \pm 1.09	
	<i>Fomitopsis pinicola</i>	53.18 \pm 2.47	

Tabelle 4-12 Mittlerer Massenverlust, Standardabweichung und Befund der mit Rauchkondensat modi. Var. 1 und Rauchkondensat modi. Var. 2 behandelten Proben. Detailwerte siehe Anhang A1, Tabelle A1-10 und A1-11, ¹⁾ Bewachungsgrad (siehe Tabelle 4-4)

²⁾ Aufgrund visueller Beurteilung des makroskopischen Zerstörungsgrads im Probeinnern konnte auf einen max. Gewichtsverlust von < 3% geschlossen werden.

Produkt/Variante		Rauchkond. modi. Var.1		Rauchkond.modi. Var.2	
Prüfzustand	Prüfpilz	Massenverlust [%] $\bar{x} \pm s$	Befund ¹	Massenverlust [%] $\bar{x} \pm s$	Befund ¹
Unbewittert	<i>Coniophora puteana</i>	2.94 \pm 1.21	i.O.	<3% ²	i.O.
	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	<3% ²	i.O.	<3% ²	i.O.
	<i>Fomitopsis pinicola</i>	<3% ²	i.O.	<3% ²	i.O.
Bewittert	<i>Coniophora puteana</i>	10.05 \pm 4.08		14.73 \pm 8.98	
	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	0.62 \pm 0.59	i.O.	1.03 \pm 0.87	i.O.
	<i>Fomitopsis pinicola</i>	33.80 \pm 2.26		31.23 \pm 3.35	

Bei den Rauchkondensat modi. Varianten 1-3 musste nach dem auftrennen und der visuellen Beurteilung der Massenverlust auf unter 3% korrigiert werden. Obwohl die errechneten Massenverluste um die 10% lagen (vgl. Anhang A-1), konnte kein Massenverlust über 3% ausgemacht werden. Es konnte nicht festgestellt werden durch welche Ursachen dieser Massenverlust zustande kam.

Tabelle 4-13 Mittlerer Massenverlust, Standardabweichung und Befund der mit Rauchkondensat modi. Var. 3 und Rauchkondensat modi. Var. 4 behandelten Proben. Detailwerte siehe Anhang A1, Tabelle A1-12 und A1-13, ¹⁾ Bewachungsgrad (siehe Tabelle 4-4)

²⁾ Aufgrund visueller Beurteilung des makroskopischen Zerstörungsgrads im Probeinnern konnte auf einen max. Gewichtsverlust von < 3% geschlossen werden.

Produkt/Variante		Rauchkond. modi. Var.3		Rauchkond. modi. Var.4	
Prüfzustand	Prüfpilz	Massenverlust [%] $\bar{x} \pm s$	Befund ¹	Massenverlust [%] $\bar{x} \pm s$	Befund ¹
Unbewittert	<i>Coniophora puteana</i>	2.44 \pm 0.65	i.O.	6.74 \pm 9.24	
	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	<3% ²	i.O.	2.31 \pm 0.84	i.O.
	<i>Fomitopsis pinicola</i>	<3% ²	i.O.	20.02 \pm 14.34	
Bewittert	<i>Coniophora puteana</i>	11.48 \pm 1.79		10.49 \pm 9.37	
	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	<3% ²	i.O.	1.01 \pm 1.02	i.O.
	<i>Fomitopsis pinicola</i>	31.67 \pm 4.25		36.74 \pm 11.18	

Tabelle 4-14 Mittlerer Massenverlust, Standardabweichung und Befund der mit Holzteer behandelten Proben. Detailwerte siehe Anhang A1, Tabelle A1-8

¹⁾ Bewachungsgrad (siehe Tabelle 4-4)

Produkt/Variante		Holzteer	
Prüfzustand	Prüfpilz	Massenverlust [%] $\bar{x} \pm s$	Befund ¹
Unbewittert	<i>Coniophora puteana</i>	0.10 \pm 0.12	i.O.
	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	1.44 \pm 0.50	i.O.
	<i>Lentinus lepideus</i>	0.01 \pm 0.01	i.O.
Bewittert	<i>Coniophora puteana</i>	13.15 \pm 13.73	
	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	4.22 \pm 2.43	
	<i>Lentinus lepideus</i>	0.57 \pm 0.45	i.O.

Tabelle 4-15 Mittlerer Massenverlust, Standardabweichung und Befund der gekochten und naturbelassenen unbewitterten Alercenproben. Detailwerte siehe Anhang A1, Tabelle A1-17

¹⁾ Bewachungsgrad (siehe Tabelle 4-4)

Produkt/Variante		Alerce	
Prüfzustand	Prüfpilz	Massenverlust [%] $\bar{x} \pm s$	Befund ¹
gekocht	<i>Coniophora puteana</i>	0.74 \pm 1.08	i.O.
	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	0.15 \pm 0.22	i.O.
	<i>Fomitopsis pinicola</i>	42.84 \pm 1.67	
nature	<i>Coniophora puteana</i>	0.00 \pm 0.00	i.O.
	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	0.00 \pm 0.00	i.O.
	<i>Fomitopsis pinicola</i>	1.06 \pm 0.46	i.O.

Tabelle 4-16 Mittlerer Massenverlust, Standardabweichung und Befund der unbehandelten Fichtenproben. Detailwerte siehe Anhang A1, Tabelle A1-18 und A1-19

¹⁾ Bewachungsgrad (siehe Tabelle 4-4)

Produkt/Variante		unbehandelt	
Prüfzustand	Prüfpilz	Massenverlust [%] $\bar{x} \pm s$	Befund ¹
Unbewittert	<i>Coniophora puteana</i>	23.47 \pm 12.59	
	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	2.90 \pm 0.67	
	<i>Poria placenta</i>	18.49 \pm 2.78	
	<i>Lentinus lepideus</i>	0.00 \pm 0.00	i.O.
	<i>Fomitopsis pinicola</i>	57.76 \pm 3.22	
Bewittert	<i>Coniophora puteana</i>	25.69 \pm 9.62	
	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	5.20 \pm 1.35	
	<i>Poria placenta</i>	18.48 \pm 3.04	
	<i>Lentinus lepideus</i>	2.26 \pm 1.47	i.O.
	<i>Fomitopsis pinicola</i>	50.15 \pm 10.78	

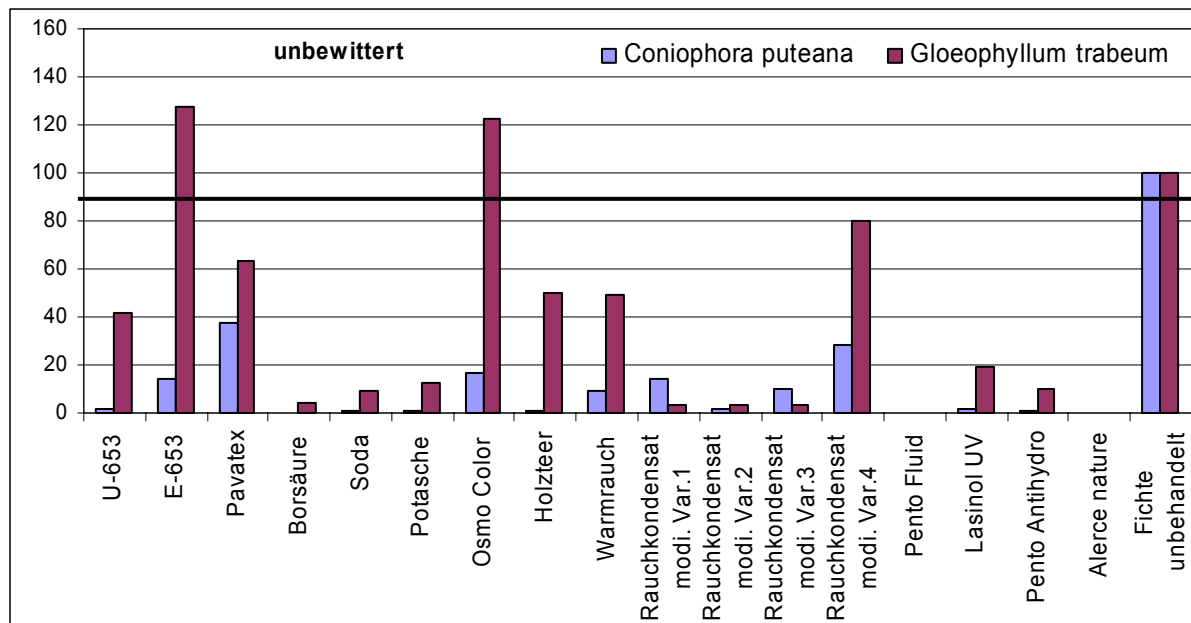


Abbildung 4-9 Auswertung Massenverlust (Mittelwert) der unbewitterten Proben; Werte relativ zu den unbehandelten Proben

In der Abbildung 4-9 bzw. Abbildung 4-10 wurden die mittleren Massenverluste relativ zu den unbehandelten Proben gestellt, die als 100% angenommen wurden. Es wurden nur die Pilze *Coniophora puteana* und *Gloeophyllum trabeum* dargestellt, da diese bei allen Behandlungsarten zum Einsatz kamen.

In der Abbildung 4-9 sind die unbewitterten Proben dargestellt. Was auffällt ist, dass Borsäure, Soda und Pottasche mit den Mitteln von Pentol durchwegs mithalten konnten. Alle Behandlungsarten zeigen beim Versuch mit *Coniophora puteana* eine viel bessere Pilzresistenz auf. Beim Versuch mit dem *Gloeophyllum trabeum* weisen alle eine um 50% und mehr verbesserte Pilzresistenz auf, ausser E-653, Osmo Color und Rauchkondensat mod. Var. 4. Rauchkondensat mod. Var. 4 weist nur eine ca. 20%ige verminderte Pilzresistenz auf, E-653 und Osmo Color weisen sogar einen höheren Massenverlust auf als die unbehandelten Proben. Vermutet wird, dass diese zwei Mittel Zusatzstoffe enthalten, die das Wachstum des Pilzes fördern. Bei den bewitterten Proben dieser zwei Behandlungsarten ist dieses Phänomen nicht mehr zu erkennen, da wohlmöglich die pilzfördernden Stoffe ausgewaschen oder abgebaut wurden.

Bei den bewitterten Proben (Abbildung 4-10) ist ersichtlich, dass Soda, Borsäure, Pottasche nun schlechter abschneiden als die Mittel von Pentol, was auf die Auswaschbarkeit zurückzuführen ist.

Warmrauch und Holzteer wurden auch deutlich ausgewaschen und daher das Holz von den Pilzen verstärkt abgebaut.

Alle mit Rauchkondensat modifizierten Proben verhalten sich im bewitterten Zustand im selben Rahmen. Zu beobachten ist, dass die mit Rauchkondensat mod. Var. 4 behandelten Proben im bewitterten Zustand dauerhafter sind als im unbewitterten, was wiederum auf das Auswaschen einiger Inhaltsstoffe zurückzuführen ist.

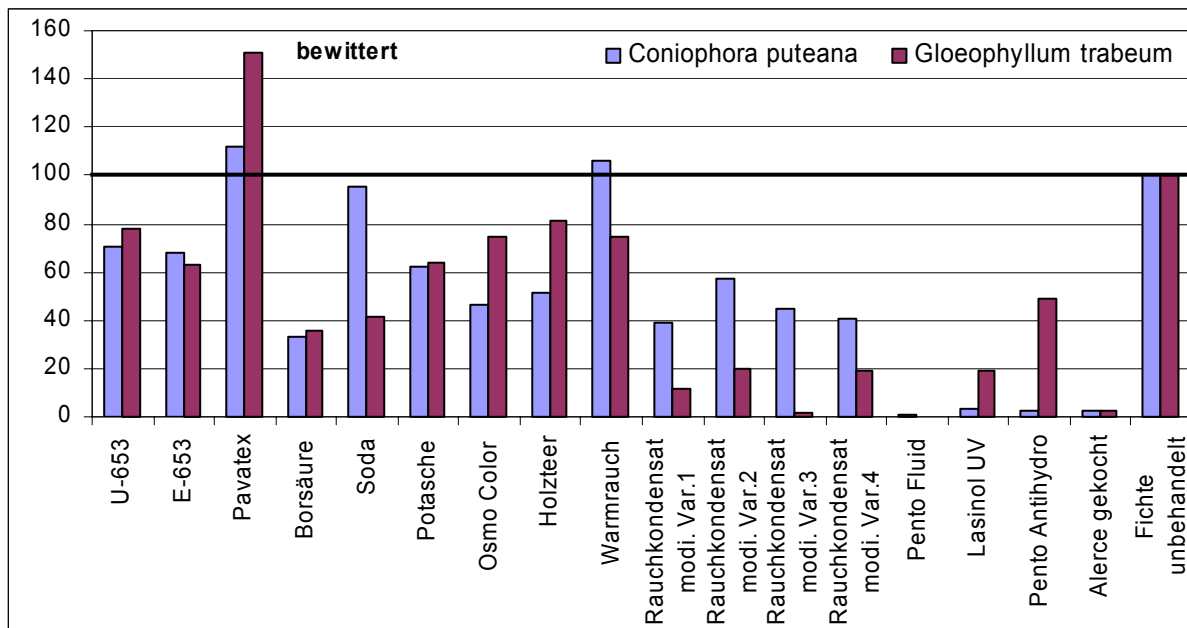


Abbildung 4-10 Auswertung Massenverlust (Mittelwert) der bewitterten Proben; Werte relativ zu den unbehandelten Proben

4.5 Wasserdampfdurchlässigkeit nach DIN 52615

4.5.1 Einleitung

Feuchtigkeitsbewegungen in Holzbauteilen infolge Diffusion sind in bauphysikalischer Hinsicht (materialtechnische Gründe, Raumklima/Behaglichkeit) von grosser Bedeutung. Unter ungünstigen Bedingungen (Kondenswasserbildung) kann es zur Durchfeuchtung eines Bauteils kommen, wodurch das Wärmeisolationsvermögen herabgesetzt wird und im Extremfall sogar die Sicherheit einer Konstruktion beeinträchtigt werden kann. Die Behaglichkeit bezüglich Raumklima ist ausserdem in hohem Mass von der Feuchtigkeit in der Raumluft abhängig.

Durch Dampfdiffusion (Wanderung von Wasserdampf von innen (Warmseite) nach aussen (Kaltseite)) gelangt Feuchtigkeit in alle raumabschliessenden Konstruktionen, welche innen nicht dampfdicht abgeschlossen sind. Nimmt die Dampfdurchlässigkeit gegen aussen zu, sind keine Probleme zu erwarten. Befinden sich jedoch dampfdichtere Schichten auf der Warmseite, strömt von der Kaltseite mehr Feuchtigkeit nach als nach aussen wegströmen kann. Dadurch entsteht Kondenswasser im Wandinnern.

Daher sollten Aussenbeschichtungen keinen hohen Wasserdampf-Diffusionswiderstand aufweisen, da sonst die Beschichtung die Funktion als Dampfbremse übernimmt und dadurch im schlimmsten Fall Kondenswasser im Bauteil gebildet werden kann.

Die vorliegende Arbeit liefert Resultate einer stationären Messung der Wasserdampf-Diffusionsstromdichte und der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl von einschichtigen Massivholzplatten mit verschiedenen Oberflächenbehandlungen. Der Versuch soll den Einfluss der verschiedenen Behandlungsarten auf den Wasserdampf-Diffusionswiderstand aufzeigen

4.5.2 Begriffe

4.5.2.1 Relative Luftfeuchtigkeit

Die relative Luftfeuchtigkeit φ ist definiert als Verhältnis des tatsächlich vorhandenen Dampfteildrucks p_D zum Sättigungsdruck p_s bei gleicher Temperatur.

$$\varphi = \frac{p_D}{p_s} \cdot 100 [\%] \quad \text{Formel 5}$$

p_D Partialdruck des Wasserdampfes

p_s Sättigungsdruck

4.5.2.2 Diffusionszahl

Die Diffusionszahl D (in der Fachliteratur auch als Wasserdampf-Diffusionskoeffizient benannt) ist der Diffusionswert des Wasserdampfes in Luft. Nach Schirmer (1938) beträgt sie:

$$D = 0.083 \cdot \frac{p_0}{p} \cdot \left(\frac{T}{273} \right)^{1.81} \quad [\text{m}^2/\text{h}] \quad \text{Formel 6}$$

p_0 Atmosphärendruck beim Normzustand [1013.25 hPa]

p mittlerer Luftdruck im Klimaraum [hPa]

T Temperatur im Klimaraum [°K]

Die Messungen und Berechnungen des Feuchtedurchgangs werden heute noch immer unter Voraussetzung stationärer Verhältnisse durchgeführt (beidseits des Bauteils herrscht die

gleiche Temperatur). Obwohl die wirklichen Klimaverhältnisse von den stationären stark abweichen können, liefern die stationären Berechnungen brauchbare Angaben über langfristige Feuchtigkeitsverhältnisse in Bauteilen. Sie ermöglichen auch einen gewissen Aufschluss über die Sicherheit einer Konstruktion in bauphysikalischer Hinsicht zu gewinnen.

4.5.2.3 Dampfleitzahl

Die Dampfleitzahl δ_D (auch als Wasserdampf-Diffusionsleitkoeffizient benannt) ist gleich der Wassermenge [kg], die in einer Stunde [h] durch einen Quadratmeter [m²] eines Stoffes in Richtung Dampfdruckgefälle hindurchfließt.

Für Luft gilt nach DIN 52 615 (1987):

$$\delta_D = \frac{D}{R_D \cdot T} \quad [\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})] \quad \text{Formel 7}$$

und durch Einsetzen der **Formel 6** in die **Formel 7** erhält man für δ_D :

$$\delta_D = \frac{0.083}{R_D \cdot T} \cdot \frac{p_0}{p} \cdot \left(\frac{T}{273} \right)^{1.81} \quad [\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})] \quad \text{Formel 8}$$

D	Diffusionszahl [m ² /h]
R _D	Gaskonstante des Wasserdampfes [Nm/(kg·°K)]
T	Temperatur im Klimaraum [°K]
p	mittlerer Luftdruck im Klimaraum [hPa]
p ₀	Atmosphärendruck beim Normzustand [hPa]

4.5.2.4 Wasserdampf-Diffusionsstromdichte

Der Wasserdampf-Diffusionsstrom gibt die Wasserdampfmasse an, welche unter der Wirkung eines Dampfdruckgefälles auf die Zeit bezogen in Richtung der Flächennormalen diffundiert.

Der auf die Flächeneinheit bezogener Wasserdampf-Diffusionsstrom wird als Wasserdampf-Diffusionsstromdichte WDD bezeichnet. Für WDD gilt nach DIN 52615 (1987):

$$\text{WDD} = \frac{24}{t_2 - t_1} \cdot \frac{m_2 - m_1}{A} \quad [\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})] \quad \text{Formel 9}$$

m ₂ -m ₁	Massendifferenz zwischen 2 Wägungen [g]
t ₂ -t ₁	Zeitspanne zwischen 2 Wägungen [h]
A	Prüffläche der Probe [m ²]

4.5.2.5 Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl

Die Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl μ (auch als Diffusionswiderstandsfaktor benannt) ist der Quotient aus dem Wasserdampf-Diffusionsleitkoeffizienten der Luft δ_D und dem des betreffenden Stoffes und gibt an, wie vielmal grösser der Diffusionsdurchlasswiderstand des Stoffes ist als der einer gleich dicken ruhenden Luftschicht gleicher Temperatur. Für die Diffusionswiderstandszahl μ gilt nach DIN 52615 (1987):

$$\mu = \frac{1}{s} \cdot \left(\delta_D \cdot 24000 \cdot \frac{p_1 - p_2}{\text{WDD}} - s_L \right) \quad \text{Formel 10}$$

δ_D	Diffusionskoeffizient von Wasserdampf in Luft [kg/(m·h·Pa)]
p ₁ , p ₂	Wasserdampfdrucke an der Probe [Pa]
s	mittlere Dicke der Probe [m]
s _L	mittlere Dicke der Luftschicht im Prüfgefäß unterhalb der Probe [m]

4.5.2.6 Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke

Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d der Versuchsprobe gibt an, wie dick eine ruhende Luftschicht ist, die den gleichen Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand aufweist wie die Versuchsprobe der Dicke s . Sie wird nach folgender Formel berechnet:

$$s_d = \mu \cdot s \text{ [m]} \quad \text{Formel 11}$$

4.5.2.7 Rohdichte

Die Rohdichte ρ_u ist der Quotient aus der Masse m und dem Volumen V der Probe einschliesslich des Porenvolumens. Da die Rohdichte vom Feuchtegehalt abhängt, ist der Feuchtigkeitsgehalt zum Zeitpunkt der Rohdichtebestimmung anzugeben (DIN 52182, 1976). Die Rohdichte nach Lagerung im Normalklima (DIN 50014, 20765-1) wird als Normal-Rohdichte bestimmt:

$$\rho_N = \frac{m_N}{V_N} \text{ [g/cm}^3\text{]} \quad \text{Formel 12}$$

m_N Masse der normalklimatisierten Probe [g]

V_N Volumen der normalklimatisierten Probe [cm³]

4.5.2.8 Feuchtigkeitsgehalt

Der prozentuale Feuchtigkeitsgehalt der Probe u ist das Verhältnis zwischen der Masse des in der Probe enthaltenen Wassers und der Masse der wasserfreien (darrtrockenen) Probe. Für den Feuchtigkeitsgehalt gilt nach DIN 52183 (1977):

$$u = \frac{m_u - m_0}{m_0} \cdot 100 \text{ [\%]} \quad \text{Formel 13}$$

m_u Masse der feuchten Probe [g]

m_0 Masse der wasserfreien (darrtrockenen) Probe [g]

4.5.3 Material

Die Untersuchungen der Wasserdampfdurchlässigkeit wurden an handelsüblichen einschichtigen Massivholzplatten getestet. Wobei auf den Jahrringverlauf keine Rücksicht genommen wurde.

Es wurden kreisrunde Proben (Durchmesser: 140 mm) verwendet. Je acht Proben wurden mit einer Behandlungsart modifiziert.

Behandlungsarten:

- unbehandelt
- wärmebehandelte Proben (Thermoholz)
- U-653
- Warmrauch
- Osmo Color Gard Braun^{Classic}
- Pento Fluid IP

Produktbeschreibung, Auftragsmenge, Applikation, u.a. siehe Kapitel 4.3

4.5.4 Methode

4.5.4.1 Messprinzip

Die beiden Seiten der Versuchsscheibe wurden bei gleichbleibender Temperatur einer Wasserdampf-Partialdruckdifferenz ausgesetzt. Bei Kenntnis der Probenabmessungen und der Luftschichtdicke unterhalb der Probe wurden anlehnend an DIN 52615 der Wasserdampf-Diffusionsstrom, die Wasserdampf-Diffusionsstromdichte, die Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl sowie die wasserdampfüquivalente Luftschichtdicke bestimmt.

4.5.4.2 Prüfeinrichtung und Messanordnung

Die kreisrunde Versuchssprobe wurde dampfdicht auf ein Glasgefäß (Aussendurchmesser 140 mm, Höhe 100 mm) aufgesetzt und im Raum mit definiertem Klima (Klimaraum) platziert (Abbildung 4-11). Je nach benötigter Wasserdampf-Partialdruckdifferenz wurde das Glasgefäß mit Wasser, gesättigter Salzlösung oder mit Trocknungsmittel (Silicagel PURUM) gefüllt.

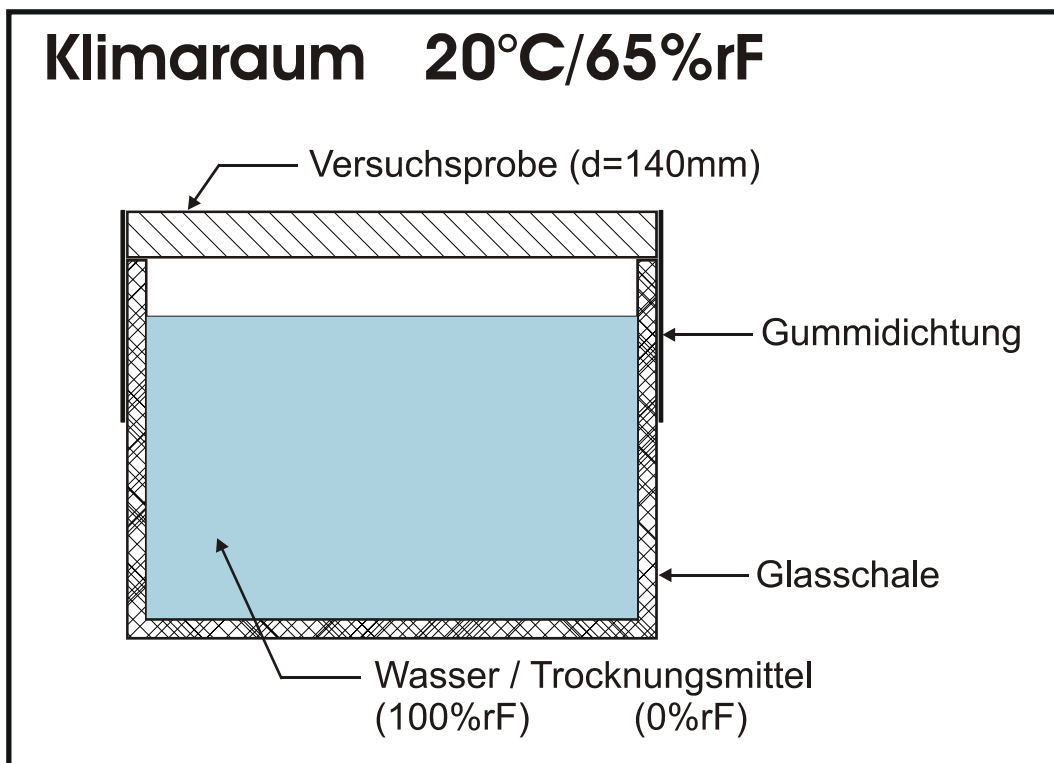


Abbildung 4-11 Messanordnung für die Dampfdurchlässigkeitsbestimmung

4.5.5 Versuchsbedingungen

Für die Versuchsplatten wurde Normalklima nach DIN 50014 (rel. Luftfeuchtigkeit=65%, Temperatur=20°C) verwendet. Die Abdichtung der Probe erfolgte durch eine speziell angefertigte Gummimanschette.

Die normalklimatisierte Probe wurde gewogen und die genaue Abmessung ermittelt. Das Glasgefäß wurde bis 10 mm unter den Rand mit Trockenmittel aufgefüllt, die Versuchssprobe aufgesetzt und mit einer Gummimanschette abgedichtet. Die Proben wurden in gewissen Zeitabständen von den Gefäßen abgenommen und gewogen. Dieser Vorgang wurde bis zur Gewichtskonstanz wiederholt. Die Gewichtskonstanz galt als erreicht, wenn sich die Masse

der Probe gegenüber der vorherigen Wägung im Abstand von 24 Stunden um nicht mehr als 0.1% geändert hat.

Die Versuchsbedingungen sowie die für die Berechnung der Diffusionsvorgänge notwendige Konstanten sind in Tabelle 4-17 zusammengefasst.

Tabelle 4-17 Versuchsbedingungen und Konstante der Diffusionsmessung

Begriffe	Versuchsbedingungen und Konstanten
Absolute Temperatur	293.15 °K
Gaskonstante des Wasserdampfes R_D	462 Nm/kg·°K
Atmosphärendruck (Normzustand) p	1013.25 hPa
Mittlerer Luftdruck im Klimaraum p_0	932 hPa
Sättigungsdruck des Wasserdampfes p_s bei 20°C	2337.82 Pa
Diffusionskoeffizient des Wasserdampfes in der Luft δ_D	7.5760E-7 kg/(m·h·Pa)
Wasserdampfdiffusionskoeffizient D	0.1 m²/h

4.5.6 Resultate und Diskussion

Noch bevor die Prüflinge den Diffusionsmessungen unterzogen worden sind, wurden diese normalklimatisiert und der Feuchtigkeitsgehalt sowie die Rohdichte bestimmt.

Es wurden absichtlich sehr strenge Prüfbedingungen gewählt, um die Diffusionsvorgänge in den Versuchsplatten unter extremen Klimabedingungen zu untersuchen. Die relative Luftfeuchtdifferenz von 100% und 65% (Nassverfahren) sowie von 0% und 65% (Trockenverfahren) bei 20°C auf beiden Seiten der Platte ist in der Praxis selten anzutreffen.

Es wurden drei Gruppen gebildet:

1. unbehandelt und U-653
2. Warmrauch und Thermoholz
3. Osmo Color und Pento Fluid IP (die zwei im Handel erhältlichen Mittel)

Die Messwerte wie Probedurchmesser d , die mittlere Probedicke s , die Prüffläche A , die Massendifferenz Δm und die Zeitspanne Δt zwischen zwei Wägungen, der Wassergehalt u , die Normal-Rohdichte ρ_u , die mittlere Luftschichtdicke unterhalb der Probe s_L sowie die abgeleiteten Werte wie Wasserdampf-Diffusionsstromdichte WDD , der Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand μ und die Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_D sind für die jeweiligen Versuchsgruppen in den Tabellen 4-18 bis 4-23 zusammengefasst.

Der Verlauf der Gewichtsänderung der Proben infolge Wasserdampf-Partialdruckdifferenz von 818 Pa bei stationären Bedingungen (Temperatur 20°C) sind im Anhang A2, diejenigen infolge Wasserdampf-Partialdruckdifferenz von 1520 Pa ebenfalls im Anhang A2 graphisch dargestellt.

Wenn die Wasserdampfdurchlässigkeit einer Beschichtung gemessen wird, müsste nach DIN 52615 die Probe zuerst unbehandelt geprüft werden und nach dem Auftragen der Beschichtung noch ein weiteres Mal. Aus Zeitgründen wurden die Proben nur beschichtet getestet. Da innerhalb der jeweiligen Beschichtungsreihen sehr minimale Streuungen auftraten, wird angenommen, dass die Proben, wenn sie unbehandelt geprüft worden wären im selben Rahmen liegen würden wie die Versuchsreihe „unbehandelt“.

4.5.6.1 Unbehandelt und U-653

Tabelle 4-18 Gemessene und berechnete Mittelwerte der unbehandelten und mit U-653 behandelten Proben zwischen 0% und 65% rel. Luftfeuchte

Begriffe	unbehandelt	U-653
Durchmesser der Probe quer d_q [m]	0.1405	0.1404
Durchmesser der Probe längs d_l [m]	0.1402	0.1401
Mittlere Probendicke s [m]	0.0191	0.0191
Mittlere Luftschichtdicke unterhalb der Probe s_L [m]	0.03	0.03
Massendifferenz zwischen 2 Wägungen $m_2 - m_1$ [g]	-2.655	-2.665
Zeitspanne zwischen 2 Wägungen $t_2 - t_1$ [h]	119.67	120.33
Prüffläche der Probe A [m ²]	0.0155	0.0154
Wasserdampf-Diffusionsstromdichte WDD [g/m ² ×d]	34.402	34.407
Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand μ	40.56	40.63
Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_D [m]	0.774	0.775
Wassergehalt vor der Messung u_v [%]	12.889	13.218
Wassergehalt nach der Messung u_n [%]	10.497	10.819
Rohdichte r_N [g/cm ³]	0.424	0.427
rel. Luftfeuchte oberhalb der Probe j_1 [%]	65	65
rel. Luftfeuchte unterhalb der Probe j_2 [%]	0	0
Wasserdampf-Partialdruck oberhalb der Probe p_1 [Pa]	1519.58	1519.58
Wasserdampf-Partialdruck unterhalb der Probe p_2 [Pa]	0	0

Beide Versuchsreihen weisen eine steile Gewichtsabnahme in den ersten Stunden auf (Anhang A2, Abbildungen A2-1 und A2-3).

Die Gewichtskonstanz wurde bei beiden Behandlungsarten nach 120 Stunden erreicht. Die Gewichtsabnahme betrug bei der unbehandelten Versuchsreihe 2.65 g und bei der U-653 Versuchsreihe 2.66 g. (vgl. Tabelle 4-18)

Die Messbedingungen und die Resultate der Wasserdampfdurchlässigkeit von den Versuchsreihen „unbehandelt“ und „U-653“ sind in Tabelle 4-18 zusammengefasst. Die Resultate zeigen, dass zwischen den Versuchsreihen „unbehandelt“ und „U-653“ keine signifikanten Unterschiede bestehen.

Der Wasserdampf-Durchlasswiderstand der Versuchsreihen ist ca. 40-mal grösser als einer gleich dicken Luftschicht gleicher Temperatur (siehe μ -Wert in Tabelle 4-18). Anders ausgedrückt, müsste die ruhende Luftschicht eine Dicke von ca. 0.77 m aufweisen, damit sie den gleichen Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand wie die Versuchsproben erreicht (siehe s_D -Wert in Tabelle 4-18).

Die folgende Tabelle 4-19 zeigt die Diffusionseigenschaften der Versuchsreihen „unbehandelt“ und „U-653“ im Feuchtbereich zwischen 65% und 100% rel. Luftfeuchtigkeit auf. Den zeitlichen Verlauf der Gewichtsänderung bei den oben erwähnten Feuchtbereichbedingungen ist im Anhang A2, Abbildung A2-2 und A2-4 ersichtlich.

Tabelle 4-19 Gemessene und berechnete Mittelwerte der unbehandelten und mit U-653 behandelten Proben zwischen 100% und 65% rel. Luftfeuchte

Begriffe	unbehandelt	U-653
Durchmesser der Probe quer d_q [m]	0.1405	0.1405
Durchmesser der Probe längs d_l [m]	0.1402	0.1400
Mittlere Probendicke s [m]	0.0191	0.0191
Mittlere Luftschichtdicke unterhalb der Probe s_L [m]	0.015	0.015
Massendifferenz zwischen 2 Wägungen $m_2 - m_1$ [g]	7.023	7.020
Zeitspanne zwischen 2 Wägungen $t_2 - t_1$ [h]	290.42	290.42
Prüffläche der Probe A [m ²]	0.0155	0.0154
Wasserdampf-Diffusionsstromdichte WDD [g/m ² ×d]	37.524	37.560
Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand μ	20.05	20.01
Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_D [m]	0.383	0.381
Wassergehalt vor der Messung u_v [%]	13.008	13.117
Wassergehalt nach der Messung u_n [%]	19.561	19.375
Rohdichte r_N [g/cm ³]	0.409	0.432
rel. Luftfeuchte oberhalb der Probe j_1 [%]	65	65
rel. Luftfeuchte unterhalb der Probe j_2 [%]	100	100
Wasserdampf-Partialdruck oberhalb der Probe p_1 [Pa]	1519.58	1519.58
Wasserdampf-Partialdruck unterhalb der Probe p_2 [Pa]	2337.82	2337.82

4.5.6.2 Thermoholz und Warmrauch

Tabelle 4-20 Gemessene und berechnete Mittelwerte der mit Wärme und Rauch behandelten Proben zwischen 0% und 65% rel. Luftfeuchte

Begriffe	Thermoholz	Warmrauch
Durchmesser der Probe quer d_q [m]	0.1406	0.1416
Durchmesser der Probe längs d_l [m]	0.1400	0.1402
Mittlere Probendicke s [m]	0.0188	0.0191
Mittlere Luftschichtdicke unterhalb der Probe s_L [m]	0.03	0.03
Massendifferenz zwischen 2 Wägungen $m_2 - m_1$ [g]	-2.240	-2.668
Zeitspanne zwischen 2 Wägungen $t_2 - t_1$ [h]	138.08	125.71
Prüffläche der Probe A [m ²]	0.0155	0.0156
Wasserdampf-Diffusionsstromdichte WDD [g/m ² ×d]	25.178	32.860
Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand μ	56.790	42.754
Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_D [m]	1.070	0.816
Wassergehalt vor der Messung u_v [%]	9.309	12.653
Wassergehalt nach der Messung u_n [%]	7.382	10.527
Rohdichte r_N [g/cm ³]	0.436	0.418
rel. Luftfeuchte oberhalb der Probe j_1 [%]	65	65
rel. Luftfeuchte unterhalb der Probe j_2 [%]	0	0
Wasserdampf-Partialdruck oberhalb der Probe p_1 [Pa]	1519.58	1519.58
Wasserdampf-Partialdruck unterhalb der Probe p_2 [Pa]	0	0

Die mit Rauch behandelten Proben weisen eine steile Gewichtsabnahme während den ersten 24 Stunden auf, im Gegensatz zu den thermisch behandelten Proben, die eine viel flachere Gewichtsabnahme als die bisher begutachteten Behandlungen aufweist (Anhang A2, Abbildungen A2-5 und A2-7).

Die Gewichtskonstanz wurde bei Thermoholz nach 138 Stunden, bei den Warmrauchproben nach 125 Stunden erreicht. Die Gewichtsabnahme betrug bei der thermisch behandelten

Versuchsreihe 2.24 g und bei der mit Rauch behandelten Versuchsreihe 2.66 g. (vgl. Tabelle 4-20)

Die Messbedingungen und die Resultate der Wasserdampfdurchlässigkeit von den Versuchsreihen „Thermoholz“ und „Warmrauch“ sind in Tabelle 4-20 zusammengefasst. Die Resultate zeigen, dass zwischen den Versuchsreihen „Thermoholz“ und „Warmrauch“ kleine Unterschiede bestehen. Die thermisch vergüteten Proben weisen einen höheren Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand und dadurch auch eine höhere wasserdampf-diffusionsäquivalente Luftschichtdicke auf. Dies wird auf die schlechtere Wasseraufnahme von Thermoholz und die tiefere Ausgleichsfeuchte zurückgeführt.

