

# ARBEITSBERICHT

aus dem Institut für Holztechnologie und Holzbiologie

Nr. 2009/1



## Entwicklung und Untersuchung von hydrophobiertem und koloriertem Holz für Anwendungen im dekorativen, bewitterten Einsatz

Karin Brandt, Eckhard Melcher,  
Andreas O. Rapp, Christian Welzbacher





# **ABSCHLUSSBERICHT**

zum Forschungsprojekt

## **Entwicklung und Untersuchung von hydrophobiertem und koloriertem Holz für Anwendungen im dekorativen, bewitterten Einsatz**

**Kurztitel: „LignoPerl“**

gefördert durch

Steinbrügge & Berninghausen GmbH, Bremen

ausführende Forschungs- und Entwicklungsstelle

Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI)  
Institut für Holztechnologie und Holzbiologie – Fachgebiet Holzschutz

### **Wissenschaftliche Bearbeitung:**

Brandt, K.  
Melcher, E.  
Rapp, A. O.  
Welzbacher, C.

**Hamburg, Juli 2009**

## INHALT

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG.....</b>	<b>6</b>
1.1	ALLGEMEINES.....	6
1.2	HYDROPHOBIERUNG VON HOLZPRODUKTEN.....	8
1.2.1	Öle.....	9
1.2.2	Wachse/ Paraffine.....	9
1.3	HOLZSCHUTZ DURCH HYDROPHOBIERUNG.....	10
1.4	AUFGABENSTELLUNG.....	11
<b>2</b>	<b>MATERIAL UND METHODEN.....</b>	<b>12</b>
2.1	FÜR ALLE VERSUCHSPHASEN VERWENDETE GERÄTE UND METHODEN	12
2.1.1	Kesseldruckanlage am Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI) .....	12
2.1.2	Ermittlung der Messdaten.....	15
2.1.2.1	Masse.....	15
2.1.2.2	Dimensionen.....	15
2.1.2.3	Rohdichte.....	15
2.1.2.4	Holzfeuchte.....	15
2.2	PARAFFIN UND FARBAUSWAHL.....	16
2.2.1	Holz-Prüfkörper.....	16
2.2.2	Filterpapier für Screeningtests.....	16
2.2.3	Verwendete Wachse und Öle.....	16
2.2.4	Verwendete Farbstoffe und Pigmente.....	18
2.2.5	Notwendige Pigment- bzw. Farbstoffkonzentration.....	18
2.2.6	Beschriftung und Nummerierung der Prüfkörper.....	19
2.2.7	Versuch zum Absetzverhalten der Pigmente.....	20
2.2.8	Versuch zur Auftrennung von Paraffin/Pigment- bzw. Farbstofffront.....	21
2.2.9	Versuch zur spezifischen Volumenausbreitung in Papier.....	23
2.2.10	Kesseldrucktränkung des Holzes.....	23
2.2.10.1	Beladungsgrad.....	24
2.2.11	Bestimmung der Paraffinpenetration und -verteilung.....	24
2.2.12	UV-Beständigkeit der Füllstoffe (Farbstoff/ Pigment) im Holz.....	27
2.2.13	UV-Beständigkeit der Füllstoffe auf Filterpapier.....	28
2.2.14	Bestimmung des MRI (Moisture induced Risk Index).....	29
2.2.14.1	Absorption.....	29
2.2.14.2	Desorption.....	30
2.2.14.3	Berechnung des MRI.....	30
2.2.15	Holzfeuchteverlauf von Kleinproben im Freiland.....	31
	ENTWICKLUNG EINES SPARTRÄNKVERFAHRENS.....	32
2.2.16	Erweiterung der bestehenden Labor-Tränkanlage.....	32
2.2.17	Untersuchung des Einflusses des Vordruckes auf die Wachsaufnahme.....	33
2.2.18	Untersuchung des Einflusses der Prüfkörperlänge auf die Wachsaufnahme.....	33

2.2.19	Untersuchung des Einflusses des Tränkwachses auf die Wachsaufnahme .....	34
2.2.20	Untersuchung des Einflusses der Spartränkung auf die Wachsverteilung .....	35
2.2.21	Untersuchung des Einflusses der Spartränkung auf das Ausbluten bei steigender Temperatur .....	35
2.2.22	Untersuchung der Tränkbarkeit verschiedener Fichtensortimente .....	38
2.2.22.1	Einfluss einer Hitzebehandlung auf die Tränkbarkeit.....	38
2.2.22.2	Optische Bewertung der Wachsaufnahme und -verteilung.....	39
2.2.23	Bestimmung des Anteils schwer tränkbarer Fichtensortimente am Gesamtbestand der S & B GmbH .....	39
2.2.24	Entwicklung einer Schnelltest-Methode zur Einschätzung der Tränkbarkeit von Fichtenholz .....	40
2.3	GRUNDLAGEN ZUR EINSCHÄTZUNG DER WIRTSCHAFTLICHKEIT UND PRODUKTSICHERHEIT .....	41
2.3.1	Kosten des Imprägniermittels.....	42
2.3.1.1	Minimal erforderliche Paraffin/ Farbmittelaufnahmemenge .....	42
2.3.1.2	Bestimmung der Tränkzyklenstabilität .....	44
2.3.1.2.1	Chemische Stabilität der Tränkwachse und Farbstoffe .....	47
2.3.2	Kosten des Tränggutes .....	47
<b>3</b>	<b>ERGEBNISSE .....</b>	<b>48</b>
3.1	PARAFFIN- UND FARBAUSWAHL .....	48
3.1.1	Absetzverhalten der Pigmente .....	48
3.1.2	Auftrennung von Wachs- und Farbstofffront .....	51
3.1.3	Spezifische Volumenausbreitung in Papier.....	52
3.1.4	Kesseldrucktränkung des Holzes .....	52
3.1.5	Paraffinwachsaufnahme in Holz.....	53
3.1.6	Paraffinwachspenetration und Verteilung.....	54
3.1.7	UV-Beständigkeit von Füllstoffen .....	57
3.1.7.1	UV-Beständigkeit der Füllstoffe im Holz .....	57
3.1.7.1.1	Paraffin A in Kombination mit Pigmenten und Farbstoff.....	58
3.1.7.1.2	Paraffin B in Kombination mit Pigmenten und Farbstoff.....	59
3.1.7.1.3	Paraffin C in Kombination mit Pigmenten und Farbstoff.....	61
3.1.7.1.4	Paraffin D in Kombination mit Pigmenten und Farbstoff.....	62
3.1.7.1.5	Weißöl E in Kombination mit Pigmenten und Farbstoff.....	64
3.1.7.2	UV-Stabilität von Füllstoffen auf Filterpapier.....	65
3.1.8	MRI (Moisture induced Risk Index) .....	68
3.1.8.1	Kontrollen .....	68
3.1.8.2	Reine Paraffine und Weißöl .....	70
3.1.8.3	Kombination aus Paraffin B und PE-Additiv.....	72
3.1.8.4	Paraffin-/Ölkombinationen mit Hauptkomponente C.....	73
3.1.8.5	Paraffin-/Ölkombinationen mit Hauptkomponente D.....	75
3.1.9	Änderung der Holzfeuchte bewitterter Prüfkörper .....	78
3.1.9.1	Reine Paraffine und Weißöl .....	78
3.1.9.2	Kombinationen aus Paraffin B und PE Additiv .....	79
3.1.9.3	Paraffin-/Ölkombinationen mit Hauptkomponente C.....	81
3.1.9.4	Paraffin-/Ölkombinationen mit Hauptkomponente D.....	82

3.1.10	Vorauswahl geeigneter Paraffin-/Ölkombinationen für die weiteren Versuchsphasen.....	85
3.2	ENTWICKLUNG EINES SPARVERFAHRENS .....	86
3.2.1	Erweiterung der bestehenden Labortränkanlage.....	86
3.2.2	Einfluss des Vordruckes auf die Wachsaufnahmemenge.....	87
3.2.3	Einfluss der Prüfkörperlänge auf die Wachsaufnahme.....	88
3.2.4	Einfluss des Tränkwachses auf die Wachsaufnahme.....	89
3.2.5	Einfluss der Spartränkung auf die Wachsverteilung .....	90
3.2.6	Einfluss der Spartränkung auf das Ausbluten.....	95
3.2.7	Definition eines Prozessdiagramms für die Spartränkung .....	97
	HERSTELLUNG VON MUSTERPROBEN IN GEBRAUCHSDIMENSION UND PROZESSOPTIMIERUNG .....	98
3.2.8	Tränkbarkeit verschiedener Fichtensortimente.....	98
3.2.8.1	Optische Bewertung der Wachsaufnahme und -verteilung .....	100
3.2.8.1.1	Durchfärbung von Kiefernspint-Prüfkörpern.....	101
3.2.8.1.2	Durchfärbung von Fichte der S & B GmbH (Bremen) .....	103
3.2.8.1.3	Durchfärbung von Fichte aus BFH-Beständen (Fichte CZ/A).....	106
3.2.8.1.4	Durchfärbung von Fichte aus BFH-Beständen (Fichte Walsrode) 109	
3.2.8.1.5	Durchfärbung von Fichte aus BFH-Beständen (Fichte Walsrode Kern).....	112
3.2.9	Anteil schwer tränkbarer Fichtensortimente am Gesamtbestand der S & B GmbH.....	115
3.2.9.1	Häufigkeitsverteilung der Wachsaufnahme.....	117
3.2.10	Entwicklung einer Schnelltest-Methode zur Einschätzung der Tränkbarkeit von Fichtenholz .....	119
3.3	GRUNDLAGEN ZUR EINSCHÄTZUNG DER WIRTSCHAFTLICHKEIT UND PRODUKTSICHERHEIT .....	123
3.3.1	Kosten des Imprägniermittels .....	123
3.3.1.1	Minimal erforderliche Paraffin/ Hilfsstoffaufnahmemenge .....	123
3.3.1.1.1	Wachsaufnahmen bei 2% Farbstoff- und 0,5% Pigmentanteil.....	123
3.3.1.1.2	Wachsaufnahmen bei 4% Farbstoff- und 1% Pigmentanteil.....	125
3.3.1.1.3	Durchfärbung der spargetränkten Prüfkörper mit angefärbtem Paraffin .....	126
3.3.1.1.4	Exposition der Prüfkörper zur Bestimmung der minimalen Aufnahmemengen.....	127
3.3.1.1.5	Bewertung der Prüfkörper nach 20 Monaten Exposition im Freiland ohne Erdkontakt.....	138
3.3.1.1.6	Bewertung der Prüfkörper von Oktober 2008 bis Mai 2009.....	142
3.3.1.2	Optische Tränkzyklenstabilität .....	160
3.3.1.2.1	Chemische Stabilität.....	165
3.3.2	Kosten des Trängutes.....	178
4	<b>ZUSAMMENFASSUNG.....</b>	<b>179</b>
5	<b>VERZEICHNISSE .....</b>	<b>180</b>
5.1	LITERATUR .....	180
5.2	ZITIERTE NORMEN .....	183

---

5.3	ZITIERTE GESETZLICHE REGELUNGEN UND VERORDNUNGEN .....	183
5.4	ABBILDUNGEN .....	184
5.5	TABELLEN .....	194
<b>6</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>196</b>
6.1	DATENBLATT ZUM FÜR DIE MRI-BESTIMMUNG VERWENDETEM WASSER .....	196
6.2	TECHNISCHES DATENBLATT ZUM ABDICHTMITTEL SIKAFLEX® - 221	197
6.3	PATENTANMELDUNGEN .....	199

# 1 EINLEITUNG

## 1.1 Allgemeines

Seit Jahrtausenden wird Holz in verschiedenen Einsatzbereichen verwendet. Im Außenbereich hat Holz trotz konkurrierender Materialien nichts an Beliebtheit eingebüßt. Es wird heute wieder wesentlich häufiger als Baumaterial verwendet als noch vor 20 Jahren (SCHMIDT 2000). Wie bei allen Werkstoffen ist die Dauerhaftigkeit von Holz begrenzt. Unter bestimmten Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen kann Holz von verschiedenen Holzschädlingen angegriffen und abgebaut werden. Der Holzabbau durch Pilze und Mikroorganismen, z. B. Bakterien, spielt in unseren Breiten eine entscheidende Rolle und führt zu großem wirtschaftlichen Schaden. Eine Möglichkeit, dem Befall entgegenzuwirken, besteht darin, den holzabbauenden Pilzen die Lebensgrundlagen zu entziehen.

Die Holzfeuchte ist die wichtigste Einflussgröße für den Holzabbau durch Pilze. Die Niederschlagsmenge ist dabei weniger entscheidend als die Dauer der Überschreitung einer Grenzholzfeuchte (SCHEFFER 1971). In DIN 68800-1 (1974), DIN 52175 (1975) und DIN 68800-3 (1994) wird von einer minimalen Holzfeuchte von 20% für eine Gefährdung ausgegangen. Für Basidiomyceten geht SCHMIDT (1994) von einer Holzfeuchte um bzw. knapp oberhalb des Fasersättigungsbereichs des Holzes als Grenzfeuchte aus. Der Fasersättigungsbereich ist holzartenabhängig und liegt zwischen 26 und 32%. Im folgenden wird eine Holzfeuchte von 25% als Grenzfeuchte angenommen.

Eine über einen längeren Zeitraum hohe Holzfeuchte führt aber nur dann zu einem Befall, wenn auch die Temperatur im für Pilze notwendigen Bereich liegt. Das Temperaturminimum für das Wachstum der meisten Holz zerstörenden Pilze liegt über 0°C, weil bei Unterschreitung des Gefrierpunktes das für das Pilzwachstum notwendige flüssige Wasser nicht vorhanden ist. Das Temperaturoptimum ist artspezifisch und liegt zwischen 20 und 40°C. Die Pilzaktivität folgt dabei der Reaktionsgeschwindigkeit-Temperatur-Regel, (RgT-Regel), nach der die Enzymaktivität über einem bestimmten Bereich bei einer Temperaturerhöhung von 10°C zwei bis viermal so hoch ist (SCHMIDT 1994).

---

Gemäß DIN 68 800-3 (1990) sollten Holzschutzmittel nur dann angewendet werden, wenn der bauliche Holzschutz nicht ausreicht. Baulicher Holzschutz konzentriert sich im wesentlichen auf das Fernhalten von Wasser und die Vermeidung der Zugänglichkeit durch Insekten mittels entsprechender konstruktiver Maßnahmen.

Unter einem chemischen Holzschutz ist ausschließlich die Anwendung von Bioziden in Form von Holzschutzmitteln zu verstehen, welche über die Biozidrichtlinie (BPD 1998) gesetzlich geregelt ist.

Parallel zum konstruktiven und chemischen Holzschutz wurden in den letzten Jahren verschiedene Verfahren zur Vergütung von Holz untersucht/entwickelt, die zum Teil bereits am Markt eingeführt worden sind. Einen solchen Prozess stellt die thermische Vergütung dar, die unter anderem zu einer Herabsetzung der Sorptionsisotherme durch Modifizierung der Zellwandstruktur führt. Damit ist allerdings auch der Verlust von mechanischen Festigkeiten verbunden (LEITHOFF und PEEK 1998; WELZBACHER und RAPP 2003).

Eine weitere Art der Vergütung ist die Acetylierung, bei der es zu einer chemischen Reaktion zwischen Hydroxylgruppen des Holzes und Essigsäureanhydrid unter gleichzeitiger Freisetzung von Essigsäure kommt. Im Ergebnis zeichnet sich das acetylierte Holz durch eine erhöhte Dauerhaftigkeit und Dimensionsstabilität sowie eine verminderte Rissbildung aus. Als Nachteile sind hingegen die Geruchsbelastung des behandelten Holzes als auch die hohen Prozesskosten zu werten (RAPP und WILLEITNER 2000).

Das Prinzip „Holzschutz durch Feuchteschutz (Hydrophobierung)“ ist nicht neu. Obwohl (hydrophobe) Öle und Wachse schon seit Jahrhunderten zum Zweck der Holzkonservierung eingesetzt (BAVENDAMM 1962) wurden, werden diese Substanzen in der Literatur wenig behandelt. Beispielsweise ist die hohe natürliche Dauerhaftigkeit einiger Holzarten ebenfalls auf dieses Prinzip zurückzuführen. Hölzer, die eine geringe Permeabilität aufweisen, sind einem geringeren Risiko eines Pilzangriffes ausgesetzt, als solche, die auf Grund ihrer Struktur viel Wasser aufnehmen (WILLEITNER und PEEK 1997).

Anforderungen an Holzschutzmittel und Vergütungsprozesse haben sich in den letzten Jahren geändert. Standen früher Schutzwirkung und Preis noch im Vordergrund, sind heute die Aspekte „Umwelt“, „Gesundheit“ und „Handling“ genauso hoch einzuschätzen (RAPP und PEEK 1995). Der biozidfreie Holzschutz hat deshalb in Europa in den letzten Jahren als umweltfreundliche Maßnahme zur Verbesserung der Holzeigenschaften, insbesondere der Dauerhaftigkeit, stark an Bedeutung gewonnen (LEITHOFF und PEEK 1998).

## **1.2 Hydrophobierung von Holzprodukten**

„Hydrophob, wörtlich: wasserfürchtend. Der hydrophobe Charakter einer Substanz wird durch ihre Tendenz bestimmt, nicht in Wasser einzudringen und darin zu verbleiben“ (RÖMPP 1995). Holz ist als hygroskopischer Werkstoff bestrebt, Wasserdampf aus der Luft aufzunehmen und zu binden.

Das Ziel einer Hydrophobierung besteht in der Verminderung der Aufnahme von Wasser durch das Holz. Dies ist aus zwei Gründen notwendig:

1. Durch Wasseraufnahme kommt es zu unerwünschten Formänderungen des Holzes, die dessen Einsatzbereich einschränken kann.
2. Durch das Erreichen einer bestimmten Holzfeuchte wird ein Angriff durch Pilze und Bakterien ermöglicht.

BORGIN (1965) definiert ein Hydrophobierungsmittel als eine Substanz mit hydrophoben Eigenschaften, die in das Holz eindringen kann und dort die Zellwände bedeckt, wodurch die Wasseraufnahme minimiert wird. Da diese Substanzen die chemische Struktur der Zellwand nicht verändern, bleibt die natürliche Hygroskopizität des Holzes erhalten.

Hydrophobierende Stoffe wie zum Beispiel Wachse, Öle und Harze sind in den letzten Jahren verstärkt untersucht worden (SAILER 2000). Die natürliche Affinität zur Wasseraufnahme wird verringert, indem der Kontaktwinkel zwischen Zellwand und Wasser größer als 90° wird. Der Kontaktwinkel beschreibt die Form, die ein Flüssigkeitstropfen auf einer festen Oberfläche im Moment des Kontaktes annimmt. Bei einem Kontaktwinkel von 0° breitet sich

die Flüssigkeit sofort auf der Oberfläche aus, ein Winkel von  $180^\circ$  bedeutet eine vollständige Unbenetzbarkeit des Feststoffes.

Die Wirkung von Hydrophobierungsmitteln beruht auf einer Vergrößerung des Kontaktwinkels, wodurch die Benetzung durch Wasser vermindert wird. Bei einem Kontaktwinkel größer  $90^\circ$  wird der Kapillarzug, der das Eindringen in die Zellwandstruktur bewirkt, negativ. Daraus resultiert, dass die Flüssigkeit abgestoßen wird und die sonst hydrophile Zellwand einen hydrophoben Charakter annimmt (SELL 1977).

Filmbildende Oberflächenbehandlungen wie zum Beispiel Farben und Lacke weisen einen guten Witterungsschutz auf. Wenn es allerdings zu Schädigungen kommt, kann dies zum Eindringen von Wasser und letztlich zum Abplatzen des Anstrichstoffes führen. Damit ist eine Schutzwirkung nicht mehr gegeben.

Demgegenüber besteht die Gefahr des Abplatzens bei penetrierenden Hydrophobierungsmitteln nicht (RAPP und PEEK 1999).

### **1.2.1 Öle**

Pflanzliche Öle können als Hydrophobierungsmittel für Holz eingesetzt werden. Die erhöhte „Resistenz“ von Holz, das mit pflanzlichen Ölen imprägniert wurde, wird auf eine verzögerte Wasseraufnahme zurückgeführt. Eine positive Wirkung von Ölen wurde für die Gebrauchsklassen 3 (Außenbereich ohne Erdkontakt (DIN EN 350-2, 1994) und 4 (Außenbereich mit Erdkontakt (DIN EN 350-2, 1994)) nachgewiesen. Allerdings weisen derartig behandelte Hölzer sowohl in der Gebrauchsklasse 3 (GK 3) als auch in GK 4 eine extreme schwarze Verfärbung auf (SAILER 2000, BRISCHKE et al. 2006), wodurch die praktische Anwendung eingeschränkt wird.

### **1.2.2 Wachse/ Paraffine**

Wachse sind Ester von Fettsäuren mit langkettigen Alkoholen (RÖMPP 1995), wobei Bienenwachs zu den ältesten hydrophobierenden Stoffen zählt.

Paraffin ist die Bezeichnung für ein festes oder flüssiges Gemisch gereinigter, gesättigter aliphatischer Kohlenwasserstoffe (RÖMPP 1995) und zählt zu den Wachsen. SELL (1977) untersuchte die Eignung von Paraffinen, die bereits erfolgreich für die Hydrophobierung von Holzwerkstoffen eingesetzt wurden,

zum Schutz von Vollholz. Die Paraffine wurden einer handelsüblichen Tauchgrundierung beigelegt, um den Kontaktwinkel zu erhöhen. Bei einer Konzentration von 0,75% Paraffin konnte eine signifikante Zunahme des Kontaktwinkels nachgewiesen werden. Bei höheren Konzentrationen erhöhte sich der Kontaktwinkel nicht mehr signifikant.

### **1.3 Holzschutz durch Hydrophobierung**

Durch eine Hydrophobierung mit pflanzlichen Ölen ist eine Verringerung der Wasseraufnahme von Holz möglich, die nach SAILER (2000) auf der Kombination von 3 Faktoren beruht:

- Geschlossene Oberflächenfilme besitzen eine starke wasserabweisende Wirkung. Diese Filme werden mit hydrophoben Substanzen bei einer hohen Beladung der Prüfkörper erzielt.
- Die Aufnahme von Wasser über die Kapillaren wird bei hohen Ölbeladungen verzögert. Daraus resultiert, dass die Grenzfeuchte selten für längere Zeiträume überschritten wird, weil die Befeuchtungsintervalle meist zu kurz sind.
- Im Inneren der Prüfkörper befindet sich häufig nicht ausgehärtetes Öl, welches bei Rissbildung der Prüfkörper nach außen tritt und bei Kontakt mit Luftsauerstoff aushärtet. Entstandene Hohlräume im Holz und im Oberflächenfilm werden dadurch wieder verschlossen.

Nicht berücksichtigt wurden die Nachteile eines reinen Oberflächenfilms ohne Deponierung des flüssigen Hydrophobierungsmittels im Innern. Ein geschlossener Oberflächenfilm ist mit einer Beschichtung vergleichbar. Sobald Beschichtungen Fehlstellen durch Risse und/oder mechanische Einwirkungen aufweisen, kann Wasser in das Innere der Prüfkörper eindringen. Durch die an vielen Stellen noch intakte Beschichtung kommt es durch die Erhöhung des Diffusionswiderstandes zu einer stark verzögerten Wasserdampfabgabe, woraus eine Erhöhung der Holzfeuchte resultiert. RAPP et al. (1998) beobachteten die Erhöhung der Holzfeuchte an Prüfkörpern mit Alkydharzbeschichtung, die im zweiten Jahr der Freilandbewitterung durch erhöhte Holzfeuchte einem höheren Risiko eines Angriffs durch Pilze

ausgesetzt waren, als unbehandelte Kontrollen. Bei SAILER (2000) wurden Risse im Inneren der Prüfkörper durch noch flüssiges Öl geschlossen. Bei Prüfkörpern, mit geringer Beladung ist dies nicht möglich und der Oberflächenfilm wirkt sich negativ auf die Wasseraufnahme bzw. Wasserabgabe des Holzes aus.