Der Wasserdampf-Durchlasswiderstand ist bei der Versuchsreihe „Thermoholz“ ca. 57-mal und bei der Versuchsreihe „Warmrauch“ ca. 43-mal grösser als bei einer gleich dicken Luftschicht gleicher Temperatur (siehe μ -Wert in Tabelle 4-20). Anders ausgedrückt, müsste die ruhende Luftschicht eine Dicke von ca. 1.07 m bei der thermisch vergüteten Versuchsreihe und 0.82 m bei der Versuchsreihe „Warmrauch“ aufweisen, damit sie den gleichen Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand wie die Versuchsproben erreicht (siehe s_D -Wert in Tabelle 4-20).

Die folgende Tabelle 4-21 fasst die Diffusionswerte der Gruppe zwei für den Feuchtbereich zwischen 100% und 65% rel. Luftfeuchtigkeit zusammen. Den zeitlichen Verlauf der Gewichtsänderung bei den oben erwähnten Feuchtbereichbedingungen ist im Anhang A2, Abbildung A2-6 und A2-8 ersichtlich.

Im Vergleich zu den Trockenbedingungen diffundiert bei den Nassbedingungen durch das gleiche Material eine viel grössere Wasserdampfmenge in bedeutend längerer Zeit. Demnach ist die Wasserdampf-Diffusionsgeschwindigkeit beinahe die gleiche und der Wasserdampf-Diffusionswiderstand tiefer als beim Trockenverfahren.

Tabelle 4-21 Gemessene und berechnete Mittelwerte, der mit Wärme und Rauch behandelten Proben zwischen 100% und 65% rel. Luftfeuchte

Begriffe	Thermoholz	Warmrauch
Durchmesser der Probe quer d_q [m]	0.1405	0.1414
Durchmesser der Probe längs d_l [m]	0.1400	0.1403
Mittlere Probendicke s [m]	0.0189	0.0191
Mittlere Luftschichtdicke unterhalb der Probe s_L [m]	0.015	0.015
Massendifferenz zwischen 2 Wägungen $m_2 - m_1$ [g]	5.903	7.283
Zeitspanne zwischen 2 Wägungen $t_2 - t_1$ [h]	359.58	312.08
Prüffläche der Probe A [m ²]	0.0155	0.0156
Wasserdampf-Diffusionsstromdichte WDD [g/m ² ×d]	25.488	35.936
Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand μ	30.401	20.863
Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_D [m]	0.573	0.399
Wassergehalt vor der Messung u_v [%]	9.017	12.774
Wassergehalt nach der Messung u_n [%]	14.288	19.441
Rohdichte r_N [g/cm ³]	0.418	0.413
rel. Luftfeuchte oberhalb der Probe j_1 [%]	65	65
rel. Luftfeuchte unterhalb der Probe j_2 [%]	100	100
Wasserdampf-Partialdruck oberhalb der Probe p_1 [Pa]	1519.58	1519.58
Wasserdampf-Partialdruck unterhalb der Probe p_2 [Pa]	2337.82	2337.82

4.5.6.3 Osmo Color und Pento Fluid IP

Tabelle 4-22 Gemessene und berechnete Mittelwerte der mit Osmo Color und Pento Fluid IP behandelten Proben zwischen 0% und 65% rel. Luftfeuchte

Begriffe	Osmo Color	Pento Fluid IP
Durchmesser der Probe quer d_q [m]	0.1405	0.1405
Durchmesser der Probe längs d_l [m]	0.1401	0.1402
Mittlere Probendicke s [m]	0.0191	0.0193
Mittlere Luftschichtdicke unterhalb der Probe s_L [m]	0.03	0.03
Massendifferenz zwischen 2 Wägungen $m_2 - m_1$ [g]	-2.755	-2.473
Zeitspanne zwischen 2 Wägungen $t_2 - t_1$ [h]	144.00	165.92
Prüffläche der Probe A [m ²]	0.0155	0.0155
Wasserdampf-Diffusionsstromdichte WDD [g/m ² ×d]	29.709	23.125
Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand μ	47.11	60.54
Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_D [m]	0.901	1.166
Wassergehalt vor der Messung u_v [%]	12.813	12.880
Wassergehalt nach der Messung u_n [%]	10.373	10.684
Rohdichte r_N [g/cm ³]	0.431	0.427
rel. Luftfeuchte oberhalb der Probe j_1 [%]	65	65
rel. Luftfeuchte unterhalb der Probe j_2 [%]	0	0
Wasserdampf-Partialdruck oberhalb der Probe p_1 [Pa]	1519.58	1519.58
Wasserdampf-Partialdruck unterhalb der Probe p_2 [Pa]	0	0

Wie das Thermoholz weisen die mit Pento Fluid IP behandelten Proben eine viel flachere Gewichtsabnahme auf als die anderen Behandlungen (Anhang A2, Abbildung A2-11). Die mit Osmo Color behandelten Proben weisen hingegen eine steile Gewichtsabnahme während der ersten 24 Stunden auf (Anhang A2, Abbildung A2-9).

Die Gewichtskonstanz wurde bei der Versuchsreihe „Pento Fluid IP“ nach 166 Stunden, bei der Versuchsreihe „Osmo Color“ nach 144 Stunden erreicht. Die Gewichtsabnahme betrug bei der Versuchsreihe „Pento Fluid IP“ 2.47 g und bei der Versuchsreihe „Osmo Color“ 2.75 g. (vgl. Tabelle 4-22)

Die Messbedingungen und die Resultate der Wasserdampfdurchlässigkeit von den Versuchsreihen „Pento Fluid IP“ und „Osmo Color“ sind in Tabelle 4-22 zusammengefasst. Die Resultate zeigen, dass zwischen den Versuchsreihen „Pento Fluid IP“ und „Osmo Color“ geringe Unterschiede bestehen. Die mit Pento Fluid IP behandelten Proben weisen einen höheren Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand und dadurch auch eine höhere Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke auf.

Der Wasserdampf-Durchlasswiderstand ist bei der Versuchsreihe „Pento Fluid IP“ ca. 61-mal, bei der Versuchsreihe „Osmo Color“ ca. 47-mal grösser als bei einer gleich dicken Luftschicht gleicher Temperatur, (siehe μ -Wert in Tabelle 4-22). Anders ausgedrückt, müsste die ruhende Luftschicht eine Dicke von ca. 1.17 m bei der Pento Fluid IP behandelten Versuchsreihe und 0.90 m bei der Versuchsreihe Osmo Color aufweisen, damit sie den gleichen Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand wie die Versuchsproben erreicht (siehe s_D -Wert in Tabelle 4-22).

Die folgende Tabelle 4-23 zeigt die Diffusionseigenschaften der Versuchsreihen „Pento Fluid IP“ und „Osmo Color“ im Feuchtbereich zwischen 65% und 100% rel. Luftfeuchtigkeit auf. Den zeitlichen Verlauf der Gewichtsänderung bei den oben erwähnten Feuchtbereichbedingungen ist im Anhang A2, Abbildung A2-10 und A2-12 ersichtlich.

Tabelle 4-23 Gemessene und berechnete Mittelwerte der mit Osmo Color und Pento Fluid IP behandelten Proben zwischen 100% und 65% rel. Luftfeuchte

Begriffe	Osmo Color	Pento Fluid IP
Durchmesser der Probe quer d_q [m]	0.1406	0.1404
Durchmesser der Probe längs d_l [m]	0.1402	0.1402
Mittlere Probendicke s [m]	0.0190	0.0193
Mittlere Luftschichtdicke unterhalb der Probe s_L [m]	0.015	0.015
Massendifferenz zwischen 2 Wägungen $m_2 - m_1$ [g]	7.71	6.59
Zeitspanne zwischen 2 Wägungen $t_2 - t_1$ [h]	312.08	359.58
Prüffläche der Probe A [m ²]	0.0155	0.0155
Wasserdampf-Diffusionsstromdichte WDD [g/m ² ×d]	38.323	28.453
Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand μ	19.63	26.27
Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_D [m]	0.373	0.508
Wassergehalt vor der Messung u_v [%]	12.848	12.839
Wassergehalt nach der Messung u_n [%]	19.620	18.136
Rohdichte ρ_N [g/cm ³]	0.427	0.444
rel. Luftfeuchte oberhalb der Probe j_1 [%]	65	65
rel. Luftfeuchte unterhalb der Probe j_2 [%]	100	100
Wasserdampf-Partialdruck oberhalb der Probe p_1 [Pa]	1519.58	1519.58
Wasserdampf-Partialdruck unterhalb der Probe p_2 [Pa]	2337.82	2337.82

4.5.6.4 Schlussfolgerung

Tabelle 4-24 Übersicht der Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstände der getesteten Beschichtungen

	Wasserdampf-Partialdruckdifferenz	
	0%-65%	100%-65%
	1519 Pa	818 Pa
	Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand μ	
unbehandelt	40.56	20.05
U-653	40.63	20.01
Thermoholz	56.79	30.40
Warmrauch	42.75	20.86
Osmo Color	47.11	19.63
Pento Fluid IP	60.54	26.27

Die getesteten Holzbehandlungsarten unterscheiden sich nicht gross von den Ergebnissen der unbehandelten Versuchsreihe, ausser bei den Versuchsreihen „Thermoholz“ und „Pento Fluid IP“. Bei der thermisch behandelten Versuchsreihe ist dies auf die geringeren Ausgleichsfeuchten und geringeren Quellmasse zurückzuführen. Diese Eigenschaften entstehen während der thermischen Behandlung durch einen chemischen Umwandlungsprozess im Holz.

Der hohe Wasserdampfdurchlasswiderstand der Versuchsreihe „Pento Fluid IP“ ist auf die sehr kompakte Oberflächenschicht zurückzuführen.

Alle Werte liegen sehr tief, was für ein poröses Material wie Holz zu erwarten ist. Ab einer wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicke s_D von 1500m (1500-3000mal grösser

als die oben berechneten Werte), ist das Material als „praktisch wasserdampfdicht“⁷² zu bezeichnen.

Was aber festgestellt wurde ist, dass der Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand μ von der Wasserdampf-Partialdruckdifferenz abhängig ist. Im Feuchtebereich (100% und 65% rel. Luftfeuchte, Partialdruckdifferenz= 818Pa Temp. =20°C), wo der Partialdruck halb so gross ist wie im Trockenbereich (0% und 65% rel. Luftfeuchte, Partialdruckdifferenz= 1520Pa Temp. =20°C) wurden auch halb so grosse Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstände gemessen. Nun wäre noch zu beweisen, dass der Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand wirklich proportional zum Wasserdampf-Partialdruckdifferenz ist.

⁷² DIN 52615. (1987)

4.6 Wasseraufnahmekoeffizienten nach DIN EN ISO 15148

4.6.1 Einleitung

Feuchtigkeitsbewegungen in Holzbauteilen infolge Wasseraufnahme sind in bauphysikalischer Hinsicht (materialtechnische Gründe, Fäulnis) von grosser Bedeutung. Unter ungünstigen Bedingungen (anhaltender Regen, Schlagregen) kann es zu anhaltender Durchfeuchtung aufgrund von Kapillarkräften eines Bauteils kommen, wodurch das Wärmeisoliationsvermögen herabgesetzt wird und im Extremfall die Sicherheit einer Konstruktion beeinträchtigt werden kann (Fäulnis).

Diese Arbeit liefert Resultate einer stationären Messung des Wasseraufnahmekoeffizienten für kurze Zeitspanne durch teilweises Eintauchen ohne Temperaturgradienten von Fichtenholzwürfel mit verschiedenen Behandlungen.

4.6.2 Begriffe

4.6.2.1 Statistische Auswertung

Siehe Kapitel 4.4.2.1

4.6.2.2 Massendifferenz

Die Massendifferenz pro Quadratmeter m_t gibt an, wie viele Kilogramm pro Quadratmeter während der Zeit t aufgenommen wurde.

$$m_t = \frac{M_t - M_i}{A} \quad [\text{kg/m}^2] \quad \text{Formel 14}$$

M_t Masse nach der Zeit t [kg]

M_i Anfangsmasse [kg]

A Grundfläche des Prüflings [m^2]

4.6.2.3 Wasseraufnahmekoeffizient

Die von einem Probekörper je Flächeneinheit und Wurzel aus der Zeit aufgenommene Wassermenge.⁷³

Die Werte m_t werden gegen die Wurzel \sqrt{t} aus den Wägzeiten in einem Diagramm dargestellt. Die resultierende Kurve fällt unter eine der beiden Typen: Typ A oder Typ B (siehe Abbildung 4-12).

⁷³ DIN EN ISO 15148

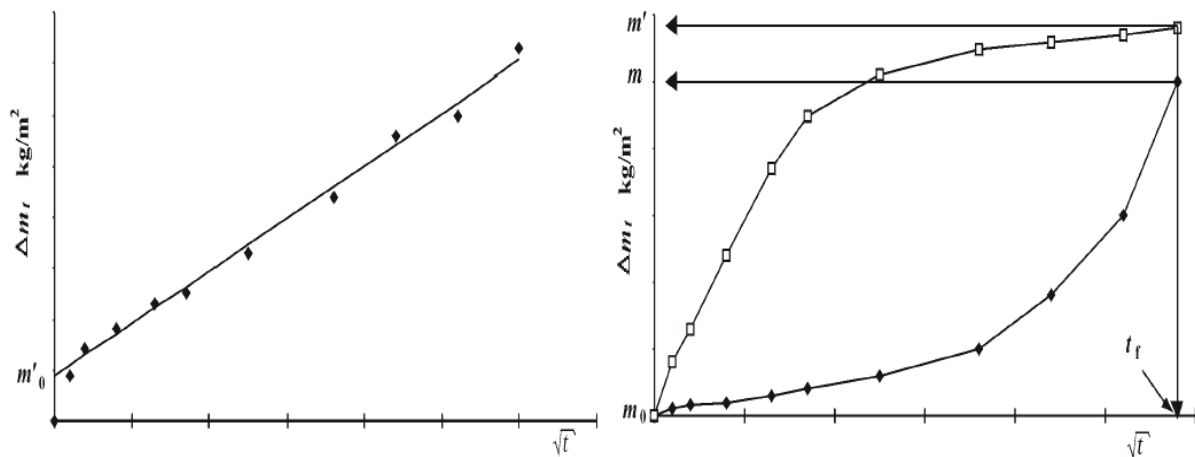


Abbildung 4-12 links: Kurve Typ A (linear); rechts: Kurve Typ B (nach DIN EN ISO 15148 (2003))

In unserem Fall resultierte meistens der Typ A, in einzelnen Fällen Typ B. Bei Typ A kann durch die Werte von m_t gegen \sqrt{t} eine gerade Linie gezeichnet werden. Wird diese Linie bis zur Zeit Null verlängert, wo sie die vertikale Achse m_0 schneidet, kann durch die Formel 15 der Wasseraufnahmekoeffizient errechnet werden.

$$A_w = \frac{m'_{tf} - m'_0}{\sqrt{t_f}} \left[\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}) \right] \quad \text{Formel 15}$$

m'_{tf} der Wert von m auf der Geraden zur Zeit t_f , in Kilogramm je Quadratmeter

t_f die Zeit am Ende der Prüfung in Sekunden

Ergibt die Kurve von m_t gegen \sqrt{t} keine gerade Linie, sondern einen beliebigen Verlauf, so ist in diesem Fall für m_{tf} der Wert von m_t nach 24h einzusetzen.

A_w berechnet sich dann aus

$$A_{w,24h} = \frac{m_{tf}}{\sqrt{t_f}} \left[\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}) \right] \quad \text{Formel 16}$$

4.6.3 Material

Die Untersuchung des Wasseraufnahmekoeffizienten wurde an Fichtenholzwürfel ($50 \times 50 \times 50 \text{ mm}$) getestet. Die Proben wurden als Riftholzwürfel hergestellt, damit der Wasseraufnahmekoeffizient in allen drei Richtungen (radial, tangential und axial) getestet werden konnte. Die Proben waren auf den nicht zu testenden Seiten jeweils mit einer wasserundurchlässigen Farbe behandelt.

Es wurden immer 18 Proben pro Behandlungsart verwendet (je 6 radial, tangential und axial). Behandlungsarten:

- unbehandelt
- wärmebehandelte Proben (Thermoholz)
- U-653
- Rauchkondensat modifiziert, Variante 1*
- Rauchkondensat modifiziert, Variante 2*
- Rauchkondensat modifiziert, Variante 3*
- Rauchkondensat modifiziert, Variante 4*
- Warmrauch
- Osmo Color

- Pento Fluid IP

Produktebeschreibung wie Auftragsmenge, Applikation, u.a. siehe Kapitel 4.3

* 3 Proben axial und je eine Probe radial und tangential

4.6.4 Methode

4.6.4.1 Messprinzip

Die Wasseraufnahme durch teilweises Eintauchen wird durch Messen der Massenänderung des Prüfkörpers bestimmt, dessen Unterseite über eine Zeitspanne von 24h in Kontakt mit Wasser steht. Die Massenänderung wurde nach 5 min, nach 20 min, nach 1 h, 2 h, 4 h, 8 h, 16 h und 24 h gewogen. Das an der Oberfläche haftende Wasser wurde vor dem Wägen mittels eines Schwammes entfernt.

4.6.4.2 Prüfeinrichtung und Messanordnung

Die würfelförmigen Versuchsproben werden auf ein Auflagegitter gestellt. Der Wasserspiegel soll konstant auf 5 ± 2 mm über dem höchsten Punkt der Unterseite des Prüflings gehalten werden.

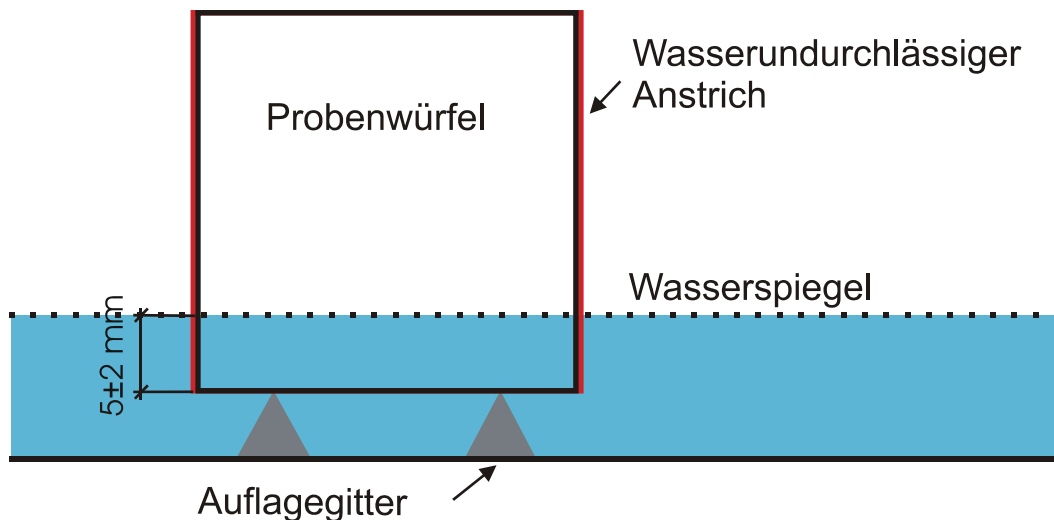


Abbildung 4-13 Messanordnung für die Wasseraufnahme

4.6.4.3 Versuchsbedingungen

Die Versuchswürfel wurden vorgängig bis zur Massenkonstanz im Normklima nach DIN 50014 (rel. Luftfeuchtigkeit=65%, Temperatur=20°C) gelagert. Der Versuch wurde im Normklima durchgeführt. Die Abdichtung der nicht zu prüfenden Holzrichtungen erfolgte mit einer Acrylfarbe. Die normalklimatisierte Probe wurde auf $\pm 0.1\%$ seiner Masse gewogen. Die Proben wurden so ins Wasser gestellt, dass die Proben immer 5 ± 2 mm im Wasser standen. Der Probekörper wurde dann nach 5 Minuten aus dem Wasser genommen und nachdem die Oberflächen mit einem feuchten ausgewrungenen Schwamm abgetrocknet worden war, auf $\pm 0.1\%$ seiner Masse gewogen. Der Vorgang Eintauchen, Herausnehmen, Abtupfen und Wägen wurde nach 20min, 1 h, 2 h, 4 h, 8 h, 16 h, 24 h Eintauchzeit wiederholt, um eine Reihe von Massewerten m_t zu bestimmten Zeitpunkten t zu erhalten.

4.6.5 Resultate und Diskussion

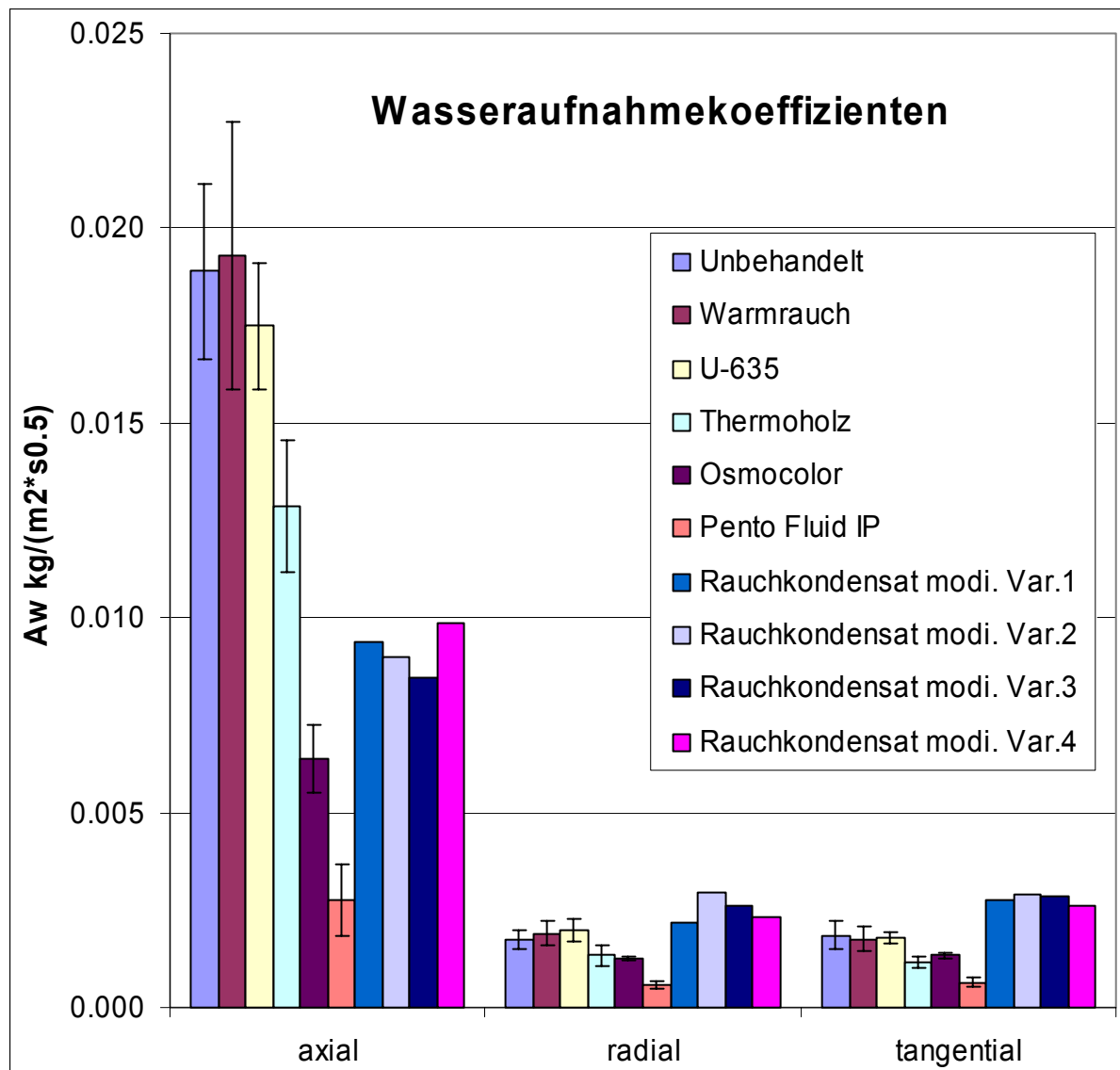


Abbildung 4-14 Wasseraufnahmekoeffizienten im Vergleich

Tabelle 4-25 Mittelwerte und Standardabweichung des Wasseraufnahmekoeffizienten A_w [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0.5})$] \bar{x} = Mittelwert; s = Standardabweichung

		Unbehandelt	Warmrauch	Thermoholz	Osmo Color	U-653	Pento Fluid IP
Axial	\bar{x}	0.01889	0.01929	0.01285	0.00638	0.01749	0.00275
	s	0.00223	0.00342	0.00169	0.00086	0.00162	0.00093
Radial	\bar{x}	0.00175	0.00190	0.00134	0.00125	0.00199	0.00057
	s	0.00023	0.00030	0.00027	0.00004	0.00028	0.00009
Tangential	\bar{x}	0.00186	0.00176	0.00115	0.00133	0.00178	0.00065
	s	0.00034	0.00033	0.00015	0.00007	0.00015	0.00010

In der oben gezeigten Tabelle 4-25 werden nur die Behandlungsarten dargestellt, bei denen der Versuch mit sechs Proben je Richtung durchgeführt wurde. Detaillierte Werte jeder Behandlungsart siehe Anhang A4, Tabellen A4-1 und A4-2.

Die Werte der unbehandelten Proben stimmen mit den in der Literatur angegebenen Werten überein.⁷⁴ So ist der Wert bei Künzel in axialer Richtung $0.02 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2})$ und in tangentialer Richtung $0.003 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2})$.

Wie aus Abbildung 4-14 abgeleitet werden kann, bestehen zwischen den unbehandelten, den mit Warmrauch modifizierten und den U-653 behandelten Proben keine signifikanten Unterschiede, und zwar in axialer wie in radialer und tangentialer Schnittrichtung. Das Thermoholz hat einen signifikant tieferen Wasseraufnahmekoeffizienten als die drei vorhergenannten, was wiederum auf die chemischen Veränderungen, die im Holz während der thermischen Vergütung entstanden sind, zurückzuführen ist. Die im Handel erhältlichen Holzschutzmittel erreichen die besten Werte. Pento Fluid IP erreicht mit Abstand den besten Wert, was auf die sehr homogene und dichte Oberflächenschicht zurückzuführen ist. Die Wasseraufnahme in radialer und tangentialer Richtung unterscheiden sich nicht. Somit kann die Aussage gemacht werden, dass der axiale Wasseraufnahmekoeffizient ca. 5-10-mal grösser ist als in radialer und tangentialer Richtung, was auf den Holzaufbau zurückzuführen ist.

Diese Werte lassen sich gut miteinander vergleichen, da für axial, radial und tangential einen Probeumfang von je sechs Stück genommen wurde. Bei den mit Rauchkondensat behandelten Proben von E. Zürcher kann nur eine Tendenz festgestellt werden, da in axialer Richtung nur drei und in den Richtungen radial und tangential nur je eine Probe verwendet wurde. (siehe Anhang A4, Tabelle A4-2) In axialer Richtung kann gesagt werden, dass die mit Rauchkondensat behandelten Proben fast einen halb so grossen Wasseraufnahmekoeffizienten aufweisen, als die unbehandelten Proben. Das wird auf das eher zähflüssige Rauchkondensat zurückgeführt, das in die Poren und Gefässe im Hirnholz eindringt und so diese verstopft. In der radialen und tangentialen Richtung ist sehr deutlich zu sehen, dass die mit Rauchkondensat behandelten Proben deutlich höhere Werte aufweisen als alle anderen. Diese Ergebnisse sind sehr mit Vorsicht zu geniessen, da nur eine Probe pro Richtung getestet wurde. Auch könnte ein Einfluss spielen, dass die Farbe, die zur Abdichtung der nicht zu testenden Seiten verwendet wurde, eine schlechte Adhäsion auf der Rauchkondensatschicht hat. So wird vermutet (Abbildung 4-15), dass durch Kapillarkräfte Wasser zwischen die

⁷⁴ Bauen mit Holz 12/93. Künzel H, Risse in bewittertem Holz

Rauchkondensatschicht und die Acrylfarbe angezogen wurde. Da die Wasseraufnahme in axialer Richtung viel grösser ist, hat die schlechte Adhäsion bei den mit Rauchkondensat behandelten Proben einen signifikanten Einfluss.

Was bei Testen weiter beobachtet wurde, ist, dass sich rauchbehandeltes Holz sehr schlecht verkleben lässt, was wieder auf die schlechte Adhäsion des Leimes auf dem Rauchkondensat deutet.

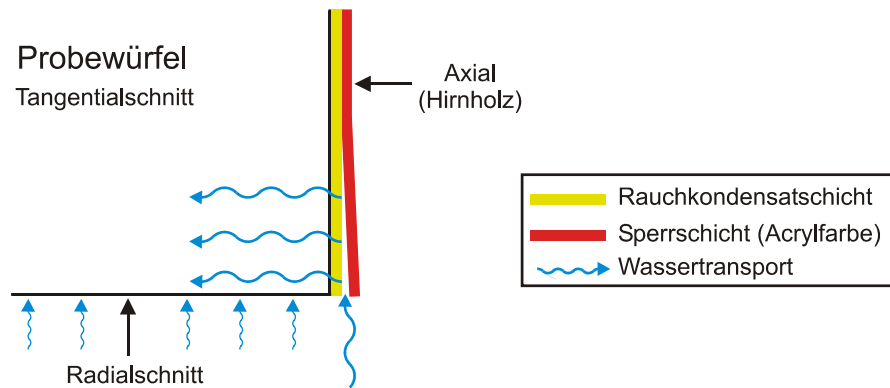


Abbildung 4-15 Vermutete Verfälschung der Resultate durch schlechte Adhäsion der Farbe auf den mit Rauchkondensat behandelten Proben

4.7 Freilandbewitterung

4.7.1 Einleitung

Die Witterungsbeanspruchung von Holz im Freien ist bekanntlich wesentlich schärfer als in Innenräumen. Die Tatsache, dass mit intensiven Feuchtigkeitseinwirkungen (höhere relative Luftfeuchtigkeit, gegebenenfalls flüssiges Wasser) sowie mit direkter Sonnenbestrahlung zu rechnen ist, erklärt allein noch nicht die Aggressivität des Aussenklimas. Massgebender sind vielmehr die ausgeprägten und meist raschen Änderungen von Feuchtigkeits- und Wärmebedingungen, die eine komplexe und besonders scharfe Beanspruchung ausmachen. Hinzu kommen die Einwirkungen der energiereichen UV-Strahlung, die chemische Veränderungen organischer Stoffe auslösen können, ferner mechanische Beanspruchungen durch Luftbewegungen, ablaufendes Wasser, Hagel und schliesslich Verschmutzungen, gegebenenfalls auch chemischer Angriff durch Luftverunreinigung.

Wird Holz der direkten Sonnenbestrahlung ausgesetzt, können an seiner Oberfläche Temperaturen bis zu 80°C entstehen. Die Folge davon kann eine verstärkte Rissbildung sein, wobei die Risse wiederum eine Eiablage von Schadinsekten sowie die Wasseraufnahme des Holzes begünstigt. Eine erhöhte Holzfeuchtigkeit bildet darüber hinaus einen Nährboden für holzerstörende Pilze. Aber auch UV-Strahlen zerstören das Holz. Das wasserunlösliche Lignin, die Kittsubstanz der Zellulosefasern, wird in wasserlösliche Komponenten gespalten. Die Holzstruktur verliert ihren Halt und wird ausgewaschen. Und nicht zuletzt kann Holz bei direkter Bewitterung durch Regen durchnässt werden und bietet dann die Lebensgrundlage für pflanzliche und tierische Schädlinge.

Die UV-Strahlung des Sonnenlichts bewirkt im Holz (im Lignin) photo-chemische Abbaureaktionen. Die Holzoberfläche wird zunächst leicht gebräunt. Durch Niederschlagswasser werden diese Abbauprodukte ausgewaschen (erosiver Abtrag 0.01 bis 0.1 mm/Jahr, im dichten Spätholz geringer als im porösen Frühholz). Die Feuchtigkeit ermöglicht gleichzeitig einen Befall mit holzverfärbenden Pilzen (z.B. Bläuepilze), die die Oberfläche grau bis schwarz tönen. Das Ergebnis dieser Oberflächenverwitterung ist eine reliefartige Oberflächenstruktur (erhaben Spätholz, vertieft Frühholz) bei gleichzeitiger Dunkelfärbung, Risse können durch Schwind- und Quellspannungen sowie Temperaturspannungen hinzutreten.⁷⁵

Bei der Freilandbewitterung kann festgestellt werden, wie lange sich eine Beschichtung/Behandlungsart an den örtlichen Klimaverhältnissen behaupten kann. Nach wie vielen Jahren ist ein Neuanstrich nötig, braucht das Holz weiterhin regelmässig Pflege? Das sind Fragen, die durch eine natürliche Bewitterung zum Teil beantwortet werden.

Bei der Freilandbewitterung bieten sich noch Vorteile für die Beschichtungen. So bleibt durch die Versuchsanordnung nie Wasser auf den Proben liegen und die Proben können gut abtrocknen. Eine längere Feuchteansammlung ist bei diesem Versuch ausgeschlossen.

4.7.2 Begriffe

4.7.2.1 L*a*b*-Farbsystem

Das L*a*b*-Farbsystem ist heute das gebräuchlichste System für die Farbmessung. Der Farbraum des L*a*b*-Systems ist durch die Helligkeit L* und die Farbkoordinaten a* und b* gekennzeichnet. Abbildung 4-16 zeigt die dazugehörige Farbkugel. Die Vorzeichen lassen die Farbrichtungen erkennen: +a* deutet auf einen Rotanteil hin, -a* zeigt in Richtung Grün.

⁷⁵ Knöfel D. (1982). S. 19-21

Dementsprechend steht $+b^*$ für Gelb, und $-b^*$ für Blau. L^* ist immer Plus, der Ursprung liegt unten an der Kugel (schwarz 0), oben (weiss 100).

Im Koordinatenursprung der Ebene a^* b^* befindet sich ein neutrales Grau ohne jede Buntheit.⁷⁶

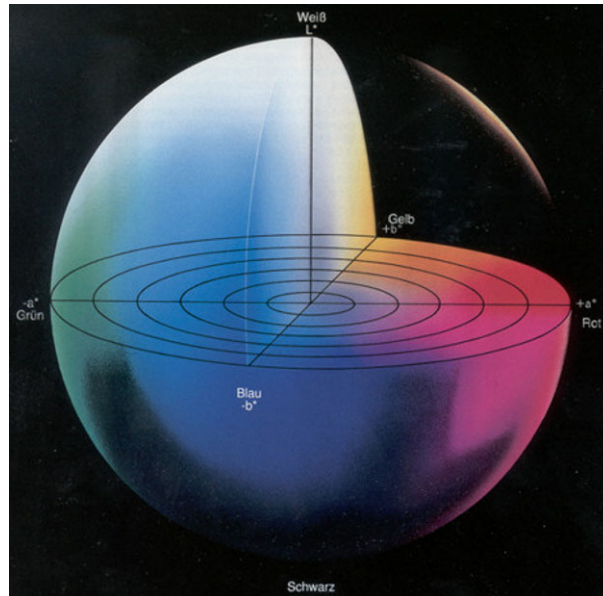


Abbildung 4-16 Dreidimensionale Darstellung des $L^*a^*b^*$ -Farbraums

4.7.3 Material

Die Freilandbewitterung wurde an DIN A4-grossen Fichtendreischichtplatten (Lageverhältnis 9/9/9 mm) durchgeführt. Die Proben wurden willkürlich aus einer handelsüblichen Dreischichtplatte entnommen. Pro Behandlungsart wurde je eine Platte ungeschlitzt und eine Platte geschlitzt verwendet. Bei den geschlitzten Platten wurde die Deckschicht ca. alle 5 cm in Faserrichtung genutet (3.2 mm breit, 4 mm tief), um festzustellen, ob die Schlitzte risshemmend, also spannungsabbauend wirken, oder ob sie die Rissbildung noch vergrössern.

Behandlungsarten:

- unbehandelt
- Borsäure
- Pottasche
- Soda
- Holzteer
- U-653
- E-653
- Osmo Color
- Pento Fluid IP
- Lasinol UV
- Pento Antihydro

Produktbeschreibung wie Auftragsmenge, Applikation, u.a. siehe Kapitel 4.3

⁷⁶ Minolta, Gebrauchsanweisungsbeilage: Exakte Farbkommunikation

4.7.4 Methode

Die Proben wurden auf der Terrasse der ETH Zürich freilandbewittert. Die Proben wurden mit zwei Hakenschrauben auf dem Gitter des Bewitterungsstandes fixiert. Der Bewitterungsstand ist gegen Süden gerichtet und 45° aus der Horizontalen geneigt.

Die Proben wurden vorgängig fotografiert und mit dem Minolta Chroma-Meter 200 die Farbe bestimmt. Jeden Monat wurden die Proben wieder der Farbmessung unterzogen und fotografiert.

Die Farbe wurde immer am gleichen Ort der Probe gemessen.



Abbildung 4-17 Bewitterungsstand an der ETH Zürich

4.7.5 Versuchsbedingungen

Die Versuchsbedingung ist das natürliche Klima während der Zeit von April 2003 bis Dezember 2003. Die Tagesmittelwerte sind von Meteo Schweiz. Die Daten stammen aus der Station Zürich.

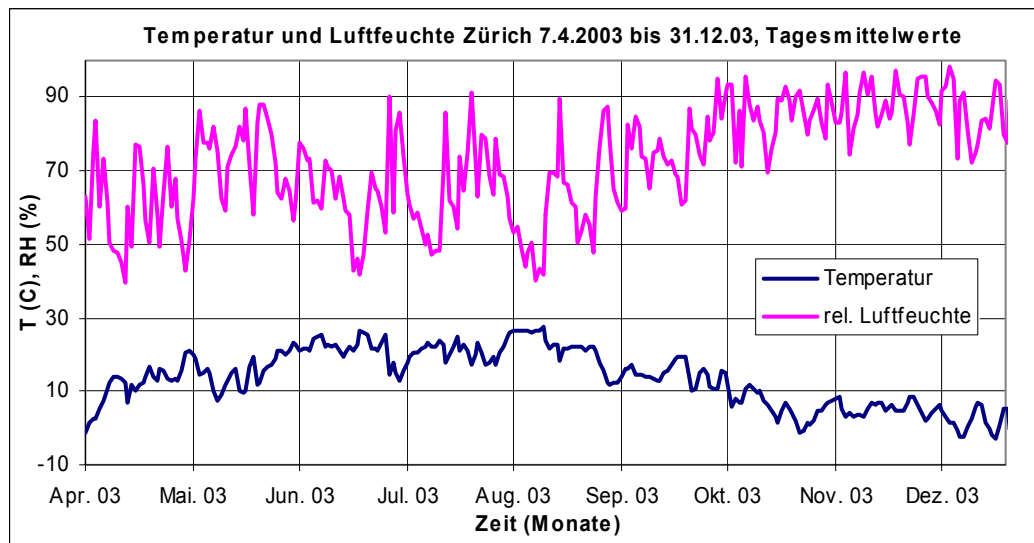


Abbildung 4-18 Temperatur- und Luftfeuchteverlauf in Zürich, Daten Meteo Schweiz

4.7.6 Resultate und Diskussion

4.7.6.1 Visuelle Beurteilung

Wie in den folgenden Abbildungen (4-21 bis 4-31) deutlich zu erkennen ist, haben alle Proben eine grosse Farbveränderung erlitten. Die Abbildungen zeigen nur Ausschnitte aus den Proben. Es wurden solche Ausschnitte gewählt, die interessante Details enthalten. Was bei den meisten festgestellt werden kann, ist dass sich die Proben richtiggehend vergraut haben und das Behandlungsmittel mit wenigen Ausnahmen ausgewaschen wurde. So ist auch bei diesen festzustellen, dass Wespen sich daran zu schaffen gemacht haben (Abbildung 4-19).



Abbildung 4-19 durch Wespen verursachte Schadsuren an der mit Soda behandelten Probe

Bei einzelnen Proben sind auch Risse festzustellen. Auch sind bei den Proben, bei denen die Holzschutzbehandlung ausgewaschen wurde, sind unter dem Mikroskop Spuren von Bläupilzen, zu erkennen. Betrachtet man alle Proben von Auge haben alle im Schnitt gleich viele Risse, egal ob grosse oder kleine. Doch die handelsüblichen Mittel sind besser. Vor allem Pento Fluid (Abbildung 4-29) weist noch keine Risse auf. Lasinol UV (Abbildung 4-30) weist mikroskopische kleine Risse auf, durch diese Wasser unter die Oberfläche gelangte und diese fleckenartigen Verfärbungen hervorrief.



**Abbildung 4-20 durch Mikrorisse verursachte
fleckenartige Verfärbungen**

Osmo Color (Abbildung 4-25) und Pento Antihydro (Abbildung 4-31) weisen, obwohl sie auch sehr stark ausgewaschen wurden, weniger Risse auf als die übrigen Behandlungsarten. Zwischen den geschlitzten und ungeschlitzten Proben konnten nur sehr geringe Unterschiede festgestellt werden. Doch es zeigt sich, dass die geschlitzten Platten die Spannungen zum Teil abbauen und dadurch grössere Risse verhindern.

Die Abbildungen 4-21 bis 4-31 zeigen die bewitterten Proben rechts bei Versuchsbeginn und links nach einer Bewitterung von neun Monaten (siehe auch Anhang A3.1). Die Proben wurden vor dem Fotografieren normalklimatisiert.



Abbildung 4-21 Borsäure



Abbildung 4-24 Holzteer



Abbildung 4-22 Pottasche



Abbildung 4-25 Osmo Color



Abbildung 4-23 Soda



Abbildung 4-26 unbehandelt



Abbildung 4-27 U-653



Abbildung 4-30 Lasinol UV



Abbildung 4-28 E-653



Abbildung 4-31 Pento Antihydro

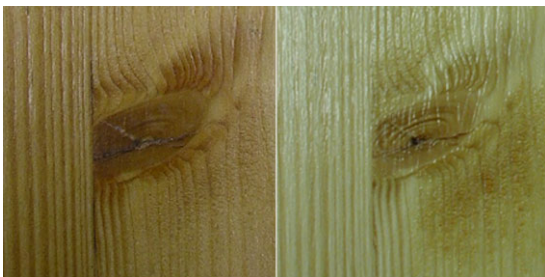


Abbildung 4-29 Pento Fluid IP

In den drei folgenden Abbildungen sieht man den Verwitterungsprozess über die neun Monate. Anzumerken ist hier noch, dass das erste Foto immer im Labor gemacht wurde, die anderen immer unter Sonnenlicht. Daher kann durch verschiedene Belichtungsstärken die Farbe variieren. Die relative Luftfeuchte hat einen grossen Einfluss auf die Holzfarbe und daher kann die Probe je nach Holzfeuchte verschieden Farbwerte aufweisen.

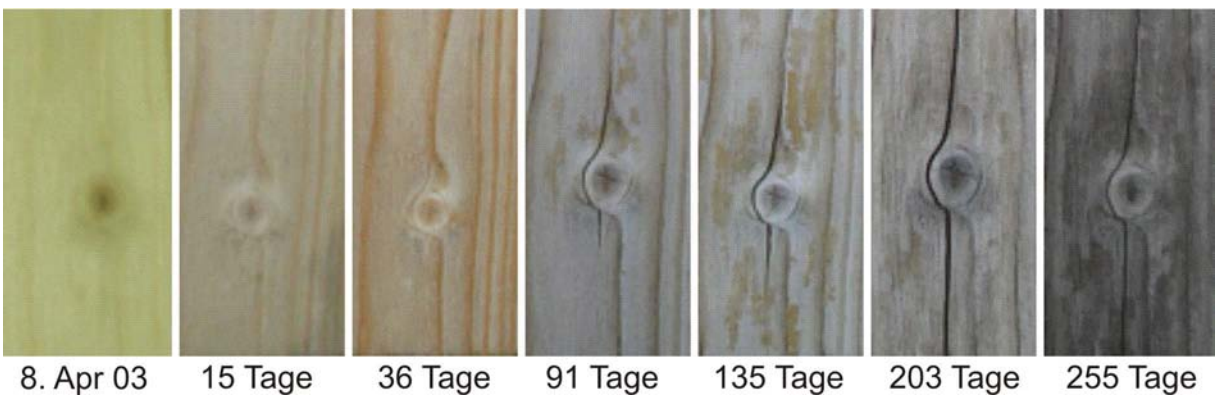


Abbildung 4-32 Verwitterungsprozess der unbehandelten Probe

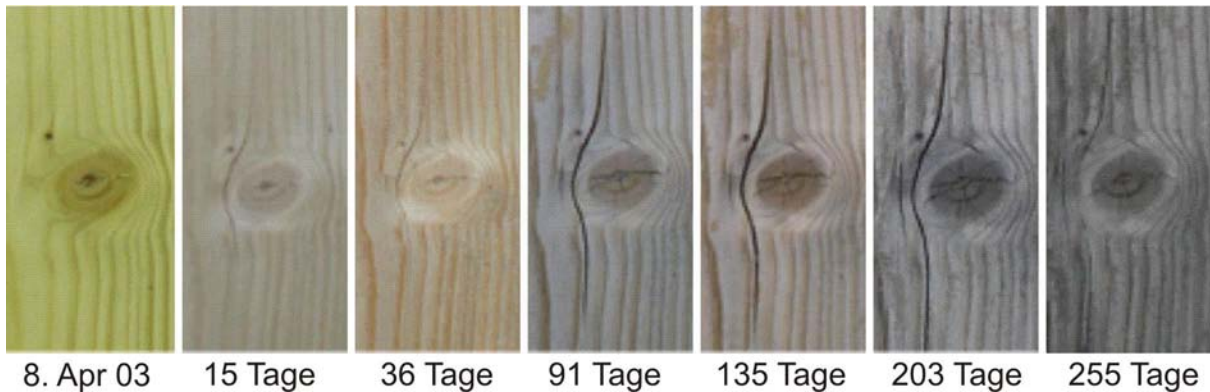


Abbildung 4-33 Verwitterungsprozess der mit Soda behandelten Probe

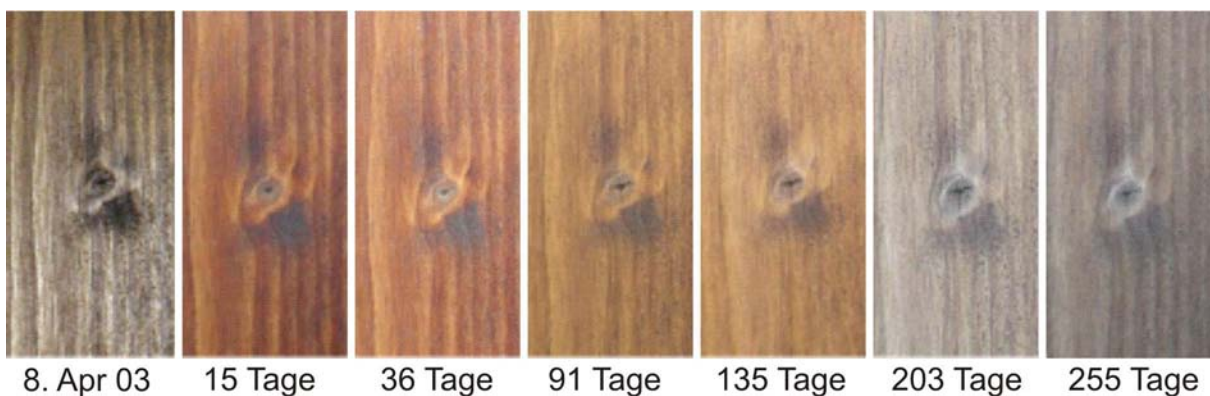


Abbildung 4-34 Verwitterungsprozess der mit Osmo Color behandelten Probe

4.7.6.2 Farbmessungen

Während den Auswertungen der Farbmessungen wurde festgestellt, dass die Holzfeuchte einen signifikanten Einfluss auf die Holzfarbe hat. Um den Farbverlust über einen bestimmten Zeitraum zu bestimmen, müsste man die Proben jeweils normalklimatisieren, so dass die Holzfeuchte bei jeder Messung dieselbe wäre. Doch aus Zeitgründen - so eine Akklimatisation nähme immer jeweils eine Woche in Anspruch - wurde darauf verzichtet. Erst nach neun Monaten wurde der Versuch abgebrochen und die Proben normalklimatisiert, sodass die Farbveränderung bestimmt werden konnte.

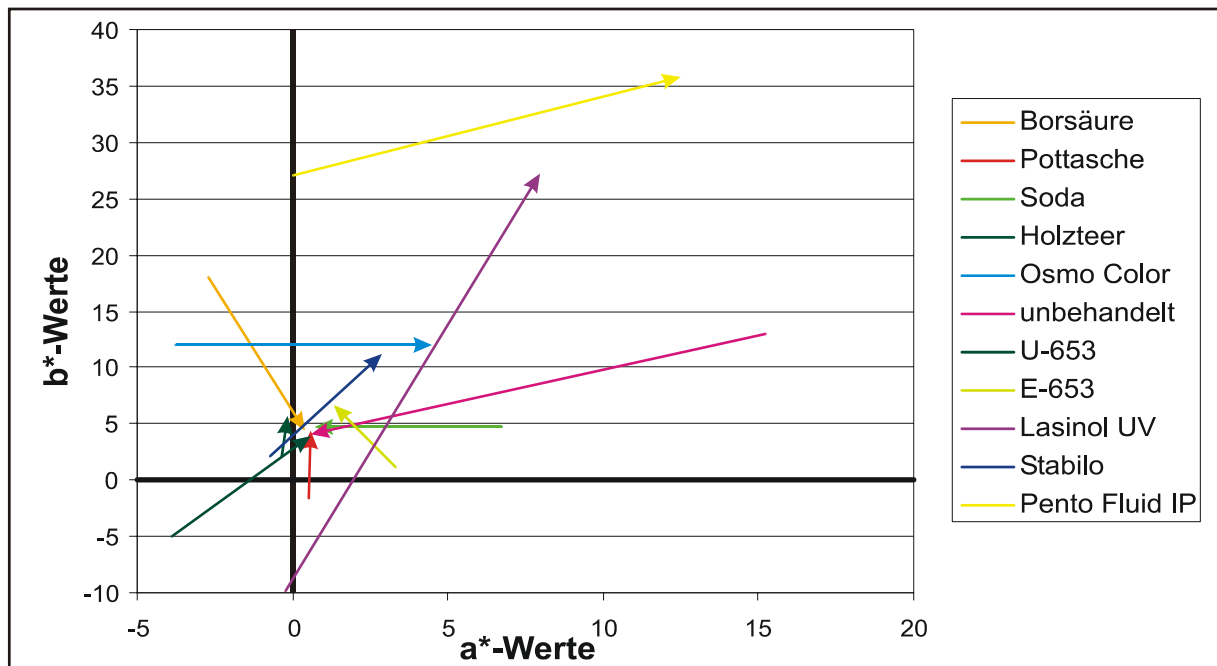


Abbildung 4-35 Farbveränderung der a*- und b*- Werte über 9 Monate. Ein Pfeil verbindet den Anfangswert und den Endwert, um zu zeigen in welche Richtung sich die Farbe veränderte.

Wie in Abbildung 4-35 ersichtlich ist, bewegen sich die a*- und b*-Werte der unkonventionellen Behandlungsarten zum Koordinatenursprung hin. Die Helligkeitswerte bewegen sich auf 60 zu (Tabelle 4-26).

Wie in Kapitel 4.7.2.1 L*a*b*-Farbsystem beschrieben wird, liegt genau bei den Werten $a^*=0$ und $b^*=0$ und $L^*=50$ ein neutrales Grau ohne jede Buntheit. Vielleicht der Grund warum Leute eine vergraute Fassade als nicht schön beurteilen, ist doch ein neutrales Grau ohne Buntheit eine sehr langweiliger trister Farbton.

Dass sich alle unkonventionellen Behandlungsarten am Ende des Versuches farblich nicht mehr unterscheiden lassen, ist auf das Auswaschen der Behandlungsmittel zurückzuführen. Wie aus den Diagrammen im Anhang A3 (Abbildungen A3-12 bis A3-14) abgelesen werden kann, sind die Mittel schon nach kurzer Zeit (nach 2-3 Monaten) ausgewaschen und verhalten sich gleich wie die unbehandelte Probe.

Bei den handelsüblichen Behandlungsmittel (Osmo Color, Lasinol, Pento Antihydro, Pento Fluid IP) sind auch sehr starke farbliche Veränderungen festzustellen, doch verlaufen diese a*- und b*-Werte willkürlich und nicht zum Koordinatenursprung hin. Dies wird darauf zurückgeführt, dass diese Behandlungsmittel UV-Blocker oder andere Zusätze enthalten, die sich weniger schnell auswaschen lassen.

Die Farbverläufe über das ganze Jahr sind im Anhang A3 (Abbildungen A3-12 bis A3-14) ersichtlich.

Tabelle 4-26 Farbwerte der normalklimatisierten Proben vor und nach den 9 Monaten Bewitterungsdauer

	Beginn 7. Apr. 2003			Ende 19. Dez. 2003		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
Borsäure	87.33	-2.71	17.97	58.65	0.42	4.47
Pottasche	97.25	0.51	-1.60	60.96	0.57	4.41
Soda	40.25	6.74	4.70	59.74	0.71	4.77
Holzteer	96.63	-0.38	2.11	66.56	-0.16	5.75
Osmo Color	91.20	-3.79	11.95	47.61	4.49	12.06
unbehandelt	48.00	15.24	12.95	61.83	0.60	4.06
U-653	105.63	-3.88	-5.05	68.10	0.56	3.93
E-653	89.14	3.30	1.14	62.42	1.34	6.65
Pento Fluid IP	85.96	0.05	27.06	67.66	12.50	35.84
Lasinol UV	104.45	-0.24	-9.84	72.20	7.96	27.19
Pento Antihydro	100.26	-0.73	2.07	64.57	2.90	11.23

4.7.6.3 Schlussfolgerung

Dieser Versuch brachte wichtige Erkenntnisse über die Brauchbarkeit der alternativen/unkonventionellen Behandlungsarten gegenüber den im Handel erhältlichen (Osmo Color, Lasinol, Pento Antihydro, Pento Fluid IP). Die Proben, die mit im Handel erhältlichen Mitteln behandelt wurden, sind nach diesen neun Monaten mehr oder weniger noch in gutem Zustand, was von den mit Soda, Borsäure, Pottasche, Holzteer behandelten Proben nicht zu behaupten ist. Auch im Hinblick auf die Rissanfälligkeit schneiden die im Handel erhältlichen Mittel viel besser ab. So sind bei diesen nur wenige bis gar keine Risse auszumachen, bei den unkonventionellen Mitteln aber sehr viele Risse von Auge erkennbar.

4.8 Wechselklima

4.8.1 Einleitung

Bauteilauseinandersetzungen infolge von Feuchtigkeitsschwankungen oder Wasseraufnahme können im Extremfall die Sicherheit einer Konstruktion beeinträchtigen.

Bei Fassadenkonstruktionen müssen Dehnungsfugen vorgesehen werden. Da beim Quellvorgang hohe Quelldrücke entstehen, können an der Konstruktion Schäden auftreten. Wird darrtrockenes Holz befeuchtet und dabei die Quellung behindert, so treten je nach Holzart hohe Quelldrücke bis zu 500N/mm^2 auf.⁷⁷

Diese Arbeit liefert nicht Resultate der Quelldrücke, sondern der Wegänderungen.

4.8.2 Material

Die Untersuchung im Wechselklima wurde an quadratischen ($200\text{ mm} \pm 0.5\text{ mm}$) Fichtendreischichtplatten (Lageverhältnis 9/9/9 mm) getestet. Die Proben wurden willkürlich aus einer handelsüblichen Dreischichtplatte entnommen.

Es wurden nur zwei Proben getestet, eine unbehandelte und eine mit U-653.

4.8.3 Methode

4.8.3.1 Messprinzip

Die Proben wurden einem Wechselklima solange ausgesetzt bis die Ausgleichsfeuchte erreicht wurde. Dabei wurden die Wegänderungen aufgezeichnet.

Der Zeitplan und der Belegungsplan der Klimakammer liessen einen grösseren Prüfumfang nicht zu, resultierte doch pro Versuchsprobe eine Prüfdauer von ca. 400 h.

4.8.3.2 Prüfeinrichtung und Messanordnung

Für diesen Versuch wurde eine spezielle Versuchsanordnung geplant und hergestellt (siehe Abb. 4-33). Diese multifunktionelle Gewindelochplatte lässt auch andere Messungen zu und ist sehr flexibel.

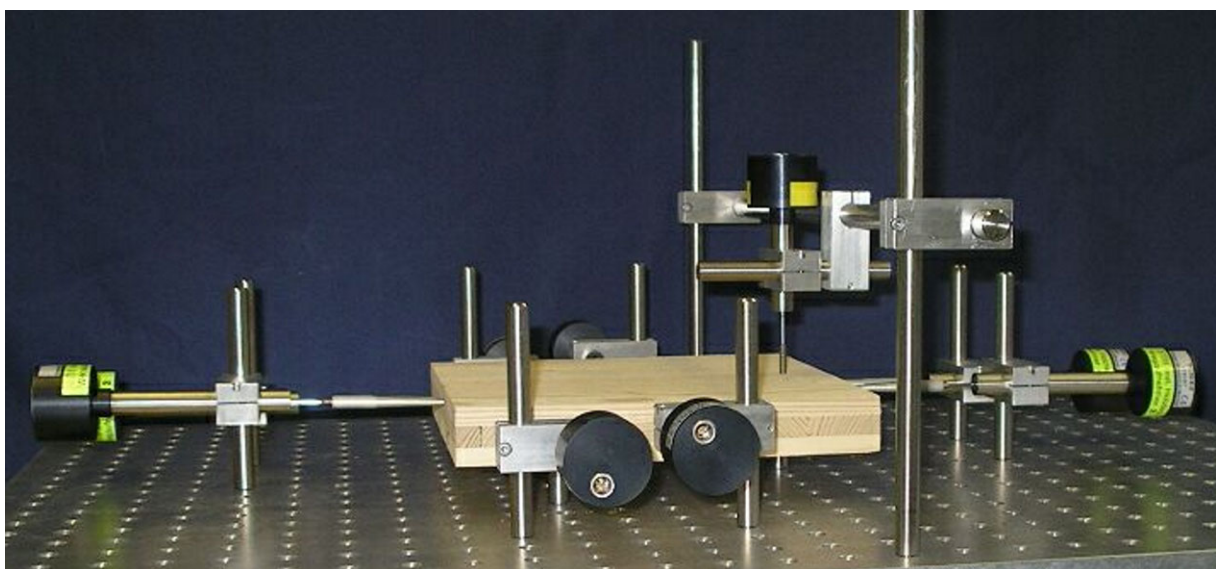


Abbildung 4-36 Versuchsanordnung: Dreischichtplatte positioniert auf dem Prüfstand (Gewindelochplatte, Wegaufnehmer)

⁷⁷ Niemz P. (1993). S. 57

Es wurden induktive Wegaufnehmer (Precisor Messtechnik, München) verwendet, die auf der Gewindelochplatte so angeordnet wurden, dass in jeder Richtung zwei Sensoren die Mittelschicht- und zwei die Deckschichtänderungen aufnehmen. Die Platte wurde auf drei Auflagen gelegt, was den Vorteil gegenüber vier Auflagepunkten bringt, dass die Platte während des ganzen Versuches auf allen drei Punkten aufliegt. An einem dieser Auflagepunkte wurde die Dickenänderung gemessen. Das Gewicht wurde an einer zweiten gleich behandelten Probe gemessen, so dass die Ausgleichsfeuchte bestimmt werden konnte.

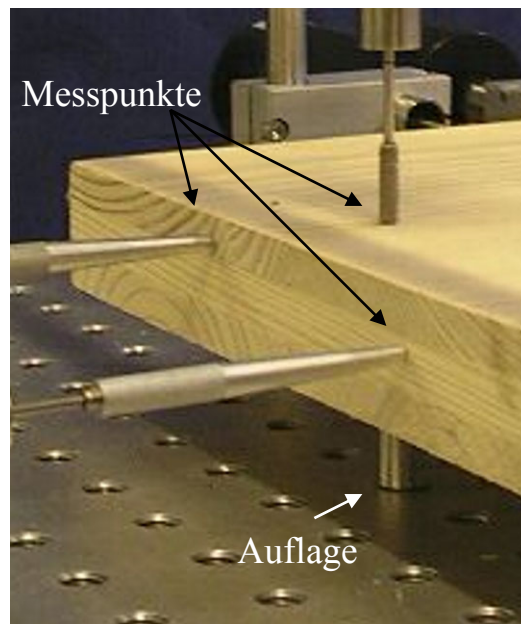


Abbildung 4-37 Dicken-, Deckschicht- und Mittelschicht-Messpunkte der Sensoren

4.8.3.3 Versuchsbedingungen

Die Wegänderung wurde durch Messen der Längs- und Querrichtung der Lagen sowie durch die Dicke der 3-Schichtplatte bestimmt. Dabei wurde als Nullwert die Abmessung nach Lagerung im Normalklima nach DIN 50014 (rel. Luftfeuchtigkeit=65%, Temperatur=20°C) genommen. Anschliessend wurde die Probe einem Trockenklima (rel. Luftfeuchtigkeit=35%, Temperatur=20°C) ausgesetzt bis die Ausgleichsfeuchte erreicht wurde. Anschliessend wurde das Klima befeuchtet (rel. Luftfeuchtigkeit=85%, Temperatur=20°C) und die Probe bis zur Ausgleichsfeuchte klimatisiert. Die Werte der zwei Sensoren wurden addiert, da sich das Schwinden oder Quellen an beiden Enden der Platte auswirkt.

4.8.4 Resultate und Diskussion

Die Angaben längs und quer in der Legende der Abbildung 4-38 und Abbildung 4-39, beziehen sich immer auf die Faserrichtung.

Wie in der Abbildung 4-38 ersichtlich ist, werden die grössten Dimensionsänderungen in der Dicke der Platte gemessen. Das ist darauf zurückzuführen, dass Holz in radialer und tangentialer Richtung die grösseren Schwind- und Quelländerungen als in Längsrichtung aufweist. Da die Lagen nicht aus Rifftholz, sondern aus Halbrifftholz hergestellt wurden, ist anzunehmen, dass in der Dicke und der Breite im Verhältnis gleiche Dimensionsänderungen auftreten. Aber trotz der geringeren Dimension von 27 mm gegenüber der Breite der Platte von 200 mm weist die Dicke der Platte eine höhere Dimensionsänderung auf, was auf die gute

Eigenschaft der Sperrschicht der 3-Schichtplatte zurückzuführen ist. Daraus wird vermutet, dass die bei der Quellung entstandenen Kräfte über die Dicke der Platte abgebaut werden. Das heisst, dass bei der Quellung der Platte die Holzsubstanz zusammengedrückt wird und da sie in der Breite nicht quellen kann in der Dicke expandiert.

Weiter ist festzustellen, dass die Decklage in Längsrichtung nur geringfügig grössere Dimensionsänderungen aufweist als die Mittellage in der Deckschicht. Weiter ist festzustellen, dass in Längsrichtung die Platte die kleinsten Dimensionsänderungen aufweist, was wiederum auf die tiefere Schwind- und Quellwerte in Längsrichtung zurückzuführen ist.

In Querrichtung verhält sich die Platte im ersten Teil des Versuchs noch so wie in Längsrichtung. Die Mittellage weist die kleineren Schwindmasse auf als die Decklage. Doch im Feuchtstadium, also im zweiten Teil des Versuches, quillt die Mittellage mehr als die Decklage, ein Phänomen, das auf die Holzbeschaffenheit oder die Lage des Sensors zurückführen ist. Bei einem Probeumfang von einer Probe kann dadurch auch keine eindeutige Aussage über die Dimensionsänderungen gemacht werden. Doch kann man aus dem Diagramm eine Tendenz herauslesen, die durch mehrere Prüfkörper noch erhärtet werden muss.

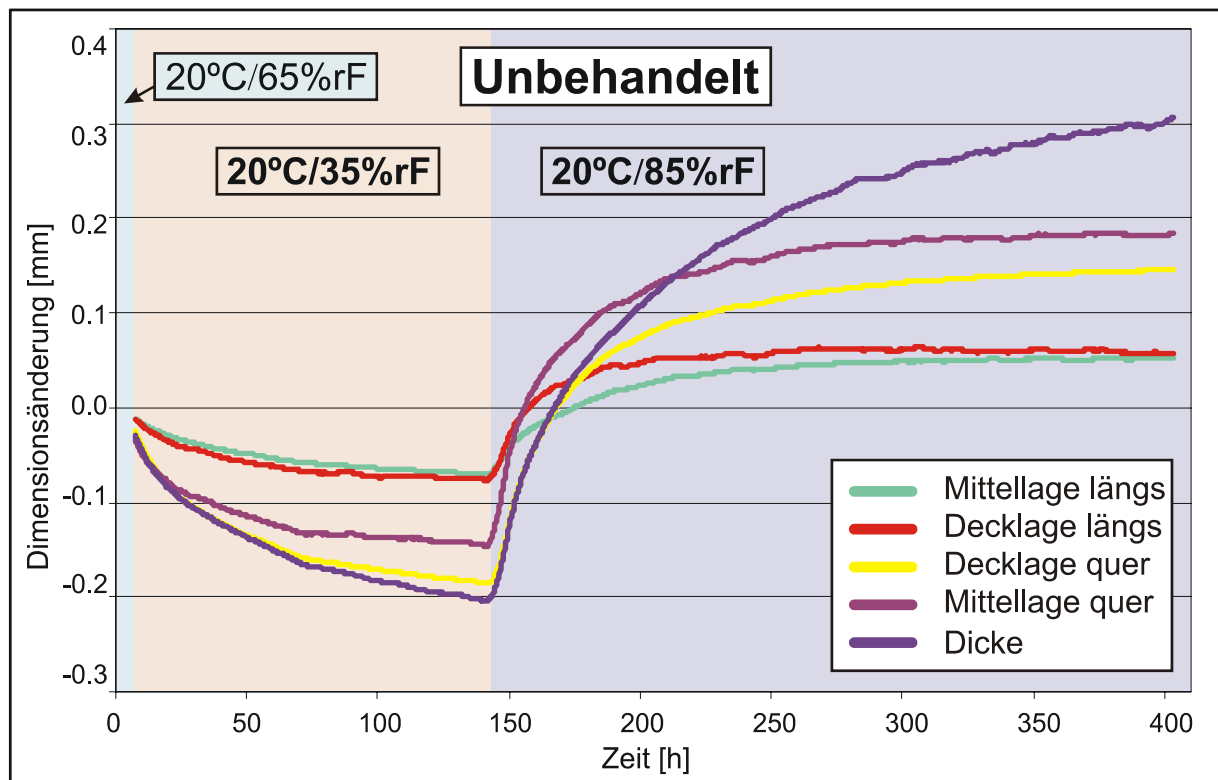


Abbildung 4-38 Dimensionsänderungen der 3-Schicht unbehandelten Probe

Bei der U-653 behandelten Probe sind dieselben Tendenzen festzustellen wie bei der unbehandelten Probe. Doch bei der Mittellage quer zeigt sich hier auch ein sehr spezieller Dimensionsänderungsverlauf. Im ersten Teil des Versuches verhält sich die Probe gleich wie die unbehandelte, doch im zweiten Teil des Versuches wird innerhalb 24 Stunden 95% der bis zur Ausgleichsfeuchte resultierenden Quellung gemessen (siehe Abb. 4-36).

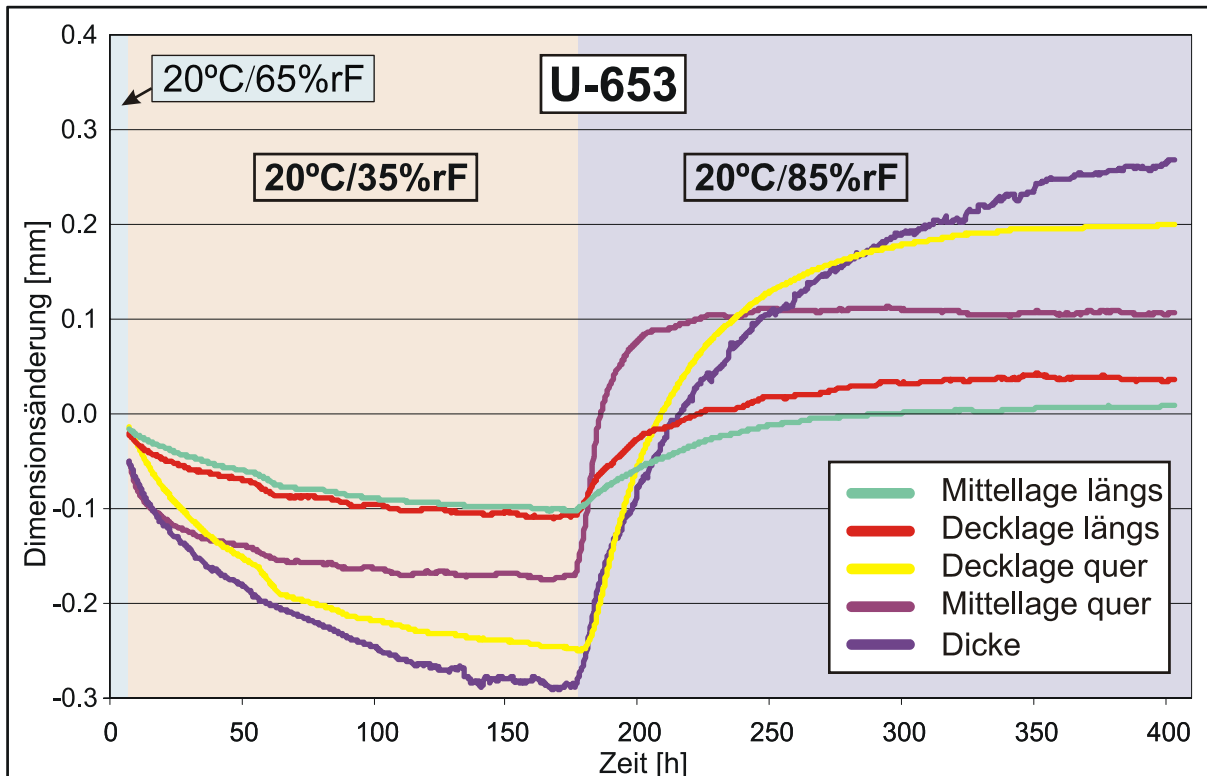


Abbildung 4-39 Dimensionsänderungen der 3 Schicht mit U-653 modifizierten Probe

Grosse Unterschiede zwischen unbehandelt und U-635 konnten keine gemacht werden. Die Dimensionsänderungen liegen in etwa im selben Rahmen.

Aus der unten gezeigten Abbildung 4-41 bzw. Abbildung 4-42 ist ersichtlich, dass im Bereich von 35% und 65 % relativer Luftfeuchte eine Adsorption oder eine Desorption stattfindet und sich in dieser Zeit die Holzfeuchte nur gering ändert. Hingegen im Bereich von 65% bis 100% relativer Luftfeuchte eine Kapillarkondensation stattfindet, während dieser sich die Holzfeuchte bis ca. 15% verändern kann.

Da die Dimension des Holzes von der Holzfeuchte abhängig ist, ist aus der oben erwähnten Erläuterung festzustellen, dass die Dimensionsänderungen zwischen einer relativen Luftfeuchte von 65% auf 35% geringer sind als die Dimensionsänderungen zwischen 35% und 85% relativer Luftfeuchte, da in diesem Bereich eine Adsorption und eine Kapillarkondensation stattfindet. Somit kann das Adsorptions- und Desorptionsverhalten, aufgrund der Dimensionsänderungen an den getesteten Proben beobachtet werden.

Weiter konnte festgestellt werden, dass die Quellkräfte auf das Randprofil der Platte grossen Einfluss haben und die Leimfuge grosse Kräfte aufnehmen kann (Abbildung 4-40).

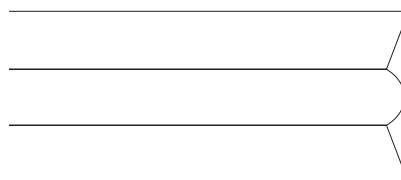


Abbildung 4-40 Übertriebenes Seitenprofil einer 3-Schichtplatte nach der Quellung

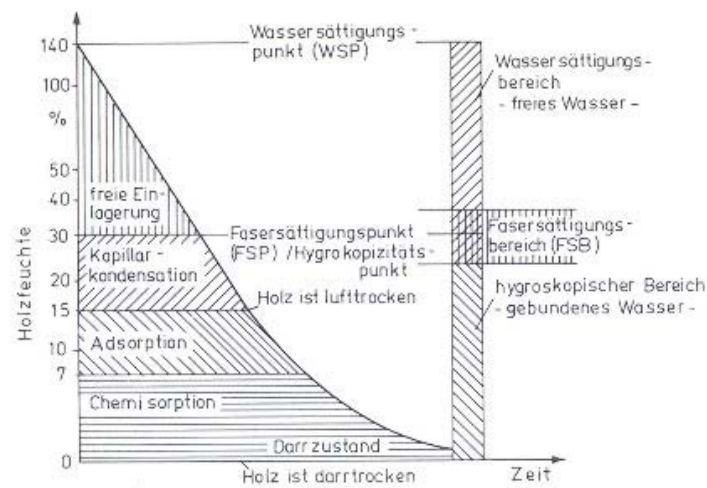


Abbildung 4-41 Schematische Darstellung der Bindungsformen des Wassers im Holz⁷⁸

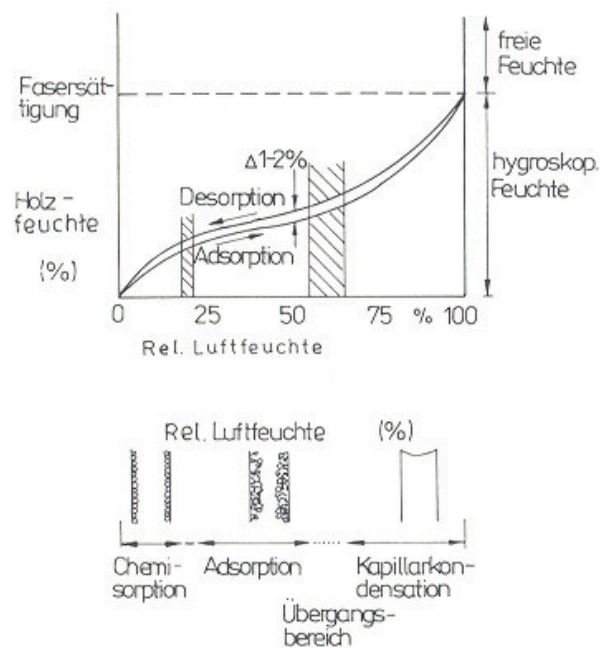


Abbildung 4-42 Sorptionsisothermen von Holz und Bindungsformen des Wassers⁷⁹

⁷⁸ Niemz P. (1993). S. 46

⁷⁹ Niemz P. (1993). S. 46

5 Folgerungen / Umsetzung

Aufgrund der Literaturstudie konnten verschiedene in Vergessenheit geratene Ansätze wieder aufgegriffen werden.