Nach DE MEIJER und MILITZ (1999) hat das Ausfüllen der Lumina mit hydrophoben Substanzen auf die kapillare Aufnahme von Wasser den größten Einfluss. In feinen Kapillaren verringern selbst einzelne hydrophobe Tröpfchen die Wasseraufnahme deutlich, da die Saugspannung der Kapillaren durch den erhöhten Kontaktwinkel des Wassers vermindert wird (VOULGARIDES 1980). Die aufgenommene Menge von Wasser wird durch den hydrophoben Charakter des Öls schnell wieder aus dem Holz gedrängt, so dass die Gefahr einer andauernden Überschreitung der Grenzfeuchte verringert wird.

#### **1.4 Aufgabenstellung**

Innerhalb des Projektes sollte untersucht werden, ob durch den Einsatz von synthetischen Ölen und Wachsen sowie durch Zusatz von Farbpigmenten zur Schaffung einer witterungsbeständigen, kolorierten Oberfläche einer ungewollten Verfärbung entgegengewirkt werden kann. Dabei standen Fragen zur Auswahl geeigneter Wachsschmelzen, zum Penetrationsvermögen der eingesetzten Farbstoffe und Farbpigmente (Füllstoffe) in das Holz und der UV-Beständigkeit im Vordergrund.

Auf Basis der Untersuchungsergebnisse sollte ein umweltfreundliches, biozidfreies Verfahren zum Schutz von Holz durch Einsatz von hydrophoben Wachsen in Verbindung mit dem Einsatz von Pigmenten und Additiven zur Bildung von witterungsbeständigen, dekorativen Oberflächen entwickelt werden. Hierzu wurden verschiedene Wachs-Öl-Kombinationen in Verbindung mit geeigneten Farbsystemen hinsichtlich ihrer holzschützenden Wirkung getestet.

## **2 MATERIAL UND METHODEN**

### **2.1 Für alle Versuchsphasen verwendete Geräte und Methoden**

#### **2.1.1 Kesseldruckanlage am Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI)**

Für die Paraffintränkungen wurde die Vakuum-Druck-Labortränkanlage (Firma Scholz Maschinenbau, Baujahr 1996) des Johann Heinrich von Thünen-Instituts (ehemals Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft) verwendet. Die für die Tränkungen relevanten Leistungsdaten der Anlage sind wie folgt:

- Kesselvolumen: 200 Liter
- Nutzbare Kesseldimensionen: Länge 150 cm, Durchmesser 35 cm
- Mantel beheizt,  $T_{\max} = 200^{\circ}\text{C}$
- Druckbereich 10 mbar bis 10 bar absolut
- Vordrucktränkung über separat angeschlossenes Aufschmelzgefäß (ASG 400, Firma Zirbus Technology, Baujahr 2005) seit 29.03.2005 möglich

Die Abbildung 1 und Abbildung 2 zeigen die Tränkanlage und das Aufschmelzgefäß.



Abbildung 1: Kesseldruckanlage am vTI



Abbildung 2: Aufschmelzgefäß ASG 400, Firma Zirbus Technology, Baujahr 2005

## 2.1.2 Ermittlung der Messdaten

### 2.1.2.1 Masse

Die Masse der Prüfkörper wurde mit einer Oberschalenwaage der Fa. Gottlieb Kern & Sohn auf 0,01g gewogen. Die Masse der Füllstoffe wurde mit einer Analysenwaage der Fa. Mettler auf 0,0001 g bestimmt.

### 2.1.2.2 Dimensionen

Die Dimension der Prüfkörper wurde mit einem Messschieber auf 0,01 mm bestimmt.

### 2.1.2.3 Rohdichte

Die Rohdichte der Prüfkörper wurde gemäß DIN 52 182 (1976) gravimetrisch unter Berücksichtigung der Dimension der Prüfkörper nach Konditionierung im Normklima bei  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  und  $65 \pm 5\%$  rel. Luftfeuchte ermittelt. Für die Rohdichte gilt folgendes Verhältnis:

Tab. 1: Rohdichte bei Holzfeuchte u

Rohdichte	$\rho_u = m_u/V_u$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$m_u =$ Masse bei Holzfeuchte u [g] $V_u =$ Volumen bei Holzfeuchte u [cm <sup>3</sup> ]
-----------	---	---

Die Darrdichte wird analog zur Rohdichte bestimmt Sie bezieht sich auf die Dichte im darrtrockenen Zustand, d. h. die Prüfkörper wurden in einem Trockenschrank bei einer Temperatur von ca.  $102^\circ\text{C}$  gedarrt:

Tab. 2: Darrdichte bei Holzfeuchte u = 0%

Darrdichte	$\rho_{dtr} = m_{dtr}/V_{dtr}$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$m_{dtr} =$ Masse bei Holzfeuchte u = 0% [g] $V_{dtr} =$ Volumen bei Holzfeuchte u = 0% [cm <sup>3</sup> ]
------------	---	---

### 2.1.2.4 Holzfeuchte

Für die Holzfeuchte gilt das folgende Verhältnis.

Tab. 3: Holzfeuchte u

Holzfeuchte	$u = ((m_u - m_{dtr})/m_{dtr}) * 100$ [%]	$u =$ Holzfeuchte [%] $m_u =$ Masse bei Holzfeuchte u [g] $m_{dtr} =$ Masse darrtrocken [g]
-------------	---	---

## 2.2 Paraffin und Farbauswahl

### 2.2.1 Holz-Prüfkörper

Kiefern-Splint (*Pinus sylvestris* L.) und Fichtenholz (*Picea abies* Karst.) wurden von der Steinbrügge & Berninghausen GmbH sowie aus dem mittel- und norddeutschen Holzhandel als endbearbeitete Ware bezogen. Weiterhin wurde unbehandeltes Buchenholz (*Fagus sylvatica* L.), Fichten- und Kiefernrundholz im norddeutschen Holzhandel beschafft und vor Ort nachvollziehbar aufgeschnitten. Anschließend wurde das zugeschnittene Material nach dem Frischluft-Abluft-Verfahren auf 12% Holzfeuchte getrocknet und zu einander zugeordneten Prüfkörpern verarbeitet. Die jeweiligen Prüfkörperformate werden in Verbindung mit der angewandten Methode erläutert.

### 2.2.2 Filterpapier für Screeningtests

Die papierchromatographischen Untersuchungen wurden mit Filterpapier des Herstellers Schleicher & Schüll, Nr.604 mit einem Durchmesser von 125 mm durchgeführt.

### 2.2.3 Verwendete Wachse und Öle

Die Wachse (Tab. 4) sowie das PE-Additiv wurden von SASOL Wax GmbH, Hamburg, geliefert. Das eingesetzte Weißöl wurde von den Finke Mineralölwerken, Bremen bezogen. Die Herkunft der Silikonöle ist in der folgenden Tabelle erläutert.

Tab. 4. Geprüfte Wachse, Öle und Additive; EB = Erstarrungsbereich bzw. -punkt

Abk.	EB in °C	Bezeichnung	Charakteristik
<b>Paraffin</b>			
A	30 - 35	Terhell 3496	mineralölstämmig
B	58 - 60	Terhell 5803	mineralölstämmig
C	78 - 82	Paraflint C80	synthetisch
D	102 - 106	Paraflint C105	synthetisch
<b>Weißöl und PE-Additiv</b>			
E	-12	Pharmawhite W15	synthetisch
F	80 - 85	PE-Additiv	synthetisch
<b>Silikonöl</b>			
S1	-60	S/350, Robert Timm GmbH, Hamburg	synthetisch
S2	-60	Struksilon M 12500; Schill+Seilacher, Chemische Spezialitäten; Hamburg	synthetisch

Voruntersuchungen zeigten, dass Mischungen mit den verschiedenen Paraffin-Kombinationen nicht möglich sind, da es beim Erstarren der Paraffine zum großflächigen Austreten des Öls kam. Deswegen wurden die getesteten Silikonöle für weitergehende Untersuchungen ausgeschlossen.

Die Auswahl erfolgte unter besonderer Berücksichtigung der Schmelzpunkte der Paraffine/Öle sowie deren chemischen Charakteristik. Es wurden jeweils zwei mineralölstämmige Paraffine mit niedrigem Erstarrungspunkt sowie zwei voll-synthetische Paraffine mit hohem Schmelzpunkt verwendet, die jeweils mit synthetischem Weißöl / mineralölstämmigen niedrig schmelzendem Paraffinöl bzw. eines synthetischen PE-Additivs kombiniert wurden.

### Schmelzpunkt

niedrig  $\longrightarrow$  hoch  
 mineralölstämmig/ mineralölstämmig + PE/ synthetisch + Paraffinöl/ vollsynthetisch

### chemische Charakteristik

mineralölstämmig  $\longrightarrow$  synthetisch  
 mineralölstämmig/ mineralölstämmig + PE/ synthetisch + Paraffinöl/ vollsynthetisch

Untersucht wurden die in Tab. 5 dargestellten Paraffin-, Weißöl- und PE-Additiv Kombinationen.

Tab. 5: Untersuchte Kombinationen aus den verschiedenen Paraffinen (**A** Terhell 3496; **B** Terhell 5308; **C** Paraflint C80; **D** Paraflint C105), Weißöl (**E** Pharmawhite W15) und PE-Additiv (**F** PE Additiv). Durch Vorversuche hinsichtlich Misch- und Verarbeitbarkeit ausgeschlossene Kombinationsmöglichkeiten sind gestrichelt markiert.

Abk	ohne Mischung	A [%]			B [%]		C [%]		D [%]		E [%]			F [%]		
		1	5	30	5	30	5	30	5	30	1	5	30	1	5	30
<b>A</b>	X															
<b>B</b>	X	X	X	X							X	X	X	X	X	X
<b>C</b>	X		X	X								X	X			
<b>D</b>	X		X	X								X	X			
<b>E</b>	X															
<b>F</b>																

$\Sigma = 22$  Kombinationen

## 2.2.4 Verwendete Farbstoffe und Pigmente

Tab. 6 zeigt alle geprüften Pigmente und Farbstoffe, die als Muster direkt von den Herstellern bezogen wurden. Über die genaue chemische Zusammensetzung der Pigmente und Farbstoffe lagen keine Informationen vor.

Tab. 6. Geprüfte Pigmente und Farbstoffe

Nr.	Farbton	Charakteristik	Hersteller
01	blau	Pulver, Mikropigment Eupolen Blau	BASF AG, Ludwigshafen
02	schwarz	dispergiert, Feinpigment Licospere black	Clariant GmbH
03	gelb	dispergiert, Feinpigment Licospere yellow	Clariant GmbH
04	rot	dispergiert, Feinpigment Licospere red	Clariant GmbH
05	blau	dispergiert, Feinpigment Licospere blue	Clariant GmbH
06	gelb	dispergiert, Feinpigment Bekro 309 yellow	Bekro Chemie GmbH
07	rot	dispergiert, Feinpigment Bekro 401 red	Bekro Chemie GmbH
08	blau	dispergiert, Feinpigment Bekro 524 blue	Bekro Chemie GmbH
09	grün	dispergiert, Feinpigment Bekro 364 green	Bekro Chemie GmbH
10	rot	Farbstoff rot B 4620-34	Bekro Chemie GmbH

Alle Pigmente waren laut Herstellerangaben UV- und witterungsbeständig, der Farbstoff wurde als Referenz getestet.

## 2.2.5 Notwendige Pigment- bzw. Farbstoffkonzentration

Zur Feststellung, welche Pigment- bzw. Farbstoffkonzentration im Wachs notwendig ist, um gefärbtes Wachs in Papier, in massivem Holz und in ca. 25 µm dünnen Holzschnitten im Lichtmikroskop identifizieren zu können, wurden verschiedenen Farbstoffanteile des roten Bekro-Farbstoffes und des roten Bekro-Pigments im Wachs Terhell 5803 untersucht. Es zeigte sich, dass für eine kontrastreiche Darstellung im Lichtmikroskop eine mindestens 1%ige Konzentration des Farbstoffes notwendig ist.

Die Pigmentgehalte orientierten sich neben den Untersuchungsergebnissen auch an der Herstellerangabe zur Pigmentkonzentration. Für Versuche zum Absetzverhalten wurde eine 1%ige Pigmentkombination gewählt, alle weiteren Versuche wurden mit einer 0,5%igen Pigmentkonzentration durchgeführt.

### 2.2.6 Beschriftung und Nummerierung der Prüfkörper

Alle Prüfkörper wurden mit einem fünfstelligen Schlüssel nach folgendem Schema versehen: **a.b.c.d.e**

<b><u>a</u></b> : Hauptkomponente	<b>A</b>	Terhell 3496
	<b>B</b>	Terhell 5808
	<b>C</b>	Paraflint C 80
	<b>D</b>	Paraflint C 105
	<b>E</b>	Pharmawhite W-15
<b><u>b</u></b> : Nebenkomponente	<b>A</b>	Terhell 3496
	<b>B</b>	Terhell 5808
	<b>C</b>	Paraflint C 80
	<b>D</b>	Paraflint C 105
	<b>E</b>	Pharmawhite W-15
	<b>F</b>	Polyethylen-Additiv
<b><u>c</u></b> : Konzentration der Nebenkomponente	<b>1</b>	1%
	<b>5</b>	5%
	<b>30</b>	30%
<b><u>d</u></b> : Füllstoff	<b>01</b>	Pigment Eupolen Blau
	<b>02</b>	Pigment Licosperse Black
	<b>03</b>	Pigment Licosperse yellow
	<b>04</b>	Pigment Licosperse red
	<b>05</b>	Pigment Licosperse blue
	<b>06</b>	Pigment Bekro 309 yellow
	<b>07</b>	Pigment Bekro 401 red
	<b>08</b>	Pigment Bekro 524 blue
	<b>09</b>	Pigment Bekro 364 green
	<b>10</b>	Farbstoff Bekro ROT B 4620-34
<b><u>e</u></b> : Parallele	<b>1-8</b>	

### 2.2.7 Versuch zum Absetzverhalten der Pigmente

Ziel der Prüfungen war es, diejenigen Paraffin/Pigment-Kombinationen auszuschließen, die für eine industrielle Anwendung aufgrund eines schnellen und starken Absetzverhaltens der Pigmente ungeeignet sind.

Die Untersuchungen zum Absetzverhalten der Pigmente wurden in 150 ml großen Bechergläsern der Firma Schott im Trockenschrank durchgeführt. Die Temperatur wurde mit jeweils 20°C über dem Erstarrungspunkt der Paraffine gewählt. Jeweils wurden 90 g der verschiedenen Paraffinkombinationen (Tab. 5) mit 1% der Pigmente bzw. des Farbstoffes eingewogen und aufgeschmolzen. Um das Erstarren während des Mischvorganges so gering wie möglich zu halten, wurden die Pigmente im Becherglas vorgewärmt. Die aufgeschmolzenen Mischungen wurden zu Beginn der Absetzuntersuchungen durch manuelles Rühren vermischt und anschließend wieder im Trockenschrank gelagert. Die Mischungen wurden visuell nach folgendem Schema (Tab. 7) klassifiziert:

Tab. 7: Klassifizierungsschema zur optischen Untersuchung des Absetzverhaltens von Pigmenten im flüssigen Paraffin in Vorversuchen

Klasse	Beschreibung	Erläuterung
0	nicht abgesetzt	keine abgesetzten Schichten auf dem Glasboden
1	abgesetzt aber durchfärbt	abgesetzte Schicht von Pigment / Farbstoff auf dem Boden des Becherglases, das Paraffin ist aber gleichmäßig durchfärbt
2	abgesetzt und nicht durchfärbt	abgesetzte Schicht von Pigment / Farbstoff auf dem Boden des Becherglases, das Paraffin ist stark ungleichmäßig durchfärbt

Zur Dokumentation wurden alle Kombinationen fotografiert. Diese visuelle Beurteilung wurde nach 0,5 h, 3 h und 24 h durchgeführt. Die Abbildung 3 zeigt Beispiele der jeweiligen Klassifizierung gemäß Tab. 7.



Abbildung 3: Beispielhafte Darstellung der in Tab. 7 gelisteten Klassen des Absetzverhaltens von Pigmenten in Paraffin nach 24h

### 2.2.8 Versuch zur Auftrennung von Paraffin/Pigment- bzw. Farbstofffront

Für die Untersuchungen zur Auftrennung von Paraffin und Farbstoff bzw. Pigment, wurde ein 1%iges Paraffin-Farbstoffgemisch aus je 10 g Paraffin und 0,1 g Farbstoff sowie ein 0,5%iges Paraffin-Pigmentgemisch aus je 10 g Paraffin und 0,05 g Pigment hergestellt. Die Einwaage erfolgte in großen Aluminiumwägschalen mit einem oberen Randdurchmesser von 9,5 cm. Je Paraffinkombination (Tab. 5) wurden die 9 Pigmente (Tab. 6) und der rote Bekro-Farbstoff angesetzt. Der Paraffin-Farbstoff bzw. die Paraffin-Pigmentgemische wurden im Trockenschrank bei verschiedenen Temperaturen (Tab. 8) aufgeschmolzen.

Tab. 8: Verarbeitungstemperaturen in °C der verwendeten Paraffin-Ölkombinationen in den Versuchen zur Auftrennung auf Filterpapier (**A** Terhell 3496; **B** Terhell 5308; **C** Parafllint C80; **D** Parafllint C105), Weißöl (**E** Pharmawhite W15) und PE-Additiv (**F** PE Additiv). Durch Vorversuche ausgeschlossene Kombinationsmöglichkeiten sind gestrichelt markiert.

Abk	ohne Mischung	A [%]			B [%]		C [%]		D [%]		E [%]			F [%]		
		1	5	30	5	30	5	30	5	30	1	5	30	1	5	30
<b>A</b>	110															
<b>B</b>	110	110	110	110							110	110	110	135	135	135
<b>C</b>	110		110	110								110	110			
<b>D</b>	135		135	135								135	135			
<b>E</b>	110															
<b>F</b>																

$\Sigma = 22$  Kombinationen

Mittels einer Eppendorf-Pipette (100-1000  $\mu$ l) wurden je 30  $\mu$ l Paraffin-Farbstoff/Pigment-Gemisch zentriert auf ein Filterpapier (Schleicher & Schüll, 124 mm  $\varnothing$ ) aufgebracht. Die verwendeten Pipettenspitzen wurden drei Minuten

vor dem Aufbringen des Paraffins im Trockenschrank bei 110°C gelagert, um ein vorzeitiges Erstarren der hochschmelzenden Paraffine zu unterbinden. Anschließend wurden die präparierten Filterpapiere für zwei Stunden im Trockenschrank gelagert. Die Temperatur der Lagerung entsprach hierbei der Verarbeitungstemperatur (Tab. 8). Nach der Entnahme aus dem Trockenschrank wurden die Filterpapiere mit Leitungswasser (Auszug Hamburger Leitungswasser, siehe Anhang) befeuchtet und sowohl der Durchmesser des äußeren Paraffin- als auch des inneren Paraffin-Pigment/Farbstoff-Flecks mit einem Lineal gemessen. Die Messung erfolgte jeweils an der kleinsten und größten Ausbreitung der ovalen Flecke. Je Paraffin-Pigment/Farbstoffmischung wurden 3 Filterpapiere untersucht. Als charakteristische Zahl für die Auftrennung wurde der Trennungsquotient  $T$  aus der Laufweite der Wachsfront (Durchmesser der Wachsfläche) und Laufweite der Farbfront (Durchmesser der Farbfläche) gebildet (Tab. 9):

Tab. 9: Trennungsquotient  $T_q$

Trennungsquotient	$T_q = D_w / D_f$	$T_q =$ Trennungsquotient [mm / mm] $D_w =$ mittlerer Durchmesser der Wachsfläche [mm] $D_f =$ mittlerer Durchmesser der Farbfläche [mm]
-------------------	-------------------	--

Ein Trennungsquotient von 1,25 bedeutet beispielsweise, dass die Wachsfront 25% weiter lief als die Pigment-/Farbstofffront. Ein Beispiel für die Bestimmung des Trennungsquotienten  $T_q$  gibt Abbildung 4.

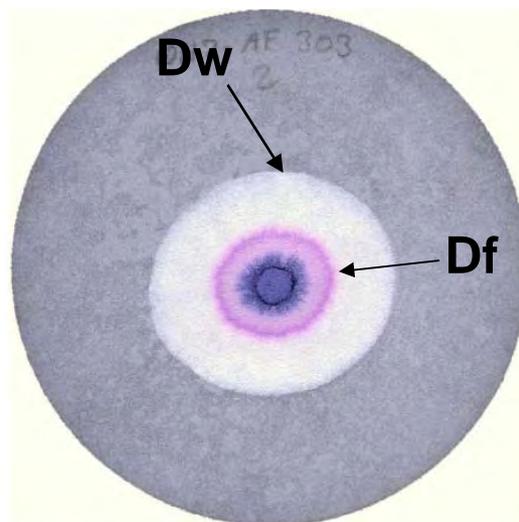


Abbildung 4: Bestimmung des mittleren Durchmessers der Wachsfläche ( $D_w$ ) und des mittleren Durchmessers der Farbfläche ( $D_f$ ) von gefärbtem Wachs nach Auftropfen auf ein Filterpapier

### 2.2.9 Versuch zur spezifischen Volumenausbreitung in Papier

Als charakteristische Zahl für das Ausbreitungsvermögen des Wachses wurde die spezifische Volumenausbreitung als Quotient aus wachsimprägniertem Volumen und hierfür notwendiger Wachsmasse gebildet (Tab. 10). Diese Kennzahl gibt Aufschluss über das unterschiedliche Imprägniervermögen der einzelnen Paraffinkombinationen.

Tab. 10: Spezifische Volumenausbreitung

spezifische Volumen- ausbreitung	$sV = (\pi Dw^2 f / 4) / a$	$sV$ = spezifische Volumenausbreitung [ $\text{cm}^3 / \text{g}$ ] $\pi$ = Kreiszahl 3,14159 . . [-] $Dw$ = Durchmesser des wachsimprägnierten Papiers [cm] $f$ = Filterpapierstärke (mit 1 als konstante angenommen) [cm] $a$ = eingesetzte Wachsmenge (Aufnahme) [g]
--	-----------------------------	--

Eine spezifische Volumenausbreitung von 17,5 bedeutet beispielsweise, dass durch 1 g Wachs 17,5  $\text{cm}^3$  Papier unter den gegebenen Testbedingungen imprägniert werden.

### 2.2.10 Kesseldrucktränkung des Holzes

Prüfkörper aus Kiefernholz der Dimension 50x25x15  $\text{mm}^3$  (long. x rad. x tang.) wurden in der Kesseldruck-Labortränkanlage (c.f. 2.1.1) mit den aus Tab. 5 ersichtlichen Kombinationen aus Wachsen und Öl plus 0,5% Farbstoff bzw. 0,5% Pigmentzusatz (Tab. 6. Geprüfte Pigmente und Farbstoffe) mittels Vakuum-Druck-Verfahren imprägniert. Die Paraffine wurden entsprechend der Verarbeitungstemperatur (c.f. Tab. 8) im Trockenschrank geschmolzen und mit dem entsprechenden Farbmittel (Farbstoff oder Pigment) gemischt. Die Verarbeitungstemperaturen lagen 30°C über dem Erstarrungspunkt des Paraffins. Da die Farbmittelkonzentration einen Schmelzpunkt von 100°C aufwies, wurde eine Minimaltemperatur von 110°C eingestellt. Die Prüfkörper wurden 24 h bei 103°C im Trockenschrank vorgewärmt. Jeweils 8 Prüfkörper je Paraffinkombination und Pigment/Farbstoff wurden für 60 min im flüssigen Paraffin entsprechend der Verarbeitungstemperaturen aus Tab. 8 in großen Bechergläsern (1000 ml) im Trockenschrank aufgewärmt. Jeweils wurden zwei Chargen gleichzeitig getränkt. Insgesamt wurden 1760 Prüfkörper mittels Kesseldrucktränkung imprägniert. Die Prozessparameter waren wie folgt:

Vakuumphase bei 30 mbar über 10 min, nachfolgende Druckphase bei 8 bar abs. über 10 min. Um ein Absetzen der Pigmente während der Aufwärm- bzw. Tränkphase zu unterbinden, wurden die Bechergläser während des Tränkvorganges auf beheizbaren Magnetrührern im Druckkessel exponiert. Nachfolgend ist der Aufbau der Tränkversuche dargestellt (Abbildung 5).