Durch die Versuchsreihe konnten die Behandlungsarten auf ihre bauphysikalische Eignung sowie auf ihre Pilzresistenz geprüft werden.

Die Haupte Erkenntnis, die aus den Versuchen gezogen wurde, ist, dass die unkonventionellen Mittel eine Alternative zu den heutig verwendeten Holzschutzmitteln darstellt, wenn sie im geschützten Bereich, vor hoher Nässe geschützt, eingesetzt werden. So würde das Schutzmittel nicht ausgewaschen, das Holzbauteil könnte nicht durchnässt werden und das Holz würde pilzresistent bleiben.

Leider zeigt die Praxis oft, dass die gestalterische Aufgabe der Holzfassade absolute Priorität vor ihren wichtigen Schutzfunktionen erhält. Vordachlose Fassaden mit nahezu fassadenbündig montierten „Naturfenstern“ sind so ein Fall, der für den Holzbau sehr problematisch werden kann, und wo nach einigen Jahren Standzeit des Gebäudes sowohl die ästhetische als auch die technische Funktion nicht mehr erfüllt werden.

Die Ursachen solcher Konflikte werden in einer unzureichenden Kommunikation zwischen Architekten und den ausführenden Unternehmen gesehen. Die Holzbauunternehmen sollten mit Sachverstand beurteilen, ob ein geplanter Bau problemlos und dauerhaft in Holz ausgeführt werden kann oder eben nicht. Die Holzbauunternehmer sollten die Architekten über allfällige Probleme aufmerksam machen und sie besser fachlich beraten. Ob sich die Architekten und Planer auf diese Problematik sensibilisieren lassen, wird die Zukunft zeigen.

Durch den Pilzversuch mit der Alerce, bei der die eine Hälfte der Proben gekocht und die andere naturbelassen wurden, konnte gezeigt werden, dass die Holzinhaltsstoffe einen grossen Einfluss auf die Holzdauerhaftigkeit haben. Da diese Inhaltsstoffe wasserlöslich sind, müsste zuerst eine geeignete Methode gefunden werden um diese im Holz zu fixieren. Danach stünde dieser Variante des Holzschutzes nicht mehr viel im Wege. Die Inhaltsstoffe könnten aus Resten (Äste, Holzabschnitte, etc.) gewonnen werden und anschliessend in weniger dauerhaftes Holz eingebracht werden. Ein Faktor der noch zu berücksichtigen wäre, ist die Höhe des Energieaufwandes für die Herauslösung der Inhaltsstoffe.

Die mit Rauchkondensat modifizierten Proben setzten sich in den getesteten Versuchen als eine recht gute Lösung durch, wobei anzumerken ist, dass auch diese an geschützten Orten, nicht voll der Witterung ausgesetzt, angewendet werden sollen. Die Warmrauchbehandlung ist noch leichter auswaschbar als das Rauchkondensat, darum eignet sich diese Methode nur für Holzbauteile, die vor Witterung und hoher Luftfeuchtigkeit geschützt zum Einsatz kommen.

In weiteren Versuchen sollte noch geklärt werden, wie sich rauchbehandelte Proben auf direkte Sonneneinstrahlung verhalten. Es könnte sein, das Holz durch die dunkle Farbtönung sehr warm wird und dadurch rissanfälliger wird. Weiter sollte untersucht werden, wie lange dieses „geräucherte Holz“ den von einigen Menschen als störend empfundenen Rauchgeruch freisetzt.

Aufgrund des schlechten Abschneidens bei dem Pilzversuch des im Handel erhältlichen Holzschutzmittels Osmo Color Gard Braun^{Classic}, wird allen Verarbeitern und Käufern von Holzschutzmitteln empfohlen, beim Kauf von solchen Mitteln das „Verzeichnis der bewilligten Holzschutzmittel“⁸⁰ des BUWAL's zu Hilfe zu nehmen. Diese jedes Jahr neu herausgegebene

⁸⁰ www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/content/stobobio/stoffe/48.pdf [Stand Apr. 03]

Liste enthält alle Holzschutzmittel, die in der Schweiz zugelassen sind. Zugelassen sind nur solche Mittel, die einen Wirksamkeitsnachweis der EMPA erhalten und vom Bundesamt für Gesundheit (BAG) hinsichtlich ihrer Giftigkeit überprüft worden sind. Solche Holzschutzmittel sind mit einer BUWAL- und einer BAG-Nummer gekennzeichnet.

Weiter sollen die Datenblätter des Herstellers genau studiert werden. So wird im Datenblatt von Osmo Color Gard Braun^{Classic} darauf hingewiesen, dass dieses Produkt keine biozide Wirkstoffe enthält, seien solche erwünscht, müsse das Holz vorgängig mit einer geeigneten Grundierung behandelt werden.

Der Verarbeiter sollte bevor er sich für ein Behandlungsmittel entscheidet, festlegen, welchen Anforderungen die Behandlungsmittel genügen müssen.

Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1 Modifikation von Holz: A) normale Quellung, B) Thermische Modifizierung, C) Einlagerung von Harzen, D) Acetylierung	1
Abbildung 3-1 Die norwegische Stabkirche Borgund	1
Abbildung 4-1 Nomogramm zur Ermittlung der Trocknungszeit (nach R. Keylwerth 1951)... 1	1
Abbildung 4-2 mit <i>Coniphora puteana</i> überwachsene Proben, links mit Pottasche behandelte Probe rechts unbehandelte Kontrollprobe	1
Abbildung 4-3 durch Braunfäule verursachter Würfelbruch	1
Abbildung 4-4 <i>Gloeophyllum trabeum</i> (Balken Blättling)	1
Abbildung 4-5 Kolleschale, oben Kontrollprobe, unten mit Pavatex Kreislaufwasser behandelte Probe	1
Abbildung 4-6 <i>Lentinus lepideus</i> , häufig auf Eisenbahnschwellen anzutreffen	1
Abbildung 4-7 <i>Fomitopsis pinicola</i> (Rotrandiger Baumschwamm).....	1
Abbildung 4-8 Aufbau der Pilzversuche	1
Abbildung 4-9 Auswertung Massenverlust (Mittelwert) der unbewitterten Proben; Werte relativ zu den unbehandelten Proben	1
Abbildung 4-10 Auswertung Massenverlust (Mittelwert) der bewitterten Proben; Werte relativ zu den unbehandelten Proben	1
Abbildung 4-11 Messanordnung für die Dampfdurchlässigkeitsbestimmung	1
Abbildung 4-12 links: Kurve Typ A (linear); rechts: Kurve Typ B (nach DIN EN ISO 15148 (2003)).....	1
Abbildung 4-13 Messanordnung für die Wasseraufnahme	1
Abbildung 4-14 Wasseraufnahmekoeffizienten im Vergleich.....	1
Abbildung 4-15 Vermutete Verfälschung der Resultate durch schlechte Adhäsion der Farbe auf den mit Rauchkondensat behandelten Proben	1
Abbildung 4-16 Dreidimensionale Darstellung des L*a*b*-Farbraums	1
Abbildung 4-17 Bewitterungsstand an der ETH Zürich	1
Abbildung 4-18 Temperatur- und Luftfeuchteverlauf in Zürich, Daten Meteo Schweiz	1
Abbildung 4-19 durch Wespen verursachte Schadsuren an der mit Soda behandelten Probe	1
Abbildung 4-20 durch Mikrorisse verursachte fleckenartige Verfärbungen	1
Abbildung 4-21 Borsäure.....	1
Abbildung 4-22 Pottasche.....	1
Abbildung 4-23 Soda	1
Abbildung 4-24 Holzteer	1
Abbildung 4-25 Osmo Color	1
Abbildung 4-26 unbehandelt.....	1
Abbildung 4-27 U-653	1
Abbildung 4-28 E-653	1
Abbildung 4-29 Pento Fluid IP	1
Abbildung 4-30 Lasinol UV	1
Abbildung 4-31 Pento Antihydro.....	1
Abbildung 4-32 Verwitterungsprozess der unbehandelten Probe.....	1
Abbildung 4-33 Verwitterungsprozess der mit Soda behandelten Probe	1
Abbildung 4-34 Verwitterungsprozess der mit Osmo Color behandelten Probe.....	1
Abbildung 4-35 Farbveränderung der a*- und b* Werte über 9 Monate. Ein Pfeil verbindet den Anfangswert und den Endwert, um zu zeigen in welche Richtung sich die Farbe veränderte.....	1

Abbildung 4-36 Versuchsanordnung: Dreischichtplatte positioniert auf dem Prüfstand (Gewindelochplatte, Wegaufnehmer).....	1
Abbildung 4-37 Dicken-, Decklage- und Mittellage-Messpunkte der Sensoren	1
Abbildung 4-38 Dimensionsänderungen der 3-Schicht unbehandelten Probe.....	1
Abbildung 4-39 Dimensionsänderungen der 3 Schicht mit U-653 modifizierten Probe	1
Abbildung 4-40 Übertriebenes Seitenprofil einer 3-Schichtplatte nach der Quellung.....	1
Abbildung 4-41 Schematische Darstellung der Bindungs-formen des Wassers im Holz	1
Abbildung 4-42 Sorptionsisothermen von Holz und Bindungsformen des Wassers	1

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1 Überblick über die Gefährdungsklassen nach DIN 68800-3 (1990).....	1
Tabelle 3-1 Zusammenstellung der seit 1700 angewendeten Konservierungs-Mittel	1
Tabelle 4-1 Übersicht über die getätigten Versuche und verwendeten Holzschutzmittel.....	1
Tabelle 4-2 Übersicht der verwendeten Behandlungen und Pilze.....	1
Tabelle 4-3 Verwendete Pilze.....	1
Tabelle 4-4 Tabelle zum optischen Bestimmen des Bewachsungsgrades.....	1
Tabelle 4-5 Durchschnittlicher Massenverlust [%] und Standardabweichung der Virulenz Proben.....	1
Tabelle 4-6 Mittlerer Massenverlust, Standardabweichung und Befund der mit U-653 und E- 653 behandelten Proben.....	1
Tabelle 4-7 Mittlerer Massenverlust, Standardabweichung und Befund der mit Pavatex und Borsäure behandelten Proben.	1
Tabelle 4-8 Mittlerer Massenverlust, Standardabweichung und Befund der mit Soda und Pottasche behandelten Proben.	1
Tabelle 4-9 Mittlerer Massenverlust, Standardabweichung und Befund der mit Osmo Color und Pento Fluid IP behandelten Proben.	1
Tabelle 4-10 Mittlerer Massenverlust, Standardabweichung und Befund der mit Pento Fluid und Lasinol UV behandelten Proben.....	1
Tabelle 4-11 Mittlerer Massenverlust, Standardabweichung und Befund der mit Warmrauch behandelten Proben.	1
Tabelle 4-12 Mittlerer Massenverlust, Standardabweichung und Befund der mit Rauchkondensat modi. Var. 1 und Rauchkondensat modi. Var. 2 behandelten Proben. ...	1
Tabelle 4-13 Mittlerer Massenverlust, Standardabweichung und Befund der mit Rauchkondensat modi. Var. 3 und Rauchkondensat modi. Var. 4 behandelten Proben. ...	1
Tabelle 4-14 Mittlerer Massenverlust, Standardabweichung und Befund der mit Holzteer behandelten Proben.	1
Tabelle 4-15 Mittlerer Massenverlust, Standardabweichung und Befund der gekochten und naturbelassenen unbewitterten Alercenproben.....	1
Tabelle 4-16 Mittlerer Massenverlust, Standardabweichung und Befund der unbehandelten Fichtenproben.....	1
Tabelle 4-17 Versuchsbedingungen und Konstante der Diffusionsmessung	1
Tabelle 4-18 Gemessene und berechnete Mittelwerte der unbehandelten und mit U-653 behandelten Proben zwischen 0% und 65% rel. Luftfeuchte	1
Tabelle 4-19 Gemessene und berechnete Mittelwerte der unbehandelten und mit U-653 behandelten Proben zwischen 100% und 65% rel. Luftfeuchte	1
Tabelle 4-20 Gemessene und berechnete Mittelwerte der mit Wärme und Rauch behandelten Proben zwischen 0% und 65% rel. Luftfeuchte	1
Tabelle 4-21 Gemessene und berechnete Mittelwerte, der mit Wärme und Rauch behandelten Proben zwischen 100% und 65% rel. Luftfeuchte	1

Tabelle 4-22 Gemessene und berechnete Mittelwerte der mit Osmo Color und Pento Fluid IP behandelten Proben zwischen 0% und 65% rel. Luftfeuchte.....	1
Tabelle 4-23 Gemessene und berechnete Mittelwerte der mit Osmo Color und Pento Fluid IP behandelten Proben zwischen 100% und 65% rel. Luftfeuchte.....	1
Tabelle 4-24 Übersicht der Wasserdampf- Diffusionsdurchlasswiderstände der getesteten Beschichtungen	1
Tabelle 4-25 Mittelwerte und Standardabweichung des Wasseraufnahmekoeffizienten A_w [kg/(m ² ·s ^{0.5})] \bar{x} = Mittelwert; s = Standardabweichung	1
Tabelle 4-26 Farbwerte der normalklimatisierten Proben vor und nach den 9 Monaten Bewitterungsdauer	1

Quellenverzeichnis

Literatur

- Andés L. E. (1895). Konservierung des Holzes. Wien: U. Hartleben's Verlag
- Bächle F. (2004). Weathering resistance of oil-heat-treated timber. COST-Aktion E 22: ETH Zürich
- Bavendamm W. (1969). Der Hausschwamm und andere Bauholzpilze. Stuttgart: Gustav Fischer
- Bavendamm W. (1974). Die Holzschäden und ihre Verhütung. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft
- Bellmann, Carl u.a. (1990). Holzschutz: Eine ausführliche Erläuterung zu DIN 68800 Teil 3. Berlin: Beuth Verlag GmbH
- Bilfinger M., Meili D. (1989). Konservierung von Holzbauten. Bern, Stuttgart: Haupt
- Bosshard H. (1982). Holzkunde Band 1: Mikroskopie und Makroskopie des Holzes. Basel, Bosten, Stuttgart: Birkhäuser Verlag
- Bosshard H. (1984). Holzkunde Band 2: zur Biologie, Physik und Chemie des Holzes. Basel, Bosten, Stuttgart: Birkhäuser Verlag
- Bosshard H. (1984). Holzkunde Band 3: Aspekte der Holzbearbeitung und Holzverwertung. Basel, Bosten, Stuttgart: Birkhäuser Verlag
- Böttcher P., W. Neigenfind (1975). Verhalten unterschiedlich feuchtedurchlässiger Anstriche auf einigen einheimischen Holzarten bei natürlicher Bewitterung. Technische Universität Braunschweig: WKI-Bericht Nr.6
- Breitenbach J., Kränzlin F. (1986). Pilze der Schweiz Band 2. Luzern: Verlag Mykologia
- Bub/Bodmar F., Tilgner B. (1922). Die Konservierung des Holzes in Theorie und Praxis. Berlin: Verlagsbuchhandlung Paul Parey
- Buresch E. (1860). Darstellung der verschiedenen Verfahungsarten und Apparate, welche zum Imprägnieren von Hölzern Anwendung gefunden haben. Dresden: Rudolf Kuntze
- Burmester A. (1970). Formbeständigkeit von Holz gegenüber Feuchtigkeit: Grundlagen und Vergütungsverfahren. Berlin: BAM-Bericht
- Clausnitzer K. D. (1995). Historischer Holzschutz: Zur Geschichte der Holzschutzmassnahmen von der Steinzeit bis in das 20. Jahrhundert. Staufen bei Freiburg: Ökobuch-Verlag
- DIN-Taschenbuch 132 (1998). Holzschutz (4. Auflage). Berlin: Beuth Verlag GmbH
- Erler K. (2002). Holz im Aussenbereich. Basel; Bosten; Berlin: Birkhäuser
- Fellner J., Teischinger A. (2001). Alte Holzregeln. Wien: Österreichischer Kunst- und Kulturverlag
- Furrer O. (1901). Die Entwicklung der Holzimprägnierungs-Verfahren. Zürich: Preisaufgabe
- Geiger F. (1962). Holzschutz (2. Auflage). Düsseldorf: Werner-Verlag

- Gockel H. (1996). Konstruktiver Holzschutz: Bauen mit Holz ohne Chemie. Düsseldorf: Werner-Verlag GmbH
- Graf E. (1990). Biologischer und biotechnischer Holzschutz. St. Gallen: Interner F+E Bericht Nr.120500/1990 EMPA
- Grosser D. (1985). Pflanzliche und tierische Bau- und Werkholz-Schädlinge. Leinfelden-Echterdingen: DRW-Verlag
- Hadert H. (1938). Holzschutz und Holzveredelung. Berlin: Otto Elsner Verlagsgesellschaft
- Heinzel W. (1933). Über die Schutzwirkung der Sulfitablaugen verschiedener Holzarten in der Indanthrenfärberei und ihrer Abhängigkeit von den hauptsächlichsten Ablaugebestandteilen. Dresden: Risse-Velag, Dissertation
- Heinzerling Ch. (1885). Konservierung des Holzes. Halle a. S.: Wilhelm Knapp
- Juacida L. (1979). Untersuchungen über die anatomische Struktur, natürliche Dauerhaftigkeit und Imprägnierbarkeit von vier chilenischen Laubhölzern. Universität Hamburg: Dissertation
- Knöfel D. (1982). Stichwort Holzschutz. Wiesbaden und Berlin: Bauverlag GmbH
- Knuchel H. (1954). Das Holz. Aarau: H. R. Sauerländer & Co.
- Kollmann F. (1955). Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe: erster Band. Berlin: Springer-Verlag
- Kollmann F. (1955). Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe: zweiter Band. Berlin: Springer-Verlag
- König E. (1962). Holz Lexikon. Stuttgart: Holz-Zentralblatt Verlags GmbH
- Langendorf G., Eichler H. (1973). Holzvergütung. Leipzig: VEB Fachbuchverlag
- Leisse B. (1992). Holzschutzmittel im Einsatz: Bestandteile Anwendungen Umweltbelastungen. Wiesbaden: Bauverlag GmbH
- Leisse B. (1994). Holz natürlich behandeln: Oberflächen im Haus färben, schützen, pflegen. Braunschweig: Alembik- Verlag
- Leisse B. (1996). Holz natürlich schützen: Schäden vermeiden, Werte erhalten. Braunschweig: Alembik- Verlag
- Lignovisionen Band 3 (2002). Modifiziertes Holz: Eigenschaften und Märkte. Wien: IHF
- Lignum (1976). Dokumentation Holz. Zürich: Lignum
- Lohmann U. (1998). Holzhandbuch. Leinfelden-Echterdingen: DRW-Verlag
- Lohmann U. (2003). Holz Lexikon A-K (4. Auflage). Leinfelden-Echterdingen: DRW-Verlag
- Lohmann U. (2003). Holz Lexikon L-Z (4. Auflage). Leinfelden-Echterdingen: DRW-Verlag
- Mahlke-Troschel (1916). Handbuch der Holzkonservierung (1. Auflage). Berlin: Springer-Verlag
- Mahlke-Troschel (1950). Handbuch der Holzkonservierung (3. Auflage). Berlin: Springer-Verlag
- Mombächer R. (1988). Holz Lexikon A-M (3. Auflage). Stuttgart: DRW-Verlag
- Mombächer R. (1988). Holz Lexikon N-Z (3. Auflage). Stuttgart: DRW-Verlag
- Müller K. (1993). Holzschutzpraxis. Wiesbaden und Berlin: Bauverlag GmbH
- Niemeyer P. (1999). Werterhaltung Holz. Frankfurt a. M.: VWEW-Verlag
- Niemz P. (1993). Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe. Leinfelden-Echterdingen: DRW-Verlag
- Niemz P. (2002). Holztechnologie I. Vorlesungsskript
- Nowak A. (1950). Holzschutz. Wien: Österreichische Gesellschaft für Holzforschung
- Peter O. (2003). Séchage et préservation du bois par la fumée. Biel: Forschungsbericht SH-Holz
- Quiñones J. (2001). Chemische und biologische Untersuchungen zum Verhalten dauerhafter Holzarten und ihrer Extrakte gegenüber holzabbauenden Pilzen. München: Buchverlag Gräfelting, Dissertation

- Riedel K., Zimmermann M. (2001). Holz und Holzschutz. Weimar: Universitätsverlag
- Sailer M. (2001) Anwendung von Pflanzenölimprägnierungen zum Schutz von Holz im Aussenbereich. Universität Hamburg: Dissertation
- Schmid E. (1994). Aussenanstriche im Hochbau. Wiesbaden und Berlin: Bauverlag GmbH
- Schmidt O. (1994). Holz- und Baupilze. Berlin: Springer-Verlag
- Schneider A. (1994). Schädlinge und Schutz des Holzes (8. Auflage). Moers: Angst-Verlag
- Sell J. (1997).Eigenschaften und Kenngrössen von Holzarten. Zürich: Baufachverlag
- Unger A. (1990). Holzkonservierung (2. Auflage): Schutz und Festigung von Holzobjekten. München: Callwey
- Vill E. (1997). Natürlicher Holzschutz: Wirksamer Schutz auch ohne Gift. Petershausen: Ernst Vill Verlag
- Weiss, Wagenführ, Kruse (2000). Beschreibung und Bestimmung von Bauholzpilzen. Leinfelden-Echterdingen: DRW-Verlag
- Weissenfeld P. (1983). Holzschutz ohne Gift?. Grebenstein: Ökobuch-Verlag
- Ziesemann G., Krampfer M., Knieriemen H. (1998) Natürliche Farben. Anstriche und Verputz selber herstellen. Aarau: AT-Verlag

Normen

- DIN EN 113 (1996) Prüfverfahren zur Bestimmung der vorbeugenden Wirksamkeit gegen holzerstörende Basidiomyceten
DIN 52175 (1975) Holzschutz
DIN 68800- 1 (1974) Holzschutz im Hochbau
DIN 68800- 2 (1996) Holzschutz; Vorbeugende bauliche Massnahmen im Hochbau
DIN 68800-3 (1990) Holzschutz; Vorbeugender chemischer Holzschutz
DIN EN ISO 15148 (1996) Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten bei teilweisem Eintauchen
DIN 52615 (1987) Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit von Bau- und Dämmstoffen

Internet

- www.bam.de
www.bfafh.de
www.boku.ac.at/holzforschung
www.chemienet.info/8-kons.html
www.conuba.de
www.fh-eberswalde.de/forst/forstnutzung
www.forst.uni-muenchen.de
www.holzfragen.de
www.kremer-pigmente.de
www.lignum.ch
www.mykonet.ch
www.pentol.ch
www.pilzepilze.de
www.stud.uni-hamburg.de
www.umwelt-schweiz.ch/buwal
www.wki.fhg.de

Zwingende Formen

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich diese Diplomarbeit selbständig und ohne jegliche Hilfe verfasst habe, nicht anderweitig als Diplomarbeit vorgelegt, keine anderen als die angegebenen Quellen oder Hilfsmittel benützt sowie wörtliche und sinngemässe Zitate als solche gekennzeichnet habe.

Ich habe die Bestimmungen der HSB Biel über Rechte und Pflichten, namentlich über die Urheber- und Nutzungsrechte, das Genehmigungsverfahren für Publikationen sowie Sperrfristen, zur Kenntnis genommen.

Ort und Datum: **Zürich, 15. März 2004** Unterschrift:

Note / Abnahmeerklärung

Die vorliegende Arbeit ist als Diplomarbeit an der HSB Biel, Fachbereich Holz entgegengenommen worden:

Gesamtnote der Diplomarbeit:

(zusammengesetzt aus den Teilnoten A-C)

Name erstprüfender Dozent: Unterschrift:

Name zweitprüfender Dozent: Unterschrift:

Name Experte : Unterschrift:

Ort und Datum:

Teilnoten

Note A
50 %

Fachliche Problemlösung

Fachliches Urteil, Qualität der Ergebnisse (Schlussfolgerungen),
Vorgehen, Logistik

.....

Note B
25 %

Methodische Problembearbeitung

Kreativität, Systematik, Eigeninitiative, eigenkritische
Bewertung, Einsatz, usw.

.....

Note C
25 %

Soziale Vermittlung der Ergebnisse

Sprache, Verständlichkeit der Darstellung, Einhalten der Formen,
Vortrag (Klarheit, Präsentationsmittel), Abstract als Publikations-
mittel

.....

Anhang

Inhaltsverzeichnis

<u>Verzeichnisse.....</u>	<u>1</u>
Abbildungsverzeichnis	1
Tabellenverzeichnis	1
<u>A1 Pilzbefall</u>	<u>3</u>
<u>A2 Wasserdampfdurchlässigkeit</u>	<u>24</u>
A2.1 Unbehandelt	24
A2.2 U-653	25
A2.3 Thermoholz	26
A2.4 Warmrauch	27
A2.5 Osmo Color	28
A2.6 Pento Fluid IP	29
<u>A3 Freilandbewitterung</u>	<u>30</u>
A3.1 Visuelle Beurteilung	30
A3.2 Farbmessungen	34
<u>A4 Wasseraufnahmekoeffizient.....</u>	<u>37</u>
<u>A5 Technische Datenblätter</u>	<u>39</u>

Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

Abbildung A2-1 Gewichtsabnahme der vier unbehandelten Proben (rF=0% und 65%).....	24
Abbildung A2-2 Gewichtszunahme der vier unbehandelten Proben (rF=100% und 65%).....	24
Abbildung A2-3 Gewichtsabnahme der vier mit U.653 behandelten Proben (rF=0% und 65%)	25
Abbildung A2-4 Gewichtszunahme der vier mit U-653 behandelten Proben (rF=100% und 65%).....	25
Abbildung A2-5 Gewichtsabnahme der vier mit Wärme behandelten Proben (rF=0% und 65%).....	26
Abbildung A2-6 Gewichtszunahme der vier mit Wärme behandelten Proben (rF=100% und 65%).....	26
Abbildung A2-7 Gewichtsabnahme der vier geräucherten Proben (rF=0% und 65%)	27
Abbildung A2-8 Gewichtszunahme der vier geräucherten Proben (rF=100% und 65%)	27
Abbildung A2-9 Gewichtsabnahme der vier mit Osmo Color behandelten Proben (rF=0% und 65%).....	28
Abbildung A2-10 Gewichtszunahme der vier mit Osmo Color behandelten Proben (rF=100% und 65%).....	28
Abbildung A2-11 Gewichtsabnahme der vier mit Pento Fluid IP behandelten Proben (rF=0% und 65%).....	29
Abbildung A2-12 Gewichtszunahme der vier mit Pento Fluid IP behandelten Proben (rF=100% und 65%)	29
Abbildung A3-1 U-653	30
Abbildung A3-2 E-653	30
Abbildung A3-3 Borsäure.....	31
Abbildung A3-4 Soda	31
Abbildung A3-5 Pottasche	31
Abbildung A3-6 Holzteer.....	32
Abbildung A3-7 OsmoColor.....	32
Abbildung A3-8 Pento Fluid.....	32
Abbildung A3-9 Lasinol UV.....	33
Abbildung A3-10 Pento Antihydro.....	33
Abbildung A3-11 unbehandelt.....	33
Abbildung A3-12 Diagramm der Helligkeitswerte.....	35
Abbildung A3-13 Diagramm der Farbachse a*	36
Abbildung A3-14 Diagramm der Farbachse b*	36

Tabellenverzeichnis

Tabelle A1-1 Detaillierte Werte, aus dem Pilzversuch, der mit U-653 behandelten Proben. ...	3
Tabelle A1-2 Detaillierte Werte, aus dem Pilzversuch, der mit E-653 behandelten Proben. ...	4
Tabelle A1-3 Detaillierte Werte, aus dem Pilzversuch, der mit Pavatex imprägnierten Proben.	5
Tabelle A1-4 Detaillierte Werte, aus dem Pilzversuch, der mit Borsäure behandelten Proben.	6
Tabelle A1-5 Detaillierte Werte, aus dem Pilzversuch, der mit Soda behandelten Proben.	7
Tabelle A1-6 Detaillierte Werte, aus dem Pilzversuch, der mit Pottasche behandelten Proben.	8

Tabelle A1-7 Detaillierte Werte, aus dem Pilzversuch, der mit Osmo Color behandelten Proben.	9
Tabelle A1-8 Detaillierte Werte, aus dem Pilzversuch, der mit Holzteer behandelten Proben.	10
Tabelle A1-9 Detaillierte Werte, aus dem Pilzversuch, der mit Warmrauch behandelten Proben.	11
Tabelle A1-10 Detaillierte Werte, aus dem Pilzversuch, der mit Rauchkondensat mod. Var. 1 behandelten Proben.	12
Tabelle A1-11 Detaillierte Werte, aus dem Pilzversuch, der mit Rauchkondensat mod. Var. 2 behandelten Proben.	13
Tabelle A1-12 Detaillierte Werte, aus dem Pilzversuch, der mit Rauchkondensat mod. Var. 3 behandelten Proben.	14
Tabelle A1-13 Detaillierte Werte, aus dem Pilzversuch, der mit Rauchkondensat mod. Var. 4 behandelten Proben.	15
Tabelle A1-14 Detaillierte Werte, aus dem Pilzversuch, der mit Pento Fluid IP behandelten Proben.	16
Tabelle A1-15 Detaillierte Werte, aus dem Pilzversuch, der mit Lasinol UV behandelten Proben.	17
Tabelle A1-16 Detaillierte Werte, aus dem Pilzversuch, der mit Pento Antihydro behandelten Proben.	18
Tabelle A1-17 Detaillierte Werte, aus dem Pilzversuch, der Alerceproben	19
Tabelle A1-18 Detaillierte Werte, aus dem Pilzversuch, der unbehandelten unbewitterten Proben.	20
Tabelle A1-19 Detaillierte Werte, aus dem Pilzversuch, der unbehandelten bewitterten Proben.	21
Tabelle A1-20 Detaillierte Werte, aus dem Pilzversuch, der unbewitterten Virulenzproben.	22
Tabelle 1-21 Detaillierte Werte, aus dem Pilzversuch, der bewitterten Virulenproben.	23
Tabelle A3-1 Werte, der über das ganze Jahr verteilten Farbmessungen	34
Tabelle A3-2 Legende zu den Abbildungen 3-12; 3-13; 3-14.....	35
Tabelle A4-1 Einzel-, Mittelwerte und Standardabweichung des Wasseraufnahme- koeffizienten A_w [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0.5})$] in axialer, radialer und tangentialer Richtung	37
Tabelle A4-2 Einzel-, Mittelwerte und Standardabweichung des Wasseraufnahme- koeffizienten A_w [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0.5})$] in axialer, radialer und tangentialer Richtung	38

A1 Pilzbefall

Tabelle A1-1 Detaillierte Werte aus dem Pilzversuch der mit U-653 behandelten Proben.

¹⁾ Bewachungsgrad (siehe Tabelle 4-4 im Hauptteil)

U-653													
Produkt/Variante		Kontrollproben			Prüfprobe								
Prüfzustand	Prüfpilz	Nr.	Wasser- gehalt [%] x	Gewichtsverlust [%] ± s	Wasser- gehalt [%] x	Pilz- bewachs ¹	nicht Korr.	Korrektur- wert [%]	Korrigiert x ± s	Anz. Werte	Befund		
Unbewittert	Coniophora puteana	1	81.43	53.56	63.61	5	-0.60	-0.16	0.00	>3%...<5%	0	0	i.O.
		2	69.21	46.69	41.16	5	0.39		0.55				
		3	72.42	53.09	41.99	5	0.74		0.90				
		4	81.41	51.35	44.42	5	-0.53		0.00				
	Gloeophyllum trabeum	x	76.12	51.17 ± 3.13	47.79	5.0	0.00		0.36 ± 0.44	1.22 ± 1.04	0	0	i.O.
		1	59.38	14.95	68.38	5	0.24		0.40				
		2	44.76	11.87	53.27	5	0.34		0.50				
		3	54.05	18.88	44.31	5	2.48		2.64				
	Poria placenta	4	64.89	17.54	65.22	5	1.16		1.32	16.44 ± 1.01	0	4	
		x	55.77	15.81 ± 3.09	57.79	5.0	1.06		14.93				
		1	104.14	19.32	59.00	5	14.77		16.97				
		2	100.92	16.17	55.15	5	16.81		16.92				
Bewittert	Coniophora puteana	3	117.13	18.37	60.07	5	16.76	0.77	16.96	0	4		
		4	124.16	19.32	61.48	5	16.80		16.96				
		x	111.59	18.29 ± 1.49	58.93	5.0	16.28		15.79				
		1	58.44	31.66	45.05	5	16.56		12.20				
	Gloeophyllum trabeum	2	78.14	49.05	41.67	5	12.97		18.21 ± 8.27	4	0		
		3	76.86	46.03	44.68	5	15.21						14.43
		4	67.40	38.79	58.66	5	31.19						30.42
		x	70.21	41.38 ± 7.78	47.52	5.0	18.98						3.14
	Poria placenta	1	69.27	12.05	42.98	5	3.92		4.07 ± 0.65	4	0		
		2	60.67	11.37	42.76	5	4.84						4.07
		3	61.71	10.52	41.67	5	5.33						4.55
		4	62.20	9.84	44.26	5	5.28						4.51
	x	63.46	10.95 ± 0.97	42.92	5.0	4.84	20.14	0	4				
	1	116.48	12.94	61.19	5	20.91					20.14		
	2	86.24	13.34	71.57	5	20.40					19.62		
	3	119.58	13.15	63.29	5	21.19					20.41		
	4	135.40	16.34	64.69	5	19.99	19.85 ± 0.53	0	4				
	x	114.43	13.94 ± 1.61	65.18	5.0	20.62					19.22		

Tabelle A1-2 Detaillierte Werte aus dem Pilzversuch der mit E-653 behandelten Proben.
¹⁾ Bewachungsgrad (siehe Tabelle 4-4 im Hauptteil)

E-653														
Produkt/Variante			Kontrollproben				Prüfprobe					Anz. Werte		Befund
Prüfzustand	Prüfpilz	Nr.	Wasser- gehalt [%] x̄	Gewichtsverlust [%] ± s	Wasser- gehalt [%] x̄	Pilz- bewachs¹	nicht Korr.	Korrektur- wert [%]	Korrigiert x̄ ± s	>3%...<5%	> 5%			
Unbewittert	Coniophora puteana	1	67.38	41.98	42.58	5	6.29	-0.55	6.84	0	2			
		2	64.97	36.74	46.57	5	-0.76		0.00					
		3	82.02	46.84	37.07	5	0.28		0.83					
		4	75.56	49.08	38.06	5	4.79		5.34					
	x̄	72.48	43.66 ± 5.48	41.07	5.0	2.65	3.25 ± 3.35							
	Gloeophyllum trabeum	1	59.14	11.89	47.12	5	4.61		5.16	0	2			
		2	52.72	19.37	42.72	5	4.82		5.37					
		3	54.29	17.58	39.34	5	1.56		2.11					
		4	54.15	14.70	36.86	5	1.66		2.21					
	x̄	55.07	15.88 ± 3.29	41.51	5.0	3.16	3.71 ± 1.80							
	Poria placenta	1	111.51	15.92	50.19	5	16.29		16.84	0	4			
		2	116.86	17.29	54.55	5	16.86		17.41					
3		137.49	17.94	56.93	5	19.31	19.86							
4		103.65	16.82	58.78	5	17.74	18.29							
x̄	117.38	17.00 ± 0.85	55.11	5.0	17.55	18.10 ± 1.32								
Bewittert	Coniophora puteana	1	63.05	36.92	45.14	5	20.42	0.49	19.93	0	4			
		2	80.34	41.72	42.09	5	12.11		11.62					
		3	63.56	41.28	45.23	5	13.70		13.21					
		4	63.60	42.59	53.08	5	25.74		25.25					
	x̄	67.64	40.63 ± 2.53	46.39	5.0	17.99	17.50 ± 6.30							
	Gloeophyllum trabeum	1	64.65	9.51	37.04	5	4.44		3.95	2	0			
		2	56.86	12.13	36.60	5	4.01		3.52					
		3	56.85	12.13	41.58	5	3.42		2.93					
		4	71.91	14.00	37.43	5	3.21		2.73					
	x̄	62.57	11.94 ± 1.85	38.16	5.0	3.77	3.28 ± 0.56							
	Poria placenta	1	126.36	14.41	63.26	5	21.86		21.37	0	4			
		2	127.16	11.93	60.09	5	20.41		19.92					
3		70.87	23.06	92.29	5	17.19	16.70							
4		112.93	18.02	73.86	5	19.28	18.79							
x̄	109.33	16.86 ± 4.83	72.37	5.0	19.68	19.20 ± 1.97								

Tabelle A1-3 Detaillierte Werte aus dem Pilzversuch der mit Pavatex imprägnierten Proben.
¹⁾ Bewachungsgrad (siehe Tabelle 4-4 im Hauptteil)

Produkt/Variante		Pavatex										Anz. Werte		Befund	
Prüfzustand	Prüfpilz	Nr.	Kontrollproben			Wasser- gehalt [%]	Gewichtsverlust [%] ± s	Wasser- gehalt [%]	Pilz- bewachs ¹	Prüfprobe		>3%...<5%	> 5%		
														nicht Korr.	Korrektur- wert [%]
Unbewittert	Coniophora puteana	1	78.64	64.65		83.09		5	5	1.75	1.16				
		2	77.77	56.50		102.19		5	5	9.54	8.95		0	2	
		3	73.99	55.75		76.19		5	5	24.44	23.85				
		4	63.64	56.10		104.83		5	5	1.77	1.18				
		Σ	73.51	58.25 ± 4.28		91.57		5.0	5.0	9.37	8.79 ± 10.69				
	Gloeophyllum trabeum	1	56.95	16.12		75.84		5	5	4.47	< 3 % ²	3.22			
		2	58.47	17.27		87.54		5	5	3.81	0.59	0.47		1	0
		3	64.07	15.33		71.17		5	5	1.06	< 3 % ²	1.85 ± 1.94		0	i.O.
		4	47.14	14.85		82.70		5	5	4.39	6.31	6.33		0	
		Σ	56.66	15.89 ± 1.06		79.31		5.0	5.0	3.43	5.57	10.54			
Poria placenta	1	90.22	20.63		39.53		5	5	6.90	7.19 ± 2.26					
	2	88.44	22.56		47.16		5	5	6.92				4		
	3	96.40	24.63		59.71		5	5	6.15						
	4	113.06	18.91		42.44		5	5	11.13						
	Σ	97.03	21.68 ± 2.47		47.21		5.0	5.0	7.78						
Bewittert	Coniophora puteana	1	65.84	48.20		64.68		5	5	47.82	45.47				
		2	57.91	19.49		51.66		5	5	25.39	23.04		0	4	
		3	59.76	24.34		59.32		5	5	26.97	24.62				
		4	60.85	24.87		57.25		5	5	24.37	22.03				
		Σ	61.09	29.22 ± 12.88		58.23		5.0	5.0	31.14	28.79 ± 11.17				
	Gloeophyllum trabeum	1	51.64	12.06		65.18		5	5	12.26	9.91				
		2	70.09	11.78		65.93		5	5	8.85	6.51		1	3	
		3	62.39	15.91		67.23		5	5	12.72	10.37				
		4	58.67	13.56		58.01		5	5	7.00	4.65				
		Σ	60.70	13.33 ± 1.89		64.09		5.0	5.0	10.21	7.86 ± 2.75				
Poria placenta	1	117.50	16.36		58.94		5	5	21.19	18.84					
	2	102.77	12.51		66.15		5	5	18.45	16.10		0	4		
	3	125.77	12.74		52.76		5	5	21.54	19.20					
	4	82.73	15.25		58.39		5	5	23.53	21.19					
	Σ	107.19	14.22 ± 1.89		59.06		5.0	5.0	21.18	18.83 ± 2.09					

Tabelle A1-4 Detaillierte Werte aus dem Pilzversuch der mit Borsäure behandelten Proben.
¹⁾ Bewachungsgrad (siehe Tabelle 4-4 im Hauptteil)

Borsäure													
Produkt/Variante		Prüfpilz	Nr.	Kontrollproben		Prüfprobe			Anz. Werte		Befund		
Prüfzustand	Wasser- gehalt [%]			Gewichtsverlust [%] ± s	Wasser- gehalt [%]	Pilz- bewachs ¹	nicht Korr.	Korrektur- wert [%]	Korrigiert ± s	>3%...<5%		> 5%	
Unbewittert	Coniophora puteana	1	61.19	30.66	61.16	0	-0.74	-0.35	0.00	0	0	i.O.	
		2	71.12	46.04	66.38	0	-0.12		0.22				
		3	105.14	0.00	56.92	0	-0.78		0.00				
		4	69.49	41.82	63.30	0	-0.35		0.00				
	Σ	76.73	29.63 ± 20.79	61.94	0.0	-0.50	0.06 ± 0.11						
	Gloeophyllum trabeum	1	58.32	14.91	63.84	0	-0.15		0.20	0	0	i.O.	
		2	55.40	21.17	59.87	0	-0.90		0.00				
		3	69.81	16.69	74.47	0	-0.11		0.24				
		4	53.42	14.30	60.82	0	-0.99		0.00				
	Σ	59.24	16.77 ± 3.10	64.75	0.0	-0.54	0.11 ± 0.13						
	Poria placenta	1	70.78	26.86	65.01	0	-0.08		0.27	0	0	i.O.	
		2	64.80	0.00	46.84	0	-0.43		0.00				
3		98.29	23.95	31.87	0	-0.67	0.00						
4		106.36	26.11	33.59	0	-1.24	0.00						
Σ	85.06	19.23 ± 12.88	44.33	0.0	-0.60	0.07 ± 0.13							
Bewittert	Coniophora puteana	1	77.76	45.59	35.62	2	1.16	0.80	0.35	0	1		
		2	73.64	50.13	58.20	4	33.50		32.70				
		3	72.96	38.08	30.05	2	1.54		0.74				
		4	75.81	39.89	30.03	2	0.71		0.00				
	Σ	75.04	43.42 ± 5.50	38.47	2.5	9.23	8.45 ± 16.17						
	Gloeophyllum trabeum	1	53.36	16.54	53.27	5	5.85		5.05	0	1		
		2	50.98	10.35	36.24	5	2.49		1.69				
		3	63.67	11.93	36.85	1	1.28		0.48				
		4	64.57	12.88	46.83	5	0.92		0.12				
	Σ	58.15	12.93 ± 2.63	43.30	4.0	2.64	1.83 ± 2.25						
	Poria placenta	1	80.76	20.31	28.94	2	0.63		0.00		0	0	i.O.
		2	81.20	22.24	29.49	2	0.94		0.14				
3		77.59	0.00	30.98	2	1.22	0.42						
4		108.97	27.52	29.02	1	0.79	0.00						
Σ	87.13	17.52 ± 12.07	29.61	1.8	0.90	0.14 ± 0.20							

Tabelle A1-5 Detaillierte Werte aus dem Pilzversuch der mit Soda behandelten Proben.

¹⁾ Bewachungsgrad (siehe Tabelle 4-4 im Hauptteil)

Produkt/Variante										Soda						
Prüfzustand	Prüfpilz	Nr.	Kontrollproben			Wasser- gehalt [%]	Wasser- gehalt [%]	Pilz- bewachs ¹	Prüfprobe			Anz. Werte		Befund		
			Wasser- gehalt [%]	Gewichtsverlust [%]	Wasser- gehalt [%]				nicht Korr.	Korrektur- wert [%]	Korrigiert $\bar{x} \pm s$	>3%...<5%	> 5%			
Unbewittert	Coniophora puteana	1	73.08	40.00	68.01	4	-0.77	-0.58	0.00		0	0	i.O.			
		2	84.87	0.97	71.46	3	-0.71		0.00							
		3	80.41	50.56	88.43	4	-0.29		0.29							
		4	62.98	43.94	87.47	4	-0.01		0.57							
	\bar{x}	75.34	33.87 ± 22.36	78.84	3.8	-0.45	0.21 ± 0.27									
	Gloeophyllum trabeum	1	60.48	13.44	57.69	2	-0.16		0.42							
		2	56.67	14.53	67.54	2	-0.19		0.39							
		3	59.00	24.46	89.11	3	-0.54		0.03							
		4	55.81	24.28	82.98	4	-0.37		0.21							
	\bar{x}	57.99	19.18 ± 6.01	74.33	2.8	-0.31	0.26 ± 0.18									
	Poria placenta	1	107.20	28.82	67.41	5	-1.02		0.00							
		2	93.47	26.43	80.15	5	-1.47		0.00							
		3	105.14	27.98	69.65	5	-1.36		0.00							
		4	88.32	25.41	81.46	5	-1.32		0.00							
	\bar{x}	98.53	27.16 ± 1.53	74.67	5.0	-1.30	0.00 ± 0.00									
Bewittert	Coniophora puteana	1	72.95	42.53	50.17	5	22.59	21.13	1.45	0	4	i.O.				
		2	79.26	50.51	56.39	5	33.17	31.72								
		3	84.52	55.93	50.57	5	19.75	18.29								
		4	69.86	45.63	48.28	5	28.36	26.90								
	\bar{x}	76.65	48.65 ± 5.86	51.35	5.0	25.97	24.51 ± 5.99									
	Gloeophyllum trabeum	1	68.32	15.50	41.66	5	4.66	3.20								
		2	60.47	11.45	49.98	5	4.44	2.99								
		3	60.26	11.44	41.86	5	3.64	2.18								
		4	58.89	15.41	47.79	5	1.64	0.18								
	\bar{x}	61.98	13.45 ± 2.32	45.32	5.0	3.59	2.14 ± 1.37									
	Poria placenta	1	120.70	14.62	68.02	5	23.06	21.60						1	0	i.O.
		2	99.55	21.88	69.51	5	16.96	15.51								
		3	84.26	19.60	85.59	5	16.73	15.27								
		4	110.26	20.91	47.88	5	12.82	11.36								
	\bar{x}	103.69	19.25 ± 3.23	67.75	5.0	17.39	15.94 ± 4.23									

Tabelle A1-6 Detaillierte Werte aus dem Pilzversuch der mit Pottasche behandelten Proben.
¹⁾ Bewachungsgrad (siehe Tabelle 4-4 im Hauptteil)

Pottasche													
Produkt/Variante		Kontrollproben			Prüfprobe			Anz. Werte		Befund			
Prüfzustand	Prüfpilz	Nr.	Wasser- gehalt [%] x̄	Gewichtsverlust [%] ± s	Wasser- gehalt [%] x̄	Pilz- bewachs ¹	nicht Korr.	Korrektur- wert [%]	Korrigiert x̄ ± s	>3%...<5%	> 5%		
Unbewittert	Coniophora puteana	1	83.44	0.00	62.18	1	-0.22	-0.38	0.16		0	0 i.O.	
		2	64.44	31.62	64.06	1	0.22		0.59				
		3	71.64	0.82	56.63	2	-0.09		0.28				
		4	97.94	0.00	63.61	3	-0.70		0.00				
	x̄	79.36	8.11 ± 15.68	61.62	1.8	-0.20	0.26 ± 0.25						
	Gloeophyllum trabeum	1	59.78	26.88	75.97	5	-0.25		0.12		0	0 i.O.	
		2	58.88	23.88	84.94	4	-0.15		0.23				
		3	60.30	13.30	63.26	2	-0.02		0.35				
		4	59.81	21.72	83.15	4	0.33		0.71				
	x̄	59.69	21.44 ± 5.83	76.83	3.8	-0.02	0.35 ± 0.26						
	Poria placenta	1	53.33	22.03	52.71	4	-0.48		0.00		0	0 i.O.	
		2	85.52	29.75	60.88	5	-0.24		0.14				
3		98.92	27.97	57.48	5	-0.83	0.00						
4		110.45	25.55	61.81	5	-0.35	0.02						
x̄	87.05	26.33 ± 3.34	58.22	4.8	-0.47	0.04 ± 0.07							
Bewittert	Coniophora puteana	1	69.83042	50.62	53.06	5	19.39	1.59	17.80	1	3		
		2	77.90937	51.32	50.75	5	23.32		21.73				
		3	60.56587	42.27	42.63	5	21.72		20.13				
		4	70.04449	48.49	55.96	5	6.04		4.45				
	x̄	69.59	48.17 ± 4.12	50.60	5.0	17.62	16.03 ± 7.89						
	Gloeophyllum trabeum	1	62.09218	9.86	41.28	5	5.85		4.26		3	0	
		2	57.7247	11.04	44.61	5	4.70		3.11				
		3	69.19237	16.93	40.85	5	5.25		3.66				
		4	57.98869	15.28	65.94	5	3.90		2.31				
	x̄	61.75	13.28 ± 3.37	48.17	5.0	4.92	3.33 ± 0.83						
	Poria placenta	1	100.08	14.12	61.22	5	19.31		17.72		0	4	
		2	113.06	12.87	70.65	5	22.55		20.95				
3		94.54	17.57	67.87	5	18.09	16.50						
4		99.74	20.31	51.28	5	13.56	11.97						
x̄	101.85	16.22 ± 3.37	62.75	5.0	18.38	16.79 ± 3.72							

Tabelle A1-7 Detaillierte Werte aus dem Pilzversuch der mit Osmo Color behandelten Proben.
¹⁾ Bewachungsgrad (siehe Tabelle 4-4 im Hauptteil)

Produkt/Variante			Osmo Color										
Prüfzustand	Prüfpilz	Nr.	Kontrollproben		Wasser- gehalt [%]	Pilz- bewachs ¹	Prüfprobe		Anz. Werte		Befund		
			Wasser- gehalt [%]	Gewichtsverlust [%]			Korrektur- wert [%]	Korrigiert ± s	>3%...<5%	> 5%			
Unbewittert	Coniophora puteana	1	55.09	32.82	39.43	5	-0.79	0.00	0	1			
		2	92.09	0.00	32.53	4	-1.12	0.00					
		3	75.98	4.27	55.65	5	14.67	15.39					
		4	71.89	44.82	49.80	5	-1.23	0.00					
	Gloeophyllum trabeum	Σ	73.76	20.48 ± 21.81	44.35	4.8	2.88	3.85 ± 7.70	-0.72	2	1		
		1	51.78	11.80	44.21	5	4.43	5.16					
		2	65.89	13.16	54.20	5	1.97	2.70					
		3	62.86	15.77	48.41	5	2.38	3.10					
	Poria placenta	4	55.24	15.49	36.04	5	2.58	3.30	-0.72	0	4		
		Σ	58.94	14.06 ± 1.90	45.71	5.0	2.84	3.57 ± 1.09					
		1	120.85	15.44	63.59	5	20.65	21.37					
		2	127.26	13.95	55.19	5	21.87	22.59					
	Bewittert	Coniophora puteana	3	115.36	15.60	53.09	5	19.36	20.09	0.28	0	3	
			4	114.35	14.49	53.44	5	20.34	21.06				
			Σ	119.46	14.87 ± 0.79	56.33	5.0	20.55	21.28 ± 1.03				
			1	68.33	46.27	40.66	5	9.58	9.30				
Gloeophyllum trabeum		2	88.21	49.62	36.77	5	2.41	2.13	0.28	1	1		
		3	61.28	39.90	41.47	5	12.25	11.97					
		4	52.59	19.78	55.49	5	24.47	24.19					
		Σ	67.60	38.89 ± 13.36	43.60	5.0	12.18	11.90 ± 9.19					
Poria placenta		1	54.41	9.87	47.83	5	2.60	2.32	0.28	0	4		
		2	66.70	13.41	37.80	5	3.08	2.80					
		3	58.23	16.12	54.20	5	7.58	7.30					
		4	59.49	9.64	39.16	5	3.38	3.10					
Poria placenta		Σ	59.71	12.26 ± 3.10	44.75	5.0	4.16	3.88 ± 2.30	0.28	0	4		
		1	138.74	16.63	52.85	5	20.58	20.30					
		2	104.71	16.34	71.78	5	20.36	20.08					
		3	126.53	11.82	60.51	5	23.16	22.88					
Poria placenta	4	119.94	15.78	51.79	5	20.13	19.85	0.28	0	4			
	Σ	122.48	15.14 ± 2.24	59.24	5.0	21.06	20.78 ± 1.41						

Tabelle A1-8 Detaillierte Werte aus dem Pilzversuch der mit Holzteer behandelten Proben.
¹⁾ Bewachungsgrad (siehe Tabelle 4-4 im Hauptteil)

Produkt/Variante		Holzteer											
Prüfzustand	Prüfpilz	Nr.	Kontrollproben			Prüfprobe					Anz. Werte		Befund
			Wasser- gehalt [%]	Wasser- gehalt [%]	Gewichtsverlust [%]	Wasser- gehalt [%]	Pilz- bewachs ¹	nicht Korr.	Korrektur- wert [%]	Korrigiert ± s	>3%...<5%	> 5%	
Unbewittert	Coniophora puteana	1	77.89		48.44		63.35	4	-0.16	-0.32	0.17		
		2	67.36		47.87		63.52	4	-0.35		0.00		
		3	89.98		56.17		56.26	3	-0.09		0.23	0	0
		4	71.41		45.04		50.23	1	-0.68		0.00		
	Σ	76.66		49.38 ± 4.76		58.34	3.0	-0.32	0.10 ± 0.12				
	Gloeophyllum trabeum	1	55.32		25.05		63.13	4	0.43		0.75		
		2	64.29		32.65		87.24	4	1.36		1.68		
		3	54.46		22.63		64.54	4	1.12		1.45	0	0
		4	61.18		32.86		73.16	4	1.58		1.90		
	Σ	58.81		28.30 ± 5.24		72.02	4.0	1.12	1.44 ± 0.50				
	Lentinus lepideus	1	40.88		8.75		46.26	0	-0.58		0.00		
		2	32.51		0.46		52.31	0	-1.03		0.00		
3		39.07		7.81		52.28	0	-0.30	0.02	0	0		
4		33.10		0.52		52.66	1	-0.94	0.00				
Σ	36.39		4.39 ± 4.52		50.88	0.3	-0.71	0.01 ± 0.01					
Bewittert	Coniophora puteana	1	57.62		28.13		47.65	4	0.49	1.08	0.00		
		2	68.47		47.98		56.67	5	27.96		26.88		
		3	64.81		41.66		35.14	4	3.84		2.76	0	2
		4	63.51		44.24		50.38	5	24.05		22.97		
	Σ	63.60		40.50 ± 8.65		47.46	4.5	14.08	13.15 ± 13.73				
	Gloeophyllum trabeum	1	60.92		15.98		66.28	5	8.62		7.54		
		2	56.11		12.30		54.73	5	5.08		4.00	2	1
		3	62.72		12.66		47.49	5	2.77		1.69		
		4	57.85		13.66		44.81	5	4.73		3.65		
	Σ	59.40		13.65 ± 1.66		53.32	5.0	5.30	4.22 ± 2.43				
	Lentinus lepideus	1	33.45		0.28		36.21	0	0.82		0.00		
		2	36.46		4.59		39.34	3	2.17		1.09	0	0
3		41.85		11.46		39.52	2	1.63	0.56				
4		47.20		15.08		32.58	4	1.70	0.62				
Σ	39.74		7.85 ± 6.67		36.91	2.3	1.58	0.57 ± 0.45					

Tabelle A1-9 Detaillierte Werte aus dem Pilzversuch der mit Warmrauch behandelten Proben.
¹⁾ Bewachungsgrad (siehe Tabelle 4-4 im Hauptteil)

Produkt/Variante			Warmrauch					Anz. Werte			Befund		
Prüfzustand	Prüfpilz	Nr.	Kontrollproben		Prüfprobe			>3%...<5%	> 5%				
			Wasser- gehalt [%] x	Gewichtsverlust [%] ± s	Wasser- gehalt [%] x	Pilz- bewachs ¹	nicht Korr.	Korrektur- wert [%]	Korrigiert x ± s				
Unbewittert	Coniophora puteana	1	77.70	48.00	52.50	4	0.58	0.18	0.40	0	1		
		2	62.23	24.77	49.83	4	-0.21		0.00				
		3	63.39	42.44	39.72	4	8.40		8.22				
		4	44.23	11.84	40.96	3	-0.05		0.00				
	x	61.89	31.76 ± 16.57	45.75	3.8	2.18	2.16 ± 4.05			0	i.O.		
	1	53.34	-8.04	42.79	5	3.54	3.36						
	2	58.40	17.18	69.19	5	1.21	1.03						
	3	51.69	14.00	61.22	5	1.50	1.32						
	4	65.10	17.06	62.58	5	0.06	0.00		1.43 ± 1.41		4		
	x	57.14	10.05 ± 12.15	58.95	5.0	1.58	50.72						
	1	93.01	63.63	61.93	5	50.90	47.16						
	2	114.61	67.23	58.03	5	47.34	47.30						
Bewittert	Coniophora puteana	3	59.07	60.50	50.54	5	47.48	1.86	35.29	0	4		
		4	70.75	63.58	45.82	5	35.47		45.12 ± 6.76				
		x	84.36	63.73 ± 2.75	54.08	5.0	45.30		26.48				
		1	63.34	40.30	52.01	5	28.34		27.95				
	Gloeophyllum trabeum	2	64.61	37.89	54.39	5	29.81			25.44	0	4	
		3	78.66	50.51	51.56	5	27.30			29.48			
		4	65.75	42.11	54.69	5	31.34			27.34 ± 1.76			
		x	68.09	42.70 ± 5.49	53.16	5.0	29.20			2.71			
	Fomitopsis pinicola	1	63.76	12.94	40.40	5	4.57			4.98	3	0	
		2	57.81	11.93	40.90	5	6.85			4.57			
		3	61.38	12.16	40.71	5	6.44			3.17			
		4	59.75	11.42	37.76	5	5.03			3.86 ± 1.09			
	x	60.67	12.11 ± 0.63	39.94	5.0	5.72		50.66	0	4			
	1	110.36	66.21	67.17	5	52.52		53.33					
	2	86.97	62.86	63.99	5	55.19		56.50					
	3	71.66	54.52	72.32	5	58.36		52.22					
	4	78.36	65.89	60.12	5	54.08		53.18 ± 2.47					
	x	86.84	62.37 ± 5.45	65.90	5.0	55.04							

Tabelle A1-10 Detaillierte Werte aus dem Pilzversuch der mit Rauchkondensat mod. Var. 1 behandelten Proben.

¹⁾ Bewachungsgrad (siehe Tabelle 4-4 im Hauptteil)²⁾ Aufgrund von visueller Beurteilung von makroskopischen Zerstörungsgrad im Probeinnern konnte auf einen max. Gewichtsverlust von < 3% geschlossen werden.

Produkt/Variante		Rauchkondensat mod. Var. 1										
Prüfzustand	Prüfpilz	Nr.	Kontrollproben			Prüfprobe				Anz. Werte	Befund	
			Wasser- gehalt [%] x̄	Gewichtsverlust [%] ± s	Wasser- gehalt [%] x̄	Pilz- bewachs ¹	nicht Korr.	Korrektur- wert [%]	Korrigiert x̄ ± s			
Unbewittert	Coniophora puteana	1	80.00	51.67	108.53	2	9.24	0.78	< 3 % ²	1	0	i.O.
		2	59.08	29.06	99.37	2	4.34		< 3 % ²			
		3	79.05	44.13	84.64	2	2.81		2.03			
		4	60.29	50.00	100.69	1	5.52		4.73			
	x̄	69.60	43.72 ± 10.29	98.31	1.8	5.48	2.94 ± 1.21					
	Gloeophyllum trabeum	1	60.11	28.56	102.00	5	4.69		< 3 % ²	0	0	i.O.
		2	54.78	33.66	88.80	2	20.20		< 3 % ²			
		3	62.42	31.02	117.16	5	5.00		< 3 % ²			
		4	63.74	42.58	136.62	5	12.65		< 3 % ²			
	x̄	60.26	33.95 ± 6.11	111.14	4.3	10.64	< 3 % ²					
	Fomitopsis pinicola	1	72.65	62.01	103.46	5	8.47		< 3 % ²	0	0	i.O.
		2	70.21	64.02	108.17	5	13.02		< 3 % ²			
		3	88.41	66.82	100.82	5	5.45	< 3 % ²				
		4	75.58	64.50	102.54	5	5.53	< 3 % ²				
	x̄	76.71	64.34 ± 1.97	103.75	5.0	8.12	< 3 % ²					
	Bewittert	Coniophora puteana	1	74.22	45.69	71.17	5	17.72	8.20	9.52	1	3
2			62.06	39.07	70.33	5	13.08	4.88				
3			71.59	49.79	60.51	5	19.26	11.06				
4			63.74	37.62	69.90	5	22.94	14.74				
x̄		67.90	43.04 ± 5.71	67.98	5.0	18.25	10.05 ± 4.08					
Gloeophyllum trabeum		1	59.54	11.84	67.14	5	8.88	0.68		1	0	i.O.
		2	57.23	19.75	79.48	5	17.27	< 3 % ²				
		3	58.94	12.80	77.05	5	9.38	1.18				
		4	52.61	4.80	98.73	5	6.90	0.00				
x̄		57.08	12.30 ± 6.12	80.60	5.0	10.61	0.62 ± 0.59					
Fomitopsis pinicola		1	91.54	64.82	51.19	5	38.77	30.57		0	4	
		2	102.87	60.45	54.09	5	43.63	35.43				
		3	82.32	63.80	52.01	5	42.10	33.90				
		4	89.24	66.32	54.01	5	43.50	35.30				
x̄		91.49	63.85 ± 2.49	52.83	5.0	42.00	33.80 ± 2.26					

Tabelle A1-11 Detaillierte Werte aus dem Pilzversuch der mit Rauchkondensat mod. Var. 2 behandelten Proben.

¹⁾ Bewachungsgrad (siehe Tabelle 4-4 im Hauptteil)²⁾ Aufgrund von visueller Beurteilung von makroskopischen Zerstörungsgrad im Probeinnern konnte auf einen max. Gewichtsverlust von < 3% geschlossen werden.

Produkt/Variante		Rauchkondensat mod. Var. 2									
		Kontrollproben					Prüfprobe				
		Nr.	Wasser- gehalt [%]	Gewichtsverlust [%] ± s	Wasser- gehalt [%]	Pilz- bewachs ¹	nicht Korr.	Korrektur- wert [%]	Korrigiert x ± s	Anz. Werte	Befund
Unbewittert	Coniophora puteana	1	67.55	56.04	116.03	4	4.80		< 3 % ²		
		2	62.21	41.33	98.92	1	4.11		< 3 % ²	0	i.O.
		3	72.03	43.35	97.07	1	5.79		< 3 % ²		
		4	70.44	58.25	116.44	1	10.47		< 3 % ²		
	Gloeophyllum trabeum	x	68.06	49.74 ± 8.64	107.11	1.8	6.29		< 3 % ²		
		1	56.49	46.08	129.80	5	12.50		< 3 % ²		
		2	56.48	36.21	116.03	5	7.46		< 3 % ²	0	i.O.
		3	55.36	39.31	88.94	1	20.28	0.18	< 3 % ²		
	Fomitopsis pinicola	4	54.74	32.68	-12.65	5	8.29		< 3 % ²		
		x	55.77	38.57 ± 5.69	80.53	4.0	12.13		< 3 % ²		
		1	68.13	61.89	113.40	5	12.96		< 3 % ²		
		2	69.90	66.12	114.40	5	13.15		< 3 % ²	0	i.O.
	Coniophora puteana	3	75.44	64.90	90.67	5	5.04		< 3 % ²		
		4	72.38	63.89	118.93	5	6.48		< 3 % ²		
		x	71.46	64.20 ± 1.79	109.35	5.0	9.41		< 3 % ²		
		1	62.69	36.66	84.69	5	31.75		22.81		
Bewittert	Coniophora puteana	2	74.21	24.39	70.19	5	30.90		21.97	0	
		3	68.34	46.82	75.52	5	17.86		8.92		
		4	62.49	44.87	70.38	5	14.17		5.23		
		x	66.93	38.18 ± 10.20	75.20	5.0	23.67		14.73 ± 8.98		
	Gloeophyllum trabeum	1	59.96	14.95	86.04	5	9.88		0.94		
		2	61.23	14.81	79.57	5	11.06		2.12		
		3	62.72	14.02	76.72	5	8.42	8.94	0.00	0	i.O.
		4	53.40	14.87	99.32	5	9.99		1.06		
	Fomitopsis pinicola	x	59.33	14.66 ± 0.43	85.41	5.0	9.84		1.03 ± 0.87		
		1	74.50	63.02	50.97	5	40.13		31.20		
		2	86.53	66.73	50.11	5	36.07		27.13	0	
		3	73.96	61.82	55.28	5	44.28		35.35		
	Coniophora puteana	4	68.83	56.06	51.16	5	40.17		31.24	4	
		x	75.96	61.91 ± 4.42	51.88	5.0	40.16		31.23 ± 3.35		

Tabelle A1-12 Detaillierte Werte aus dem Pilzversuch der mit Rauchkondensat mod. Var. 3 behandelten Proben.

¹⁾ Bewachungsgrad (siehe Tabelle 4-4 im Hauptteil)²⁾ Aufgrund von visueller Beurteilung von makroskopischen Zerstörungsgrad im Probeinnern konnte auf einen max. Gewichtsverlust von < 3% geschlossen werden.

Produkt/Variante		Rauchkondensat mod. Var. 3										
Prüfzustand	Prüfpilz	Nr.	Kontrollproben			Prüfprobe			Anz. Werte		Befund	
			Wasser- gehalt [%] x̄	Gewichtsverlust [%] ± s	Wasser- gehalt [%] x̄	Pilz- bewachs¹	nicht Korr.	Korrektur- wert [%]	Korrigiert x̄ ± s			
Unbewittert	Coniophora puteana	1	62.23	40.27	96.96	2	2.72	0.88	1.85	0	0	i.O.
		2	65.94	38.96	95.31	2	2.77		1.90			
		3	62.58	39.81	110.37	0	5.08		< 3 %²			
		4	77.69	55.40	88.78	4	4.08		< 3 %²			
	x̄	67.11	43.61 ± 7.88	97.86	2.0	3.66	2.44 ± 0.65					
	Gloeophyllum trabeum	1	56.37	40.30	121.78	1	16.52		< 3 %²			
		2	61.63	41.07	107.24	5	5.61		< 3 %²			
		3	60.82	37.44	134.80	5	7.99		< 3 %²			
		4	62.34	37.96	132.80	5	8.31		< 3 %²			
	x̄	60.29	39.19 ± 1.76	124.16	4.0	9.61	< 3 %²					
	Fomitopsis pinicola	1	75.68	65.45	101.97	5	4.89		< 3 %²			
		2	66.47	62.74	101.40	5	5.73		< 3 %²			
		3	80.96	65.81	109.47	5	7.79		< 3 %²			
		4	87.34	64.64	119.26	5	6.56		< 3 %²			
	x̄	77.61	64.66 ± 1.37	108.02	5.0	6.24	< 3 %²					
	Bewittert	Coniophora puteana	1	55.38	26.75	77.13	5		20.75	8.69	12.06	0
2			70.89	34.85	66.89	5	17.56	8.86				
3			76.24	44.52	74.21	5	21.62	12.93				
4			67.00	44.49	65.99	5	20.77	12.07				
x̄		67.38	37.65 ± 8.57	71.06	5.0	20.17	11.48 ± 1.79					
Gloeophyllum trabeum		1	54.89	12.38	91.08	5	14.24	< 3 %²				
		2	49.27	10.11	85.09	5	10.05	< 3 %²				
		3	56.39	14.57	66.89	5	26.47	< 3 %²				
		4	56.92	23.29	98.49	5	7.93	< 3 %²				
x̄		54.37	15.09 ± 5.76	85.39	5.0	14.67	< 3 %²					
Fomitopsis pinicola		1	114.09	68.04	58.46	5	39.65	30.95				
		2	73.45	61.31	51.12	5	45.14	36.45				
		3	74.47	59.97	49.79	5	41.68	32.98				
		4	86.32	60.04	54.71	5	34.97	26.27				
x̄		87.08	62.34 ± 3.85	53.52	5.0	40.36	31.67 ± 4.25					

Tabelle A1-13 Detaillierte Werte aus dem Pilzversuch der mit Rauchkondensat mod. Var. 4 behandelten Proben.

¹⁾ Bewachungsgrad (siehe Tabelle 4-4 im Hauptteil)

Produkt/Variante			Rauchkondensat mod. Var. 4											
Prüfzustand	Prüfpilz	Nr.	Kontrollproben			Wasser- gehalt [%]	Gewichtsverlust [%] ± s	Wasser- gehalt [%]	Pilz- bewachs ¹	Prüfprobe		Anz. Werte		Befund
			Wasser- gehalt [%]	Gewichtsverlust [%] ± s	nicht Korr.					Korrektur- wert [%]	Korrigiert ± s	>3%...<5%	> 5%	
Unbewittert	Coniophora puteana	1	95.33	7.42		40.21		40.21	5	20.65		20.54		
		2	66.47	45.42		71.80		71.80	5	2.24		2.14		1
		3	73.83	49.30		49.08		49.08	5	1.26		1.15		
		4	63.91	43.94		68.92		68.92	5	3.21		3.11		
		̄	74.89	36.52 ± 19.53		57.50		57.50	5.0	6.84		6.74 ± 9.24		
	Gloeophyllum trabeum	1	59.64	19.58		72.44		72.44	5	1.70		1.59		
		2	53.75	21.48		71.07		71.07	5	1.70		1.60		
		3	50.67	16.13		97.11		97.11	5	2.97		2.86		0
		4	61.18	21.29		97.06		97.06	5	3.31		3.20		
		̄	56.31	19.62 ± 2.48		84.42		84.42	5.0	2.42		2.31 ± 0.84		
	Fomitopsis pinicola	1	84.10	62.47		50.88		50.88	5	38.84		38.74		
		2	100.42	67.30		95.87		95.87	5	4.96		4.85		3
3		83.44	65.11		45.92		45.92	5	22.25		22.15		1	
4		98.93	63.16		42.40		42.40	5	14.47		14.36			
	̄	91.72	64.51 ± 2.17		58.77		58.77	5.0	20.13		20.02 ± 14.34			
Bewittert	Coniophora puteana	1	68.72	47.66		48.50		48.50	5	16.44		12.03		
		2	73.25	46.78		45.39		45.39	5	11.91		7.50		3
		3	73.58	54.05		53.30		53.30	5	4.40		0.00		0
		4	70.20	49.89		49.78		49.78	5	26.82		22.41		
		̄	71.44	49.60 ± 3.24		49.24		49.24	5.0	14.89		10.49 ± 9.37		
	Gloeophyllum trabeum	1	55.61	14.62		63.14		63.14	5	6.74		2.34		
		2	59.29	13.67		59.46		59.46	5	4.87		0.47		0
		3	63.14	14.78		63.25		63.25	5	5.65		1.25		0
		4	61.01	13.95		73.04		73.04	5	3.67		0.00		
		̄	59.76	14.25 ± 0.53		64.72		64.72	5.0	5.24		1.01 ± 1.02		
	Fomitopsis pinicola	1	118.19	63.00		63.98		63.98	5	47.30		42.89		
		2	91.66	64.56		60.67		60.67	5	46.15		41.74		4
3		106.75	65.27		68.93		68.93	5	46.75		42.35			
4		95.45	59.72		48.15		48.15	5	24.39		19.99			
	̄	103.01	63.14 ± 2.47		60.43		60.43	5.0	41.15		36.74 ± 11.18			

Tabelle A1-14 Detaillierte Werte aus dem Pilzversuch der mit Pento Fluid IP behandelten Proben.
¹⁾ Bewachungsgrad (siehe Tabelle 4-4 im Hauptteil)

Produkt/Variante			Pento Fluid IP					Anz. Werte			Befund	
Prüfzustand	Prüfpilz	Nr.	Kontrollproben		Prüfprobe			>3%...<5%	> 5%			
			Wasser- gehalt [%] x	Gewichtsverlust [%] ± s	Wasser- gehalt [%] x	Pilz- bewachs ¹	nicht Korr.			Korrektur- wert [%]	Korrigiert ± s	
Unbewittert	Coniophora puteana	1	89.20	40.97	32.92	0	-0.41	-0.49	0.08	0	0	i.O.
		2	75.02	45.00	32.69	0	-0.23		0.26			
		3	74.56	43.87	31.78	0	-0.53		0.00			
		4	72.83	40.17	32.24	0	-0.73		0.00			
	x	77.90	42.50 ± 2.30	32.41	0.0	-0.47	0.08 ± 0.12					
	Gloeophyllum trabeum	1	64.15	29.72	32.05	1	-0.46		0.03			
		2	53.46	17.57	32.64	1	-0.75		0.00			
		3	69.73	27.60	34.57	1	-0.63		0.00			
		4	60.18	26.17	34.44	1	-0.84		0.00			
	x	61.88	25.27 ± 5.33	33.43	1.0	-0.67	0.01 ± 0.01					
	Poria placenta	1	92.54	29.37	29.91	0	-0.94		0.00			
		2	89.81	25.69	28.72	0	-0.69		0.00			
		3	93.26	25.96	27.29	0	-0.44		0.05			
		4	98.26	25.05	26.88	0	-0.72		0.00			
	x	93.47	26.52 ± 1.94	28.20	0.0	-0.70	0.01 ± 0.02					
Bewittert	Coniophora puteana	1	95.41	0.63	39.36	5	0.24	0.28	0.00	0	0	i.O.
		2	61.77	29.60	45.85	4	0.66		0.38			
		3	73.13	29.26	33.93	2	0.37		0.09			
		4	80.95	62.16	34.88	2	0.14		0.00			
	x	77.82	30.41 ± 25.15	38.50	3.3	0.35	0.12 ± 0.18					
	Gloeophyllum trabeum	1	64.28	25.13	42.65	5	-0.59		0.00			
		2	55.85	18.89	46.67	5	-0.02		0.00			
		3	57.79	11.45	46.65	5	0.16		0.00			
		4	59.85	17.08	49.89	5	0.25		0.00			
	x	59.44	18.14 ± 5.64	46.46	5.0	-0.05	0.00 ± 0.00					
	Poria placenta	1	94.39	25.89	30.14	2	0.80		0.52			
		2	85.80	35.71	28.80	2	0.62		0.34			
		3	84.84	26.48	30.81	2	0.68		0.40			
		4	109.41	26.54	33.86	2	5.20		4.92			
	x	93.61	28.66 ± 4.71	30.90	2.0	1.82	1.54 ± 2.25					

Tabelle A1-15 Detaillierte Werte aus dem Pilzversuch der mit Lasinol UV behandelten Proben.
¹⁾ Bewachungsgrad (siehe Tabelle 4-4 im Hauptteil)

Produkt/Variante			Lasinol UV														
Prüfzustand	Prüfpilz	Nr.	Kontrollproben			Wasser- gehalt [%]	Gewichtsverlust [%] $\bar{x} \pm s$	Wasser- gehalt [%] \bar{x}	Pilz- bewachs ¹	Prüfprobe			Anz. Werte		Befund		
			Wasser- gehalt [%] \bar{x}	Wasser- gehalt [%] \bar{x}	Gewichtsverlust [%] $\bar{x} \pm s$					nicht Korr.	Korrektur- wert [%]	Korrigiert $\bar{x} \pm s$	>3%...<5%	> 5%			
Unbewittert	Coniophora puteana	1	94.27		-0.58			30.29	0	-0.16	-0.57	0.41					
		2	82.05		-0.62			28.81	0	-0.49		0.08					
		3	66.03		37.15			30.63	0	-0.81		0.00		0	0	i.O.	
		4	78.21		48.01			32.14	0	0.24		0.81					
	\bar{x}	80.14		20.99 \pm 25.32			30.47	0.0	-0.31	0.32 \pm 0.37							
	Gloeophyllum trabeum	1	56.03		18.15			32.41	1	0.35		0.91					
		2	63.23		13.14			31.08	0	-0.17		0.40					
		3	71.98		17.31			28.51	0	0.24		0.81		0	0	i.O.	
		4	59.89		25.68			29.97	1	-0.48		0.09					
	\bar{x}	62.78		18.57 \pm 5.22			30.49	0.5	-0.02	0.55 \pm 0.38							
	Poria placenta	1	87.35		27.74			26.49	0	-0.92		0.00					
		2	98.60		27.83			28.81	0	-0.34		0.23					
3		101.19		24.86			29.53	0	0.14	0.71		0	0	i.O.			
4		74.39		20.41			28.35	0	-0.52	0.05							
\bar{x}	90.38		25.21 \pm 3.48			28.29	0.0	-0.41	0.25 \pm 0.32								
Bewittert	Coniophora puteana	1	67.77		47.11			43.11	2	1.79	0.25	1.54					
		2	66.98		43.06			38.60	3	-0.56		0.00					
		3	69.41		46.55			42.89	4	0.56		0.31		0	0	i.O.	
		4	62.17		37.51			36.55	4	2.20		1.95					
	\bar{x}	66.58		43.56 \pm 4.41			40.29	3.3	1.00	0.95 \pm 0.94							
	Gloeophyllum trabeum	1	61.05		15.88			35.92	4	1.07		0.82					
		2	53.01		13.05			50.99	4	1.37		1.12					
		3	66.24		14.93			47.15	4	1.29		1.04		0	0	i.O.	
		4	61.68		12.24			37.87	4	1.20		0.95					
	\bar{x}	60.50		14.03 \pm 1.67			42.98	4.0	1.23	0.98 \pm 0.13							
	Poria placenta	1	102.84		21.53			35.67	2	6.48		6.23					
		2	100.04		27.48			33.94	3	3.76		3.51					
3		81.37		21.77			34.94	3	4.55	4.30		2	1				
4		96.45		24.56			28.08	3	1.43	1.18							
\bar{x}	95.17		23.83 \pm 2.79			33.16	2.8	4.05	3.80 \pm 2.09								

Tabelle A1-16 Detaillierte Werte aus dem Pilzversuch der mit Pento Antihydro behandelten Proben.