Abbildung 5: Beheizbarer Magnetrührer für die Vakuum-Druck-Tränkung der Kiefernproben

### 2.2.10.1 Beladungsgrad

Um den Beladungsgrad zu bestimmen, wurden die Prüfkörper vor Beginn der Tränkung im Trockenschrank für 24 h bei 103°C gedarrt und anschließend gewogen. Nach der Tränkung wurden die Prüfkörper erneut gewogen. Aus der Gewichts Differenz vor und nach der Tränkung wurde die Beladung berechnet.

Tab. 11: Beladungsgrad der Prüfkörper

	$m_1$ Masse nach Tränkung [kg]
Beladungsgrad = $m_1 - m_0 / V$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$m_0$ Masse vor Tränkung [kg]
	$V$ Volumen [m <sup>3</sup> ]

### 2.2.11 Bestimmung der Paraffinpenetration und -verteilung

Die Auswahl der Paraffin-/Ölkombination für diese Untersuchung erfolgte auf Basis der Erstarrungspunkte der Paraffine, da farbige Holzoberflächen im Außenbereich je nach Beschichtungssystem und Farbe eine maximale

Oberflächentemperatur von 40-80°C aufweisen können. Es wurden deshalb solche Kombinationen ausgewählt, die bei 70°C noch nicht flüssig werden. Zur Bestimmung der Paraffinpenetration und Eindringtiefe der Füllstoffe (Farbmittel) in das Holz wurden die Prüfkörper 24 h nach der Tränkung axial aufgesägt und die Schnittflächen mit einem elektrischen Handhobel geglättet. Die ausgewählten 16 Paraffin-/Ölkombinationen (Tab. 12) wurden hinsichtlich der Penetration der 10 verwendeten Füllstoffe (cf. Tab. 6) an je zwei Prüfkörpern untersucht.

Tab. 12: Paraffin-/Öl-Kombinationen zur Untersuchung der Füllstoffpenetration und Wachsverteilung

Abk	ohne Mischung	A [%]			B [%]		C [%]		D [%]		E [%]			F [%]			
		1	5	30	5	30	5	30	5	30	1	5	30	1	5	30	
<b>A</b>	X																
<b>B</b>	X														X	X	X
<b>C</b>	X		X	X								X	X				
<b>D</b>	X		X	X								X	X				
<b>E</b>	X																
<b>F</b>																	

$\Sigma = 16$  Kombinationen

Bestimmt wurde die in Abbildung 6 erläuterte Penetrationstiefe  $t_{50}$  nach RAPP und PEEK (1994) an den Flächen der manuell geglätteten Prüfkörper aus allen 160 Kombinationen auf Füllstoff ( $n=10$ ) und Paraffin-/Öl-Kombination ( $n=16$ ).

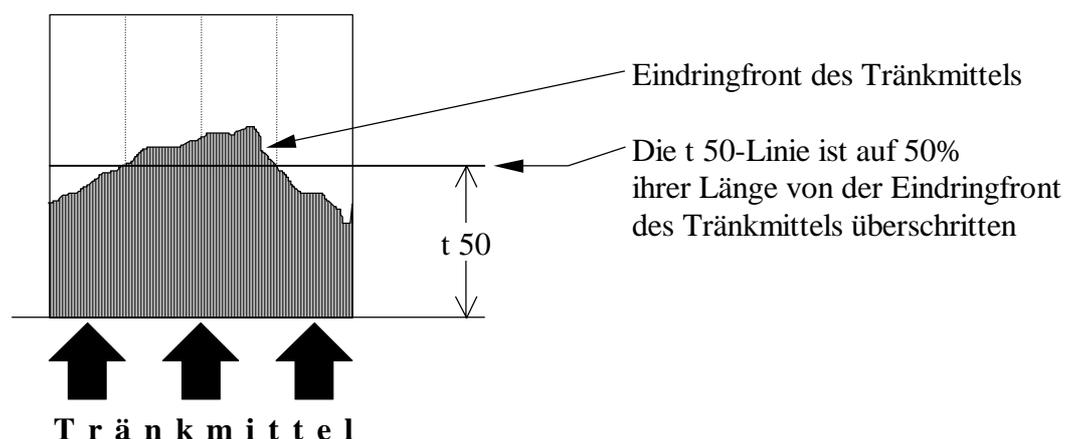


Abbildung 6: Mittlere Penetrationstiefe  $t_{50}$

Die Penetrationstiefe wurde in axialer Richtung gemessen. Hier erfolgt die stärkste Penetration, da diese Richtung anatomisch durch den Zellaufbau für den Flüssigkeitstransport im lebenden Baum vorgesehen ist. Die Eindringtiefe

entlang der drei anatomischen Schnittrichtungen (Abbildung 7) verhält sich für Kiefernholz wie folgt:

tangential = ca. 0,5-1,0 mm  
 radial = ca. 2 x tangential  
 axial = ca. 50-100 x tangential

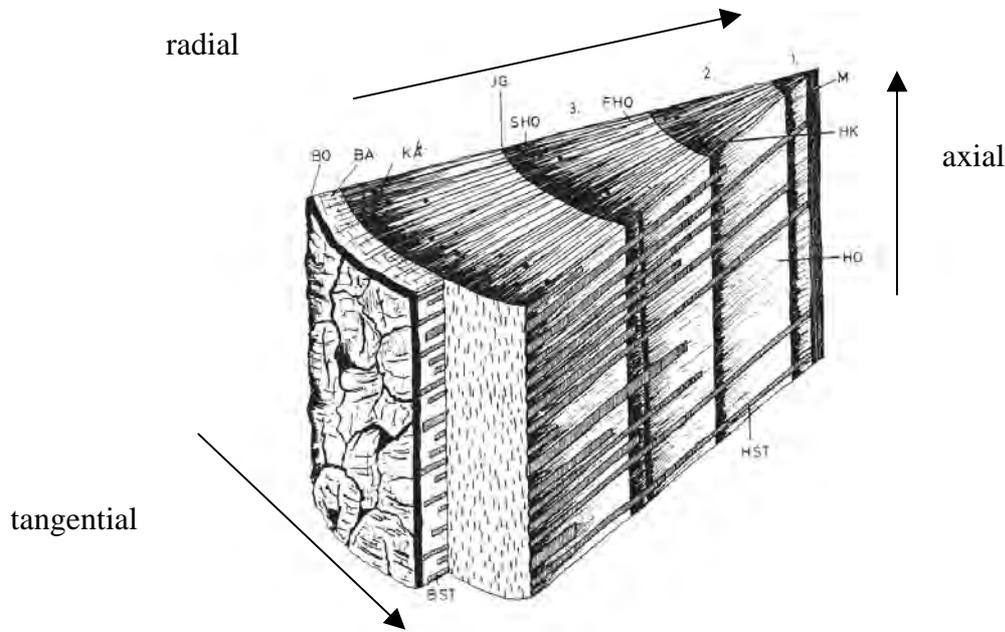


Abbildung 7: Anatomische Schnittrichtungen von Holz; **M**: Mark; 1.,2.,3.,und 4. erster bis vierter Jahresring im Holz (**HO**); **FHO**: Frühholz; **SHO**: Spätholz; **JG**: Jahringgrenze; **KA**: Kambium; **BA**: Bast; **BO**: Borke; **HST**: Holzstrahlen; **BST**: Baststrahlen; **HK**: Harzkanäle

Die Verteilung des Wachses wurde visuell beurteilt und klassifiziert, wobei die in Tab. 13 gegebenen Kriterien Anwendung fanden.

Tab. 13. Klassifizierung der Wachsverteilung

Code	Beschreibung des Verteilungsmusters
V1	Verteilung überwiegend in äußeren Bereichen, axiale Eindringung max. 3 mm
V2	Verteilung überwiegend im Spätholz
V3	Verteilung im Früh- und im Spätholz
V4	gleichmäßige Verteilung über alle Zonen

Beispiele für die Klassifizierungen der Wachsverteilung sind in Abbildung 8 dargestellt.

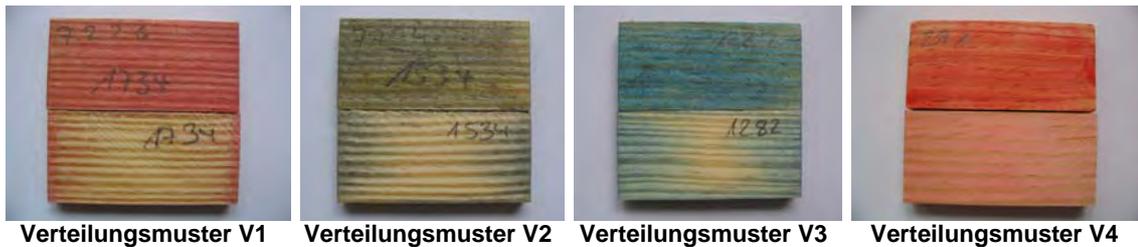


Abbildung 8: Verteilungsmuster des angefärbten Paraffins im Vollholz nach Vakuum-Druck-Imprägnierung; jeweils an unbehandelten Oberflächen (obere Hälfte) und gehobelten Innenflächen (untere Hälfte)

### 2.2.12 UV-Beständigkeit der Füllstoffe (Farbstoff/ Pigment) im Holz

Die UV-Beständigkeit der Füllstoffe in Kombination mit der Holzoberfläche und dem Holzinneren wurde an Prüfkörpern bestimmt, die auch auf ihre Füllstoffpenetration untersucht wurden. Hierzu wurden die Prüfkörper über einen Zeitraum von 168 h mit 300 W Ultra-Vitalux-Lampen der Fa. Osram bestrahlt (Abbildung 9). Der Abstand der Lampen zu den Prüfkörpern betrug 30 cm. Je Prüfkörper wurde eine äußere und eine innere Hälfte bestrahlt, wovon jeweils eine Hälfte der Fläche mit Aluminiumfolie abgedeckt war (Abbildung 9). Die Beurteilung der Farbänderung nach der UV-Bestrahlung erfolgte durch den Vergleich von bestrahlter und unbestrahlter (durch Aluminiumfolie abgedeckter) Fläche. Es wurde je eine Außen- und eine Innenseite untersucht, weil davon ausgegangen wurde, dass die unterschiedliche Pigmentdichte einen Einfluss auf die Farbauswertung hat.



Abbildung 9: Links: Versuchsaufbau der künstlichen UV-Bestrahlung mit Ultra-Vitalux Lampen; Rechts: Häftig mit Aluminium-Folie abgedeckte Prüfkörper

Mit einem Flachbettscanner wurden die Prüfkörper erfasst und mit dem Bildbearbeitungsprogramm Corel Photo Paint 7 hinsichtlich der digitalisierten CMY-Werte (Cyan Magenta Yellow) ausgewertet. Bei dem CMY-Farbsystem handelt es sich um ein Farbsystem bei dem jeder der CMY-Werte maximal 255 Pixel aufweisen kann. Beträgt die Summe der drei Werte 0, handelt es sich um die Farbe Weiß. Je höher die Summe der CMY-Werte ist, desto dunkler der untersuchte Farbton, wobei Schwarz eine Summe von 765 ergibt.

### **2.2.13 UV-Beständigkeit der Füllstoffe auf Filterpapier**

Die UV-Beständigkeit der Füllstoffe sollte ohne Beeinflussung durch die Verfärbung des Holzes überprüft werden. Es wurden zwei rote Füllstoffe (4 und 7), zwei blaue (5 und 8) sowie ein grüner Füllstoff ausgewählt. Dies ermöglichte einen direkten Farbvergleich der roten und blauen Füllstoffe. Der grüne Füllstoff wurde zusätzlich untersucht, weil sein Penetrationsvermögen besonders hoch war (*cf.* 3.1.6). Die Füllstoffe wurden zuerst mit Paraffin B gemischt. Anschließend wurde diese Mischung in flüchtigem Testbenzin gelöst. Bei der späteren UV-Bestrahlung der Mischung auf Filterpapier war das Testbenzin evaporiert. Für die Untersuchung wurde Paraffin B ausgewählt, weil es im Gegensatz zu anderen Paraffinen in diesem Testbenzin löslich ist. Das Gemisch Paraffin : Testbenzin wurde im Verhältnis 1 zu 9 angesetzt. Die Konzentration der Füllstoffe betrug 0,5%, entsprechend der Konzentration, die auch während der Tränkung der Prüfkörper verwendet wurde (*cf.* 2.2.5). Um ein vollständiges Lösen der gefärbten Paraffine im Testbenzin zu gewährleisten, wurde die Mischung im Wasserbad bei ca. 80-85°C für 5 min erwärmt. Vor dem Auftropfen der Mischung auf die Filterpapiere wurden letztere gewogen. Jeweils 500 µl Lösung wurden mittels Eppendorf-Pipette auf die Mitte des Filterpapiers (Durchmesser 70 mm) getropft. Je Füllstoff wurden 12 Parallelen hergestellt. Damit das Filterpapier während der Trocknung über 48 h nur wenig Berührungsflächen aufwies, wurde es auf die Öffnung einer Aluminiumschale mit einem Durchmesser von 63 mm gelegt. Nach dieser Zeit wurden die Filterpapiere erneut gewogen und die Beladung der Filterpapiere bestimmt. Jeweils wurden vier von zwölf Filterpapieren mit einander ähnlichen Beladungen für die Bestrahlung pro Füllstoff ausgewählt. Vor der Bestrahlung der Filterpapiere mit den UV-Lampen wurden die Papiere mittig durchtrennt. Für

die bessere Beurteilung der Farbänderung wurde eine Hälfte der Filterpapiere mit Aluminiumfolie abgedeckt. Die Auswertung der un- und bestrahlten Filterpapierhälften wurde wie unter 2.2.12 beschrieben durchgeführt.

### 2.2.14 Bestimmung des MRI (Moisture induced Risk Index)

Der Moisture induced Risk Index (MRI) wurde in Anlehnung an RAPP et al. (1998) bestimmt. Hierzu wurde die Steigung der Änderung der Holzfeuchte während der Absorptionsphase und der Desorptionsphase jeweils im Punkt 25% Holzfeuchte ermittelt.

#### 2.2.14.1 Absorption

Die Prüfkörper der Dimension 50x15x25 mm<sup>3</sup> wurden frei schwimmend in einer Polyethylenwanne bei 20°C für 7 Tage in Leitungswasser gelagert (Abbildung 10).



Abbildung 10: Frei schwimmend gelagerte Prüfkörper während der Absorptionsphase zur Bestimmung des MRI

Jeweils separate Wannen wurden für die verschiedenen Paraffin-Kombinationen verwendet. Bei der Wasserlagerung wurden nachfolgend beschriebene Intervalle zur gravimetrischen Bestimmung der Wasseraufnahme und daraus folgenden Ermittlung der Holzfeuchte gemäß DIN 52 183 (1977) gewählt.

Um die Steigung im Punkt 25% Holzfeuchte zu ermitteln, wurden vier Messpunkte herangezogen, die zwischen 20% und 30% Holzfeuchte lagen. Als

Vorgabe wurde die erste Messung nach 0,5 h durchgeführt, weitere Messungen fanden mindestens einmal täglich innerhalb der Absorptionsphase von 7 Tagen statt. Die Messzeitpunkte wurden so gewählt, dass zwischen den Holzfeuchten von 20% und 30% vier Messpunkte lagen.

Bei sehr schnell absorbierenden Proben ergab sich die Steigung zwischen 0 h und 0,5 h. Erreichten die Proben auch nach 7 Tagen Absorption eine Holzfeuchte von 25% nicht, so wurden die letzten vier Messpunkte durch lineare Interpolation zur Bestimmung des Absorptionsgefälles herangezogen. Die Steigung der Absorptionskurve ergab sich hierbei aus der Änderung der Holzfeuchte der letzten beiden Messpunkte. Nach 168 h Wasserlagerung wurden die Prüfkörper im Normklima für die Desorptionsphase exponiert.

#### 2.2.14.2 Desorption

Analog zur Berechnung der Absorptionskurve wurde die Desorption gravimetrisch nach definierten Intervallen ermittelt, d. h. es wurde die Steigung im Punkt 25% Holzfeuchte ermittelt. Hierzu wurden vier Messpunkte herangezogen, die zwischen 30% und 20% Holzfeuchte lagen. Als Vorgabe wurde die erste Messung nach 0,5 h durchgeführt, weitere Messungen erfolgten mindestens einmal täglich innerhalb von 7 Tagen. Bei schnell Wasser abgebenden Holzarten wurden die Messzeitpunkte so gewählt, dass zwischen der Holzfeuchte von 30% und 20% vier Messpunkte lagen. Bei sehr schnell desorbierenden Proben ergab sich eine Steigung zwischen 0 h und 0,5 h.

Sofern innerhalb von fünf Tagen 30% Holzfeuchte nicht unterschritten wurde, wurden vier Messpunkte, die zwischen dem 6. und 7. Tag der Desorption im Normklima lagen, für die Ermittlung der Steigung durch lineare Interpolation herangezogen. Wenn die Holzfeuchte zu Beginn der Desorptionsphase unter 25% Holzfeuchte lag, wurden vier Messpunkte zwischen 25% und 20% Holzfeuchte zur Bestimmung des Desorptionsgefälles herangezogen. Der Gradient ergab sich aus der Änderung der Holzfeuchte der ersten beiden Messpunkte.

#### 2.2.14.3 Berechnung des MRI

Der MRI beschreibt anhand der ermittelten Steigung der Absorptions- bzw. der Desorptionskurve das Verhältnis bezüglich der Wasseraufnahme- und Wasserabgabegeschwindigkeit. Je kleiner der MRI der paraffinimprägnierten

Proben ist, um so geringer ist die Gefährdung des Holzes durch einen Pilzbefall infolge zu hoher Holzfeuchte.

Die Berechnung des MRI erfolgte nach RAPP et al. (1998):

Tab. 14: Berechnung des Moisture Induced Risk Index

---

Moisture induced Risk Index	$= \frac{\ln(1 + m_a)}{-m_d}$	$m_a$ = Steigung der Absorptionskurve beim Überschreiten von $u=25\%$ $m_d$ = Gefälle der Desorptionskurve beim Überschreiten von $u=25\%$
-----------------------------	-------------------------------	---

---

### 2.2.15 Holzfeuchteverlauf von Kleinproben im Freiland

Um den Feuchteverlauf zu untersuchen, wurden je Paraffin-/Ölkombination 40 Prüfkörper horizontal im Freiland exponiert (Abbildung 11). Bei 20 Prüfkörpern je Kombination wurde vor der Exposition der MRI (cf. 2.2.14) bestimmt, 20 Prüfkörper wurden keiner weiteren Untersuchung unterzogen. 20 Prüfkörper setzen sich aus je 2 Prüfkörpern pro Füllstoff zusammen. Die Holzfeuchte der Prüfkörper wurde einmal wöchentlich gravimetrisch bestimmt (cf. 2.1.2.4).



Abbildung 11: Aufbau und Exposition der Prüfkörper für die Freibewitterung

## **Entwicklung eines Spartränkverfahrens**

Das angewandte Vollzell-Tränkverfahren ist auf Grund des hohen Materialeinsatzes (ca. 400 kg Wachs je m<sup>3</sup> Holz zuzüglich Farbstoff und Pigment) nicht für einen wirtschaftlichen Betrieb geeignet. Aus diesem Grund wurde ein Sparverfahren zur Einbringung von ca. 100 bis 120 kg Wachs je m<sup>3</sup> Holz entwickelt. Maßgabe war die im Vergleich zum Vollzell-Tränkverfahren gleichmäßige Verteilung und ein daraus resultierender hydrophober Effekt.

### **2.2.16 Erweiterung der bestehenden Labor-Tränkanlage**

Da ein Sparverfahren in Anlehnung an den Rüping-Prozess ohne Erweiterung der bestehenden Labortränkanlage um eine zusätzliche Vordruckstufe nicht möglich war, begannen die Planungen zur Erweiterung der Anlage nach einem Ortstermin am 24.06.2003 mit der Firma Maschinenbau Scholz, Coesfeld.

Dabei wurden die folgenden Merkmale in das Pflichtenheft der Angebotserstellung und Planung aufgenommen:

#### Funktionen:

- Wachs aufschmelzen
- Rüping-Prozess
- Gravitationsfluss-Versuche (senkrecht stehende Prüfkörper werden hinsichtlich Wachsausfluss untersucht)
- Tempern / Härten (Hitzephase nach der Imprägnierung zum „Verbacken“ und Homogenisieren des oberflächlich angelagerten Paraffins)
- Wax-Heat-Treatment (WHT)

#### Elemente:

- Stehender Kessel (D: 450 mm; h: 1100 mm; V: 175 Liter; 25 bar)
- (vollautomatisch-PC-) gesteuerte Mantelheizung (ca. 18 kW)
- Temperatursteuerung nach Zeit / Differenztemperaturen (max. 260°C)
- 5 freie Temperatursensoren im Kessel
- 2 Stück Flanschdeckel mit 4 Blindstopfen
- Stopfbuchse im Flanschdeckel für Rührwerk
- Stopfbuchse im Flanschdeckel für Gitterkorbstab
- Rührer für Umwälzung von Gasen / Flüssigkeiten am drucklosen Deckel

- Vakuummanometer
- 3 Gittereinlegeböden / Niederhalter
- vertikal beweglicher Gitterkorb
- am Kesselboden Absperrhahn mit Verbindung zum Einlass am bestehenden Kessel vorn
- am Kesselboden Absperrhahn mit Ablass nach unten
- am oberen Kesselrand Absperrhahn mit Druckluftzuleitung und Vakuumleitung
- am oberen Kesselrand Absperrhahn mit Abluftleitung
- in der Abluftleitung Abzweigung zur bestehenden Kühlfalle

Alle Leitungen und Anbauteile mit Paraffinkontakt sollten aus Edelstahl und beheizbar sein.

Eine erste Angebotserstellung erfolgte im August 2003 (73.114,80 €), ein kostenreduziertes Angebot wurde im Oktober 2003 (50.866,00 €) vorgestellt. Alternativ wurde nach Kontaktherstellung zur Firma Zirbus Technology, Bad Grund, ein Ortstermin im November 2003 realisiert, ein erstes Angebot zwecks Erweiterung wurde mit Datum 16.01.2004 (17.695,80 €) erstellt.

### **2.2.17 Untersuchung des Einflusses des Vordruckes auf die Wachsaufnahme**

Zur Untersuchung des Einflusses des Vordruckes auf die Paraffinaufnahme wurden Kiefernslintprüfkörper der Dimension 500x50x25 mm<sup>3</sup> nach DIN EN 252 (1989) und Kiefernslintprüfkörper der Dimension 180x85x38 mm<sup>3</sup> nach ENV 12037 (1996) mit ansteigendem 30-minütigem Vordruck von 2,0 bar, 2,5 bar und 3,0 bar bei gleichbleibendem nachfolgendem Prozessdruck von 8 bar für vier Stunden bei 120°C getränkt. Verwendet wurde das Grundparaffin Paraflint C 80. Die Wachsaufnahme wurde entsprechend 2.2.10.1 ermittelt.

### **2.2.18 Untersuchung des Einflusses der Prüfkörperlänge auf die Wachsaufnahme**

Für die Untersuchung des Einflusses der Prüfkörperlänge auf die Wachsaufnahme wurden Kiefernslint-Prüfkörper des Querschnittformates

50x25 mm<sup>2</sup> mit unterschiedlichen Längen in einem Sparprozess getränkt. In Tab. 15 die Prüfkörperdimensionen und Prüfkörperversiegelungen dargestellt.

Tab. 15: Anzahl, Dimension und axiale Versiegelungsart der Prüfkörper für Versuche zur Untersuchung des Einflusses der Prüfkörperlänge auf die Wachsaufnahme

Format	ohne Versiegelung	einseitig versiegelt	beidseitig versiegelt
50x50x25mm <sup>2</sup>	15	15	15
100x50x25mm <sup>2</sup>	15	10	10
200x50x25mm <sup>2</sup>	15	10	10
400x50x25mm <sup>2</sup>	15	5	5

Die Tränkungen wurden als Spartränkung bei einem Vordruck: 3 bar für 30 min, 8 bar Prozessdruck für 4 h, Prozesstemperatur 120°C unter Verwendung von Grundwachs Paraflint C 80 mit einem 5%igen Anteil Terhell 5803 durchgeführt. Die hirnseitigen Versiegelungen wurden mit Sikaflex®-221 ausgeführt. Sikaflex®-221 ist eine standfeste 1-Komponenten-Polyurethan-Dichtmasse, die mit Luftfeuchtigkeit zu einem Elastomer aushärtet. Die Anwendungstemperatur beträgt max. 90°C, für 24 h 120°C und bis zu 2 h 140°C (siehe Anlage 6.2).