¹⁾ Bewachungsgrad (siehe Tabelle 4-4 im Hauptteil)

Produkt/Variante		Pento Antihydro										Anz. Werte		Befund
Prüfzustand	Prüfpilz	Kontrollproben			Prüfprobe									
		Nr.	Wasser- gehalt [%] x̄	Gewichtsverlust [%] ± s	Wasser- gehalt [%] x̄	Pilz- bewachs¹	nicht Korr.	Korrektur- wert [%]	Korrigiert x̄ ± s					
Unbewittert	Coniophora puteana	1	59.02	35.59	31.93	0	-0.32	-0.44	0.12	0	0	0	i.O.	
		2	67.27	46.63	50.68	4	-0.11		0.33					
		3	64.23	34.18	29.27	0	-0.16		0.27					
		4	79.76	0.00	29.25	0	-0.53		0.00					
	x̄	67.57	29.10 ± 20.18	35.28	1.0	-0.28	0.18 ± 0.15							
	Gloeophyllum trabeum	1	61.60	24.35	55.73	5	0.38		0.82	0	0	0	i.O.	
		2	52.00	24.03	70.34	5	-1.12		0.00					
		3	51.18	18.58	36.63	0	-1.50		0.00					
		4	60.37	24.00	60.64	5	-0.06		0.38					
	x̄	56.29	22.74 ± 2.78	55.84	3.8	-0.57	0.30 ± 0.39							
	Poria placenta	1	86.29	21.54	32.55	2	1.74		2.18	0	0	0	i.O.	
		2	100.54	21.69	29.47	2	2.49		2.93					
		3	79.44	21.14	28.71	0	-0.43		0.01					
		4	112.47	25.78	27.68	0	-1.02		0.00					
	x̄	94.69	22.54 ± 2.18	29.60	1.0	0.70	1.28 ± 1.50							
Bewittert	Coniophora puteana	1	73.99	52.00	53.79	5	1.61	0.60	1.01	0	0	0	i.O.	
		2	58.72	36.64	48.55	5	0.76		0.16					
		3	80.18	54.39	48.75	5	1.16		0.56					
		4	74.63	52.32	42.93	5	1.26		0.66					
	x̄	71.88	48.84 ± 8.20	48.50	5.0	1.20	0.59 ± 0.35							
	Gloeophyllum trabeum	1	60.82	15.39	54.48	5	3.63		3.03	1	0	0	i.O.	
		2	63.14	14.52	44.84	5	2.63		2.02					
		3	63.11	13.08	38.56	5	2.94		2.33					
		4	53.33	14.01	37.08	5	3.37		2.76					
	x̄	60.10	14.25 ± 0.97	43.74	5.0	3.14	2.54 ± 0.45							
	Poria placenta	1	97.63	17.41	52.90	4	17.21		16.61	0	4			
		2	106.48	18.34	50.48	4	17.49		16.88					
		3	102.19	16.59	49.06	4	14.50		13.90					
		4	95.74	19.74	58.58	4	17.87		17.26					
	x̄	100.51	18.02 ± 1.35	52.75	4.0	16.77	16.16 ± 1.53							

Tabelle A1-17 Detaillierte Werte aus dem Pilzversuch der Alerceproben
¹⁾ Bewachungsgrad (siehe Tabelle 4-4 im Hauptteil)

Produkt/Variante		Alerce													
Prüfzustand	Prüfpilz	Nr.	Kontrollproben			Wasser- gehalt [%]	Gewichtsverlust [%] $\bar{x} \pm s$	Wasser- gehalt [%] \bar{x}	Pilz- bewachs ¹	Prüfprobe			Anz. Werte		Befund
			Wasser- gehalt [%] \bar{x}	Wasser- gehalt [%] \bar{x}	Wasser- gehalt [%] \bar{x}					nicht Korr.	Korrektur- wert [%]	Korrigiert $\bar{x} \pm s$	>3%...<5%	> 5%	
gekocht	Coniophora puteana	1	86.66	51.43	41.65	5	0.29	0.12	0.17	0.17	0.12	0.00	0	0	i.O.
		2	64.03	40.81	42.54	4	0.46	0.29							
		3	43.42	14.54	34.31	4	2.54	2.37							
		4	87.90	0.00	36.45	4	0.38	0.21							
	\bar{x}	70.50	26.70 \pm 23.60	38.74	4.3	0.92	0.74 \pm 1.08								
	Gloeophyllum trabeum	1	62.78	16.36	49.38	5	0.02	0.00							
		2	63.56	13.29	54.75	5	0.10	0.00							
		3	65.67	15.54	53.20	5	0.29	0.12							
		4	56.82	14.28	50.88	5	0.64	0.47							
	\bar{x}	62.21	14.87 \pm 1.36	52.05	5.0	0.26	0.15 \pm 0.22								
	Fomitopsis pinicola	1	84.85	65.05	58.76	5	43.61	43.43							
		2	71.56	65.00	57.08	5	40.53	40.35							
		3	77.03	64.45	60.40	5	43.94	43.77							
		4	67.19	58.90	61.55	5	43.98	43.80							
	\bar{x}	75.16	63.35 \pm 2.98	59.45	5.0	43.01	42.84 \pm 1.67								
natur	Coniophora puteana	1	69.08	45.53	44.98	4	-0.52	0.00	0.07	0.07	0.00	0.00	0	0	i.O.
		2	104.12	0.00	40.42	4	0.07	0.00							
		3	60.75	39.09	57.96	4	-0.47	0.00							
		4	52.64	26.43	45.25	4	-0.25	0.00							
	\bar{x}	71.65	27.76 \pm 20.14	47.15	4.0	-0.29	0.00 \pm 0.00								
	Gloeophyllum trabeum	1	61.08	15.63	35.46	5	-0.04	0.00							
		2	56.99	16.38	37.22	5	0.07	0.00							
		3	55.58	15.91	39.45	5	-0.22	0.00							
		4	65.70	16.68	40.91	5	-0.20	0.00							
	\bar{x}	59.84	16.15 \pm 0.47	38.26	5.0	-0.10	0.00 \pm 0.00								
	Fomitopsis pinicola	1	85.87	63.10	38.39	5	0.87	0.80							
		2	98.96	64.76	38.38	4	0.84	0.78							
		3	87.53	63.80	41.45	5	1.66	1.59							
		4	84.79	61.25	45.44	5	5.44	< 3 % ²							
	\bar{x}	89.29	63.23 \pm 1.48	40.92	4.8	2.20	1.06 \pm 0.46								

Tabelle A1-18 Detaillierte Werte aus dem Pilzversuch der unbehandelten unbewitterten Proben.

¹⁾ Bewachungsgrad (siehe Tabelle 4-4 im Hauptteil)

Produkt/Variante		Unbehandelt												
Prüfzustand	Prüfpilz	Nr.	Kontrollproben			Wasser- gehalt [%]	Pilz- bewachs ¹	Prüfprobe			Anz. Werte		Befund	
			Wasser- gehalt [%]	Gewichtsverlust [%] ± s	Wasser- gehalt [%]			nicht Korr.	Korrektur- wert [%]	Korrigiert ± s	>3%...<5%	> 5%		
Unbewittert	Coniophora puteana	1	82.94	49.19		48.42	5	10.22	-0.38	10.60	0	4		
		2	54.31	19.37	44.63	5	16.73	17.11						
		3	73.41	47.61	52.41	5	26.20	26.58						
		4	104.32	3.44	49.19	5	39.21	39.59						
	Σ	78.74	29.90 ± 22.34	48.66	5.0	23.09	23.47 ± 12.59							
	Gloeophyllum trabeum	1	73.94	14.90	42.35	5	2.66	3.04		-0.38	3.04	3	0	
		2	51.72	13.89	38.40	5	3.13	3.51						
		3	63.99	14.86	49.41	5	2.74	3.12						
		4	59.17	16.37	55.64	5	1.56	1.94						
	Σ	62.21	15.01 ± 1.02	46.45	5.0	2.53	2.90 ± 0.67							
	Poria placenta	1	117.97	15.10	54.55	5	21.93	22.31	-0.38		22.31	0	4	
		2	102.96	18.14	83.62	5	16.30	16.68						
		3	131.81	18.40	45.48	5	15.83	16.21						
		4	123.67	16.22	50.51	5	18.39	18.77						
	Σ	119.10	16.96 ± 1.58	58.54	5.0	18.11	18.49 ± 2.78							
	Lentinus lepideus	1	33.80	0.43	30.20	0	-1.08	0.00		-0.38	0.00	0	0	i.O.
		2	44.78	14.38	29.27	0	-1.15	0.00						
		3	32.10	0.89	29.47	0	-1.09	0.00						
		4	35.88	5.25	28.30	1	-0.66	0.00						
	Σ	36.64	5.23 ± 6.47	29.31	0.3	-0.99	0.00 ± 0.00							
	Fomitopsis pinicola	1	82.52	65.51	64.82	5	60.48	60.48	-0.38		60.48	0	4	
		2	79.41	66.08	60.44	5	60.45	60.45						
		3	71.05	63.91	56.78	5	56.02	56.02						
		4	77.00	63.54	57.52	5	54.09	54.09						
	Σ	77.49	64.76 ± 1.23	59.89	5.0	57.76	57.76 ± 3.22							

Tabelle A1-19 Detaillierte Werte aus dem Pilzversuch der unbehandelten bewitterten Proben.

¹⁾ Bewachungsgrad (siehe Tabelle 4-4 im Hauptteil)

Produkt/Variante		Unbehandelt												
Prüfzustand	Prüfpilz	Nr.	Kontrollproben			Wasser- gehalt [%]	Gewichtsverlust [%] ± s	Wasser- gehalt [%]	Pilz- bewachs ¹	Prüfprobe		Anz. Werte		Befund
			Wasser- gehalt [%]	Gewichtsverlust [%] ± s	nicht Korr.					Korrektur- wert [%]	Korrigiert ± s	>3%...<5%	> 5%	
Bewittert	Coniophora puteana	1	71.47	46.72	59.32		56	32.05	-0.46	32.51	0	4		
		2	74.48	46.50	61.95	5	33.32	33.78						
		3	64.99	37.87	50.61	5	23.01	23.47						
		4	62.22	24.14	38.77	5	12.54	13.00						
	Σ	68.29	38.81 ± 10.61	52.67	17.8	25.23	25.69 ± 9.62							
	Gloeophyllum trabeum	1	53.37	11.91	40.07	5	4.58	5.03		2	2			
		2	55.76	13.32	45.93	5	6.69	7.15						
		3	57.41	14.42	43.43	5	3.66	4.12						
		4	58.94	11.76	38.08	5	4.03	4.49						
	Σ	56.37	12.85 ± 1.26	41.88	5.0	4.74	5.20 ± 1.35							
	Poria placenta	1	98.77	11.73	66.73	5	21.02	21.48		0	4			
		2	101.74	13.94	68.58	5	20.26	20.71						
		3	73.53	19.68	86.58	5	15.57	16.03						
		4	66.27	19.31	89.08	5	15.24	15.70						
	Σ	85.08	16.16 ± 3.96	77.74	5.0	18.02	18.48 ± 3.04							
	Lentinus lepideus	1	31.73	0.42	31.91	3	3.86	3.86		1	0	i.O.		
		2	36.66	5.50	34.56	3	2.61	2.61						
		3	32.81	2.30	30.65	3	2.28	2.28						
		4	29.54	0.34	31.36	0	0.30	0.30						
	Σ	32.69	2.14 ± 2.42	32.12	2.3	2.26	2.26 ± 1.47							
	Fomitopsis pinicola	1	83.25	63.63	63.60	5	57.00	57.00		0	4			
		2	74.08	61.36	62.28	5	60.55	60.55						
		3	92.22	57.40	63.55	5	46.26	46.26						
		4	90.06	58.19	69.99	5	36.80	36.80						
	Σ	84.90	60.14 ± 2.89	64.85	5.0	50.15	50.15 ± 10.78							

Tabelle A1-20 Detaillierte Werte aus dem Pilzversuch der unbewitterten Virulenzproben.

¹⁾ Bewachungsgrad (siehe Tabelle 4-4 im Hauptteil)

Prüfzustand	Prüfpilz	Nr.	Virulenzproben		
			Wasser- gehalt [%] \bar{x}	Gewichtsverlust [%] $\bar{x} \pm s$	Pilz- bewachs ¹
Unbewittert	Coniophora puteana	1	124.07	2.54	5
		2	70.52	41.75	5
		3	56.91	39.11	4
		4	57.37	25.71	4
		5	103.62	10.69	4
		6	66.95	52.44	4
		\bar{x}	79.91	28.71 \pm 19.29	4.3
	Gloeophyllum trabeum	1	51.28	23.54	5
		2	49.78	6.64	5
		3	54.42	30.22	5
		4	51.39	16.92	5
		5	53.15	13.65	5
		6	54.14	18.82	5
		\bar{x}	52.36	18.30 \pm 8.11	5.0
	Poria placenta	1	111.13	13.95	5
		2	66.45	28.18	5
		3	72.60	18.68	5
		4	81.14	17.74	5
		5	114.65	14.10	5
		6	65.57	24.36	5
		\bar{x}	85.26	19.50 \pm 5.71	5.0
	Lentinus lepideus	1	40.94	0.87	3
		2	36.95	0.93	3
		3	36.66	0.73	2
		4	40.55	13.49	4
		5	51.59	1.00	4
		6	41.94	1.13	4
		\bar{x}	41.44	3.03 \pm 5.13	3.3
	Fomitopsis pinicola	1	82.22	61.78	5
		2	115.53	62.88	5
		3	105.70	61.46	5
		4	95.75	60.14	5
		5	88.76	60.19	5
		6	100.34	59.42	5
		\bar{x}	98.05	60.98 \pm 1.29	5.0

Tabelle 1-21 Detaillierte Werte aus dem Pilzversuch der bewitterten Virulenzproben.

¹⁾ Bewachungsgrad (siehe Tabelle 4-4 im Hauptteil)

Prüfzustand	Prüfpilz	Nr.	Virulenzproben		
			Wasser- gehalt [%] \bar{x}	Gewichtsverlust [%] $\bar{x} \pm s$	Pilz- bewachs ¹
Bewittert	Coniophora puteana	1	65.98	38.40	5
		2	74.41	44.40	5
		3	65.44	46.52	5
		4	63.52	36.65	5
		5	91.02	10.73	5
		6	56.94	37.56	5
		\bar{x}	69.55	35.71 \pm 12.87	5.0
	Gloeophyllum trabeum	1	57.99	18.56	5
		2	53.03	13.55	5
		3	55.10	13.23	5
		4	50.26	11.23	5
		5	66.10	16.41	5
		6	54.60	14.10	5
		\bar{x}	56.18	14.51 \pm 2.59	5.0
	Poria placenta	1	99.90	16.68	5
		2	87.31	20.69	5
		3	93.29	23.64	5
		4	112.70	19.49	5
		5	100.62	16.84	5
		6	95.83	21.65	5
		\bar{x}	98.28	19.83 \pm 2.74	5.0
	Lentinus lepideus	1	38.33	0.92	1
		2	37.78	1.10	1
		3	38.84	0.98	1
		4	40.18	0.89	1
		5	39.41	0.93	1
		6	37.34	0.84	1
		\bar{x}	38.65	0.94 \pm 0.09	1.0
	Fomitopsis pinicola	1	82.93	63.77	5
		2	97.36	63.95	5
		3	98.67	63.68	5
		4	80.56	62.09	5
		5	100.47	57.61	5
		6	102.13	61.03	5
		\bar{x}	93.69	62.02 \pm 2.45	5.0

A2 Wasserdampfdurchlässigkeit

In den nachfolgenden Diagrammen sind die Gewichtsabnahmen im Trockenverfahren und die Gewichtszunahmen im Nassverfahren dargestellt.

A2.1 Unbehandelt

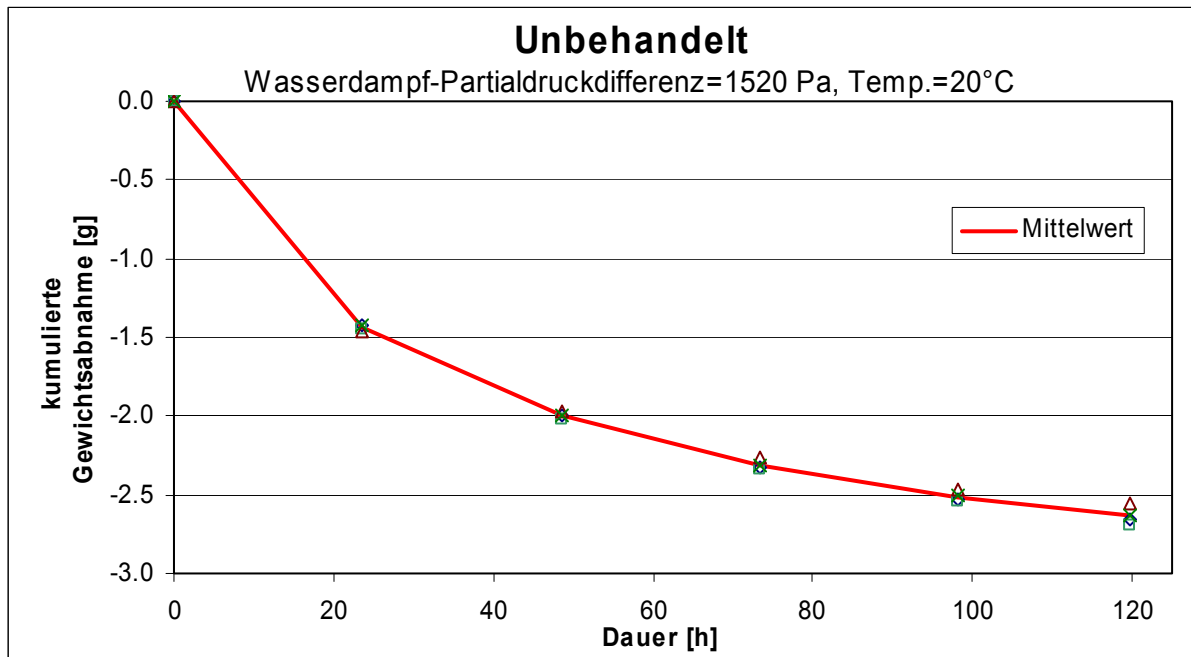


Abbildung A2-1 Gewichtsabnahme der vier unbehandelten Proben (rF=0% und 65%)

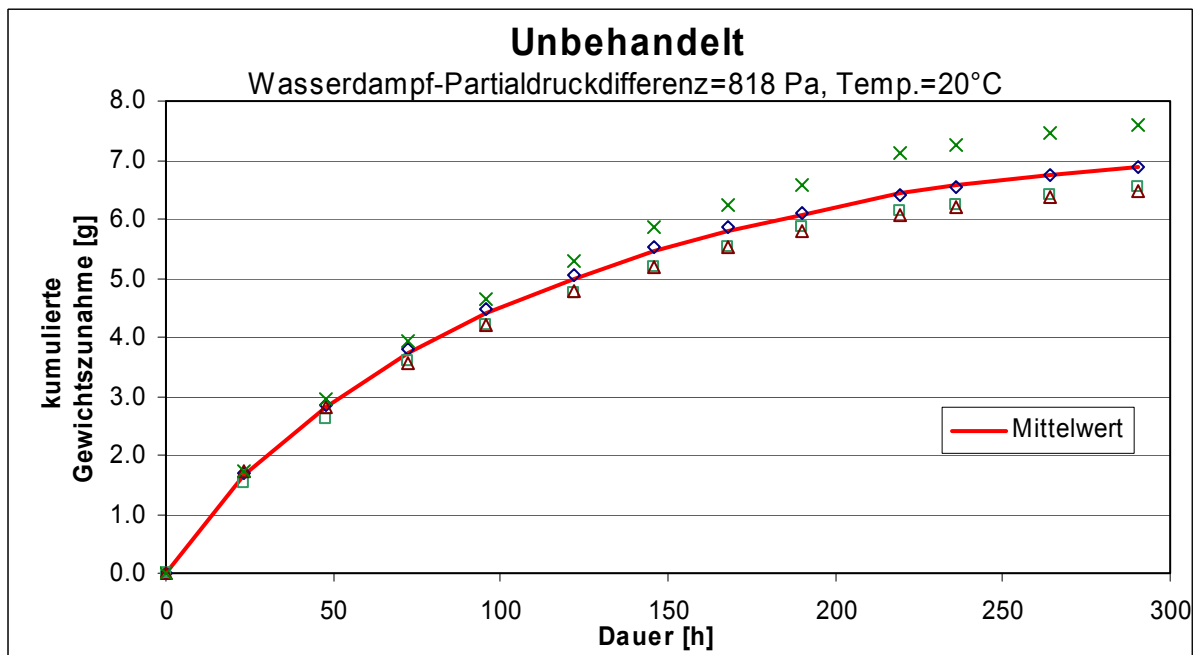


Abbildung A2-2 Gewichtszunahme der vier unbehandelten Proben (rF=100% und 65%)

A2.2 U-653

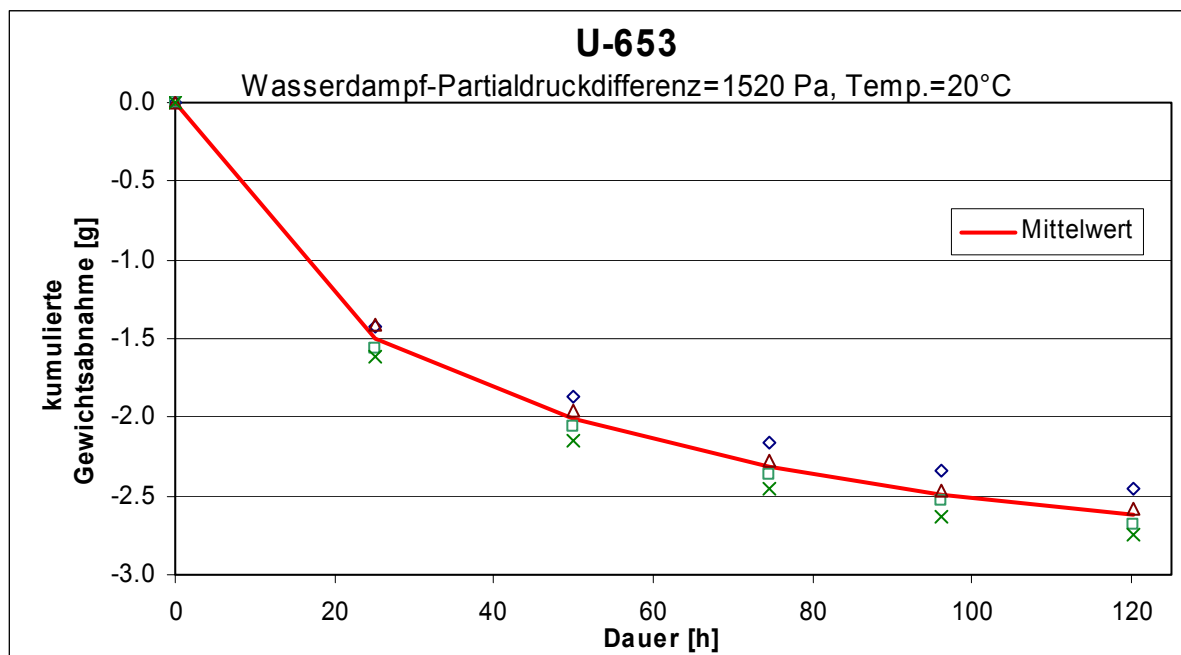


Abbildung A2-3 Gewichtsabnahme der vier mit U-653 behandelten Proben (rF=0% und 65%)

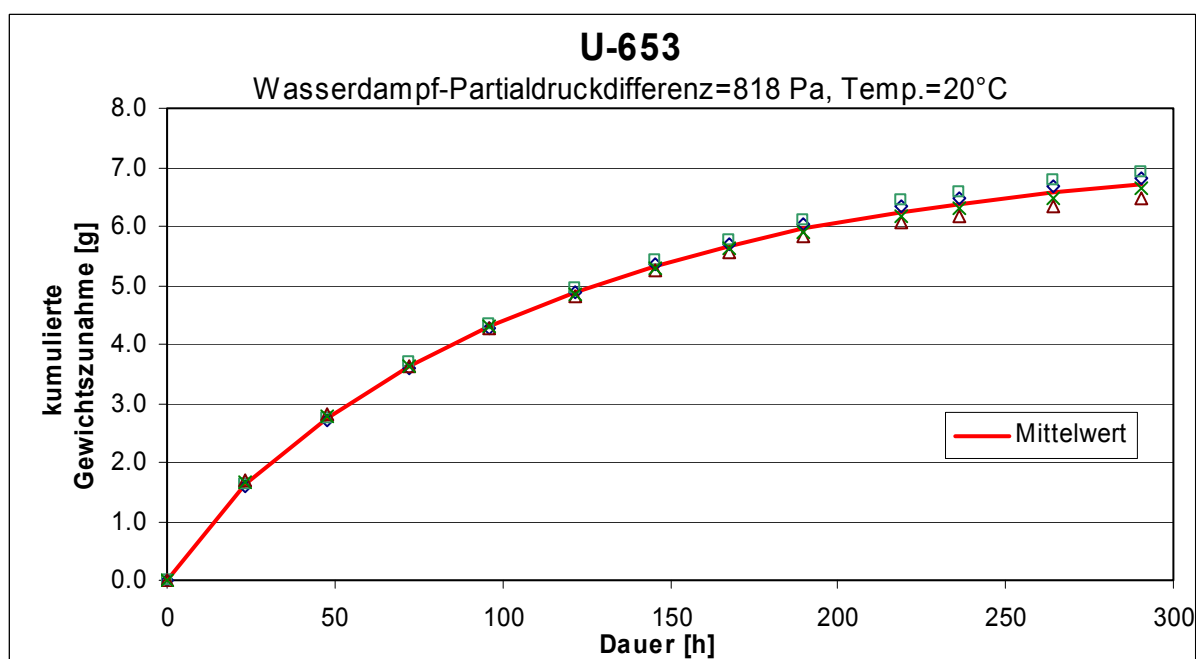


Abbildung A2-4 Gewichtszunahme der vier mit U-653 behandelten Proben (rF=100% und 65%)

A2.3 Thermoholz

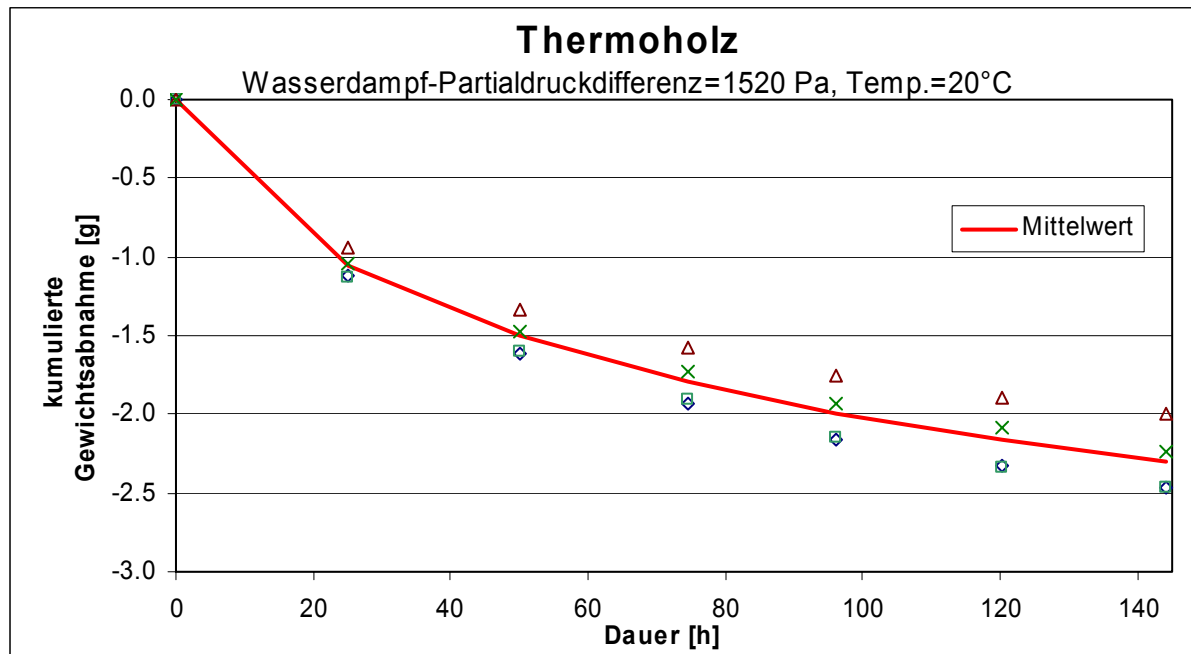


Abbildung A2-5 Gewichtsabnahme der vier mit Wärme behandelten Proben (rF=0% und 65%)

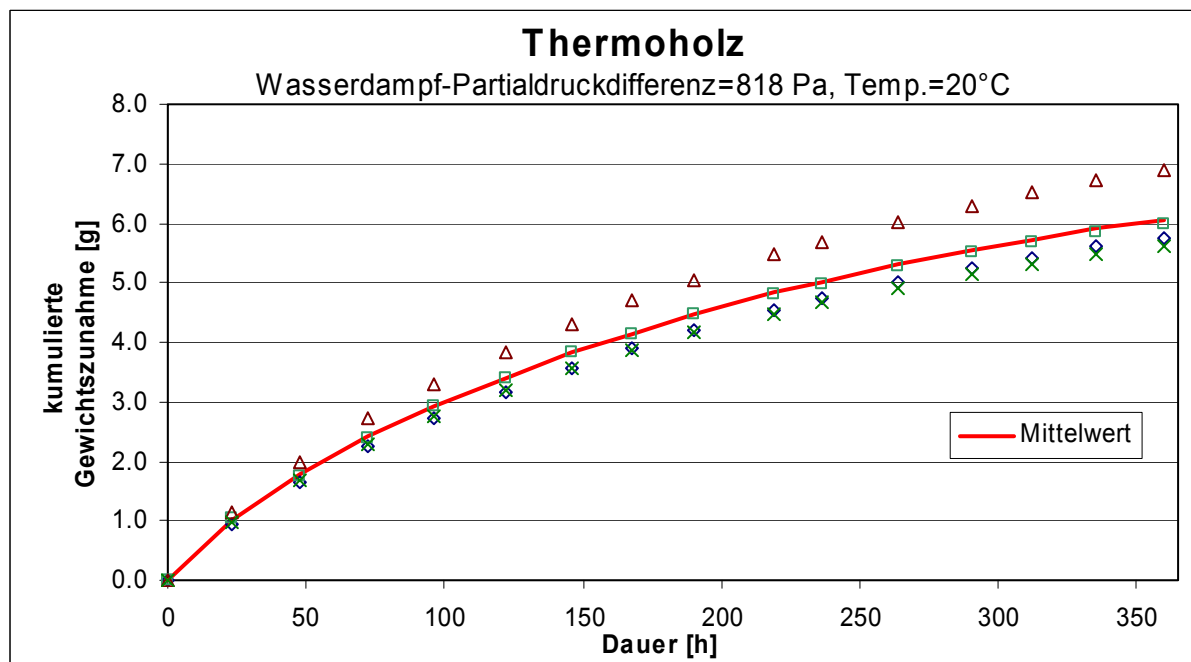


Abbildung A2-6 Gewichts Zunahme der vier mit Wärme behandelten Proben (rF=100% und 65%)

A2.4 Warmrauch

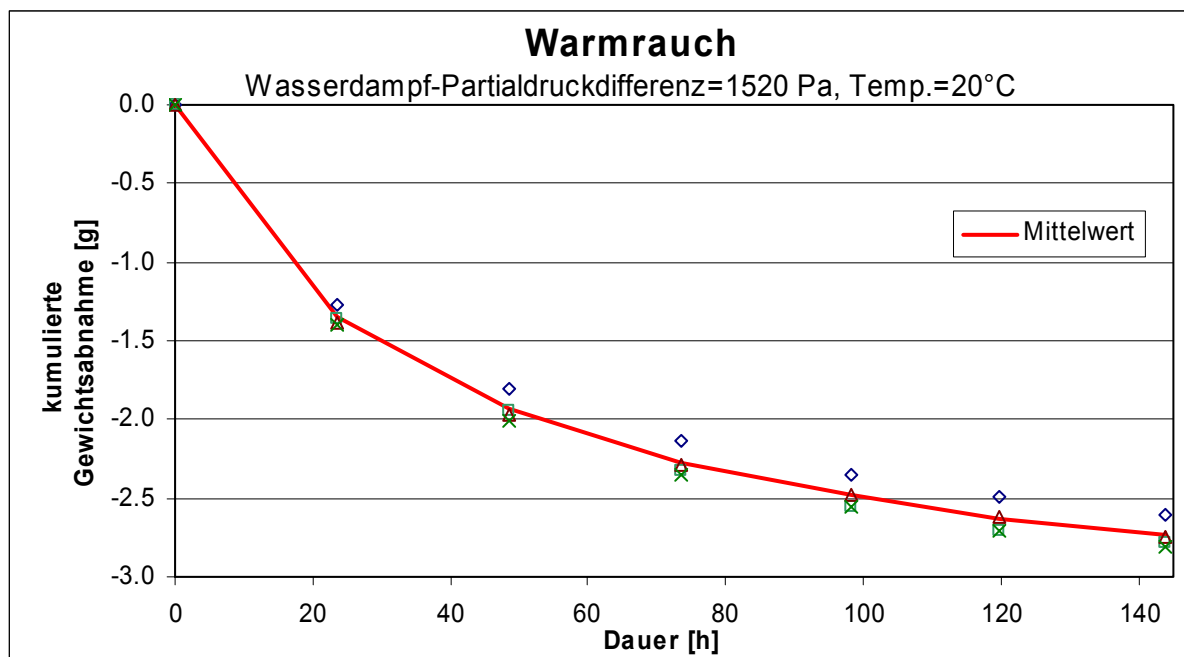


Abbildung A2-7 Gewichtsabnahme der vier geräucherten Proben (rF=0% und 65%)