### 2.2.19 Untersuchung des Einflusses des Tränkwachses auf die Wachsaufnahme

Zur Untersuchung des Einflusses des Tränkwachses auf die Wachsaufnahme während einer Spartränkung wurden Kiefern-Splint-Prüfkörper der Dimension 400x50x25 mm<sup>3</sup> mit verschiedenen Wachsen getränkt.

Tab. 16: Eingesetzte Wachsblends und ermittelte Erstarrungspunkte (EP) für Versuche zur Untersuchung des Einflusses des Tränkwachses auf die Wachsaufnahme

Wachsblend	angegebener EP	ermittelter EP	angenommen max. Kettenlänge
B F15	-	49 – 64°C	
B F5	-	55 – 65°C	
B	58 – 62°C	60 – 64°C	
C A15	-	69 – 84°C	
C A5	-	72 – 86°C	
C	78 – 82°C	79 – 85°C	
D A15	-	91 – 104°C	
D A5	-	92 – 106°C	
D	105 – 108°C	104 – 108°C	

Die Charakteristik der Wachse wurde so gewählt, dass sie neben einem ansteigendem Erstarrungspunkt eine steigende angenommene Kettenlänge aufwiesen (Tab. 16). Die Annahme der Molekülgrößen basiert auf der Korrelation von steigender Kettenlänge mit ansteigendem Erstarrungspunkt bei Paraffinen. Die Tränktemperatur wurde für jedes Wachs 20°C über dem ermittelten Erstarrungspunkt gewählt.

### **2.2.20 Untersuchung des Einflusses der Spartränkung auf die Wachsverteilung**

Zur Untersuchung des Einflusses der Spartränkung auf die Wachsverteilung wurden Kiefernspint-Prüfkörper der Dimension 400x50x25 mm<sup>3</sup> mit Paraflint C 80 und 2%igem Anteil Bekro Rot 4620-34 mit ansteigendem Vordruck von 2,0 bar, 2,5 bar, 3,0 bar und 3,5 bar für jeweils 30 min getränkt, der Prozessdruck war 8 bar für 2 h bei jeweils 110°C Prozesstemperatur. Damit wurden verschiedene Aufnahmemengen des Tränkwachses erreicht, die Wachsverteilung wurde an den axial aufgetrennten Prüfkörperhälften optisch mittels Lichtmikroskopie und Raster-Elektronenmikroskopie bestimmt.

### **2.2.21 Untersuchung des Einflusses der Spartränkung auf das Ausbluten bei steigender Temperatur**

Für Aussagen über das Ausbluten eines Wachses aus dem Holz in Abhängigkeit von der Temperatur wurden Kiefernspintprüfkörper in einer Spartränkung mit den folgenden Wachsen in der Kesseldruck-Labortränkanlage getränkt:

- Paraflint C 80
- Paraflint C 80 + 5% Terhell 5803
- Paraflint C 80 + 15% Terhell 5803
- Paraflint C 80 + 5% Terhell 3694
- Paraflint C 80 + 10% Terhell 3694
- Paraflint C 80 + 15% Terhell 3694
- Paraflint C 100
- Paraflint C 100 + 5% Terhell 3694
- Paraflint C 100 + 15% Terhell 3694

Anschließend wurden die Prüfkörper sukzessiv bei 70°C, 80°C, 90°C, 100°C und 110°C im Trockenschrank für jeweils 12 h erwärmt. Um das Austropfen des Wachses aus dem Holz bei verschiedenen Temperaturen zu ermitteln, wurden die Prüfkörper mit vier in die Hirnenden eingeschlagenen Nägeln (Länge 30 mm) aufrecht in eine Aluminiumschale gestellt (Abbildung 12).

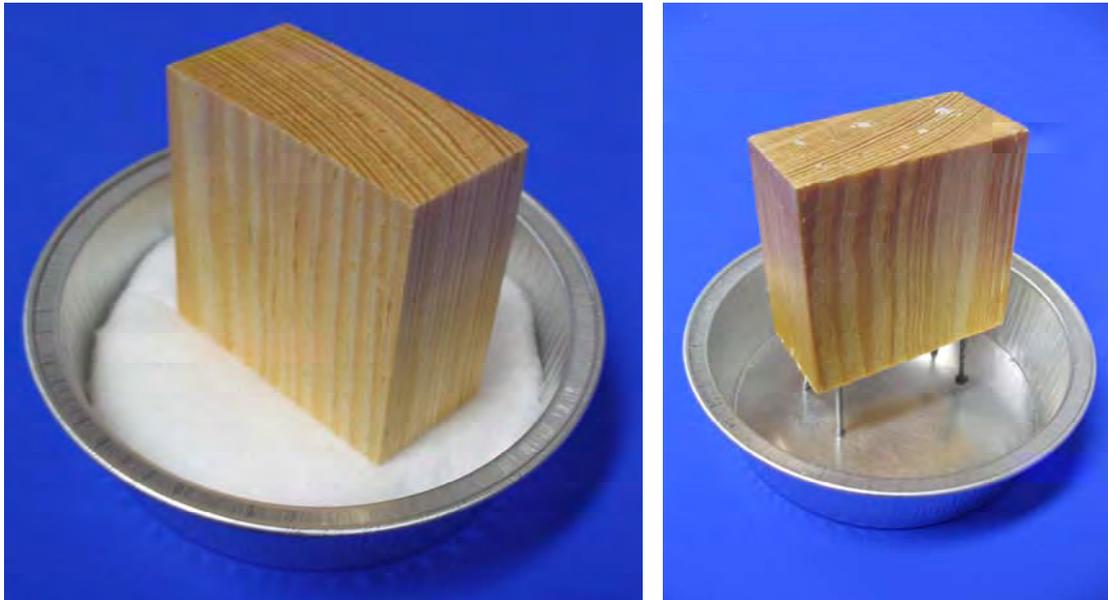


Abbildung 12: Links: Aussaugversuch, kleinformatige Probe (50x25x50 mm<sup>3</sup>) auf Glasfaservlies; rechts: Austropfversuch, kleinformatige Probe (50x25x50 mm<sup>3</sup>) auf vier Nägeln

Um das Aussaugen von Wachs aus dem Holz durch Textilien zu ermitteln, wurden Prüfkörper aufrecht stehend auf ein Glasfaservlies in einer Aluminiumschale platziert (Abbildung 12). Die Proben, die Schälchen und Faservliese wurden vor und nach jeder Temperaturstufe gewogen. Der Wachsverlust bezogen auf die eingebrachte Wachsmenge wie folgt ermittelt:

Tab. 17: Wachsverlust

---


$$\text{Wachsverlust } WV = \frac{\text{Masse}_{\text{ausgetropftes / ausgesaugtes Wachs}}}{\text{Masse}_{\text{eingebrachtes Wachs}}} * 100 \quad [\%]$$


---

Je Tränkverfahren wurden 15 Prüfkörper im Format 500x25x50 mm<sup>3</sup> und 6 Prüfkörper im Format 50x25x50 mm<sup>3</sup> getränkt, wobei für die Austropf- und Aussaugversuche jeweils 5 große Prüfkörper in fünf Prüfkörper (50x25x50 mm<sup>3</sup>) abgelängt wurden, um die Proben hinsichtlich des Austropfens/Ausblutens zu untersuchen. Eine Übersicht gibt Tab. 18.

Tab. 18: Anzahl der eingesetzten Prüfkörper aus Kiefern splint in Tränkungen für die verschiedenen Versuche zum Wachsverlust unter Temperatureinwirkung

Tränkverfahren und Prüfkörperdimension	Austropfen	Aussaugen
Vollzelltränkung (500 x 25 x 50 mm <sup>3</sup> )	10	10
Vollzelltränkung an Großproben* (50 x 25 x 50 mm <sup>3</sup> )	25	25
Vollzelltränkung (50 x 25 x 50 mm <sup>3</sup> )	3	3
Spartränkung (500 x 25 x 50 mm <sup>3</sup> )	10	10
Spartränkung an Großproben* (50 x 25 x 50 mm <sup>3</sup> )	25	25
Spartränkung (50 x 25 x 50 mm <sup>3</sup> )	3	3

\* Die Großproben wurden in voller Länge (500 x 25 x 50 mm<sup>3</sup>) getränkt und nach der Tränkung axial abgelängt (separiert); vom Hirnende (x.1) zur Probenmitte (x.5)

Für die Spartränkung wurden die Proben bei einem Vordruck von 4 bar bei ca. 120°C für 45 min aufgewärmt, nach Überpumpen des ebenfalls auf 120°C aufgewärmten Wachses erfolgte eine Druckphase bei 8 bar für 4 h. Nach der Tränkung wurden die Proben für 45 min im Tränkkessel ohne Wachs mit ca. 15° schräggestellt und getempert. Danach wurde die Oberfläche von überschüssigem Wachs befreit. Die Vollzelltränkung erfolgte ebenfalls bei 120°C. Hierzu wurden die Proben bei einem Vorvakuum von 20 mbar während 45 min aufgewärmt, nach Überpumpen des aufgewärmten Wachses erfolgte eine Druckphase bei 8 bar für 4 h und abschließend nachgetempert. Die Ergebnisse dieser Versuche dienten als Grundlage zur Festlegung geeigneter Wachse und Aufnahmen für weiterführende Versuche.

### **Versuchsphase 3: Herstellung von Muster-Proben in Gebrauchsdimension und Prozessoptimierung**

Nach Optimierung des Spar-Tränkprozesses sollten Großproben in Gebrauchsdimension zur Herstellung von Anschauungsmustern getränkt werden. Da eine erste Tränkung von Musterproben zu einer unbefriedigenden Wachsaufnahme und Durchtränkung im Vergleich zu Fichtenproben aus Vollzelltränkungen führte, wurde die Tränkbarkeit verschiedener Fichtensortimente untersucht.

### 2.2.22 Untersuchung der Tränkbarkeit verschiedener Fichtensortimente

Von der Firma Steinbrügge & Berninghausen GmbH (Bremen) gelieferte Fichte wurde gemeinsam mit Fichtenholz aus Beständen der BFH (nunmehr vTI) in einem Prozess getränkt und in zwei Chargen unterteilt:

- A) dem Mitteldeutschem Holzhandel (im folgenden als „Fichte CZ/A“ mit Herkunft aus der Grenzregion Tschechische Republik/Österreich zusammengefasst) und
- B) einer Holzlieferung aus dem Norddeutschen Holzhandel („Fichte Walsrode“).

Aus der Charge „Fichte Walsrode“ wurden separat reine Fichtenkern-Abschnitte („Fichte Walsrode Kern“) hergestellt und als Referenz mitgetränkt. Kiefernspint-Kontrollen wurden als Referenz mitgeführt. Alle Prüfkörper entsprachen der Dimension 298x68x19 mm<sup>3</sup> und wurden vor der Tränkung bei 103°C für 24 h im Trockenschrank getrocknet.

Als Imprägniermittel wurde das SASOL Wachs Paraflint C80 mit einem 5%igen Anteil Terhell 5803 verwendet. Als Kontrollfarbstoff der Paraffinverteilung wurde der rote Farbstoff Bekro B 4620-34 in 5%iger Konzentration eingesetzt.

Die Tränkung erfolgte als Vakuum-Druck-Tränkung zur Bestimmung der maximalen Tränkmittelaufnahme. Die Prozessparameter waren die folgenden:

- Temperatur des Imprägniermittels: 120°C
- Kesseltemperatur: 140°C
- Aufwärmphase des Holzes nach Einbringen des Wachses: 45 min
- Vakuumphase bei 20 mbar absolut: 45 min
- Druckphase bei 8bar absolut: 240 min

#### 2.2.22.1 Einfluss einer Hitzebehandlung auf die Tränkbarkeit

Zur Untersuchung des Einflusses einer Hitzebehandlung auf die Tränkbarkeit von Fichtenholz wurden Fichtenprüfkörper vor der Paraffinimprägnierung thermisch modifiziert. Diese Prüfkörper entstammten den in Abschnitt 2.2.22 beschriebenen Sortimenten. Sie wurden in Alufolie eingewickelt und einer Luft-Hitze-Behandlung bei 220°C für 240 min unterzogen. Der Masseverlust durch die Hitzebehandlung wurde nach folgender Gleichung berechnet.

Tab. 19: Masseverlust ( $m_v$ ) durch Hitzebehandlung

---


$$\text{Masseverlust } m_v = \frac{\text{Masse}_{\text{vorher}} - \text{Masse}_{\text{nachher}}}{\text{Masse}_{\text{vorher}}} * 100 \quad [\%]$$


---

Die Prüfkörper entsprachen der Dimension 298x68x19 mm<sup>3</sup> und wurden zusammen mit den Prüfkörpern aus 2.2.22 in einem gemeinsamen Prozess getränkt.

### 2.2.22.2 Optische Bewertung der Wachsaufnahme und -verteilung

Für die optische Bewertung des Tränkergebnisses wurden die getränkten Prüfkörper nach folgendem Schema aufgetrennt (Abbildung 13):

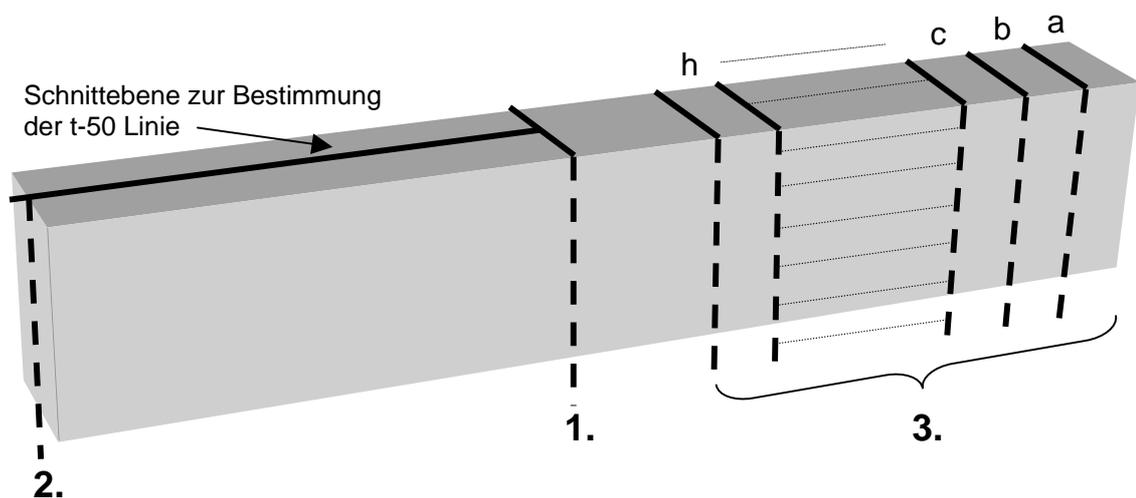


Abbildung 13: Zuschnittschema eines Prüfkörpers für die optische Bewertung der Durchfärbung; 1: erster Längen-Trennschnitt zur Halbierung der axial 300 mm langen Prüfkörper; 2: Längsschnitt zum hälftigen Auftrennen eines 150 mm langen und 19 mm breiten Prüfkörperabschnittes zur Bestimmung der t-50 Linie in axialer Richtung; 3: Abtrennen von 8 axial 10 mm langen Abschnitten des Prüfkörpers (a, b, c, ... h) zur Betrachtung der Eindringung in axialer Länge

Die Bewertung des Tränkergebnisses erfolgte anhand der Bestimmung der t-50 Linie sowie optischer Bestimmung der Homogenität der Durchfärbung.

### 2.2.23 Bestimmung des Anteils schwer tränkbarer Fichtensortimente am Gesamtbestand der S & B GmbH

Für die Erstellung einer repräsentativen Stichprobe wurden verschiedene Fichtensortimente aus Lagerbeständen der Steinbrügge & Berninghausen

GmbH hinsichtlich Ihrer Tränkbarkeit untersucht. Damit sollte der Anteil gut tränkbarer Sortimente am Gesamtbestand ermittelt werden. Folgende Fichten-Sortimente verschiedener Produktionsstandorte wurden untersucht (Tab. 20).

Tab. 20: Eingesetzte Fichtenholzsortimente für Untersuchungen des Anteiles schwer tränkbarer Fichtenholzsortimente

Material	Lieferant	Lieferform	Prüfkörperformat
Fichte Schweden	S & B Bremen	2000x136x26 mm <sup>3</sup>	400x86x15 mm <sup>3</sup>
Fichte Baltikum	S & B Bremen	2000x136x26 mm <sup>3</sup>	400x86x15 mm <sup>3</sup>
Fichte Russland	S & B Bremen	1000x92x19 mm <sup>3</sup>	400x86x15 mm <sup>3</sup>
Fichte 1	Karibu Bernau	1000x94x18 mm <sup>3</sup>	400x86x15 mm <sup>3</sup>
Fichte 2	Karibu Bernau	1000x94x18 mm <sup>3</sup>	400x86x15 mm <sup>3</sup>
Fichte 3	Karibu Bernau	1000x94x18 mm <sup>3</sup>	400x86x15 mm <sup>3</sup>
Fichte 4	Karibu Bernau	1000x94x18 mm <sup>3</sup>	400x86x15 mm <sup>3</sup>
Fichte 5	Karibu Bernau	1000x94x18 mm <sup>3</sup>	400x86x15 mm <sup>3</sup>
Fichte S & B	Karibu Bernau	1200x94x19 mm <sup>3</sup>	300x65x19 mm <sup>3</sup>
Fichte CZ / A	BFH - Bestand	4000x210x48 mm <sup>3</sup>	300x65x19 mm <sup>3</sup>
Fichte Walsrode	BFH – Sägewerk Walsrode	5000x450x65 mm <sup>3</sup>	300x65x19 mm <sup>3</sup>
Fichte Kern	BFH – Sägewerk Walsrode	5000x450x65 mm <sup>3</sup>	300x65x19 mm <sup>3</sup>

Zusätzlich wurden als Referenzen Prüfkörper aus Kiefernspiltholz, Buchenholz, astigem Buchenholz, Eichenholz und astigem Eichenholz aus internen Beständen verwendet.

Die Paraffin-Tränkung wurde als Vollzelltränkung (Aufwärmphase 45 min, Vakuum 45 Minuten, Druckphase bei 8 bar für 240 min) unter Verwendung des Grundparaffins Paraflint C80 mit 5%igem Anteil von Terhell 5803 bei 120°C ausgeführt. Für die optische Begutachtung der Wachsverteilung wurde der Farbstoff Bekro-Rot in 2%iger Konzentration zugegeben.

Axial zugeordnete Prüfkörper wurden für Vergleichstränkungen mit Wasser verwendet, um ggf. Unterschiede in der Tränkbarkeit festzustellen.

## 2.2.24 Entwicklung einer Schnelltest-Methode zur Einschätzung der Tränkbarkeit von Fichtenholz

Da sich aus der ermittelten Dichte, der Jahrringbreite sowie der Verteilung von Kern- und Splintholz der Fichtenprüfkörper aus den Versuchen zur Tränkbarkeit von Fichtenholz mit Wachs (2.2.23) keine Korrelation mit der erreichten

Wachsaufnahme ableiten ließ, wurde eine Kenngröße zur Einschätzung der Tränkbarkeit einer Fichtenholzcharge als Auswahlkriterium für die Trängung gesucht. Hierzu wurden die Fichtenprüfkörper Fichte 4, Fichte Walsrode, Fichte Kern und Fichte S & B aus 2.2.22 und 2.2.23 verwendet. Zunächst wurde die Permeabilität der jeweiligen Prüfkörper mittels Auftropfen einer Weiserflüssigkeit charakterisiert. Die Zeit für das Wegschlagen der Weiserflüssigkeit wurde für eine Korrelation mit den tatsächlich erreichten Wachsaufnahmen verwendet. Folgende Flüssigkeiten wurden mittels einer Eppendorf-Pipette auf das Fichtenholz aufgetropft:

- Aceton zur Synthese, Carl Roth GmbH & Co. KG, Karlsruhe; CAS 67-64-1; Durchschnittsmasse eines Tropfens: 0,011 g
- Isopropanol zur Analyse, Merck KGaA, Darmstadt; K24879734 810; Durchschnittsmasse eines Tropfens: 0,013 g
- n-Heptan  $\geq 95\%$ , zur Synthese, Carl Roth GmbH & Co. KG, Karlsruhe; CAS 142-82-5; Durchschnittsmasse eines Tropfens: 0,011 g
- Glycerin Rothipuran,  $\geq 99,5\%$ , p.a., wasserfrei, Carl Roth GmbH & Co. KG, CAS 56-81-5; Durchschnittsmasse eines Tropfens: 0,014 g
- Silikonöl S/350, Robert Timm GmbH Chemische Fabrik, Hamburg; Durchschnittsmasse eines Tropfens: 0,014 g
- Weißöl Pharmawhite W15, Finke Mineralölwerk, Bremen; Durchschnittsmasse eines Tropfens: 0,014 g

Daneben wurde Buchen- und Kiefernholz aus 2.2.23 als Referenz getestet. Je Material wurden an 5 Prüfkörpern das Wegschlagen für alle 3 Schnittrichtungen an jeweils 5 Auftropfpunkten untersucht. Für die Zeitmessung wurde eine analoge Stoppuhr der Firma hanhart® (Pinlever 7 Jewels, 122.0101-00) mit einer Genauigkeit von 1/5 Sekunden verwendet.

### **2.3 Grundlagen zur Einschätzung der Wirtschaftlichkeit und Produktsicherheit**

Für eine erste Abschätzung der Wirtschaftlichkeit des Verfahrens sind die Kosten des Imprägniermittels als auch das Tränggut zu betrachten.

### 2.3.1 Kosten des Imprägniermittels

Die Kosten bezüglich eines Imprägniermittels setzen sich aus den Grundkosten (= Preis je Volumeneinheit) und dem Imprägniermittelverbrauch durch Ersatz von nicht wiederverwendbarem Imprägniermittel zusammen (= Preis durch Wechsel des Imprägniermittels nach  $n = x$  Zyklen).

#### 2.3.1.1 Minimal erforderliche Paraffin/ Farbmittelaufnahmemenge

Zur Bestimmung der notwendigen Paraffinaufnahme für eine ausreichende Hydrophobierung und für die Bestimmung der für eine dauerhafte Kolorierung ausreichenden Pigmentkonzentration wurden folgende Behandlungsparameter in Freilandversuchen untersucht (Tab. 21).

Tab. 21: Anzahl und Behandlungsparameter der Prüfkörper aus Kiefernspint, Fichte, und Buche für Freilandversuche zur Bestimmung der minimalen Aufnahmemenge von Paraffin und Pigment

Farbmittelkonzentration (Pigment/Farbstoff)	Paraffinaufnahme		
	0 kg/m <sup>3</sup>	60-90 kg/m <sup>3</sup>	110 -150 kg/m <sup>3</sup>
0 % / 0 %	10	10	10
0,5 % / 2 %	-	10	10
1 % / 4 %	-	10	10

Die untere Aufnahme wurde im einem Bereich von 60 – 90 kg/m<sup>3</sup> gewählt, da bei dieser Aufnahme immer noch eine homogene Durchfärbung der Prüfkörper erzielt wurde. Die Einbringmenge von 110 – 150 kg/m<sup>3</sup> stellt die aus wirtschaftlichen Gründen höchste noch realisierbare Aufnahmemenge dar. Die verschiedenen Aufnahmemengen nach Spartränkung wurden mittels Variation des Vordruckes erreicht (2 bar Vordruck für hohe Aufnahmen und 4 bar Vordruck für niedrige Aufnahmen). Die Tränkungen wurden wie in 2.2.10 beschrieben in Bechergläsern (auf beheizten Magnetrührern ausgeführt. Es wurde Paraflint C80 mit 5%igen Anteil von Terhell 5803 verwendet. Zur Anfärbung wurde der rote Farbstoff Bekro 4620-34 und das rote Bekro-Pigment 401 eingesetzt. Die Durchfärbung wurde an aufgetrennten Prüfkörpern optisch bestimmt.