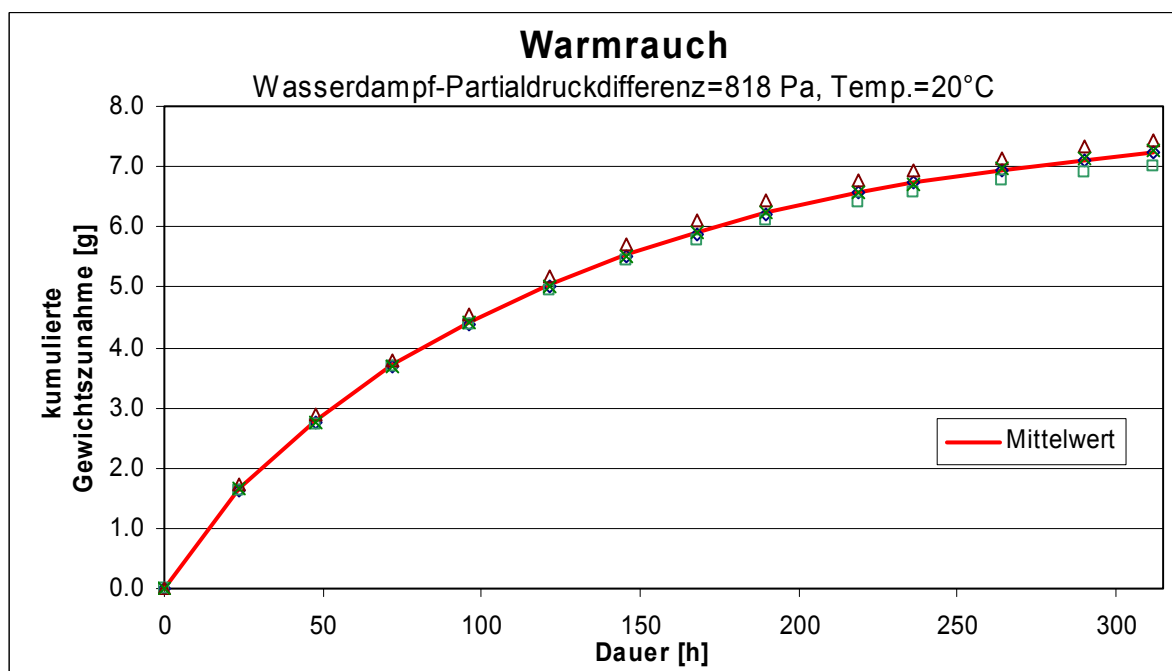


Abbildung A2-8 Gewichtszunahme der vier geräucherten Proben (rF=100% und 65%)

A2.5 Osmo Color

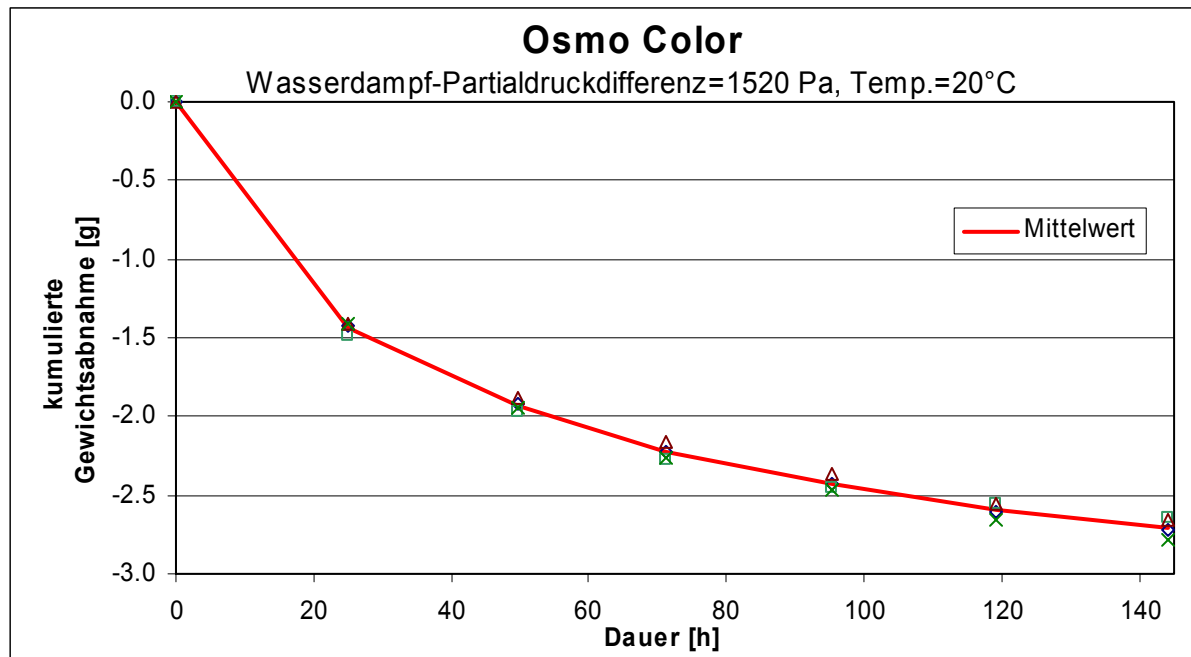


Abbildung A2-9 Gewichtsabnahme der vier mit Osmo Color behandelten Proben (rF=0% und 65%)

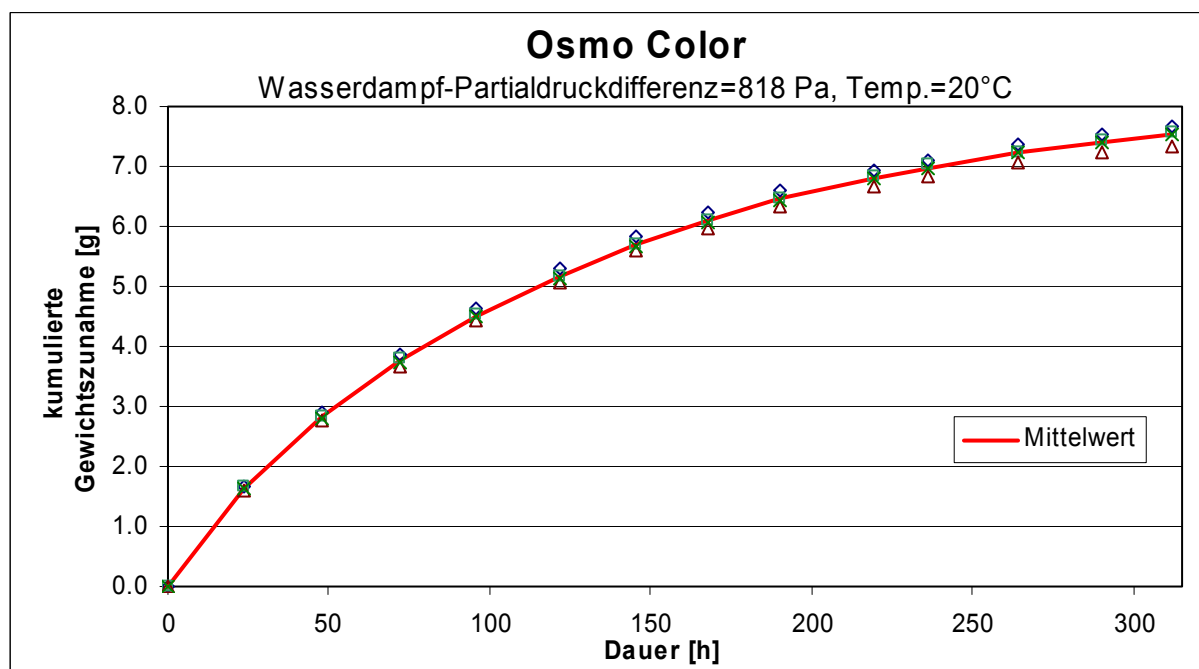


Abbildung A2-10 Gewichtszunahme der vier mit Osmo Color behandelten Proben (rF=100% und 65%)

A2.6 Pento Fluid IP

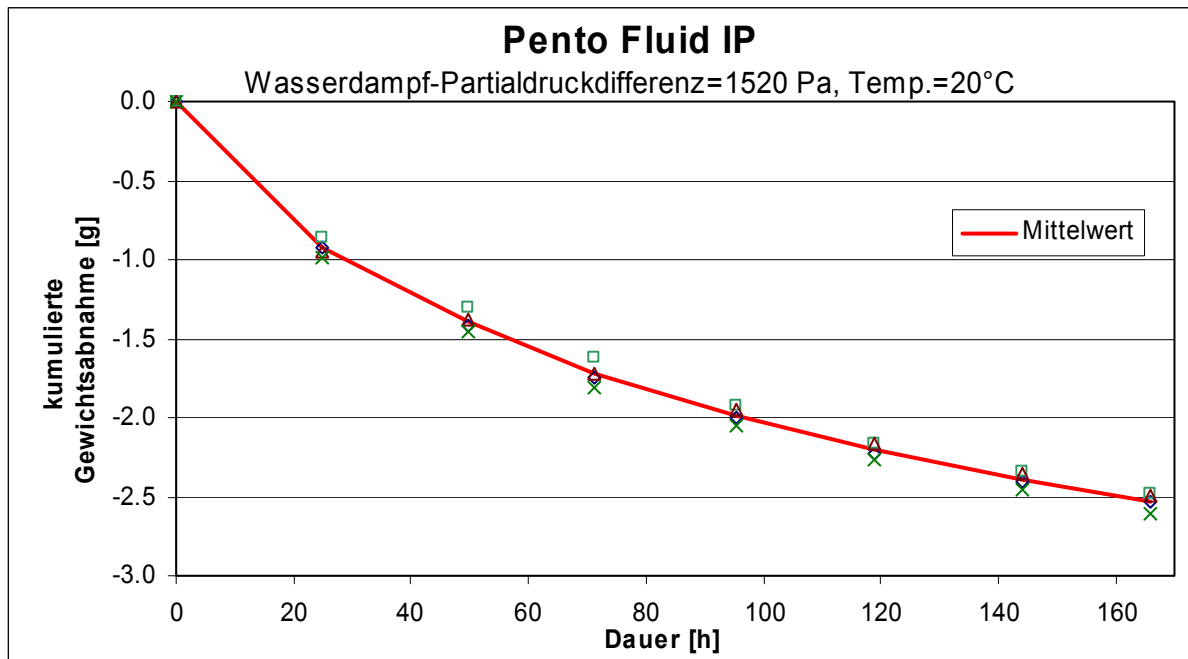


Abbildung A2-11 Gewichtsabnahme der vier mit Pento Fluid IP behandelten Proben (rF=0% und 65%)

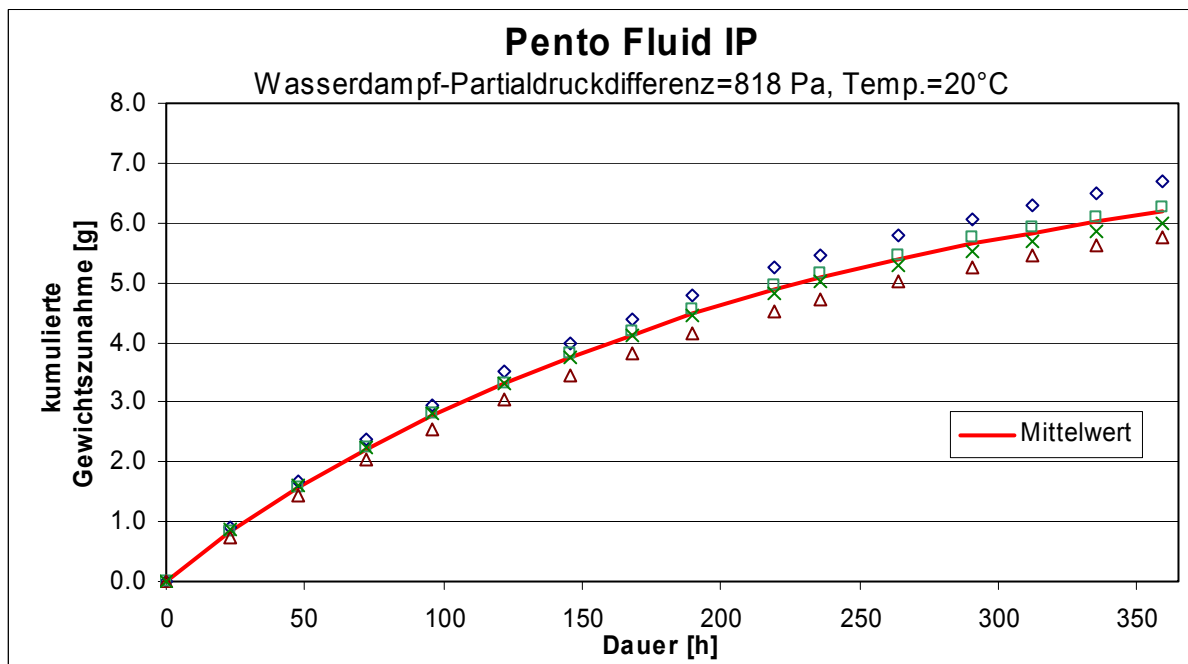


Abbildung A2-12 Gewichtszunahme der vier mit Pento Fluid IP behandelten Proben (rF=100% und 65%)

A3 Freilandbewitterung

A3.1 Visuelle Beurteilung

Wie in den folgenden Abbildungen (A3-1 bis A3-11) deutlich zu erkennen ist, haben alle Proben eine grosse Farbveränderung erlitten. Die Abbildungen zeigen nur Ausschnitte aus den Proben. Es wurden solche Ausschnitte gewählt, die interessante Details enthalten. Was bei den meisten festgestellt werden kann, ist dass sich die Probe richtiggehend vergraut hat und das Behandlungsmittel mit wenigen Ausnahmen ausgewaschen wurde.

Die Abbildungen A3-1 bis A3-11 zeigen die bewitterten Proben rechts bei Versuchsbeginn und links nach einer Bewitterung von 9 Monaten. Die Proben wurden vor dem Fotografieren normalklimatisiert.



Abbildung A3-1 U-653

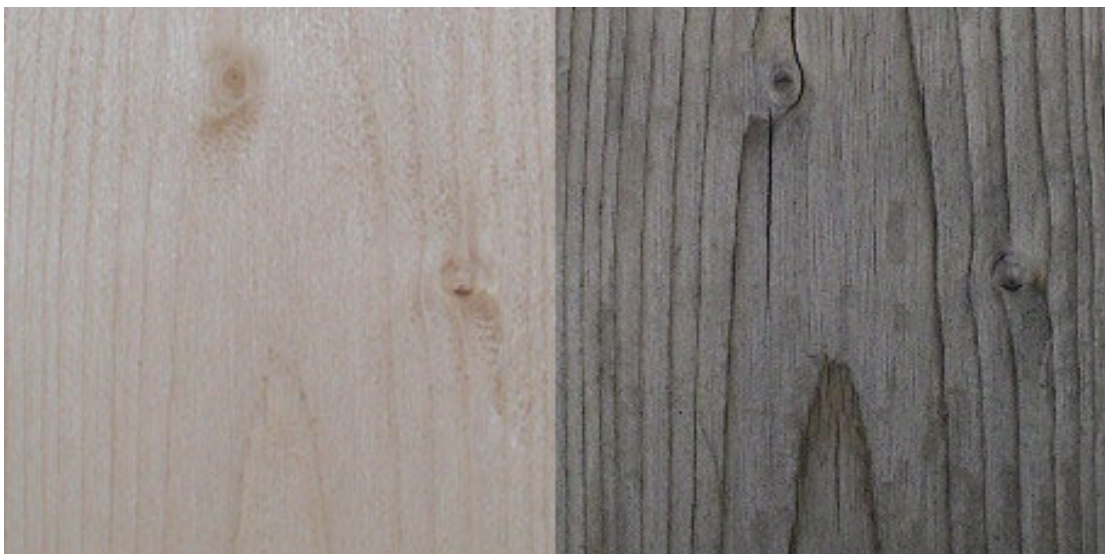


Abbildung A3-2 E-653



Abbildung A3-3 Borsäure



Abbildung A3-4 Soda



Abbildung A3-5 Pottasche



Abbildung A3-6 Holzteer



Abbildung A3-7 OsmoColor



Abbildung A3-8 Pento Fluid



Abbildung A3-9 Lasinol UV



Abbildung A3-10 Pento Antihydro



Abbildung A3-11 unbehandelt

A3.2 Farbmessungen

Tabelle A3-1 Werte der über das ganze Jahr verteilten Farbmessungen

	07.04.2003 14:00	22.4.03 16:00	14.05.2003 12:00	11.06.2003 14:30	08.07.2003 14:00	11.08.2003 14:00	16.09.2003 13:00	28.10.2003 15:30	19.12.2003 16:00
	Farbmessung Messung 1	Farbmessung Messung 2	Farbmessung Messung 3	Farbmessung Messung 4	Farbmessung Messung 4	Farbmessung Messung 4	Farbmessung Messung 4	Farbmessung Messung 5	Farbmessung Messung 6
	L a b	L a b	L a b	L a b	L a b	L a b	L a b	L a b	L a b
Borse	88,42 -3,05 17,25 86,24 -2,36 18,63	94,13 -0,24 6,05 96,06 -0,89 0,93	89,83 2,39 -0,48 94,22 2,27 -11,28	67,43 7,14 -17,59 73,12 4,32 11,05	86,12 -0,07 1,82 94,85 -1,06 -9,04	68,10 4,52 13,02 70,99 3,49 9,80	61,61 2,92 10,68 68,54 2,09 9,2	85,35 0,89 10,33 95,03 0,83 9,67	10,33 56,37 0,6 60,93 0,23 4,18
Pottasche	96,81 1,12 -1,87 97,68 -0,11 -1,33	95,30 -0,28 1,71 94,41 -0,38 2,44	78,41 -3,10 -0,16 81,68 -1,21 0,88	69,85 6,12 16,94 69,55 6,18 17,22	91,60 -0,40 -0,98 90,59 -0,17 -0,12	66,87 4,76 13,91 68,52 4,26 12,12	64,48 2,23 9,91 66,46 2,6 9,6	92,01 0,71 9,99 93 1,3 10,78	61,15 0,63 4,2 60,77 0,5 4,62
Soda	89,55 -4,03 13,66 92,84 -3,55 10,24	98,31 -0,72 0,10 94,98 -0,15 -0,26	92,70 1,84 -2,48 91,74 1,84 -2,48	72,82 5,38 15,38 70,45 5,63 16,37	94,42 -0,61 -2,60 90,63 -0,73 -1,84	70,89 4,46 12,67 64,17 5,12 16,17	68,81 3,24 11,74 61,8 3,03 10,96	95,16 1,63 11,75 85,97 1,58 10,46	61,91 0,66 4,76 57,56 0,75 4,47
Holzleer	48,05 15,15 12,95 47,94 15,33 12,94	72,11 -1,52 4,78 75,72 -0,86 7,44	95,17 1,71 -5,78 94,12 1,44 -3,56	62,42 2,05 18,05 64,74 4,17 19,03	83,43 -4,63 3,83 87,55 -2,73 3,54	61,80 4,78 18,71 66,87 3,04 13,90	64,42 3,12 13,9 66,31 1,32 10,68	99,77 2,8 16,16 98,39 0,55 13,77	66,65 0,36 6,18 66,47 -0,68 5,31
Osmo Color	44,65 8,25 9,85 35,84 5,22 -0,46	43,55 6,29 -5,70 54,73 7,17 4,10	44,28 6,38 -5,67 56,22 7,48 5,63	34,88 8,75 12,35 43,52 11,72 21,28	4,19 50,46 60,73 6,52 47,66 11,01	39,29 7,40 13,24 47,66 11,01 21,44	42,01 8,06 19,26 48,75 9,26 24,12	68,03 8,06 19,26 76,3 9,26 24,12	45,31 4,61 11,38 49,91 4,36 12,74
unbehandelt	95,94 0,01 2,14 97,32 -0,76 2,07	96,15 -0,94 3,64 96,11 -1,24 3,57	92,99 1,73 -3,51 92,92 1,46 -2,70	71,55 5,05 15,82 70,07 5,49 16,32	93,37 -0,63 -1,43 90,75 -0,61 -1,51	69,88 4,58 14,37 67,03 4,25 12,94	68,36 2,51 10,65 63,54 2,65 10,03	94,99 0,73 9,43 90,12 1,81 10,81	63,19 0,48 4,21 60,46 0,72 4,21
U-636	106,97 -4,05 -7,18 104,28 -3,70 -2,92	72,72 6,22 26,24 75,30 5,36 24,09	72,72 6,22 26,24 75,30 5,36 24,09	4,54 12,83 14,57 70,40 5,29 14,57	2,28 6,50 6,50 -0,61 -0,27 6,50	74,98 4,64 12,83 70,40 5,29 14,57	73,97 3,19 9,92 69,37 3,51 9,98	103,95 1,32 10,76 100,15 2,48 12,25	69,26 0,3 3,63 66,94 0,81 4,22
E-645	89,54 3,17 0,28 88,74 3,43 2,00	70,97 6,22 25,82 70,62 6,29 25,41	91,96 -0,77 7,03 92,21 -0,24 6,60	66,68 6,96 23,28 69,64 5,28 15,66	5,73 63,04 67 5,06 13,72	17,84 18,92 13,95	94,28 3,89 2,47	96,19 2,47 13,95	61,81 1,67 63,03
Fluid IP	88,06 -0,49 24,88 83,85 0,59 28,24	68,69 10,30 31,25 63,45 11,06 33,16	86,32 2,03 23,97 82,09 3,14 27,28	11,09 32,76 60,84 12,04	65,1 10,54 61,93 11,7	33,03 33,03 34,68	98,07 15,53 47,6	47,6 16,83 49,02	69,43 11,78 65,88
Lasinol UV	105,00 -0,41 -7,47 105,89 -0,04 -12,20	72,72 7,37 25,64 75,36 6,12 25,50	93,43 -1,44 16,56 95,94 -2,35 14,77	6,52 27,15 72,58 5,67	70,81 6,52 27,15 70,81 6,52 27,15	61,7 26,59 69,66 6,91	104,05 9,54 37,99	102,91 10,45 36,83	73,59 7,46 70,81
Penta Anthydro	103,24 -0,95 -0,30 97,27 -0,51 4,43	67,44 9,56 35,95 65,24 9,78 34,38	84,43 2,01 27,17 84,68 1,75 22,43	9,63 29,25 64,13 8,14	62,72 8,08 65,3	23,64 18 101,18	93,09 7,98 4,29	26,52 19,8 67,56	3,67 2,13 9,87

Dass die Farbe sehr stark von der Holzfeuchte abhängig ist, sieht man sehr schön im Diagramm der L*-Werte. In den beiden ersten Monaten ist noch ein Einstellen der Helligkeit sichtbar. Vor allem in dieser ersten Zeit werden die wasserlöslichen Bestandteile der Behandlungen ausgewaschen, und somit noch grosse Farbveränderungen stattfinden. Ab dem zweiten Monat verhalten sich alle Proben im selben Rahmen.

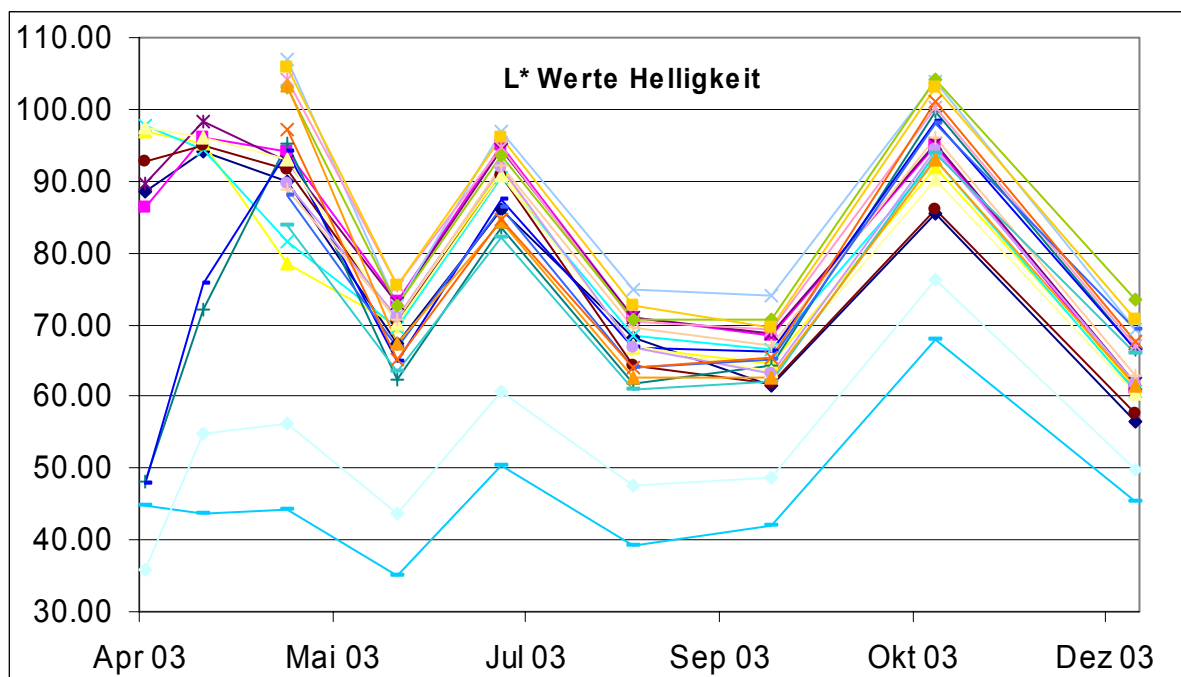
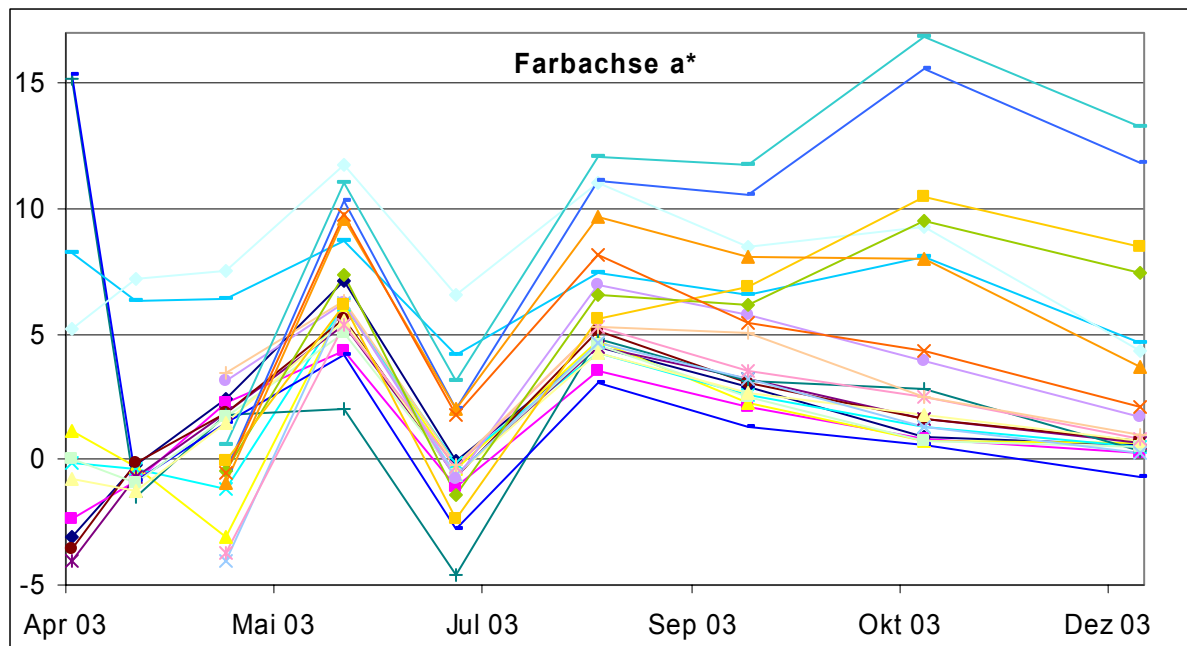
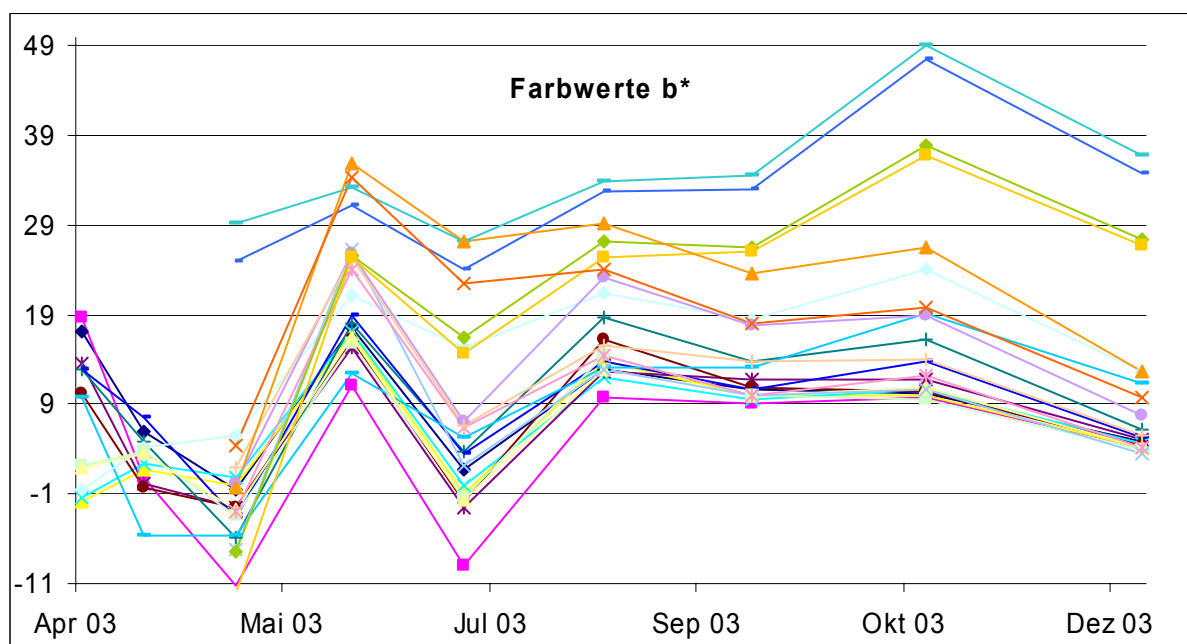


Abbildung A3-12 Diagramm der Helligkeitswerte

Tabelle A3-2 Legende zu den Abbildungen 3-12; 3-13; 3-14

◆ Borsäure glatt	◆ Borsäure geschlitz	▲ Pottasche glatt
✕ Pottasche geschlitz	✕ Soda glatt	● Soda geschlitz
+ Holzteer glatt	— Holzteer geschlitz	— Osmo Color glatt
◆ Osmo Color geschlitz	■ unbehandelt glatt	▲ unbehandelt geschlitz
✕ U-653 glatt	✕ U-653 geschlitz	● E-653 glatt
— E-653 geschlitz	— Pento Fluid IP glatt	— Pento Fluid IP geschlitz
◆ Lasinol UV glatt	■ Lasinol UV geschlitz	▲ Pento Antihydro glatt
✕ Pento Antihydro geschlitz		

Abbildung A3-13 Diagramm der Farbachse a^* Abbildung A3-14 Diagramm der Farbachse b^*

Auch bei den Farbachsen a^* und b^* ist nach zwei Monaten die Verhaltensweise der Farben in etwa gleich, was wiederum auf die Holzfeuchte zurückzuführen ist.

A4 Wasseraufnahmekoeffizient

Tabelle A4-1 Einzel-, Mittelwerte und Standardabweichung des Wasseraufnahmekoeffizienten A_w [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0.5})$] in axialer, radialer und tangentialer Richtung

Probe Nr.	U-653		unbehandelt		Warmrauch		Thermoholz		Osmo Color		Pento Fluid IP	
	axial	radial	axial	radial	axial	radial	axial	radial	axial	radial	axial	radial
1	0.01746		0.01666		0.01995		0.01014		0.00599		0.00343	
2	0.01710		0.01984		0.02187		0.01441		0.00544		0.00251	
3	0.02070		0.02005		0.01454		0.01324		0.00800		0.00240	
4	0.01678		0.02187		0.02292		0.01403		0.00614		0.00278	
5	0.01650		0.01896		0.01564		0.01381		0.00633		0.00118	
6	0.01642		0.01593		0.02080		0.01145		0.00639		0.00421	
$\bar{x} \pm s$	0.01749 \pm 0.00162		0.01889 \pm 0.00223		0.01929 \pm 0.00342		0.01285 \pm 0.00169		0.00638 \pm 0.00086		0.00275 \pm 0.00102	
1	0.00247		0.00180		0.01692		0.00162		0.00121		0.00061	
2	0.00187		0.00192		0.00219		0.00142		0.00125		0.00056	
3	0.00172		0.00149		0.00157		0.00139		0.00122		0.00056	
4	0.00190		0.00170		0.00220		0.00152		0.00131		0.00075	
5	0.00218		0.00207		0.00199		0.00086		0.00127		0.00048	
6	0.00180		0.00150		0.00194		0.00125		0.00122		0.00049	
$\bar{x} \pm s$	0.00199 \pm 0.00028		0.00175 \pm 0.00023		0.00447 \pm 0.00611		0.00134 \pm 0.00027		0.00125 \pm 0.00004		0.00057 \pm 0.00010	
1	0.00161		0.00174		0.00158		0.00105		0.00134		0.00082	
2	0.00181		0.00153		0.00188		0.00129		0.00139		0.00053	
3	0.00203		0.00233		0.00216		0.00116		0.00131		0.00071	
4	0.00184		0.00156		0.00129		0.00105		0.00123		0.00065	
5	0.00170		0.00175		0.00205		0.00097		0.00141		0.00068	
6	0.00171		0.00224		0.00160		0.00135		0.00130		0.00053	
$\bar{x} \pm s$	0.00178 \pm 0.00015		0.00186 \pm 0.00034		0.00176 \pm 0.00033		0.00115 \pm 0.00015		0.00133 \pm 0.00007		0.00065 \pm 0.00011	

Tabelle A4-2 Einzel-, Mittelwerte und Standardabweichung des Wasseraufnahmekoeffizienten A_w [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0.5})$] in axialer, radialer und tangentialer Richtung

	Rauchkondensat modu. Var. 1	Rauchkondensat modu. Var. 2	Rauchkondensat modu. Var. 3	Rauchkondensat modu. Var. 4
Probe Nr.	axial	axial	axial	axial
1	0.00928	0.00877	0.00885	0.00761
2	0.00945	0.00905	0.00794	0.00951
3	0.00940	0.00914	0.00866	0.01248
$\bar{x} \pm s$	0.00938 \pm 0.00009	0.00899 \pm 0.00019	0.00848 \pm 0.00048	0.00987 \pm 0.00245
	radial	radial	radial	radial
1	0.00216	0.00296	0.00259	0.00232
	tangential	tangential	tangential	tangential
1	0.00274	0.00292	0.00285	0.00262

A5 Technische Datenblätter

U-653	A-40
Pento Fluid IP	A-41
Lasinol UV	A-43
Aquagrund BI.....	A-45
Penta Stabilo	A-47
Pento Antihydro	A-49
Osmo Color Gard Braun^{Classic}	A-51

Das natürliche Produkt: U-653



Imprägnieren mit Chemie, einen natürlichen Baustoff, unser Holz. Das stört uns schon seit langem und darum haben wir während vielen Jahren ein Geheimnis der Natur studiert und entwickelten das natürliche Produkt U-653. Mit der Natur können Sie nun Oberflächen behandeln.

Haben Sie Probleme mit Bauten aus Holz, Beton, Naturstein oder Backstein, oder wollen Sie diese vor zukünftigen Problemen natürlich schützen, eine Lösung ist U-653.

Viele zufriedene Kunden bestätigen die einfache und wirksame Anwendung von U-653.

Anwendungsgebiete: U-653 reinigt und pflegt wirksam sämtliche Bauteile aus Holz, Beton, Naturstein, von wetterexponierten Aussenkonstruktionen und von Innenräumen. Entfernt wirksam Staub, Fett, Rost, Schmutz, Algen und Moose und verleiht den Oberflächen eine natürliche Resistenzschicht und bewahrt die Eigenheit der Bauteile.

Anwendung: U-653 kann direkt, ohne Vorbehandlung mit Spritze, Schwamm oder Pinsel auf die zu pflegenden Bauteile aufgetragen werden. Neue Bauteile werden vorbeugend, alte zur Wartung und Substanzerhaltung behandelt. Das Produkt ist gebrauchsfertig, darf nicht mit anderen Mitteln vermischt werden. U-653 kann mit Wasser verdünnt werden. Bitte Gebrauchsanweisung beachten.

Behandlung: Die Anzahl Behandlungen richten sich nach dem Grad der Verschmutzung der Bauteile. In der Regel genügen zwei Behandlungen mit U-653.

Applikationsmenge: pro Behandlung ca 1/3 Liter U-653 pro m².

Giftklasse: U-653 ist Giftklassenfrei, frei von organischen Lösungsmitteln, erzeugt keine problematische Dämpfe für den Anwender, enthält natürliche Substanzen. Kann in landwirtschaftlichen Bauten und in Lebensmittellräumen, sowie bei Bienenstöcken sorglos eingesetzt werden.

Nicht entflammbar, bei Anwendung besteht keine Brandgefahr.

Lieferbar: Kanister zu 5, 10, 30 Liter oder in Fässer zu 200 Liter

Pento-Fluid IP

Allgemeine Beschreibung

Eigenschaften	Pento-Fluid IP ist eine farblose, wasserverdünnbare, sehr gut eindringende Imprägnierung und Beschichtung für Holzfassaden . Es schützt diese vor Bläuebefall, vor den Auswirkungen zu grosser Feuchteinwirkung und verzögert den natürlichen Vergrauungsprozess des Holzes. Trotz hohem Festkörper bleibt der Anstrich offenporig und ist bei regelmässiger und fristgerechter Renovation ohne grosse Vorarbeiten einfach überstreichbar.
Anwendungsgebiete	Holzfassaden aus Fichte, Lärche, Douglasie. Nicht geeignet für Red Cedar. Vorvergraute Fassaden: Verlangen Sie unsere technischen Hinweise zu Pento-Fluid Silverwood.

Anwendungsvorschriften

Vorbehandlung	Das zu behandelnde Holz muss fett- und wachsfrei sein. Harzhaltige und exotische Hölzer sind vor der Behandlung mit Nitroverdünner auszuwaschen. Beste Resultate werden erzielt, wenn das Holz vorgängig einige Wochen natürlich bewittert wurde. Höchstzulässige Holzfeuchtigkeit: 15%.
Anwendung	2–3 Anstriche mit Pinsel oder Bürste auftragen. Stirnseiten und Stösse mehrmals nass auf nass in kurzen Intervallen behandeln. Vor einem allfälligen dritten Anstrich muss der zweite Anstrich leicht geschliffen werden. Falls gewünscht, kann Pento-Fluid IP mit bis zu 20% pigmentierter Pentol Holzlasur leicht eingefärbt werden.
Verarbeitungstemperatur	Mindestens 10°C. Gefrorenes Holz nicht behandeln.
Ausgiebigkeit	Ca. 7–10 m ² pro Liter und Anstrich je nach Oberfläche, Saugfähigkeit und Holzart.
Trocknung	Griffest: 4– 6 Stunden Überstreichbar: 18–24 Stunden Schleifbar: 18–24 Stunden Durchgetrocknet: 36–72 Stunden Alle Angaben sind abhängig von der Schichtdicke, der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit. Da das Produkt auf Basis natürlicher und langsam oxydativ trocknender Öle besteht, können bei starkem Regen in den ersten Tagen nach der Behandlung weissliche Flecken entstehen, die aber nach der Trocknung vollkommen verschwinden.
Weiterbehandlung	Eine Weiterbehandlung mit anderen Produkten sollte nicht erfolgen.
Anstrichserneuerung	Diese sollte stets rechtzeitig erfolgen. Je früher der Anstrich erneuert wird, je besser die Langzeitergebnisse. Oberflächlich anhaftenden Schmutz abbürsten oder mit Hochdruck entfernen. Nachher 1–3 Anstriche mit Pento-Fluid oder Renowood Aqua applizieren.
Verdünnung	Pento-Fluid IP soll nicht verdünnt werden.
Gerätereinigung	Mit Wasser oder einem Spezialreiniger für wasserverdünnbare Farben.
Besondere Hinweise	Eine Vergrauung des Holzes wird durch Pento-Fluid IP nicht verhindert. Durch regelmässige und jeweils rechtzeitige Erneuerungsimprägnierung wird der Vergrauungsprozess stark verzögert. Im besten Fall kann sogar mit den Jahren ein mittelbrauner Naturholzton erzielt werden.

Schutz- und Vorsichtsmassnahmen

Schutzmassnahmen	Nicht einnehmen. Sprühnebel nicht einatmen.
Vorsichtsmassnahmen	Pento-Fluid IP enthält natürliche Öle; deshalb durchtränkte Lappen und Filtermatten etc. wegen Gefahr von Selbstentzündung im Freien trocknen lassen. Darf nicht zur Behandlung von Räumen angewendet werden, in denen Lebens- oder Futtermittel gewonnen, hergestellt, aufbewahrt oder verkauft werden.
Lagerung	Nur in gut verschlossenen Originalgebinden lagern. Vor Frost und Hitze schützen. Lagerfähigkeit: mindestens 1 Jahr im ungeöffneten Originalgebinde.
Entsorgung	Gebinde vollkommen leeren. Plastikkannen der Kehrichtverbrennung, Blechgebinde einer Sondermülldeponie zuführen. Produktereste als Sonderabfall entsorgen.

Technische Angaben

Wirkstoffe	0.9 % Iodopropinyl-butylcarbamate, 0.49 % 4,5-Dichlor-2-octyl-4-isothiazolin-3-on.
Andere Inhaltsstoffe	Alkydharze, Wasser, Wachse, Co-Ce-Zn-Trockenstoffe, Topfkonservierungsmittel.
Farbton	Farblos.
Glanzgrad	1 Anstrich: matt 2 Anstriche: seidenmatt 3 Anstriche: glänzend
Flammpunkt	Unbrennbar.
Spez. Gewicht	$\pm 0.95 \text{ g/cm}^3$
Giftklasse	Frei.
Ökotoxizität	Nicht ins Abwasser, Oberflächengewässer, Grundwasser oder in den Boden gelangen lassen.
ADR-Transport- gefahrenklasse	Nicht unterstellt.
UN-Nr.	----
Entsorgungscode VVS	1610

Zulassungsbewilligungen + Prüfungen

BAG T Nr.	94848
BUWAL Nr.	243049
FAT	Anwendungsbereich: A.3.

Die Angaben auf diesem Merkblatt über Eigenschaften und Anwendung der genannten Produkte geben wir nach bestem Wissen aufgrund unseres derzeitigen Erkenntnisstandes und unseren praktischen Erfahrungen. In diesem Merkblatt können jedoch nicht alle denkbaren Einzelheiten erschöpfend dargestellt werden. In besonderen Fällen steht unser Beratungsdienst zur Verfügung. Die jeweils neuste Ausgabe ist jederzeit im Internet unter **www.pentol.ch** abruf- und ausdrückbar.

Stand: 07.04.03

Pentol AG, CH - 4203 Grellingen, Telefon 061 741 22 11, Fax 061 741 23 70, www.pentol.ch, admin@pentol.ch

Markus Jakob

A-42

Lasinol UV für Fassaden



Allgemeine Beschreibung

Eigenschaften

Lasinol UV für Fassaden ist eine **wasserverdünnbare, sehr wetterbeständige und feuchtigkeitsresistente Lasur auf Basis eines Acryl-Polyurethan-Bindemittels**. Lasinol UV für Fassaden ist besonders für die Behandlung von Fassaden, Balkonbrüstungen, Dachuntersichten sowie Nassräumen geeignet und zeichnet sich durch schnelle Trocknung, geringen Geruch und gute Blockfestigkeit aus. Die Oberfläche des Farbfilms ist selbstreinigend. Die Durchhärtung kann durch UV-Bestrahlung enorm beschleunigt werden.

Anwendungsgebiete

Fassadenschalungen, Balkonbrüstungen, Dachuntersichten, Vertäferungen in Badezimmer und in anderen Nassräumen.

Anwendungsvorschriften

Vorbehandlung

Oberfläche gründlich reinigen und entstauben. Harzhaltige Hölzer mit Nitroverdünner reinigen. Holz vorgängig mit Penta Stabilo oder Pentol Aquagrund BI gegen Bläuepilz imprägnieren.

Anwendung

Mit Pinsel, Streich- und Spritzautomat oder Vacumat.

Innenbereich: 1–2 Anstriche

Aussenbereich: 2–3 Anstriche, jedoch mindestens total 60 µm Trockenschichtdicke.

Untergrund und Farbschichtdicke beeinflussen den Farbton.

Verarbeitungstemperatur

Minimum 10°C, maximum 30°C.

Ausgiebigkeit

Ca. 10 m² pro Liter und Anstrich.

Mischfarben

Alle Farbtöne sind untereinander mischbar. Die Sorte farblos ist aussen nicht geeignet.

Trocknung

Griffest: 20 Minuten

Überstreichbar: 1 Stunde

Schleifbar: 1 Stunde

Alle Angaben sind schichtdickenabhängig. Tiefe Temperaturen und/oder hohe Luftfeuchtigkeit verzögern die Trocknung.

UV-Härtung

Nach dem normalen oder forcierten Abdunsten des Wassers kann die Durchhärtung und Blockfestigkeit mittels UV-Bestrahlung sofort erzielt werden.

Anstrichserneuerung

Oberflächlich anhaftenden Schmutz abbürsten und 1–2 Anstriche mit Lasinol UV für Fassaden applizieren. Sehr alte Anstriche, die nicht mehr völlig intakt sind, sind vorgängig auszubessern oder sogar restlos zu entfernen.

Anstrichsentfernung

Abschleifen oder abbeizen.

Verdünnung

Lasinol UV für Fassaden soll nicht verdünnt werden.

Gerätereinigung

Mit Wasser oder einem für wasserverdünnbare Farben geeignetem Spezialreiniger.

Wegen der schnelleren Trocknung müssen im Gegensatz zu den lösemittelverdünnbaren Farben bei den wasserverdünnbaren Systemen die Pinsel auch während der Applikation von Zeit zu Zeit gereinigt werden.

Schutz- und Vorsichtsmassnahmen

Schutzmassnahmen	Nicht einnehmen. Sprühnebel nicht einatmen.
Vorsichtsmassnahmen	Bei der Arbeit nicht essen, trinken und rauchen. Keine Holzteile behandeln, die von landwirtschaftlichen Nutztieren abgeleckt oder benagt werden.
Lagerung	Nur in gut verschlossenen Originalgebinden lagern. Vor Kälte schützen. Lagerfähigkeit: mindestens 2 Jahre im ungeöffneten Originalgebinde.
Entsorgung	Gereinigte Plastikgebinde der Kehrichtverbrennung, Blechgebinde einer Abfalldeponie oder dem Weissblechrecycling zuführen. Produktereste als Sonderabfall entsorgen.

Technische Angaben

Wirkstoffe	Wirkstofffrei.
Andere Inhaltsstoffe	Acryl-Polyurethanharze, Wasser, Eisenoxypigmente, Entschäumer, Mattierungsmittel, Glykole, UV-Initiatoren.
Farbtöne	Transparente Farbtöne: gemäss Farbtonkarte. Deckende Farbtöne: fast alle RAL- und NSC-Farbtöne.
Glanzgrad	Seidenglanz.
Festkörpergehalt	34–42% je nach Farbton.
Viskosität	Leicht thixotrop.
Flammpunkt	Unbrennbar.
Spez. Gewicht	1.03–1.05 g/cm ³ für transparente Farbtöne. 1.06–1.12 g/cm ³ für deckende Farbtöne.
Giftklasse	Frei.
Ökotoxizität	Nicht in Oberflächengewässer, ins Abwasser oder Erdreich gelangen lassen.
ADR-Transport- gefahrenklasse	Nicht unterstellt.
UN-Nr.	----
Entsorgungscode VVS	1610

Zulassungsbewilligungen + Prüfungen

BAG T Nr.	99681
BUWal Nr.	Nicht unterstellt (wirkstofffrei).
LIGNUM	Gütezeichen O + W (Bewertungsprotokoll 2102).
FAT	Nicht unterstellt (wirkstofffrei).

Die Angaben auf diesem Merkblatt über Eigenschaften und Anwendung der genannten Produkte geben wir nach bestem Wissen aufgrund unseres derzeitigen Erkenntnisstandes und unseren praktischen Erfahrungen. In diesem Merkblatt können jedoch nicht alle denkbaren Einzelheiten erschöpfend dargestellt werden. In besonderen Fällen steht unser Beratungsdienst zur Verfügung. Die jeweils neuste Ausgabe ist jederzeit im Internet unter **www.pentol.ch** abruf- und ausdrückbar.

Stand: 07.04.03

Pentol AG, CH - 4203 Grellingen, Telefon 061 741 22 11, Fax 061 741 23 70, www.pentol.ch, admin@pentol.ch

Markus Jakob

A-44

Pentol Aquagrund BI



Allgemeine Beschreibung

Eigenschaften Pentol Aquagrund BI ist eine **farblose, wasserverdünnbare Holzschutzgrundierung mit vorbeugender Wirkung gegen Insekten- und Bläuebefall** auf Basis eines Alkydharzes. Pentol Aquagrund BI reduziert das Quellen und Schwinden, trocknet schnell und mild im Geruch.

Anwendungsgebiete Fenster, Türen, Jalousie- und Fensterläden, Fassadenschalungen.

Anwendungsvorschriften

Vorbehandlung Das zu behandelnde Holz muss staub-, fett- und wachsfrei sein. Harzhaltige und exotische Hölzer vor der Behandlung mit Nitroverdünner auswaschen. Höchstzulässige Holzfeuchtigkeit: 18%.

Anwendung *Streichen:* Mit Pinsel oder Bürste allseitig reichlich auftragen, jedoch mindestens 200 g/m². Stirnseiten und Stösse mehrmals nass auf nass in kurzen Intervallen behandeln.

Tauchen: Holzwerk allseitig max. 10 Sekunden tauchen. Nicht getaucht werden dürfen Hohltüren, Fenster- und Rahmenverbreiterungen in Sandwichkonstruktionen mit dazwischenliegenden Isoliermaterialien sowie furnierte Hölzer.

Ausgiebigkeit Ca. 7–10 m² pro Liter je nach Oberfläche und Holzart.

Lignum-Schutzmengen Insektizid vorbeugend (Iv): 100 g/m²
Bläueschutz (B*): 200 g/m²

Trocknung Griffest nach 2–3 Stunden, überstreichbar nach ca. 10 Stunden.
Tiefe Temperaturen und hohe Luftfeuchtigkeit verzögern die Trocknung.

Achtung: Aufgrund der wasserlöslichen Inhaltsstoffe können bei Exotenhölzern und einigen Laubhölzern Trocknungsverzögerungen und Verfärbungen auftreten, weshalb wir bei diesen Hölzern lösemittelhaltige Grundierungen empfehlen.

Weiterbehandlung Pentol Aquagrund BI ist nur beschränkt wetterbeständig. Bewitterte Holzkonstruktionen müssen nachfolgend mit einem wetterbeständigen Schutzanstrich versehen werden. Verträglichkeit mit allen handelsüblichen Lasuren und Farben auf Alkydharzbasis ist gegeben.

Fassadenschalungen: 3 Anstriche mit Pentol Holzlasur wasserverdünnbar.

Fenster: 3 Anstriche mit Lasin Aqua F. Glasfasen, Glashalteleisten und Kittfälze sind vor der Verglasung mit Pentol Aussenlack KKK oder einem anderen dampfsperrenden Klarlack zu behandeln. Den ersten Zwischenanstrich immer vor dem Anschlagen noch in der Werkstatt anbringen. Bei Fenstern innen und aussen immer gleich viele Anstriche applizieren.

Verdünnung Pentol Aquagrund BI soll nicht verdünnt werden.

Gerätereinigung Mit Wasser oder Spezialreiniger für wasserverdünnbare Farben.

Tauchbadunterhalt Nach dem Tauchen Tauchbad sofort mit Deckel gut verschliessen. Bei längerem Nicht-Benützen des Tauchbades Pentol Aquagrund BI in luftdichte Gebinde abfüllen. Tauchtrog nicht direkter Sonnenbestrahlung, einer grossen Wärmequelle oder Frost aussetzen.

Schutz- und Vorsichtsmassnahmen

Schutzmassnahmen	Nicht einnehmen. Sprühnebel nicht einatmen. Haut- und Augenkontakt vermeiden. Gummihandschuhe tragen. Bei Berührung mit der Haut oder den Augen sofort mit viel Wasser abwaschen. Bei der Arbeit nicht essen, trinken oder rauchen.
Vorsichtsmassnahmen	Kein direkter Kontakt der behandelten Flächen mit Lebensmitteln, Futtermitteln und landwirtschaftlichen Nutztieren. In Wohn- und Schlafräumen nicht anwenden, ausgenommen für die vorbeugende Behandlung von Holzteilen, die der Feuchtigkeit ausgesetzt bzw. durch Holzverfärbende und Holzzerstörende Pilze gefährdet sind.
Lagerung	Nur in Originalgebinden lagern. Gebinde dicht verschliessen. Vor Frost schützen. Gesetzliche Bestimmungen zum Schutze von Gewässern, Luft und Boden beachten. Von Nahrungsmitteln, Getränken und Futtermitteln getrennt lagern. Lagerfähigkeit: mindestens 1 Jahr im ungeöffneten Originalgebinde.
Entsorgung	Leere Gebinde reinigen. Gereinigte Plastikkanen der Kehrichtverbrennung oder dem Recycling mitgeben. Produktereste als Sonderabfall entsorgen.

Technische Angaben

Wirkstoffe	0.6% Iodpropinyl-butylcarbamate, 0.05% Permethrin.
Andere Inhaltsstoffe	Alkydharz, Wasser, Glykole und Hilfslöser, bleifreier Kombinationstrockner.
Farbton	Farblos.
Flammpunkt	Unbrennbar.
Spez. Gewicht	± 1.01 g/cm ³
Giftklasse	Frei.
Ökotoxizität	Fischgift. Nicht in Oberflächengewässer, ins Abwasser oder Erdreich gelangen lassen.
ADR-Transport- gefahrenklasse	9/11c
UN-Nr.	3082. Umweltgefährdender Stoff, flüssig, n.a.g., enthaltend Permethrin und IPBC.
Entsorgungscod VVS	1610

Zulassungsbewilligungen + Prüfungen

BAG T Nr.	74577
BUWAL Nr.	161778
LIGNUM	Gütezeichen B* + Iv (Bewertungsprotokoll Nr. 9205).
FAT	Anwendungsbereich: A.2.

Die Angaben auf diesem Merkblatt über Eigenschaften und Anwendung der genannten Produkte geben wir nach bestem Wissen aufgrund unseres derzeitigen Erkenntnisstandes und unseren praktischen Erfahrungen. In diesem Merkblatt können jedoch nicht alle denkbaren Einzelheiten erschöpfend dargestellt werden. In besonderen Fällen steht unser Beratungsdienst zur Verfügung. Die jeweils neuste Ausgabe ist jederzeit im Internet unter **www.pentol.ch** abruf- und ausdrückbar.

Stand: 03.07.01

Pentol AG, CH - 4203 Grellingen, Telefon 061 741 22 11, Fax 061 741 23 70, www.pentol.ch, admin@pentol.ch

Markus Jakob

A-46

Penta Stabilo



Allgemeine Beschreibung

Eigenschaften	Penta Stabilo ist eine farblose, tief eindringende Imprägnierung und Holzschutzgrundierung mit vorbeugender Wirkung gegen Insekten-, Bläue- und Schimmelpilzbefall . Es reduziert das Quellen und Schwinden und ist zugelassen für die Behandlung von Futter- und Lebensmittlräumen gemäss FAT-Auflagen A.2.
Anwendungsgebiete	Fenster, Aussentüren, Jalousie- und Fensterläden, Garagentore, Fassadenschalungen sowie insekten- und bläue- und schimmelgefährdete Holzkonstruktionen im Innenbereich.

Anwendungsvorschriften

Vorbehandlung	Das zu behandelnde Holz muss fett- und wachsfrei sein. Harzhaltige und exotische Hölzer vor der Behandlung mit Nitroverdünner auswaschen. Höchstzulässige Holzfeuchtigkeit: 17%.
Anwendung	<p>Streichen: Mit Pinsel oder Bürste allseitig 100–150 g/m² auftragen. Stirnseiten und Stösse mehrmals nass auf nass in kurzen Intervallen behandeln.</p> <p>Tauchen: Holzwerk allseitig mindestens 10 Sekunden tauchen. Den besten Tiefenschutz erzielt man mit dem Langzeit-Tauchverfahren von mindestens 3 Minuten und mehr. Nicht getaucht werden dürfen Hohltüren, Fenster- und Rahmenverbreiterungen in Sandwichkonstruktionen mit dazwischenliegenden Isoliermaterialien sowie furnierte Hölzer. Penta Stabilo enthält Lösungsmittel, so dass nicht lösemittelresistente Leime, Kitte und dgl. angelöst werden können.</p>
Verarbeitungstemperatur	Mindestens 5°C. Gefrorenes Holz nicht behandeln.
Ausgiebigkeit	Ca. 7–10 m ² pro Liter je nach Oberfläche, Saugfähigkeit und Holzart.
Lignum-Schutzmengen	Insektizid vorbeugend (lv): 100 g/m ² Bläue- und Schimmelschutz (B): 150 g/m ²
Trocknung	<p>Nach dem Streichen: griffest nach 2–3 Stunden, überstreichbar nach ca. 15 Stunden.</p> <p>Nach dem Tauchen: pro Minute Tauchzeit mindestens einen Tag Trocknungszeit einhalten. Für genügende Durchlüftung sorgen.</p>
Weiterbehandlung	<p>Penta Stabilo ist nur beschränkt wetterbeständig. Bewitterte Holzkonstruktionen müssen nachfolgend mit einem wetterbeständigen Schutzanstrich versehen werden. Verträglichkeit mit allen handelsüblichen Lasuren und Farben auf Alkydharzbasis ist gegeben.</p> <p>Fassadenschalungen, Jalousien: 3 Anstriche mit Pentol Holzlasur.</p> <p>Fenster: 3 Anstriche mit Lasin Aqua F oder Tekton-Lasur. Glasfasen, Glashalteleisten und Kittfälze sind vor der Verglasung mit Pentol Aussenlack KKK oder einem anderen dampfsperrenden Klarlack zu behandeln. Nach Möglichkeit den ersten Zwischenanstrich immer vor dem Anschlagen noch in der Werkstatt anbringen. Bei Fenstern innen und aussen immer gleich viele Anstriche applizieren.</p>
Verdünnung	Penta Stabilo soll nicht verdünnt werden.
Gerätereinigung	Mit Pentol Pinselreiniger, Verdünner G-3 oder Terpentinersatz.
Tauchbadunterhalt	Nach dem Tauchen Tauchbad sofort mit Deckel gut verschliessen. Bei längerem Nicht-Benützen des Tauchbades Penta Stabilo in luftdichte Gebinde abfüllen. Tauchtrog nicht direkter Sonnenbestrahlung oder einer grossen Wärmequelle aussetzen. Markus Jakob

Schutz- und Vorsichtsmassnahmen

Schutzmassnahmen	Nicht einnehmen. Sprühnebel und Dämpfe nicht einatmen. Haut- und Augenkontakt vermeiden. Gummihandschuhe tragen. Nur bei guter Belüftung verwenden. Bei der Arbeit nicht essen, trinken oder rauchen.
Vorsichtsmassnahmen	Keine Holzteile behandeln, die von landwirtschaftlichen Nutztieren abgeleckt oder benagt werden. Kein direkter Kontakt der behandelten Flächen mit Lebens- oder Futtermitteln und landwirtschaftlichen Nutztieren. Lebens- und Futtermittel erst wieder in den Raum bringen, wenn der Anstrich vollständig ausgetrocknet ist.
Lagerung	Nur in Originalgebinden lagern. Gebinde dicht verschliessen. Vor Hitze schützen. Gesetzliche Bestimmungen zum Schutze von Gewässern, Luft und Boden beachten. Von Nahrungsmitteln, Getränken und Futtermitteln getrennt lagern. Lagerfähigkeit: mindestens 2 Jahre im ungeöffneten Originalgebinde.
Entsorgung	Gebinde vollkommen leeren. Plastikkannen der Kehrichtverbrennung, Blechgebinde einer Sondermülldeponie zuführen. Produktereste als Sonderabfall entsorgen.

Technische Angaben

Wirkstoffe	0.8% Tolyfluanid, 0.05% Permethrin.
Andere Inhaltsstoffe	Alkydharze, Testbenzin mit 25% Aromaten, Xylol, Paraffin, Anti-Gel, Ko-Zr-Ba-Trockner.
Farbton	Farblos.
Festkörpergehalt	13.5%
Flammpunkt	39°C
Spez. Gewicht	± 0.81 g/cm ³
Giftklasse	Frei.
Ökotoxizität	Fisch- und Bienengift. Nicht ins Abwasser, Oberflächengewässer, Grundwasser und in den Boden gelangen lassen.
ADR-Transport- gefahrenklasse	3/31c
UN-Nr.	1306. Holzschutzmittel, flüssig, enthaltend Tolyfluanid und Permethrin.
Entsorgungscode VVS	1620

Zulassungsbewilligungen + Prüfungen

BAG T Nr.	35543
BUWAL Nr.	205411
LIGNUM	Gütezeichen Iv + B (Bewertungsprotokoll Nr. 8602).
LABEL WOOD	2B.
FAT	Anwendungsbereich: A.2.

Die Angaben auf diesem Merkblatt über Eigenschaften und Anwendung der genannten Produkte geben wir nach bestem Wissen aufgrund unseres derzeitigen Erkenntnisstandes und unseren praktischen Erfahrungen. In diesem Merkblatt können jedoch nicht alle denkbaren Einzelheiten erschöpfend dargestellt werden. In besonderen Fällen steht unser Beratungsdienst zur Verfügung. Die jeweils neuste Ausgabe ist jederzeit im Internet unter **www.pentol.ch** abruf- und ausdrückbar.

Stand: 10.05.01

Pentol AG, CH - 4203 Grellingen, Telefon 061 741 22 11, Fax 061 741 23 70

Markus Jakob

A-48

Pentol Antihydro

Allgemeine Beschreibung

Eigenschaften	Pentol Antihydro ist eine speziell wasserabweisende, offenporige Imprägnierung für rohes oder druckimprägniertes Holz im Freien. Es schützt zuverlässig vor Feuchteschäden selbst bei extremen Witterungsverhältnissen. Wasser perlt auf rohem Holz noch nach Jahren ab. Pentol Antihydro eignet sich auch hervorragend als wasserabweisendes Unterhaltsprodukt von lasierten, wetterbeanspruchten Hölzern und verlängert die Lebensdauer der Lasuranstriche.
Anwendungsgebiete	1. Alle druckimprägnierten Hölzer im Freien wie Fassadenschalungen, Gartenzäune, Palisaden, Blumentröge, Gartenbeete, Pergolen, Kinderspielgeräte, Holzbrücken etc. 2. Lasierte Fassaden und Balkonbrüstungen etc.

Anwendungsvorschriften

Vorbehandlung	Das zu behandelnde Holz resp. der Lasuranstrich muss fett-, staub- und schmutzfrei sein. Beste Resultate werden erzielt wenn Holz- resp. Lasuroberflächen während einigen Wochen angewittert sind.
Anwendung	<p>Nicht bei feuchter Witterung anwenden. Nach der Behandlung 24 Stunden vor Regen schützen.</p> <p><i>Rohe druckimprägnierte Hölzer:</i> Pentol Antihydro frühestens 8 Wochen nach der Druckimprägnierung allseitig 1 mal mit Pinsel, Bürste oder Spritzpistole reichlich auftragen. Stirnseiten und Stösse mehrmals nass auf nass in kurzen Intervallen behandeln.</p> <p><i>Auf Imprägnierlasuren:</i> Pentol Antihydro sparsam mit Pinsel auftragen und überschüssiges Material sofort entfernen. Bei schlechten Lasuren und zu grossem Materialauftrag kann wegen der langen Trocknungszeit der Untergrund aufgeweicht werden. Nicht geeignet für Lasuren auf Acrylharzbasis!</p> <p><i>Auf Dickschichtlasuren:</i> Pentol Antihydro wie eine Politur mittels gut getränktem, fusselfreiem, weissem Tuch sparsam auftragen. Nicht geeignet für Lasuren auf Acrylharzbasis!</p>
Verarbeitungstemperatur	Minimum 12°C. Unterhalb dieser Temperatur verdickt Pentol Antihydro. Durch Erwärmen im Wasserbad lässt es sich wieder verflüssigen.
Ausgiebigkeit	Rohe Hölzer: ca. 8–12 m ² pro Liter Lasierte Hölzer: ca. 12–20 m ² pro Liter
Trocknung	24–48 Stunden je nach Holz- und Luftfeuchtigkeit und Temperatur.
Überstreichbarkeit	Frühestens nach 1–2 Jahren mit lösemittelverdünnbaren Lasuren. Flächen vorher eventuell mit Verdünner abwaschen.
Erneuerungszeitpunkt	auf rohem druckimprägniertem Holz: 4–6 Jahre auf offenporigen Lasuranstrichen: 3–4 Jahre auf Dickschichtlasuren: 1–2 Jahre
Verdünnung	Pentol Antihydro soll nicht verdünnt werden.
Gerätereinigung	Mit Terpentinersatz oder Kunstharzverdünner.

Schutz- und Vorsichtsmassnahmen

Schutzmassnahmen	Nitrilhandschuhe tragen. Sprühnebel und Dämpfe nicht einatmen. Bei der Arbeit nicht essen, trinken oder rauchen.
Vorsichtsmassnahmen	Keine Holzteile behandeln, die von landwirtschaftlichen Nutztieren abgeleckt oder benagt werden. Direkten Kontakt der behandelten Flächen mit Lebensmitteln vermeiden.
Lagerung	Nur in Originalgebinden lagern. Vor Kälte und Hitze schützen. Lagerfähigkeit: mindestens 2 Jahre im ungeöffneten Originalgebinde.
Entsorgung	Gereinigte Plastikgebinde der Kehrichtverbrennung oder dem Recycling, gereinigte Blechgebinde einer Abfalldeponie oder dem Weissblechrecycling zuführen. Produktereste als Sonderabfall entsorgen.

Technische Angaben

Wirkstoffe	Wirkstofffrei.
Andere Inhaltsstoffe	Testbenzin, Alkydharze, Paraffin, Nonylphenol.
Farbton	Farblos.
Flammpunkt	44°C
Spez. Gewicht	± 0.83 g/cm ³
Giftklasse	Frei.
ADR-Transport- gefahrenklasse	3 F1 III
UN-Nr.	1263. Farbe (nicht viskos)
Entsorgungscode VVS	1620

Zulassungsbewilligungen + Prüfungen

BAG T Nr.	66238
BUWal Nr.	Nicht unterstellt (wirkstofffrei).
FAT	Nicht unterstellt (wirkstofffrei).

Die Angaben auf diesem Merkblatt über Eigenschaften und Anwendung der genannten Produkte geben wir nach bestem Wissen aufgrund unseres derzeitigen Erkenntnisstandes und unseren praktischen Erfahrungen. In diesem Merkblatt können jedoch nicht alle denkbaren Einzelheiten erschöpfend dargestellt werden. In besonderen Fällen steht unser Beratungsdienst zur Verfügung. Die jeweils neuste Ausgabe ist jederzeit im Internet unter **www.pentol.ch** abruf- und ausdrückbar.

Stand: 12.03.02

Pentol AG, CH - 4203 Grellingen, Telefon 061 741 22 11, Fax 061 741 23 70

Markus Jakob

A-50

ZAUN- UND GARTENLASUR^{CLASSIC} GARD BRAUN^{CLASSIC}

Holzveredelung für außen - transparent - seidenmatt

Produktbeschreibung

OSMO COLOR ZAUN- UND GARTENLASUR^{CLASSIC} ist ein transparenter, dekorativer Holzanstrich für außen. Der seidenmatten Anstrich betont Struktur und Maserung des Holzes.

OSMO COLOR ZAUN- UND GARTENLASUR^{CLASSIC} wurde besonders entwickelt für die Behandlung von Holz im Gartenbereich. Es ist weitestgehend aus Naturprodukten hergestellt und kann auch auf Flächen gestrichen werden, die früher mit Karbolineum behandelt wurden. Es ist ebenfalls bestens geeignet für druckimprägniertes Holz sowie für Harthölzer wie Iroko, Sipo-Mahagoni u.a.m.

OSMO COLOR ZAUN- UND GARTENLASUR^{CLASSIC} ist offenporig und feuchtigkeitsregulierend. Das Holz kann atmen. Quellen und Schwinden werden vermindert.

OSMO COLOR ZAUN- UND GARTENLASUR^{CLASSIC} reißt, blättert und schuppt nicht ab. Es ist äußerst wetter- und UV-beständig, leicht aufzutragen und leicht instandzuhalten (einfach überstreichen).

Gesundheit und Umwelt

OSMO COLOR ZAUN- UND GARTENLASUR^{CLASSIC} enthält keine bioziden Wirkstoffe und keine Konservierungsmittel. Der getrocknete Anstrich ist unbedenklich für Mensch, Tier und Pflanze. Er entspricht der DIN 53 160 (speichel- und schweißecht) sowie der EURO-Norm EN 71 (geeignet für Kinderspielzeug). Prüfzeugnisse liegen vor.

Das Prinzip von OSMO COLOR, nur Artikel herzustellen und zu vertreiben, die nach Stand des Wissens gesundheitssunbedenklich und gefahrlos bei der Herstellung und Anwendung sind, führte zur Zertifizierung nach DIN EN ISO 9001 (Qualitätsmanagementsystem) und DIN EN ISO 14001 (Umweltmanagementsystem).

Anwendungsbereiche

Alles Holz im Gartenbereich, wie Zäune Sichtblenden, Palisaden, Frühbeetkästen, Bohlen, Schuppen, Verschläge, Gerätehäuser usw.

Farbton

GARD BRAUN^{CLASSIC}
(Natur-/Goldbraun)

Anzahl der Anstriche

1-2

Gebindegrößen

0,75 l; 2,5 l; 25 l

Ergiebigkeit

1 l = ca. 24 m², glattes Holz, 1 Anstrich
= ca. 16 m², rauhes Holz, 1 Anstrich

Infolge dieser hohen Ergiebigkeit ungewöhnlich niedriger Quadratmeterpreis!

Geriffelte oder sägerauhe Hölzer benötigen aufgrund ihrer Oberflächenstruktur wesentlich mehr Material und erhalten dementsprechend eine stärkere Pigmentierung.

Vorbereitung

Die Holzoberfläche muß sauber und trocken sein (max. Holzfeuchte 20%). Alte Lackanstriche entfernen. Alte offenporige Lasuren (z. B. Karbolineum) säubern oder leicht anschleifen. Nur auf frostfreies Holz streichen. Wird zusätzlicher Schutz gegen Fäulnis, Bläue und Schädlingsbefall gewünscht, das Holz vorher möglichst allseitig mit OSMO COLOR Holzimprägnierung WR^{OP} Farblos behandeln und 12 Stunden trocknen lassen.

Wird vorbeugender Schutz ohne organische Biozide gewünscht, empfehlen wir als Voranstrich unsere OSMO COLOR Wachsimprägnierung HOLZ-PROTEKTOR, vorbeugend wirksam gegen Bläue- und Schimmelbefall.

Verträglichkeit

Kann gestrichen werden über:
OSMO COLOR Holzimprägnierung WR^{OP} und ähnliche Produkte, druckimprägniertes Holz, früher mit Karbolineum behandeltes Holz und andere offenporige Lasuren (Probeanstrich vornehmen).

Korrosion

In Gebieten mit hoher Luftfeuchtigkeit ist der Gebrauch verzinkter nicht-rostender Nägel und Schrauben empfohlen.

Verarbeitung

Durch Aufstreichen mit Pinsel, Farbroller, Streichmaschine oder Tauchen.

OSMO COLOR ZAUN- UND GARTENLASUR^{CLASSIC} ist gebrauchsfertig. Nicht verdünnen. Leichtes Umrühren genügt. Bei trockenem Wetter mit Pinsel oder Farbroller auf das saubere, trockene Holz aufbringen.

OSMO COLOR ZAUN- UND GARTENLASUR^{CLASSIC} kann auch getaucht oder in speziellen geschlossenen Anlagen durch professionellen Verarbeiter gespritzt werden.

Ca. 12 Stunden trocknen lassen.

Wird eine stärkere Farbintensität gewünscht, Anstrich nach Trocknung wiederholen. Neues Holz, falls möglich, vor Anbringung allseitig streichen.

Reinigung des Arbeitsgerätes

Mit OSMO COLOR PINSELREINIGER (benzolfrei) oder Terpentinersatz.

Trockenzeit

Ca. 12 h - staubtrocken nach ca. 4 h.

Instandhaltung

Äußerst einfach. Bei Bedarf einen weiteren Anstrich auf die saubere, trockene Fläche aufbringen.

Lagerfähigkeit

5 Jahre und länger haltbar, wenn trocken und gut verschlossen aufbewahrt. Falls durch Frost dickflüssig geworden, vor Gebrauch 24-36 Stunden bei Zimmertemperatur lagern.

Zusammensetzung

25% Festkörper:

Basis: natürliche pflanzliche Öle (Sonnenblumenöl, Sojaöl), Naturasphalt, aromatenfrei, zugelassen für die Auskleidung von Trinkwasserreservoirs (z. B. Betonvorratsbehälter)

Pigmente: keine (natürliche braune Eigenfärbung)

Additive: Sikkative (Trockner) und wasserabweisende Additive



75% flüchtige Bestandteile:
entaromatisiertes Testbenzin (benzol-
frei, entspricht der Reinheitsanforderung
des Europäischen Arzneibuches).

Detaillierte Volldeklaration auf Anfrage.

Physikalische Eigenschaften

spezifisches Gewicht
(Dichte): 0,82 g/cm³
Viskosität: 60 s, 2 mm nach DIN 53211
dünnflüssig/wasserdünn
Geruch: schwach/mild, nach
Trocknung geruchslos
Flammpunkt: über 55°C (VbF AIII)
nach DIN 53213

Sicherheitsratschläge

Das flüssige Produkt nicht in die Hände
von Kindern gelangen lassen. Nicht in
Eß-, Trink- oder sonstige für Nahrungs-
mittel vorgesehene Behältnisse füllen.
Von Nahrungsmitteln, Getränken und
Futtermitteln fernhalten. Nicht in der
Nähe offenen Feuers arbeiten. Für gute
Belüftung sorgen. Bei Augenkontakt
sofort mit klarem Wasser ausspülen.

Achtung: mit dem flüssigen Produkt
getränkte Lappen nach Gebrauch sofort
auswaschen oder in einem luftdicht ge-
schlossenen Gefäß aufbewahren (Ent-
zündungsgefahr).

Der getrocknete Anstrich ist schwer
entflammbar gem. TL A-053.

Das Brandverhalten entspricht den For-
derungen der DIN 4102 (Brandverhalten
von Baustoffen und Bauteilen) Klasse B2
(normal entflammbar).

Obige Informationen erfolgten nach bestem Wissen und Gewissen, jedoch ohne Gewähr.