Die liegend exponierten Prüfkörper mit dem Format 100x68x20 mm<sup>3</sup> wurden in Anlehnung an DIN EN 927 (1996) in einem Winkel von 45° über einen Zeitraum von 6 Monaten bewittert (Abbildung 14).

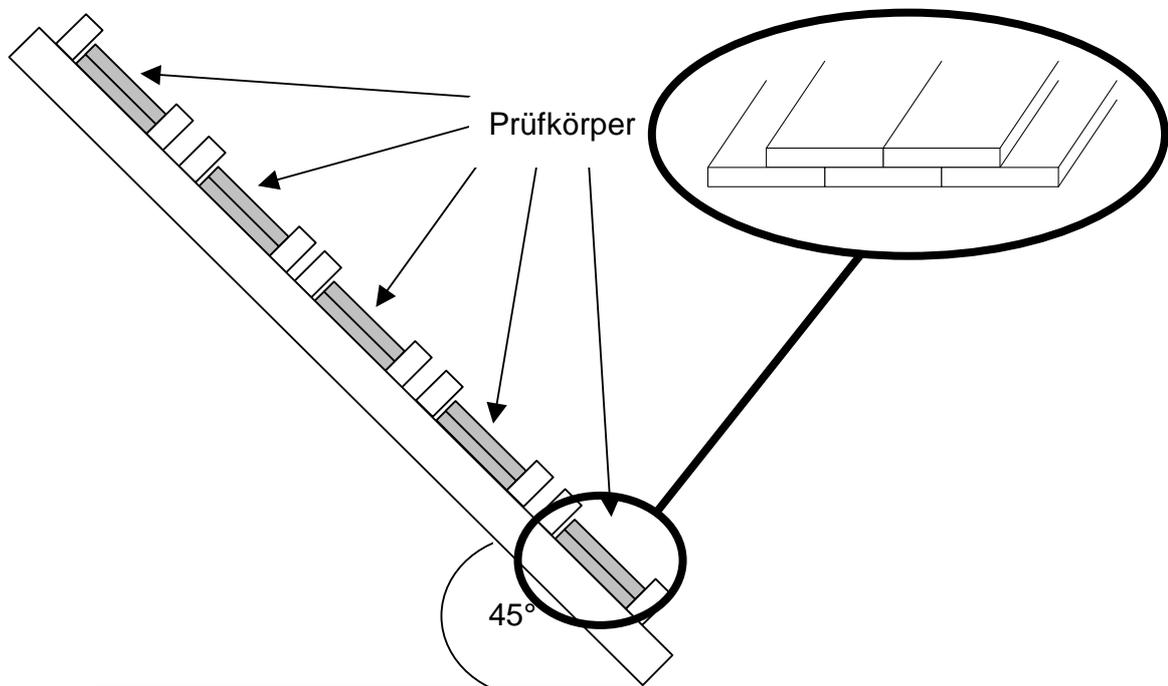


Abbildung 14: Schematische Darstellung des um eine Prüfkörperhälfte seitlich versetzten Aufbaus der Doppellagenversuchsanordnung in 45° Neigung

Sowohl die gravimetrische Bestimmung der Holzfeuchte als auch die optische Bewertung der Proben hinsichtlich der notwendigen Pigmentkonzentration für eine dauerhafte Kolorierung erfolgte 14-tägig. Die Farbveränderung wurde mittels Minolta Chromameter CR-200 im CIE L\*a\*b\* Farbraum bestimmt.

Der CIE L\*a\*b\* Farbraum stellt eine Farbe durch Beschreibung der hell-dunkel Komponente L\*, der blau-gelb Komponente b\* und der grün-rot Komponente a\* dar (Abbildung 15).

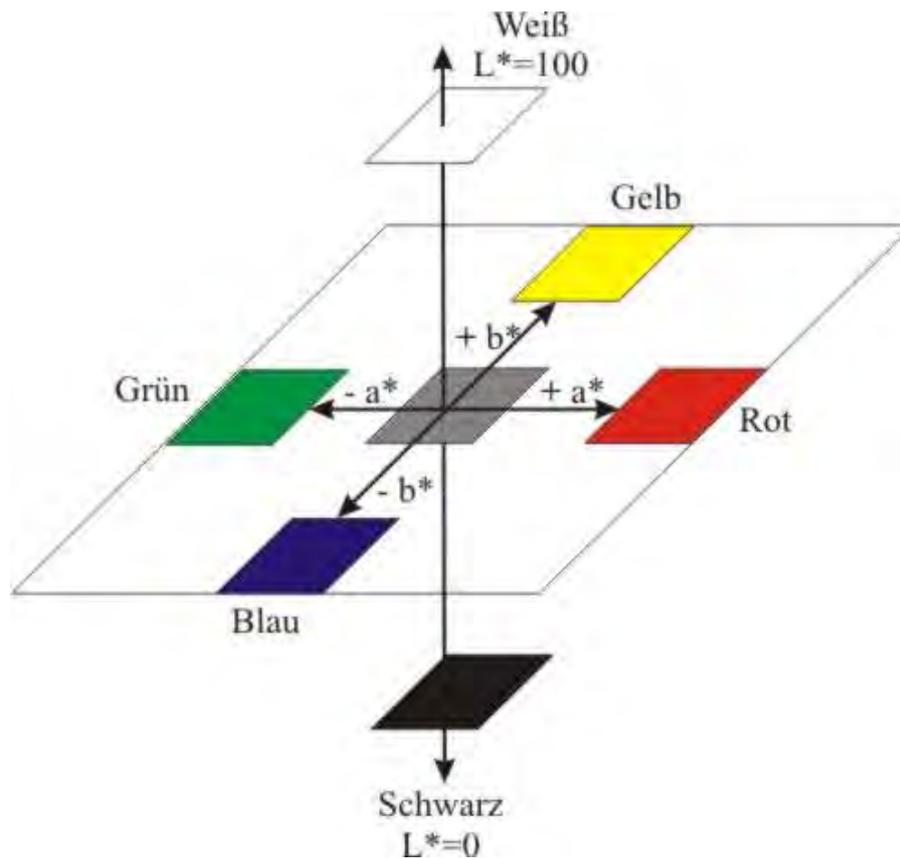


Abbildung 15: Schematische Darstellung des CIE-Lab-Farbsystems. Das CIE-Lab-Farbsystem basiert auf den so genannten psychologischen Grundfarben Rot, Grün, Blau und Gelb, aus denen sich das psychometrische Farbdigramm konstruieren lässt.

### 2.3.1.2 Bestimmung der Tränkzyklenstabilität

Zur Bestimmung der Tränkzyklenstabilität wurden in einer ersten Serie 22 Paraffintränkungen ohne Wechsel oder Auffüllung des Paraffinbades ausgeführt (Tab. 22).

Für die Tränkungen 1 bis 22 wurden jeweils neue Holzprüfkörper verwendet. Nach jedem abgeschlossenen Zyklus wurden 100 ml Paraffin für weitergehende Untersuchungen bei SASOL entnommen.

Tab. 22: Tränkungen zur Bestimmung der chemischen Stabilität des Wachses

Datum	Beschreibung	Probennummer
01.06.06	C 80 Wachs mit 5%iger Beigabe Terhell 5803 aufgeschmolzen	0
01.06. - 05.06.06	Wachsschmelze 4 mal aufgeheizt (120°C) und abgekühlt, Probe nach 4. Aufheizen genommen	1
06.06.06	Fichtenholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum)	2
06.06.06	Fichtenholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum); nach Tränkung wurde das Wachs bei 85°C bis zum nächsten Zyklus gelagert	3
07.06.06	Fichtenholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum)	4
07.06.06	Fichtenholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum); nach Tränkung wurde das Wachs bei 85°C bis zum nächsten Zyklus gelagert	5
08.06.06	Kiefernholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum)	6
08.06.06	Kiefernholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum); nach Tränkung wurde das Wachs bei 85°C bis zum nächsten Zyklus gelagert	7
09.06.06	Kiefernholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum)	8
09.06.06	Kiefernholz- und Fichtenholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum); nach Tränkung wurde das Wachs bei 20°C gelagert bis zur nächsten Tränkung	9
12.06.06	Fichten- und Kiefernholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum)	10
12.06.06	Fichten- und Kiefernholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum); nach Tränkung wurde das Wachs bei 85°C bis zum nächsten Zyklus gelagert	11
13.06.06	Fichten- und Kiefernholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum)	12
13.06.06	Fichten- und Kiefernholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum); nach Tränkung wurde das Wachs bei 85°C bis zum nächsten Zyklus gelagert	13
15.06.06	Fichten- und Kiefernholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum)	14
15.06.06	Fichten- und Kiefernholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum); nach Tränkung wurde das Wachs bei 85°C bis zum nächsten Zyklus gelagert	15
16.06.06	Fichten- und Kiefernholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum); nach Tränkung wurde das Wachs bei 20°C bis zum nächsten Zyklus gelagert	16
27.06.06	Fichten- und Kiefernholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum); nach Tränkung wurde das Wachs bei 85°C bis zum nächsten Zyklus gelagert	17
27.06.06	Fichten- und Kiefernholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum); nach Tränkung wurde das Wachs bei 85°C bis zum nächsten Zyklus gelagert	18
28.06.06	Fichten- und Kiefernholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum); nach Tränkung wurde das Wachs bei 85°C bis zum nächsten Zyklus gelagert	19
28.06.06	Fichten- und Kiefernholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum); nach Tränkung wurde das Wachs bei 85°C bis zum nächsten Zyklus gelagert	20
28.06.06	Fichten- und Kiefernholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum)	21
28.06.06	Fichten- und Kiefernholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum)	22

In einer zweiten Versuchsphase wurde der Einfluss der beiden Holzarten Kiefer und Fichte auf die Tränkzyklenstabilität untersucht. Hierzu wurden je Holzart 7 Tränkzyklen durchgeführt (Tab. 23).

Tab. 23: Tränkungen zur Bestimmung des Einflusses von Kiefern- und Fichtenholz auf die chemische Stabilität der Tränklösung

Datum	Beschreibung	Probennummer
23.08.06	C 80 Wachs mit 5%iger Beigabe Terhell 5803 aufgeschmolzen	0
24.08.06	Holztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum); nach Tränkung wurde das Wachs bei 85°C bis zum nächsten Zyklus gelagert	1
25.08.06	Holztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum); nach Tränkung wurde das Wachs bei 85°C bis zum nächsten Zyklus gelagert	2
30.08.06	Holztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum); nach Tränkung wurde das Wachs bei 85°C bis zum nächsten Zyklus gelagert	3
31.08.06	Holztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum); nach Tränkung wurde das Wachs bei 85°C bis zum nächsten Zyklus gelagert	4
01.09.06	Holztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum); nach Tränkung wurde das Wachs bei 85°C bis zum nächsten Zyklus gelagert	5
04.09.06	Holztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum); nach Tränkung wurde das Wachs bei 85°C bis zum nächsten Zyklus gelagert	6
05.09.06	Holztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum); nach Tränkung wurde das Wachs bei 85°C bis zum nächsten Zyklus gelagert	7

Nach jedem abgeschlossenem Tränkzyklus wurden 50 ml Wachs für weitere Untersuchungen bei SASOL entnommen.

Die Möglichkeit einer Überdeckung von eventuell auftretenden Wachsverfärbungen mittels in das Wachs eingebrachter Farbstoffe wurde ebenfalls untersucht.

Tab. 24: Tränkungen zur Bestimmung des Einflusses von Farbstoffen auf die chemische Stabilität der Tränklösung bei Imprägnierung von Kiefernholz

Datum	Beschreibung	Probennummer
12.10.06	C 80 Wachs mit 5%iger Beigabe Terhell 5803 aufgeschmolzen. 2% Zusatz von Bekro 4620-34 Rot zur Wachsschmelze	WF 0
13.10.06	Holztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum); nach Tränkung wurde das Wachs bei 105°C mit eingesetzten Holzprüfkörpern bis zum nächsten Zyklus gelagert	WF 1
16.10.06	Holztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum); nach Tränkung wurde das Wachs bei 85°C bis zum nächsten Zyklus gelagert	WF 2
17.10.06	Holztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum); nach Tränkung wurde das Wachs bei 85°C bis zum nächsten Zyklus gelagert	WF 3
18.10.06	Holztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum); nach Tränkung wurde das Wachs bei 85°C bis zum nächsten Zyklus gelagert	WF 4
19.10.06	Holztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum); nach Tränkung wurde das Wachs bei 85°C bis zum nächsten Zyklus gelagert	WF 5
20.10.06	Holztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum); nach Tränkung wurde das Wachs bei 105°C mit eingesetzten Holzprüfkörpern bis zum nächsten Zyklus gelagert	WF 6
23.10.06	Holztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum)	WF 7

Hierzu wurden 7 Tränk-Zyklen mit einer Imprägniermittelmischung bestehend aus 95% Paraflint C80 und 5% Terhell 5803 + 2% Zugabe des Farbstoffes Bekro 4620-34 Rot ohne Wachswechsel mit Kiefernprüfkörpern ausgeführt (Tab. 24). Nach jedem Zyklus wurden die Kiefernprüfkörper ersetzt und eine Probe des gebrauchten Waxes für Untersuchungen bei SASOL sichergestellt.

Die farbliche Veränderung des ungefärbten und gefärbten Tränkwaxes aus Versuchen mit 22 und 7 Zyklen wurde durch Farbwertbestimmung mittels Minolta Chromameter CR-200 ausgewertet.

#### 2.3.1.2.1 Chemische Stabilität der Tränkwachse und Farbstoffe

Ergänzend wurde die chemische Stabilität des Tränkwaxes aus Versuchen (2.3.1.2) mittels TD-GC-MS (JÜNGEL und MELCHER 2001) untersucht.

Weiterhin wurden SASOL Wax Proben des Farbstoffes Bekro 4620-34 rot und des Pigments Bekro 401 rot für Untersuchungen zum Sedimentationsverhalten und der Farbänderung zur Verfügung gestellt.

### 2.3.2 Kosten des Trängutes

Für die Einschätzung der Kosten des Trängutes ist ein gewisser Ausschuss infolge einer Paraffin-Minderaufnahme zu berücksichtigen. Hierzu wurde an 300 Fichtenbrettern einer Holzlieferung der Steinbrücke & Berninghausen GmbH der beschriebene Schnelltest (2.2.24) mit Isopropanol angewandt. Hiervon wurden 100 Fichtenbretter mit der höchsten Permeabilität auf eine Länge von 100 cm gekürzt, beidseitig axial mit SikaFlex-221 abgedichtet und mit Paraflint C 80 + 5%igen Anteil Terhell 5803 getränkt. Aus der Häufigkeitsverteilung der Einzelaufnahmen wurde der prozentuale Ausschuss bei industrieller Trängung abgeleitet.

### 3 ERGEBNISSE

#### 3.1 Paraffin- und Farbauswahl

##### 3.1.1 Absetzverhalten der Pigmente

Das Absetzverhalten der Füllstoffe in den Paraffinen und Paraffin-/Ölkombinationen war sehr unterschiedlich, allerdings blieb kein Füllstoff über 24 h in der Schwebelage. Eine Quantifizierung der abgesetzten Füllstoffmenge war somit nicht möglich. Auf Grund dieses Ergebnisses wurden die Tränkbedingungen für den Hauptversuch entwickelt (cf. 2.2.10) und keine der Kombinationen von den weiteren Versuchen ausgeschlossen.

In Tab. 25 bis Tab. 28 sind die Bewertungen des Absetzverhaltens der Füllstoffe in den reinen Paraffinen und im Weißöl nach dem in 2.2.7 beschriebenen Schema dargestellt.

Tab. 25: Klassifizierung des Absetzverhaltens der Füllstoffe im Paraffin A (Terhell 3496);  
0 = nicht abgesetzt, 1 = abgesetzt aber durchfärbt, 2 = abgesetzt und nicht durchfärbt

Paraffin	Füllstoff	Optische Bewertung		
		0,5h	3h	24h
A	1	1-2	2	2
A	2	0	1	2
A	3	0	0	0
A	4	0	1	1
A	5	0	1	1
A	6	0	1	1
A	7	0	1	1
A	8	0	0	0
A	9	0	1	1
A	10	0	0	0

Tab. 26: Klassifizierung des Absetzverhaltens der Füllstoffe im Paraffin B (Terhell 5803);  
 0 = nicht abgesetzt, 1 = abgesetzt aber durchfärbt, 2 = abgesetzt und nicht durchfärbt

Paraffin	Füllstoff	Optische Bewertung		
		0,5h	3h	24h
B	1	1	2	2
B	2	0	0	0
B	3	1	1	1
B	4	1	1	1
B	5	1	1	1
B	6	0	0	0
B	7	0	0	1
B	8	0	0	0
B	9	0	0	1
B	10	0	0	0

Tab. 27: Klassifizierung des Absetzverhaltens der Füllstoffe im Paraffin C (Parafllint C80);  
 0 = nicht abgesetzt, 1 = abgesetzt aber durchfärbt, 2 = abgesetzt und nicht durchfärbt

Paraffin	Füllstoff	Optische Bewertung		
		0,5h	3h	24h
C	1	2	2	2
C	2	0	0	0
C	3	0	0-1	0-1
C	4	0	0	1
C	5	0	1	2
C	6	0-1	0-1	0-1
C	7	0-1	0-1	0-1
C	8	0	0	0
C	9	0-1	0-1	0-1
C	10	0	0	0

Tab. 28: Klassifizierung des Absetzverhaltens der Füllstoffe im Paraffin D (Parafint C105);  
0 = nicht abgesetzt, 1 = abgesetzt aber durchfärbt, 2 = abgesetzt und nicht durchfärbt

Paraffin	Füllstoff	Optische Bewertung		
		0,5h	3h	24h
D	1	0	0	1-2
D	2	0	0	0
D	3	0	1	2
D	4	0	1	2
D	5	0	1	2
D	6	0	0	1
D	7	0	0	1
D	8	0	0	1
D	9	0	0	1
D	10	0	0	0

### 3.1.2 Auftrennung von Wachs- und Farbstofffront

Eine 2-stündige Migration der aufgetragenen Substanzen auf Filterpapier ergab deutliche Unterschiede in der Auftrennung von Farbstoff/Pigment und Wachs. Bis auf ein Pigment (Pigment 4, Licosperse Rot) und den geprüften Farbstoff (Nr. 10, Bekro Rot) wanderten alle anderen Pigmente deutlich hinter der Wachsfront her. Die Trennungsquotienten der 220 untersuchten Wachs-Pigment-Farbstoffpaare sind in Tab. 29 dargestellt, der jeweils niedrigste Trennungsquotient je Wachskombination ist fett hervorgehoben.

Tab. 29: Trennungsquotient  $T_q$  der untersuchte Kombinationen aus den verschiedenen Paraffinen (**A** Terhell 3496; **B** Terhell 5308; **C** Paraflint C80; **D** Paraflint C105), Weißöl (**E** Pharmawhite W15) und PE-Additiv (**F** PE Additiv) mit den Pigmenten 1 bis 9 wie auch dem Farbstoff 10 (Tab. 6).

Paraffin	zugewetztes Additiv (0,5% Pigment (1-9) bzw. 0,5% Farbstoff (10))									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	4,20	4,56	4,46	<b>1,20</b>	4,75	4,24	3,67	3,98	3,91	1,02
B	4,06	4,54	4,05	5,89	5,13	4,93	5,15	4,21	<b>3,70</b>	1,01
C	5,49	4,75	4,74		5,13		5,03	<b>3,49</b>	4,67	1,02
D	4,13	4,32	4,21	<b>1,32</b>	4,29	4,33	3,44	4,16	2,15	1,02
E	3,77	3,54	3,40	<b>2,18</b>	3,24	3,41	3,39	3,51	<b>2,12</b>	1,03
BF1	5,24	4,67	5,50	5,01	<b>4,11</b>	5,52	5,52	5,88	5,72	1,01
BF5	4,66	4,72	3,83	5,57	3,96	5,18	3,74	4,18	<b>1,56</b>	1,01
BF30	3,50	3,44	3,53	<b>1,19</b>	3,43	3,37	3,54	3,49	1,45	1,01
CA5	5,40	6,42	6,10	<b>1,72</b>	5,54	5,41	4,30	5,36	2,24	1,02
CA30	5,94	6,13	5,71	<b>1,84</b>	5,50	5,61	4,37	5,24	2,39	1,02
CE5	5,58	6,02	5,57	<b>1,82</b>	5,13	5,23	4,52	5,31	2,46	1,04
CE30	6,28	6,06	5,97	<b>1,75</b>	4,86	5,26	4,32	5,49	2,14	1,02
DA5	6,26	6,33	6,51	<b>1,33</b>	4,24	3,97	7,42	4,63	2,24	1,01
DA30	4,49	4,93	4,39	4,49	4,58	4,86	<b>4,12</b>	4,59	4,60	1,02
DE5	4,10	4,33	4,06	<b>1,39</b>	4,09	4,36	3,56	4,07	2,26	1,02
DE30	4,32	4,67	4,07	<b>1,45</b>	4,25	4,16	3,60	4,19	2,11	1,01

Für die weiteren Versuche zur UV-Bestrahlung im Freiland wie auch im Labor wurden alle getesteten Pigmente eingesetzt, da die reine Charakterisierung nach Trennungsquotient nicht ausreichend für eine Vorauswahl erschien. Vielmehr muss der Trennungsquotient im Zusammenhang mit dem spezifischen Ausbreitungsvolumen, der Witterungsbeständigkeit wie auch dem MRI zur Auswahl des geeigneten Paraffin-Pigment-Systems gesehen werden.

### 3.1.3 Spezifische Volumenausbreitung in Papier

Die untersuchten Wachse unterscheiden sich in ihrem Vermögen sich auszubreiten, d.h. größere oder kleinere Volumina Papier bei gegebener Wachseinsatzmenge zu imprägnieren, teilweise deutlich (Tab. 30).

Tab. 30: Spezifische Volumenausbreitung in cm<sup>3</sup>/g der untersuchten Kombinationen aus den verschiedenen Paraffinen (**A** Terhell 3496; **B** Terhell 5308; **C** Paraflint C80; **D** Paraflint C105), dem Weißöl (**E** Pharmawhite W15) und dem PE-Additiv (**F** PE Additiv) und Kombinationen mit den Farbmitteln 1 bis 10 (Tab. 6).

Paraffin	zugesetztes Additiv (0,5% Pigment 1-9)									
	ohne	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	18,8	1,1	1,0	0,9	<b>13,5</b>	0,8	1,2	1,2	1,2	<b>1,2</b>
B	18,1	1,1	1,0	<b>1,2</b>	0,4	0,6	0,8	0,8	1,0	<b>1,3</b>
C	12,4	0,5	<b>0,7</b>	0,5		0,5		0,4	<b>1,0</b>	0,5
D	11,0	0,7	0,6	0,6	<b>6,5</b>	0,6	0,6	0,9	0,6	<b>2,4</b>
E	14,6	1,0	1,1	1,4	<b>3,0</b>	1,3	1,2	1,3	1,1	<b>3,3</b>
BF1	17,3	0,5	<b>0,9</b>	0,6	<b>0,8</b>	1,1	0,5	0,5	0,5	0,5
BF5	15,7	0,8	0,7	<b>1,2</b>	0,6	0,8	0,6	<b>1,1</b>	0,6	6,0
BF30	9,1	0,7	0,8	0,7	<b>6,7</b>	0,8	0,8	0,7	0,7	<b>4,3</b>
CA5	15,5	0,5	0,4	0,4	<b>5,3</b>	0,5	0,5	0,8	0,5	<b>3,1</b>
CA30	16,6	0,5	0,5	0,5	<b>5,0</b>	0,6	0,5	0,8	0,6	<b>2,9</b>
CE5	16,1	0,5	0,5	0,5	<b>4,9</b>	0,7	0,6	0,8	0,5	<b>2,6</b>
CE30	15,5	0,4	0,4	0,5	<b>5,2</b>	0,7	0,5	0,8	0,5	<b>3,5</b>
DA5	10,9	0,3	0,3	0,3	<b>6,2</b>	0,6	0,7	0,2	0,5	<b>2,2</b>
DA30	12,4	0,6	0,5	<b>0,7</b>	0,6	0,6	0,5	<b>0,7</b>	0,6	0,6
DE5	11,2	0,7	0,6	0,7	<b>5,7</b>	0,7	0,6	0,9	0,7	<b>2,2</b>
DE30	10,8	0,6	0,5	0,6	<b>5,2</b>	0,6	0,6	0,9	0,6	<b>2,3</b>

Von den untersuchten Pigmenten zeigen das Pigment 4 und 9 in allen geprüften Kombinationen die größte spezifische Volumenausbreitung.

### 3.1.4 Kesseldrucktränkung des Holzes

Die Durchführung der Kesseldrucktränkung mit verschiedenen Paraffinkombinationen erwies sich mittels der eingesetzten Magnetrüher mit beheizbaren Platten als unproblematisch. Die vorgesehenen Tränktemperaturen aller Kombinationen wurden erreicht, ein vorzeitiges Absetzen der Pigmente während des Tränkprozesses wurde verhindert. Alle Kiefernprüfkörper wurden durch die Imprägnierung mit Paraffin-/Ölkombinationen vollständig durchtränkt.

### 3.1.5 Paraffinwachsaufnahme in Holz

Die Aufnahmemengen betragen im Mittel zwischen 393 und 448 kg/m<sup>3</sup>. Die Beladung im Holz der verschiedenen Paraffinkombinationen ohne Farbzusatz ist in Abbildung 16 dargestellt.

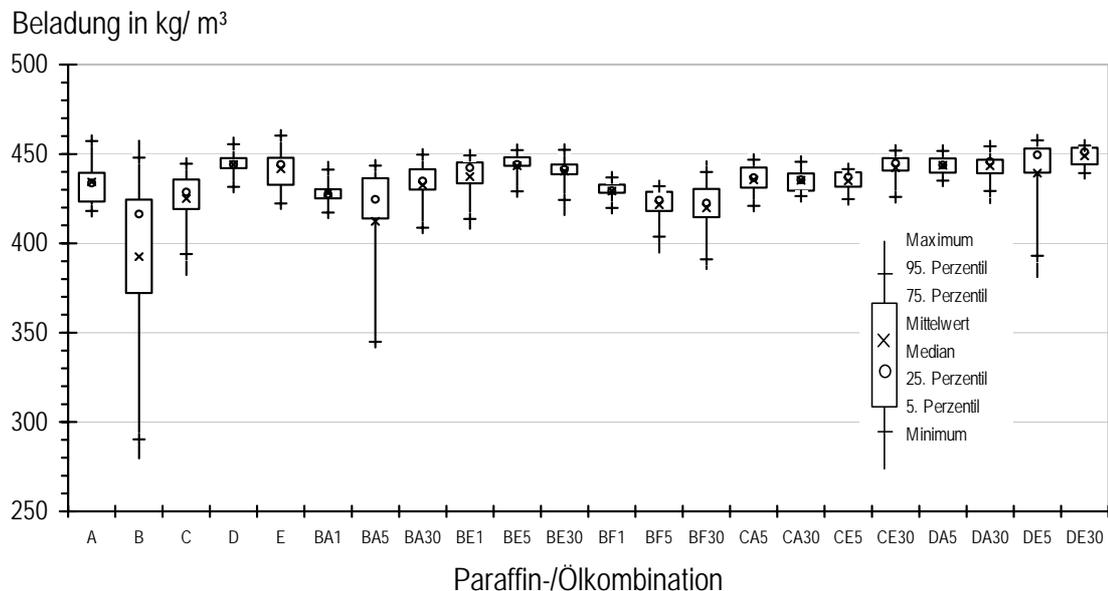


Abbildung 16: Paraffinaufnahme in kg/m<sup>3</sup> nach Vakuum-Drucktränkung

Prüfkörper, die mit den Paraffinen A, C und D) oder Weißöl E getränkt wurden, wiesen eine Beladung zwischen 425 und 444 kg/m<sup>3</sup> auf (Abbildung 16). Die Aufnahmemengen von Paraffin B betrug 393 kg/m<sup>3</sup> und lag damit unter den Beladungsgraden, die mit den anderen reinen Paraffinen oder dem Weißöl E erzielt wurden. Dies ist auf Probleme während der Tränkung zurückzuführen, da während des Tränkvorganges mit Paraffin B, die Bechergläser von der Heizplatte rutschten und Teile der Prüfkörper nicht vollständig mit Paraffin benetzt wurden, wodurch das Paraffin frühzeitig erstarrte und eine höhere Beladung nicht realisiert werden konnte.

In Tab. 31 sind die Mittelwerte der Beladung der untersuchten Kombinationen aus Paraffin und Pigment/Farbstoff dargestellt.

Tab. 31: Mittelwerte der Paraffinwachaufnahme der untersuchten Kombinationen aus den verschiedenen Paraffinen (A Terhell 3496; B Terhell 5308; C Paraflint C80; D Paraflint C105), dem Weißöl (E Pharmawhite W15) und dem PE-Additiv (F PE Additiv) mit den Pigmenten 1 bis 9 und dem Farbstoff 10 (Tab. 6).

Paraffin	zugesetztes Additiv (0,5% Pigment (1-9) bzw. 0,5% Farbstoff (10))									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	416,5	423,4	458,4	456,1	439,4	423,2	420,4	431,6	439,4	435,9
B	406,2	414,8	457,4	436,7	424,7	423,6	279,7	303,2	360,8	418,0
C	416,1	427,8	446,4	442,3	382,3	408,3	429,3	434,7	427,7	436,1
D	433,1	441,9	459,2	450,9	430,4	447,8	442,2	447,2	442,3	445,7
E	420,8	447,4	460,6	459,9	424,1	436,8	431,4	448,1	446,0	442,2
BA1	417,8	431,0	445,6	436,0	426,5	424,5	416,8	427,1	428,0	428,6
BA5	414,2	438,4	446,7	439,5	430,3	427,6	413,7	421,7	348,5	342,0
BA30	409,6	435,7	452,3	446,5	443,3	429,5	407,9	434,7	431,5	435,0
BE1	420,4	442,9	445,4	449,5	441,8	440,6	431,0	408,1	444,9	448,9
BE5	429,7	443,9	443,2	448,4	451,9	428,6	452,3	443,7	444,3	447,3
BE30	415,8	442,8	434,6	439,5	438,3	443,3	440,0	444,4	453,9	450,4
BF1	417,6	422,6	428,1	437,8	428,5	429,6	429,1	435,7	429,6	434,0
BF5	414,9	417,6	429,0	434,4	428,4	426,8	421,7	429,1	419,4	394,7
BF30	397,8	385,6	424,6	445,9	426,7	420,1	420,5	432,5	412,8	431,6
CA5	419,6	422,8	430,9	443,2	431,7	441,3	442,9	449,8	440,2	433,2
CA30	424,2	430,4	439,2	447,5	433,7	439,1	429,0	443,4	437,3	429,1
CE5	435,1	443,0	424,6	439,8	431,2	439,4	438,9	439,9	425,0	433,2
CE30	428,9	447,8	441,3	448,4	447,6	454,6	446,7	443,1	423,5	440,3
DA5	433,3	452,2	441,5	438,8	437,5	442,9	447,3	444,7	451,3	447,6
DA30	438,3	437,5	422,5	456,8	441,7	446,4	445,0	446,9	451,1	446,6
DE5	381,1	449,9	449,1	455,5	449,2	459,3	453,5	451,8	407,6	436,3
DE30	442,4	454,7	449,3	454,0	452,4	451,9	454,8	450,3	440,2	438,5

Die Beladungen der mit Paraffinen bzw. Paraffin-/Ölkombinationen imprägnierten Prüfkörper wiesen keine signifikanten Unterschiede auf (Abbildung 16, Tab. 31). Eine Beeinflussung der Ergebnisse durch unterschiedliche Beladungsgrade wird deshalb ausgeschlossen. Bei einer Vakuum-Druck-Tränkung haben zumindest die unterschiedlichen Kettenlängen der eingesetzten Paraffine scheinbar keinen Einfluss auf die Prüfkörperbeladung kleiner Dimension (50x25x15 mm<sup>3</sup>).

### 3.1.6 Paraffinwachspenetration und Verteilung

Die axial gemessenen Eindringtiefen der verschiedenen Füllstoffe im Holz wiesen große Unterschiede auf (Abbildung 18). Die Mittelwerte der t-50 Linie zeigt Tab. 32.

Tab. 32: Mittelwert der t-50 Linie der untersuchten Kombinationen aus den verschiedenen Paraffinen (**A** Terhell 3496; **B** Terhell 5308; **C** Paraflint C80; **D** Paraflint C105), dem Weißöl (**E** Pharmawhite W15) und dem PE-Additiv (**F** PE Additiv) mit den Farbstoffen 1 bis 10 (Tab. 6).

Paraffin	zugesetztes Additiv (0,5% Pigment (1-9) bzw. 0,5% Farbstoff (10))									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	9,0	18,5	18,5	25,0	21,0	2,0	14,0	18,5	25,0	25,0
B	6,5	11,0	3,0	15,0	17,5	3,0	2,0	11,5	10,0	25,0
C	22,5	14,0	1,0	18,0	25,0	1,0	11,0	18,0	22,5	25,0
D	22,5	22,5	2,0	15,0	25,0	2,0	15,0	13,5	25,0	25,0
E	25,0	20,0	3,0	12,5	25,0	3,0	12,5	12,5	25,0	25,0
BF1	20,0	20,0	3,0	10,0	25,0	3,0	3,0	14,0	25,0	25,0
BF5	12,5	12,5	2,0	16,0	25,0	2,0	2,0	16,0	25,0	25,0
BF30	18,0	23,5	2,0	12,0	25,0	2,0	19,5	15,0	25,0	25,0
CA5	18,0	17,0	2,0	14,0	25,0	2,0	2,0	17,0	25,0	25,0
CA30	11,0	11,5	2,0	10,0	25,0	2,0	2,0	10,0	25,0	25,0
CE5	11,0	10,0	2,0	20,0	18,0	2,0	2,0	15,0	21,5	25,0
CE30	22,5	19,0	2,0	15,0	25,0	2,0	2,0	16,5	25,0	25,0
DA5	15,0	18,0	2,0	14,0	25,0	2,0	2,0	13,0	25,0	25,0
DA30	9,0	17,5	2,0	10,0	25,0	2,0	2,0	12,5	25,0	25,0
DE5	18,5	17,0	17,0	9,0	25,0	2,0	13,5	11,5	25,0	25,0
DE30	15,0	19,0	19,0	10,0	25,0	2,0	2,0	9,0	25,0	25,0
<b>Mittelwert</b>	16,0	16,9	5,2	14,1	23,8	2,1	6,7	14,0	23,7	25,0

Die Mittelwerte der t-50-Linie sind in Abbildung 17 dargestellt. Jeweils 2 mm axiale Eindringtiefe stellen einen Normierstrich (I) dar.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MW
A											
B											
C											
D											
E											
BF1											
BF5											
BF30											
CA5											
CA30											
CE5											
CE30											
DA5											
DA30											
DE5											
DE30											
MW											

Abbildung 17: Axiale Eindringtiefe der Füllstoffe 1 bis 10 bei verschiedenen Paraffinen-/Öl-/Farbstoff-/Pigmentkombinationen in Kiefernprüfkörpern, sowie Mittelwerte. 1 Normierstrich entspricht 2 mm axialer Eindringtiefe

Der Farbstoff 10 führte in allen Paraffin-/Ölkombinationen zu einer Durchdringung des gesamten Prüfkörperquerschnitts. Auch die Füllstoffe 5 und 9 waren bei allen Paraffin-/Ölkombinationen mit Ausnahme von Paraffin B und CE5 über den gesamten Querschnitt nachweisbar. Füllstoff 6 penetrierte in keiner Paraffin-/Ölkombination tiefer als 3 mm in das Holz. Für die Füllstoffe 1, 2, 3, 4, 7 und 8 lassen sich keine einheitlichen Aussagen über die Eindringtiefe ableiten. In Abbildung 18 sind exemplarisch 3 Prüfkörper mit verschiedenen Füllstoffpenetrationen dargestellt.



Abbildung 18: Prüfkörper mit Füllstoff 5, Eindringtiefe 2 mm (links), Prüfkörper mit Füllstoff 1, Eindringtiefe 18 mm (Mitte) , Prüfkörper mit Füllstoff 10, Eindringtiefe 25 mm (rechts)

Durch die in den Paraffinen und Paraffin-/Ölkombinationen enthaltenen Füllstoffe sollte eine intensive Färbung sowohl in den inneren Zonen als auch auf den Außenflächen der Prüfkörper erreicht werden. Dies wurde bei den Füllstoffen 1 bis 9 nicht beobachtet. Lediglich Füllstoff 10 färbte den Innenbereich der Prüfkörper vergleichbar intensiv wie die Außenseiten.

Die Füllstoffe 5 (blau) und 9 (grün) wurden in allen Paraffin-/Ölkombinationen mit Ausnahme von Paraffin B und der Kombination CE5 über den gesamten Prüfkörperquerschnitt nachgewiesen. Möglicherweise könnte eine höhere Konzentration der Pigmente zu einer gleichmäßig intensiveren Färbung im Innenbereich der Prüfkörper führen. Die gelben Füllstoffe 3 und 6 drangen auf Grund ihrer Partikelgröße überwiegend nur bis zu 2 mm vom Hirnende in den Prüfkörper ein. Da diese Füllstoffe bei der eingesetzten Konzentration nicht durch die Trägersubstanz ins Holzinnere transportiert wurden, würde aus einer höheren Konzentration keine Färbung über den Prüfkörperquerschnitt resultieren. Folglich sind die Füllstoffe 3 und 6 in Kombination mit den untersuchten Imprägniersubstanzen ungeeignet.

Im Mittel zeigten die Füllstoffe 1, 2, 4, 5, 7 und 8 in den Paraffinen und Paraffin-/Ölkombinationen bezüglich der Eindringtiefen keine signifikanten Unterschiede. Eine Aussage, welche Paraffin-/Ölkombination bezogen auf die Eindringtiefe aller Füllstoffe die besten Eigenschaften aufwies, war auf Grundlage dieser Versuche nicht zu treffen.

### 3.1.7 UV-Beständigkeit von Füllstoffen

#### 3.1.7.1 UV-Beständigkeit der Füllstoffe im Holz

Für die nachfolgenden Abbildungen gilt: Eine positive Veränderung (=Nachdunklung) der CMY-Werte beinhaltet, dass der Anteil der Werte (in %) am Farbton zunimmt, während negative Werte (=Aufhellung) eine Abnahme des Anteils bedeuten. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass eine Nachdunklung oder Aufhellung aus der Veränderung aller drei, zwei oder nur eines Farbwertes resultieren kann.

Alle Prüfkörper waren nach einer UV-Bestrahlung auf der Oberfläche nachgedunkelt. Die Innenseiten zeigten eine größere prozentuale Nachdunklung als die Außenseiten (Abbildung 19 bis Abbildung 33). Bei allen reinen Paraffinen und bei Weißöl wiesen die Außenseiten der Prüfkörper mit den Füllstoffen 3, 4, 5, 6, und 7 die stärkste Nachdunklung auf. Die Nachdunklung der Prüfkörper mit den gelben Füllstoffen (3 und 6) sowie die Nachdunklung mit den roten Füllstoffen 4 und 7 resultieren überwiegend aus der hohen prozentualen Zunahme der Cyanwerte. Die Nachdunklung der Prüfkörper mit Füllstoff 5 in Paraffin A, B und C resultierte aus einer annähernd gleichwertigen Zunahme der drei Farbwerte (Cyan, Magenta, Yellow). Bei Prüfkörpern mit Füllstoff 5 (blau) in Paraffin D und Weißöl E ist die größte Zunahme im Yellow-Bereich zu beobachten. Prüfkörper mit den übrigen Füllstoffen zeigten bei allen Paraffinen und bei Weißöl eine geringe Farbwertänderung. Tendenziell wurden für die gelben (3 und 6) oder roten (4 und 7) Füllstoffe auch bei den Innenseiten die größte Nachdunklung gemessen. Sie beruht, wie schon bei den Außenseiten, auf der prozentualen Erhöhung der Cyanwerte. Die Nachdunklung der Füllstoffe 1, 2, 5, 8, 9 und 10 resultierte dagegen tendenziell auf der Änderung aller drei Farbwerte.

Der Unterschied zwischen der prozentualen Farbwertänderung der Außen- und Innenseiten war bei Prüfkörpern mit Füllstoff 10 am geringsten und tendenziell bei Prüfkörper mit Füllstoff 1 am höchsten. Auf Grund der UV-Bestrahlung war es nicht möglich, eine differenzierte Aussage über die Eignung der Paraffin-/Füllstoffkombinationen für den Einsatz im Holz im Außenbereich zu treffen. Im folgenden werden die Farbwertänderungen und die daraus resultierenden Summenänderungen der Paraffin-/Füllstoffkombinationen detailliert dargestellt.

### 3.1.7.1.1 Paraffin A in Kombination mit Pigmenten und Farbstoff

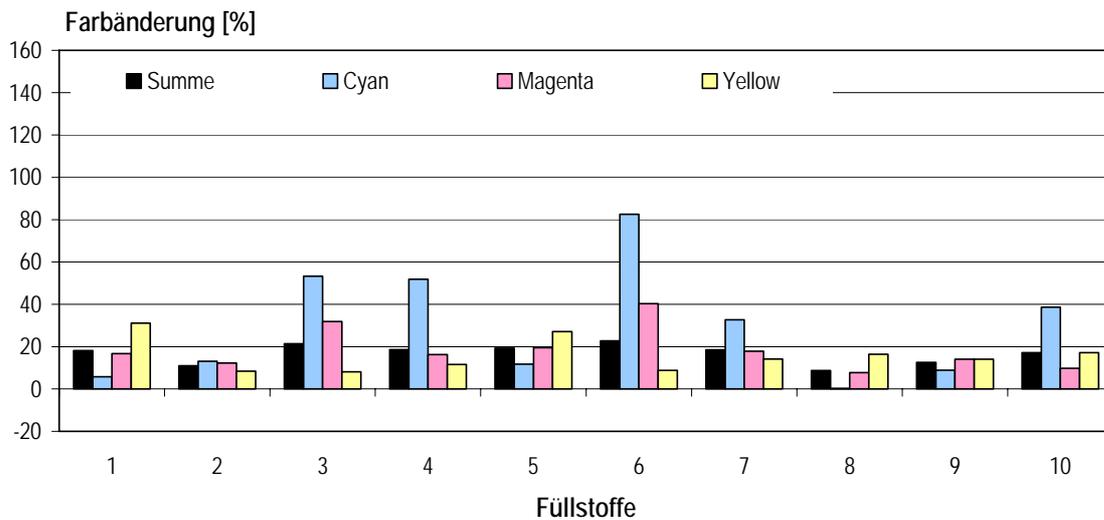


Abbildung 19: Farbänderung der Außenseiten der mit Paraffin A getränkten Kiefernprüfkörper nach UV-Bestrahlung.

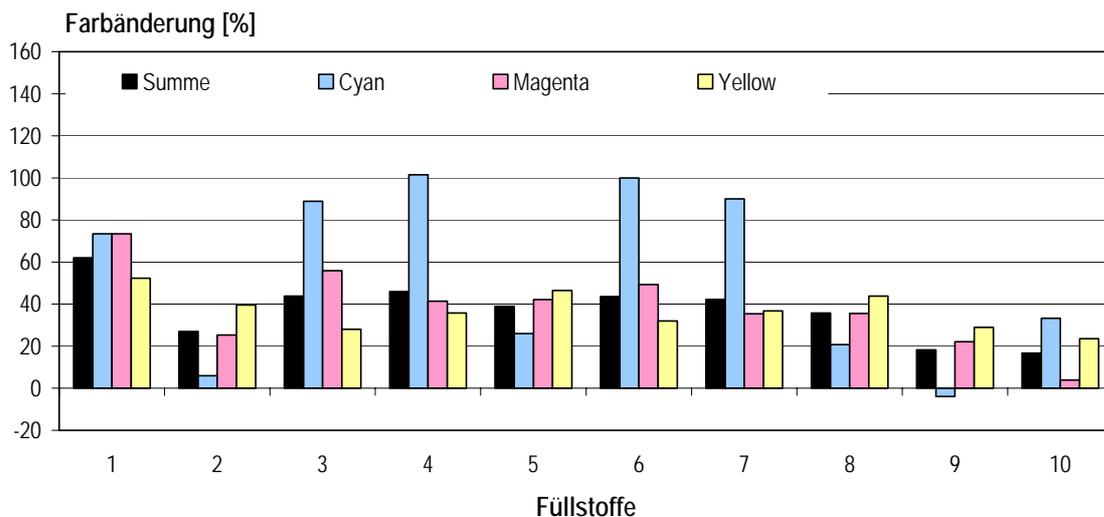


Abbildung 20: Farbänderung der Innenseiten der mit Paraffin A getränkten Kiefernprüfkörper nach UV-Bestrahlung.

Abbildung 21 zeigt die künstlich UV-bestrahlten Prüfkörper (jeweils eine Außen- und eine Innenseite), wobei jeweils eine Hälfte eines jeden Prüfkörperabschnittes mit Aluminiumfolie abgedeckt wurde.

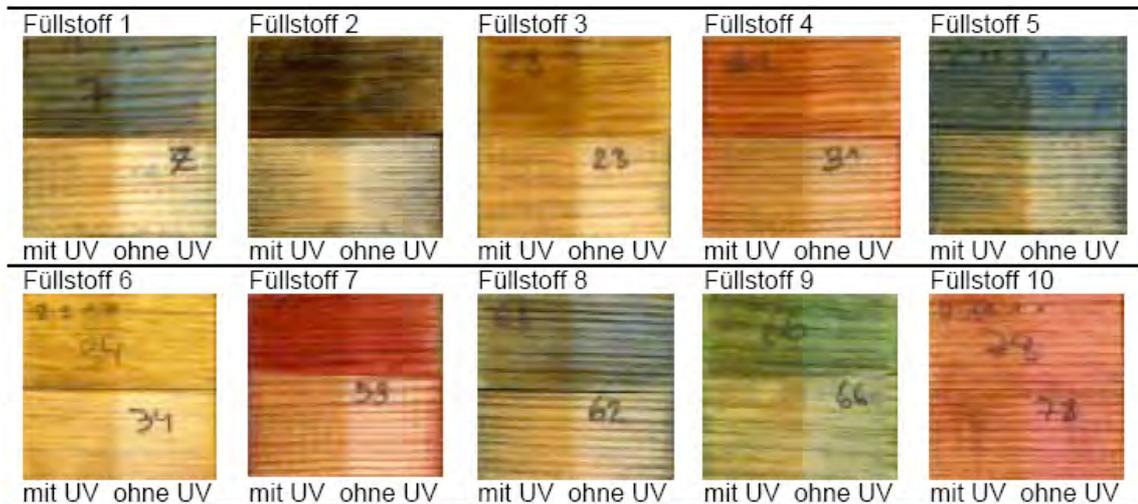


Abbildung 21: Mit Paraffin A getränkte Kiefernprüfkörper mit (links) und ohne (rechts) UV-Bestrahlung. Von jedem Prüfkörper ist die Außenseite (oben) und die Innenseite (unten) abgebildet.

### 3.1.7.1.2 Paraffin B in Kombination mit Pigmenten und Farbstoff

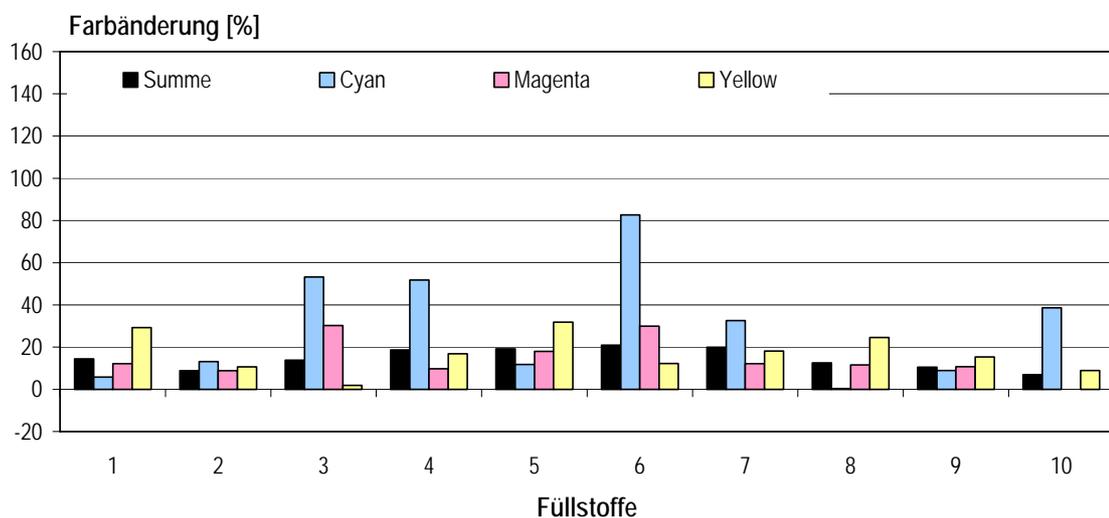


Abbildung 22: Farbänderung der Außenseiten der mit Paraffin B getränkten Kiefernprüfkörper nach UV-Bestrahlung.

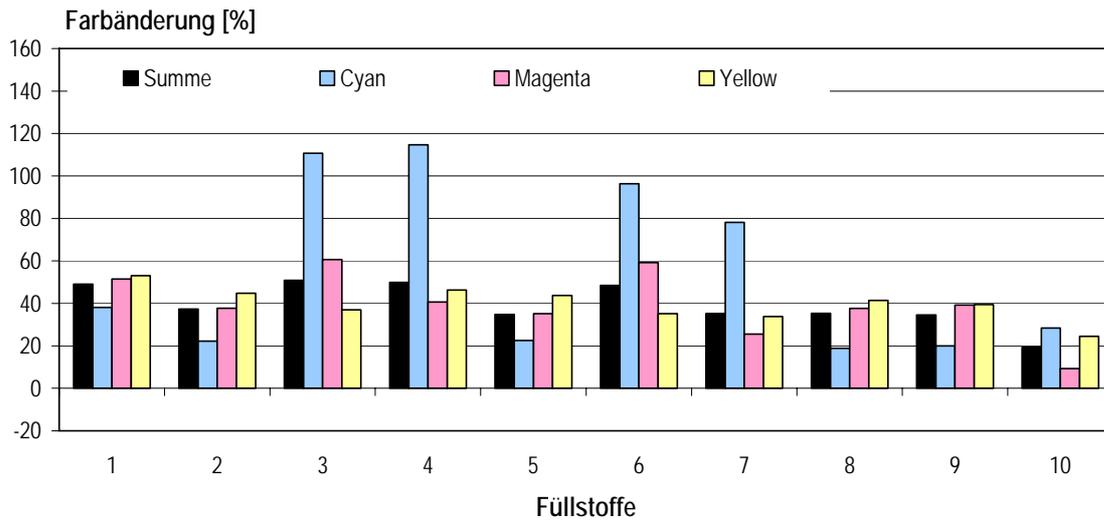


Abbildung 23: Farbänderung der Innenseiten der mit Paraffin B getränkten Kiefernprüfkörper nach UV-Bestrahlung.

Abbildung 24 zeigt die künstlich UV-bestrahlten Prüfkörper (jeweils eine Außen- und eine Innenseite), wobei jeweils eine Hälfte eines jeden Prüfkörperabschnittes mit Aluminiumfolie abgedeckt wurde.

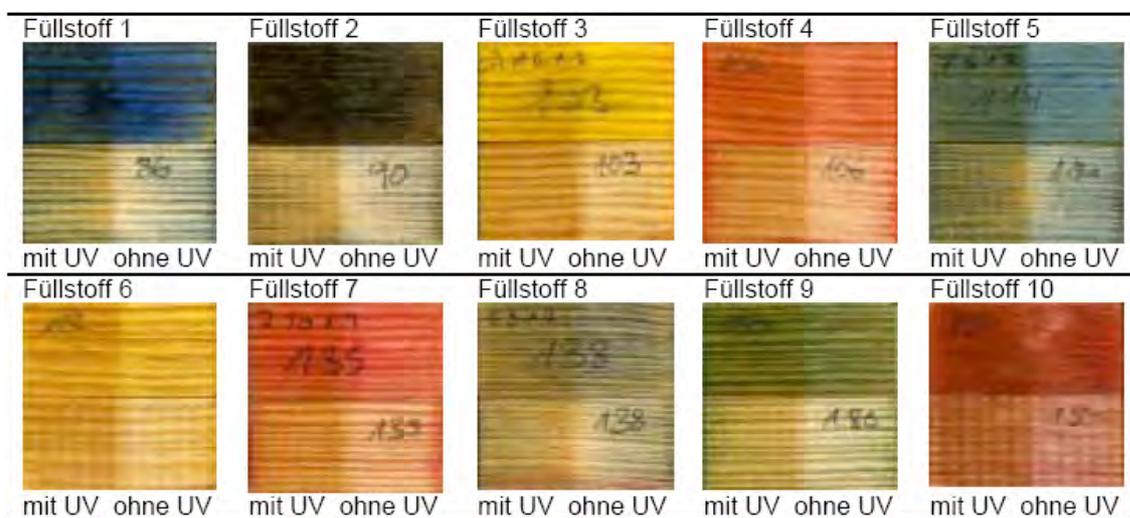


Abbildung 24: Mit Paraffin B getränkte Kiefernprüfkörper mit (links) und ohne (rechts) UV-Bestrahlung. Von jedem Prüfkörper ist die Außenseite (oben) und die Innenseite (unten) abgebildet.

### 3.1.7.1.3 Paraffin C in Kombination mit Pigmenten und Farbstoff

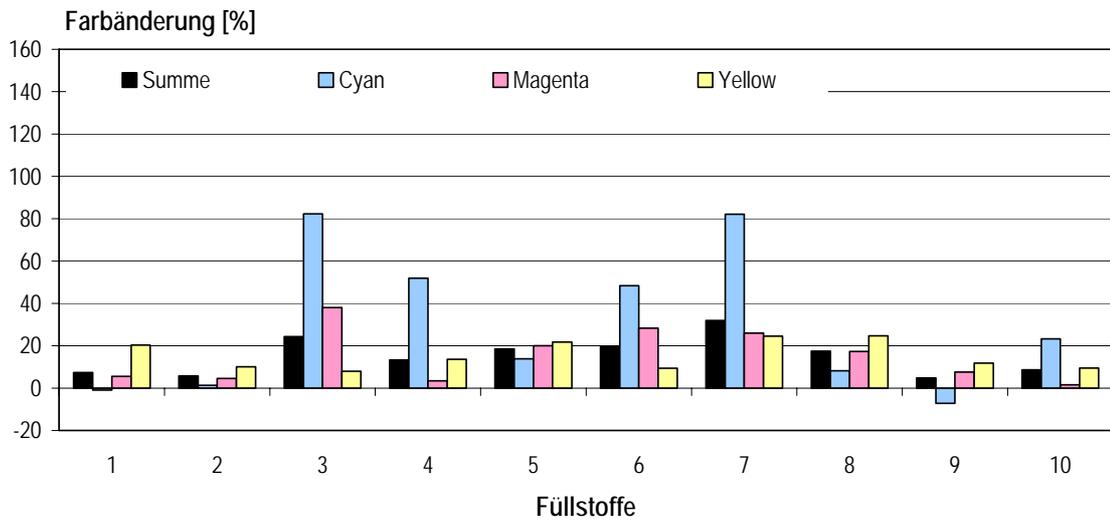


Abbildung 25: Farbänderung der Außenseiten der mit Paraffin C getränkten Kiefernprüfkörper nach UV-Bestrahlung.

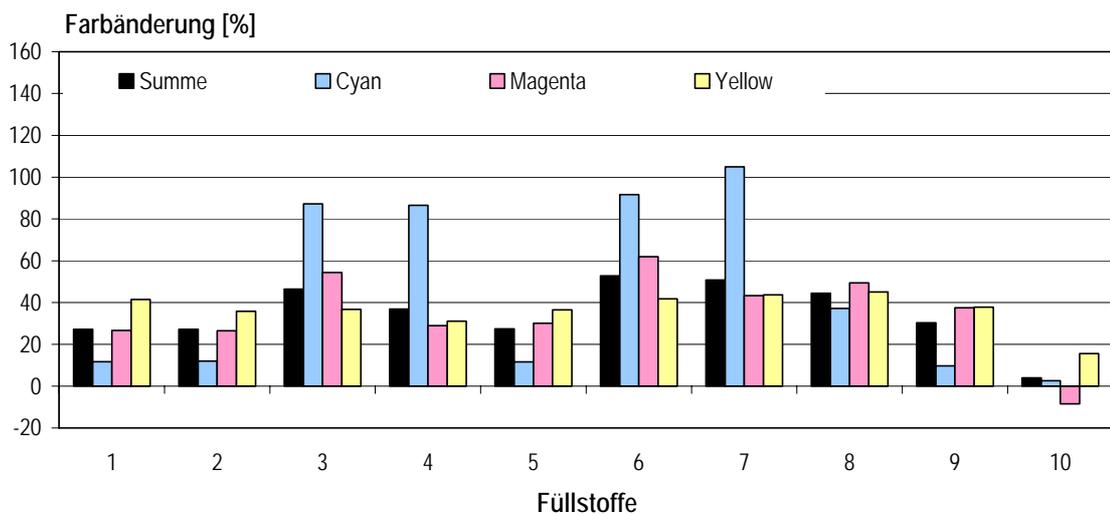


Abbildung 26: Farbänderung der Innenseiten der mit Paraffin C getränkten Kiefernprüfkörper nach UV-Bestrahlung.

Die Abbildung 27 zeigt die künstlich UV-bestrahlten Prüfkörper (jeweils eine Außen- und eine Innenseite) wobei jeweils eine Hälfte eines jeden Prüfkörperabschnittes mit Aluminiumfolie abgedeckt wurde.

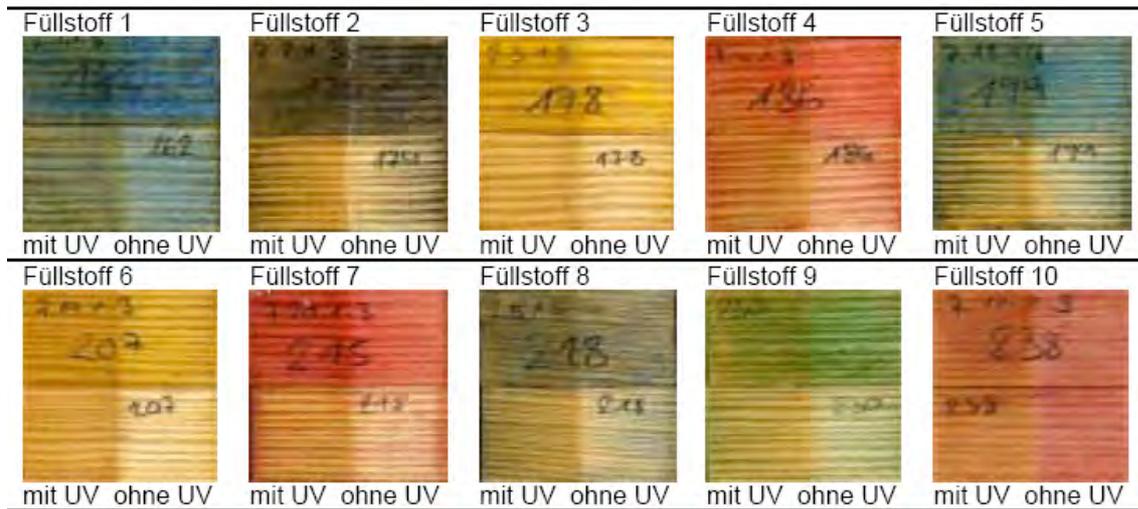


Abbildung 27: Mit Paraffin C getränkte Kiefernprüfkörper mit (links) und ohne (rechts) UV-Bestrahlung. Von jedem Prüfkörper ist die Außenseite (oben) und die Innenseite (unten) abgebildet.

#### 3.1.7.1.4 Paraffin D in Kombination mit Pigmenten und Farbstoff

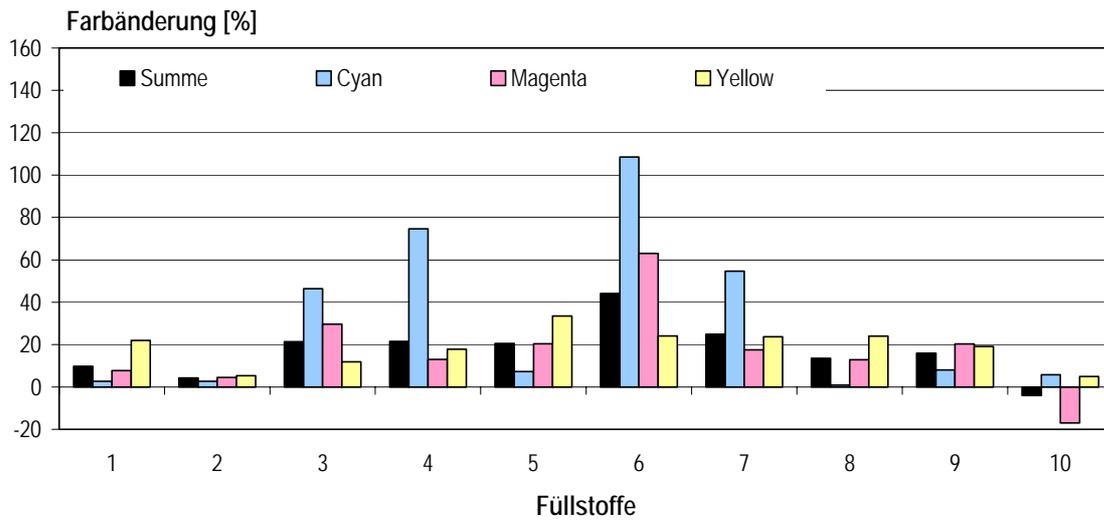


Abbildung 28: Farbänderung der Außenseiten der mit Paraffin D getränkten Kiefernprüfkörper nach UV-Bestrahlung.

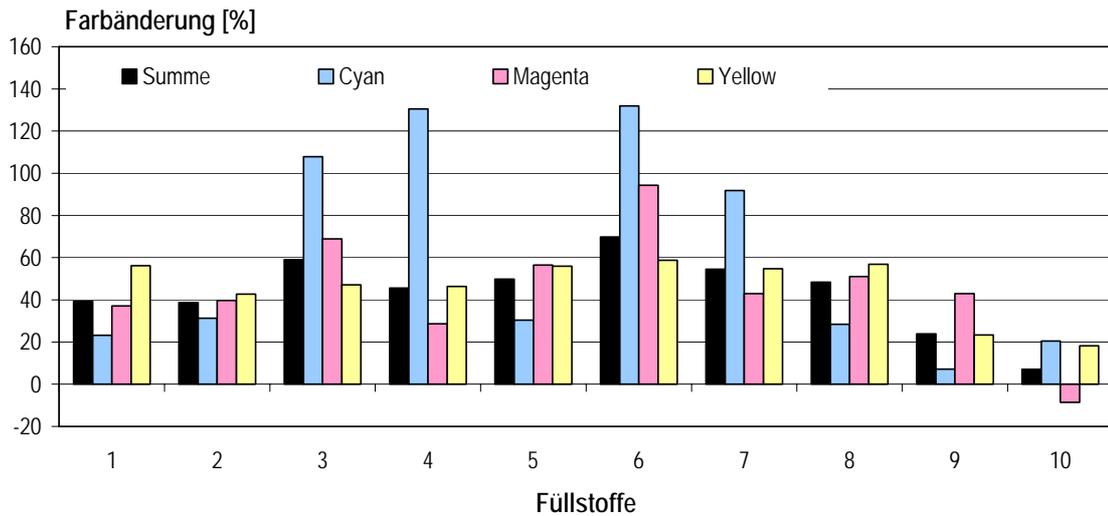


Abbildung 29: Farbänderung der Innenseiten der mit Paraffin D getränkten Kiefernprüfkörper nach UV-Bestrahlung.

Die Abbildung 30 zeigt die künstlich UV-bestrahlten Prüfkörper (jeweils eine Außen- und eine Innenseite), wobei jeweils eine Hälfte eines jeden Prüfkörperabschnittes mit Aluminiumfolie abgedeckt wurde.

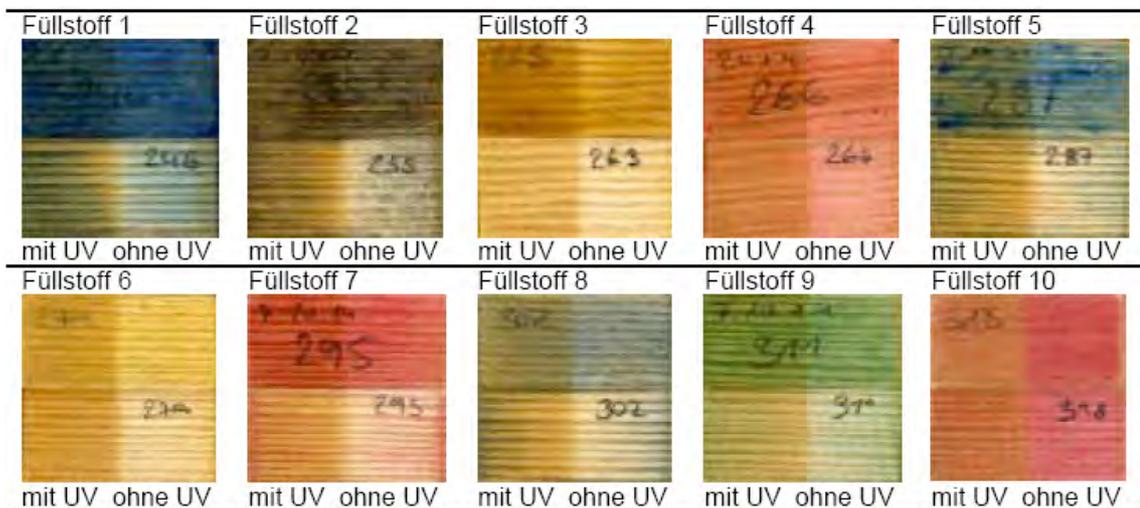


Abbildung 30: Mit Paraffin D getränkte Kiefernprüfkörper mit (links) und ohne (rechts) UV-Bestrahlung. Von jedem Prüfkörper ist die Außenseite (oben) und die Innenseite (unten) abgebildet.

### 3.1.7.1.5 Weißöl E in Kombination mit Pigmenten und Farbstoff

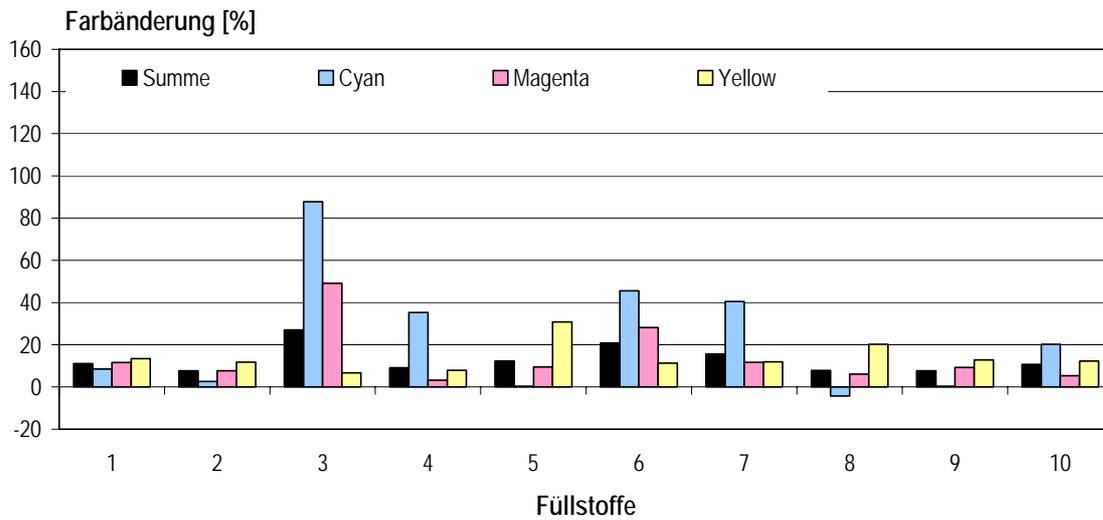


Abbildung 31: Farbänderung der Außenseiten der mit Weißöl E getränkten Kiefernprüfkörper nach UV-Bestrahlung.

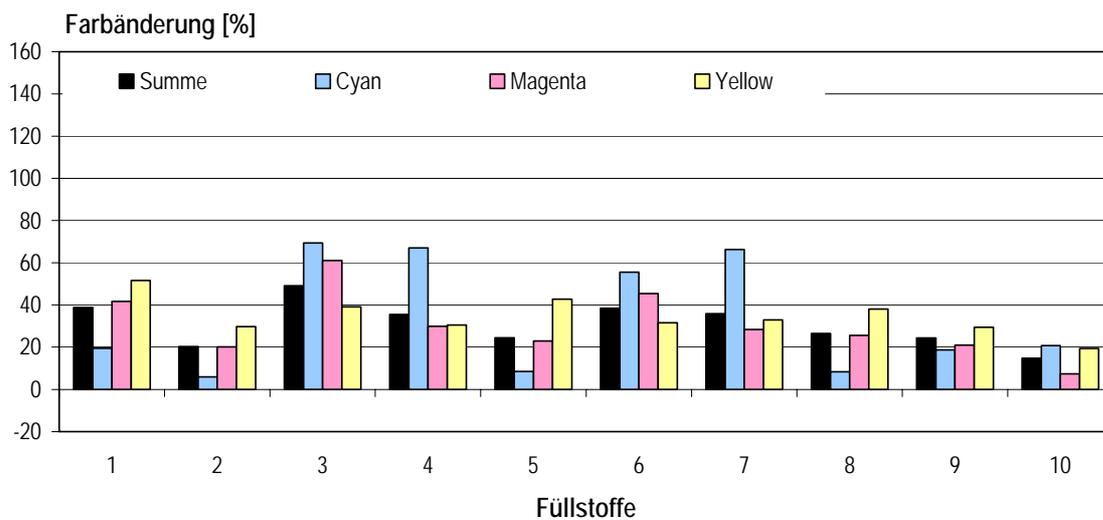


Abbildung 32: Farbänderung der Innenseiten der mit Weißöl E getränkten Kiefernprüfkörper nach UV-Bestrahlung.

Abbildung 33 zeigt die künstlich UV-bestrahlten Prüfkörper (jeweils eine Außen- und eine Innenseite). Die Hälfte jedes Prüfkörperabschnittes wurde mit Aluminiumfolie abgedeckt.

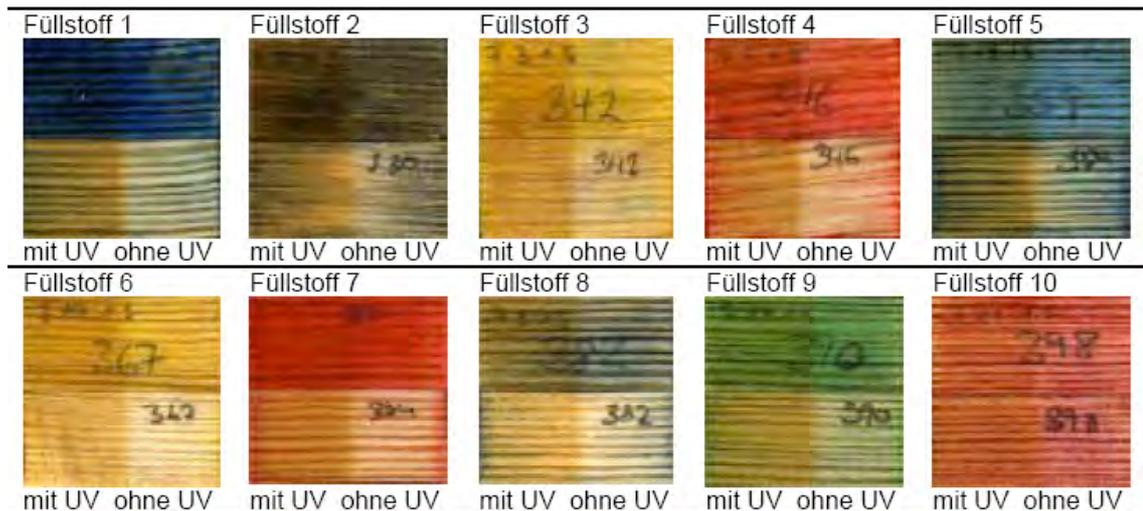


Abbildung 33: Mit Weißöl E getränkte Kiefernprüfkörper mit (links) und ohne (rechts) UV-Bestrahlung. Von jedem Prüfkörper ist die Außenseite (oben) und die Innenseite (unten) abgebildet.

### 3.1.7.2 UV-Stabilität von Füllstoffen auf Filterpapier

Unbehandelte Filterpapiere hellten nach UV-Bestrahlung nur minimal (2%) auf (Abbildung 34), während mit Paraffin B/Testbenzinlösung ohne Pigmente behandelte Filterpapiere um 5% nachdunkelten. Demgegenüber führten Füllstoffe auf Filterpapier nach UV-Bestrahlung zu großen Unterschieden. Die Füllstoffe 5 und 7 hellten nahezu nicht auf, Füllstoff 4 (6%) nur geringfügig. Jedoch bewirkten die Füllstoffe 8 und 9 eine Aufhellung von 18 bzw. 44%.

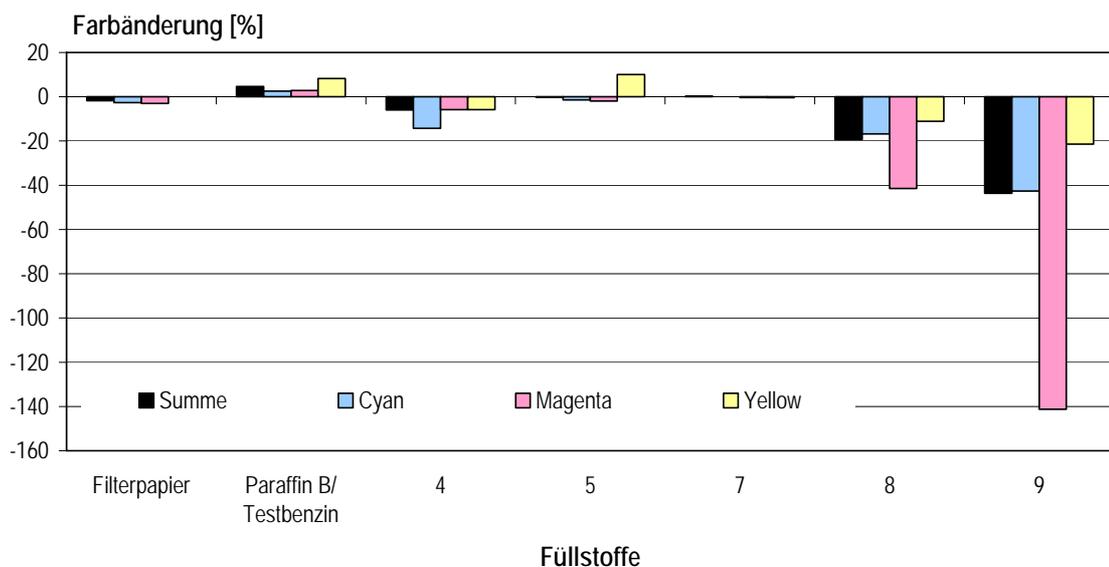


Abbildung 34: Farbänderung der Füllstoffe 4, 5, 7, 8 und 9 auf Filterpapier nach UV-Bestrahlung sowie unbehandelte und mit Paraffin B/Testbenzinlösung behandelte Filterpapiere

Füllstoff 9 wies dabei die größte Veränderung auf, d. h. alle Farbwerte nahmen ab. Im Magentabereich wurde eine Abnahme von 141% gemessen, im Cyanbereich von 43% und im Yellow-Bereich von 21%. Füllstoff 7 wies nach UV-Bestrahlung keine Farbwertänderung auf. Bei Füllstoff 4 führte die UV-Bestrahlung zu einer geringen Abnahme der Cyan-, Magenta- und Yellow-Werte, wobei der Cyanwert mit 14% die größte Änderung aufwies. Füllstoff 5 zeigte eine Erhöhung des Yellow-Wertes um 9%, Cyan- und Magenta-Werte verringerten sich minimal. Füllstoff 8 zeigte eine Abnahme aller Farbwerte, die größte Veränderung lag mit 42% im Magentabereich.

Abbildung 35 bis Abbildung 41 zeigen die bestrahlten und unbestrahlten Filterpapierhälften.



Abbildung 35: Unbehandelte Filterpapiere vor (links) und nach (rechts) UV-Bestrahlung

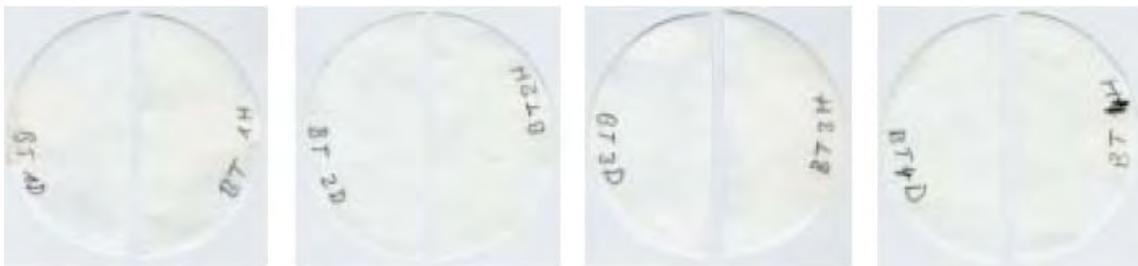


Abbildung 36: Filterpapiere behandelt mit Paraffin B/Testbenzinlösung vor (links) und nach (rechts) UV-Bestrahlung



Abbildung 37: Füllstoff 4 auf Filterpapier vor (links) und nach (rechts) UV-Bestrahlung

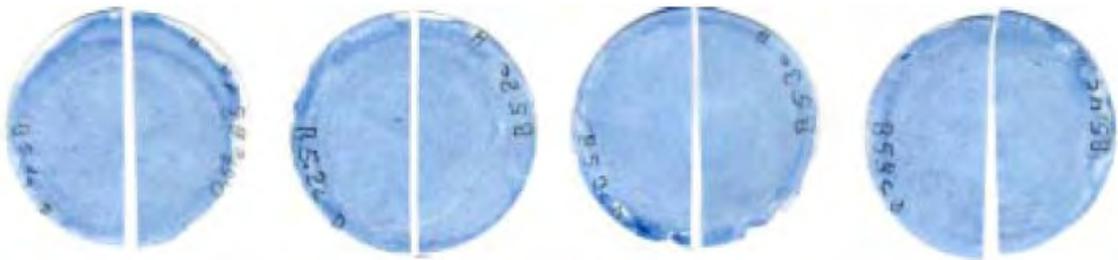


Abbildung 38: Füllstoff 5 auf Filterpapier vor (links) und nach (rechts) UV-Bestrahlung



Abbildung 39: Füllstoff 7 auf Filterpapier vor (links) und nach (rechts) UV-Bestrahlung



Abbildung 40: Füllstoff 8 auf Filterpapier vor (links) und nach (rechts) UV-Bestrahlung



Abbildung 41: Füllstoff 9 auf Filterpapier vor (links) und nach (rechts) UV-Bestrahlung

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die UV-Beständigkeit der Füllstoffe auf Filterpapier teilweise deutliche Unterschiede aufwiesen. Bei den roten Füllstoffen 4 und 7 sowie bei dem blauen Füllstoff 5 war nach 168-stündiger UV-Bestrahlung nur eine sehr geringe Änderung der Farbwerte messbar. Demgegenüber wies sowohl der blaue Füllstoff 8 als auch der grüne Füllstoff 9 eine deutliche Aufhellung auf. Dieses Ergebnis ist insofern bemerkenswert, da die Füllstoffe nach Herstellerangaben UV-stabil sein sollten.

Eine Farbwertänderung von getränkten Vollholzprüfkörpern (3.1.7.1) resultiert aus zwei sich überlagernden Effekten:

- Farbänderung der Pigmente
- Vergilbung des Holzes.

Die Vergilbung des Holzes ist Ergebnis photochemischer Vorgänge. UV-Licht degeneriert besonders Lignin und bestimmte Holzpolyosen, was zu einer Vergilbung der Holzoberfläche bis zu einer Tiefe von 0,05-0,5 mm führt (SELL 1975). Um eine Vergilbung zu verhindern, ist der kurzwellige Anteil des Lichtes zu verringern oder zu vermeiden. Dies ist durch eine lichtundurchlässige Schicht von Pigmenten möglich (KLOPFER 1981).

Auf Grund der hier angewendeten Farbauswertung wurde nicht unterschieden, ob die Farbänderung aus einer Veränderung der Füllstoffe oder des Holzes resultiert. Es wird auf Grund der Untersuchung der UV-Stabilität der Füllstoffe auf Filterpapier davon ausgegangen, dass die Vergilbung des Holzes einen größeren Anteil an der Farbänderung ausmacht.

### **3.1.8 MRI (Moisture induced Risk Index)**

Für die Bestimmung des MRI wurde die Änderung des Feuchtegehaltes der Prüfkörper während einer 7-tägiger Wasserlagerung (Absorption) und einer sich anschließenden 7-tägigen Lagerung im Normklima (Desorption) bestimmt, wobei eine Holzfeuchte von 25% als Bezug dient.

#### **3.1.8.1 Kontrollen**

Unbehandelte Kiefernprüfkörper wiesen nach 168 h Wasserlagerung eine mittlere Holzfeuchte von 99,7% auf (Abbildung 42); am Ende der Desorption lag sie im Mittel bei 10,2%.

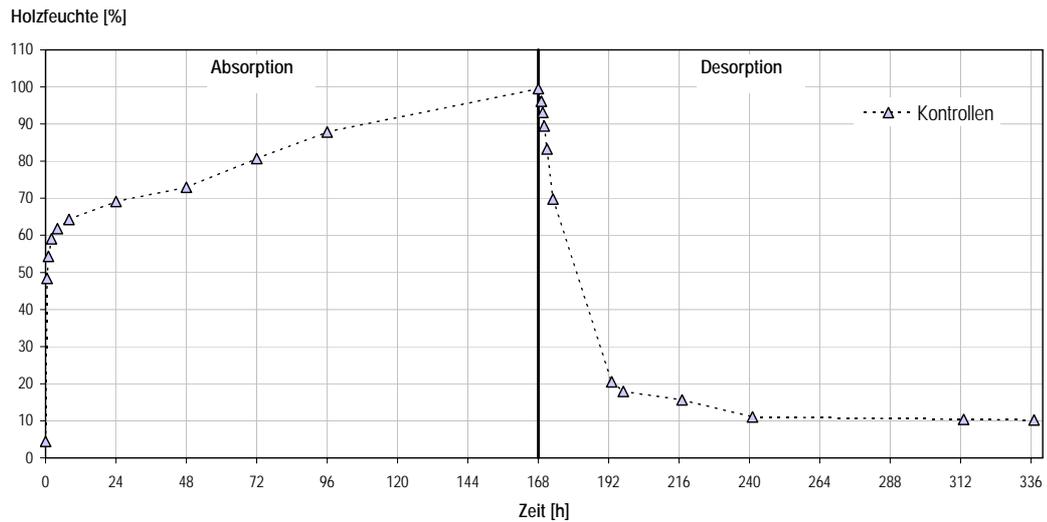


Abbildung 42: Holzfeuchteverlauf in Kiefernkontrollen während der Absorptions- und Desorptionsphase

Die Steigung der Absorptionskurve (Abbildung 43) betrug 11,9%/h, die Steigung der Desorptionskurve (Abbildung 44) 1,1%/h.

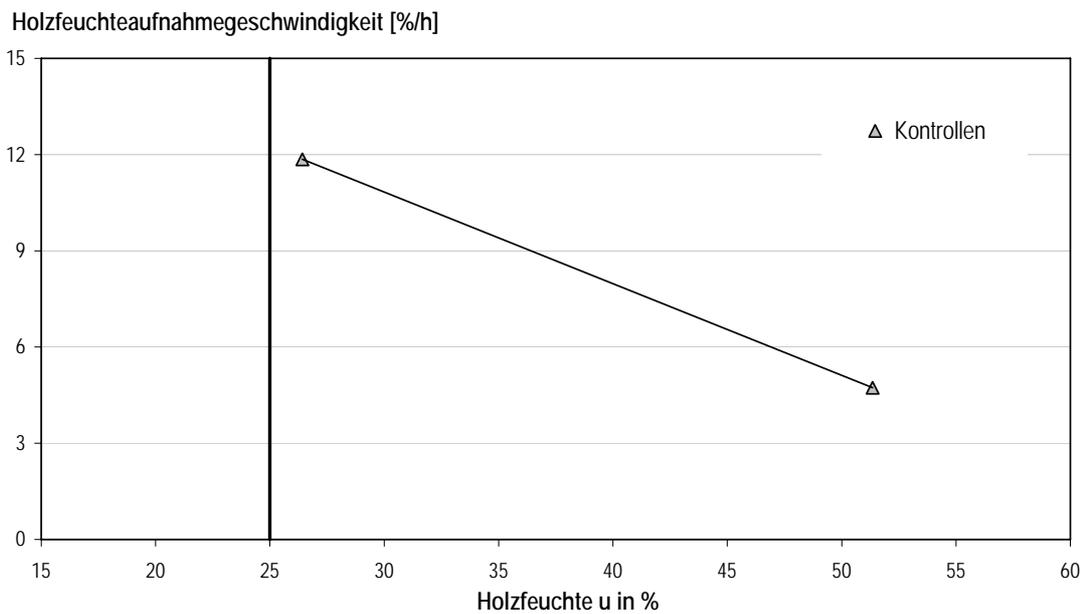


Abbildung 43: Steigung der Absorptionskurve von Kiefernkontrollen

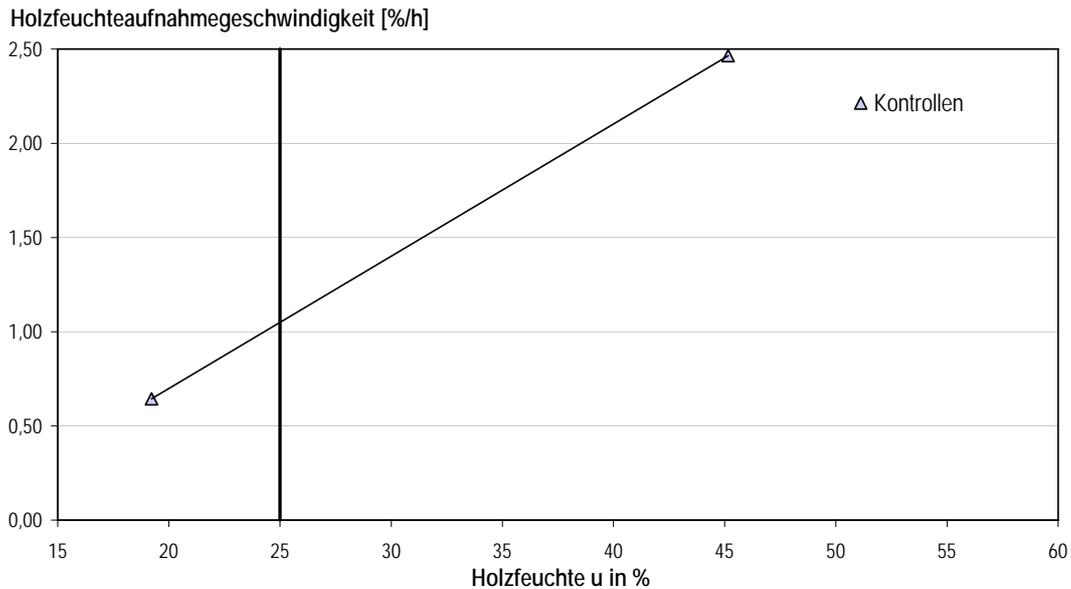


Abbildung 44: Steigung der Desorptionskurve von Kiefernkontrollen

### 3.1.8.2 Reine Paraffine und Weißöl

Die Änderung der Holzfeuchte, der mit den Paraffinen A, B, C, D bzw. mit Weißöl E imprägnierten Prüfkörper, zeigte in der Absorptionsphase geringe Unterschiede (Abbildung 45).

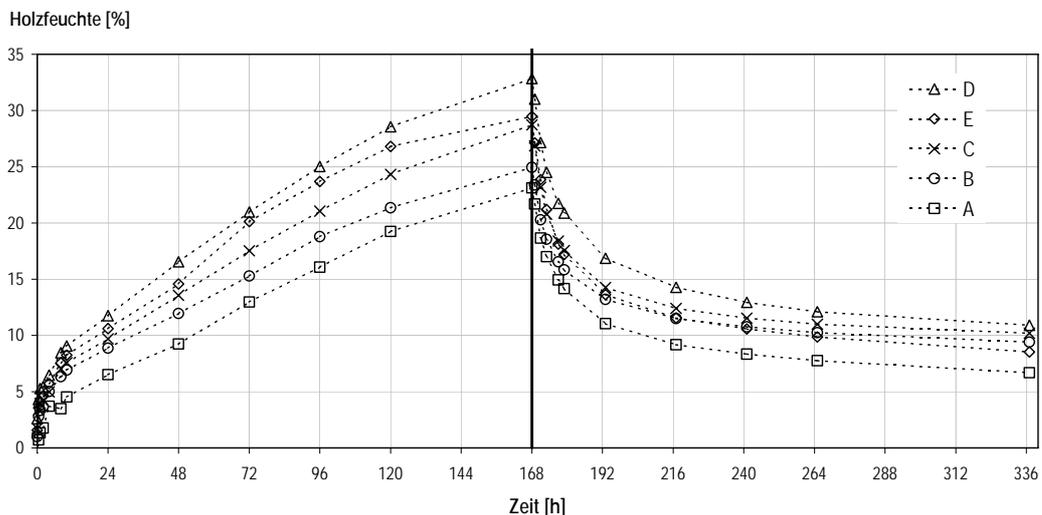


Abbildung 45: Holzfeuchteverlauf in mit Paraffin A, B, C, D und Weißöl E getränkten Kiefernprüfkörpern während der Absorptions- und Desorptionsphase

Die Holzfeuchte nach 168 h Wasserlagerung betrug zwischen 23 (A) und 33% (D). Während der Desorptionsphase waren die Unterschiede in der Holzfeuchte zwischen den mit reinen Paraffinen und dem Weißöl getränkten Prüfkörpern

geringer als während der Absorptionsphase. Alle Prüfkörper erreichten nach der Desorptionsphase von 168 h eine Holzfeuchte zwischen 7% (E) und 11% (D). Die Steigungen der Absorptionskurven (Abbildung 46) lagen zwischen 0,068%/h beim Weißöl E und 0,120%/h beim Paraffin D. Bei der Desorptionsphase (Abbildung 47) wurden Steigungen zwischen 1,16%/h (D) und 1,60%/h (E) ermittelt.

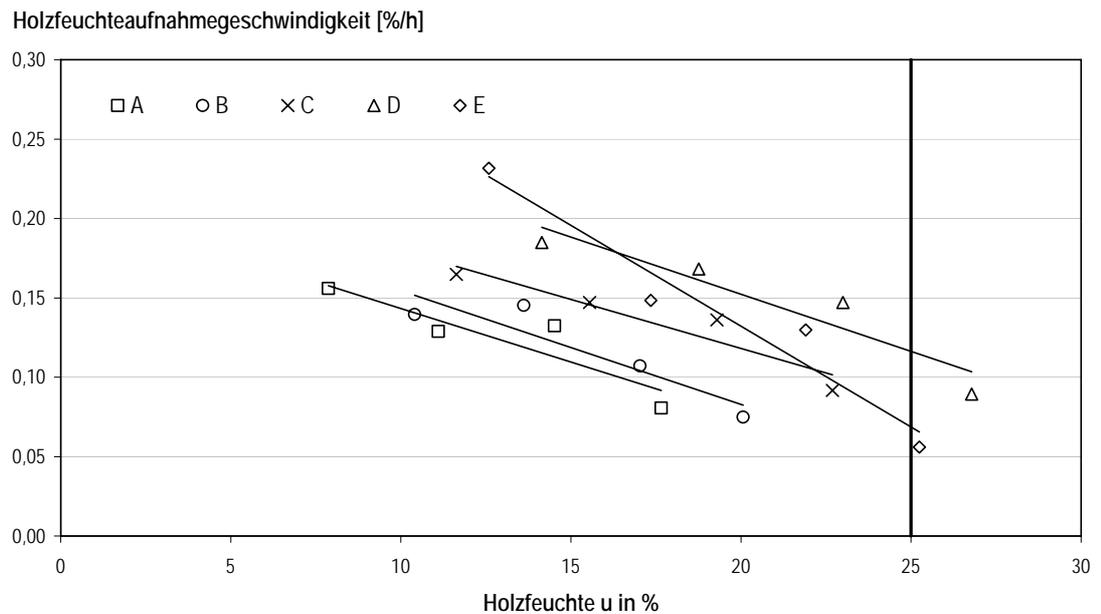


Abbildung 46: Steigung der Absorptionskurve von mit Paraffin A, B, C, D und Weißöl E getränkten Kiefernprüfkörpern

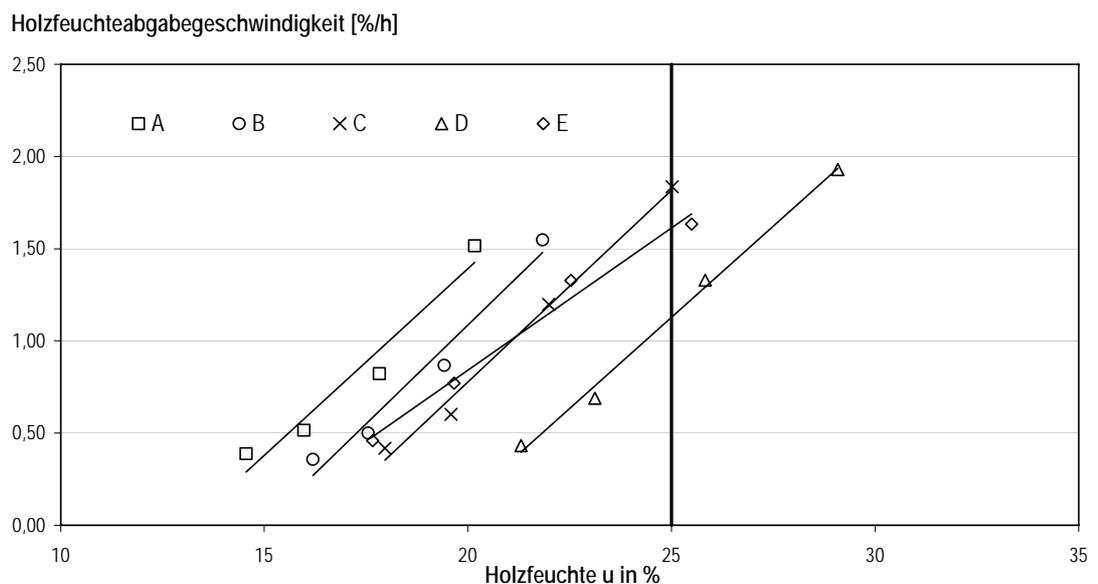


Abbildung 47: Steigung der Desorptionskurve von mit Paraffin A, B, C, D und Weißöl E getränkten Kiefernprüfkörpern

### 3.1.8.3 Kombination aus Paraffin B und PE-Additiv

Die Änderung der Holzfeuchte mit der Zeit für Prüfkörper, die mit Kombinationen aus Paraffin B und PE-Additiv (BF1, BF5 und BF30) imprägniert wurden, zeigten während der Absorptionsphase nur geringe Unterschiede (Abbildung 48). Die maximalen Holzfeuchten betragen 24 (BF30), 25 (BF5) und 27% (BF1). Die Wasserabgaben (Abbildung 49) dieser Prüfkörper wiesen kaum Unterschiede auf. Nach 168 h Desorption erreichten die untersuchten Prüfkörper eine Holzfeuchte von 9,1 (BF5), 9,4 (BF1) und 9,7% (BF30).

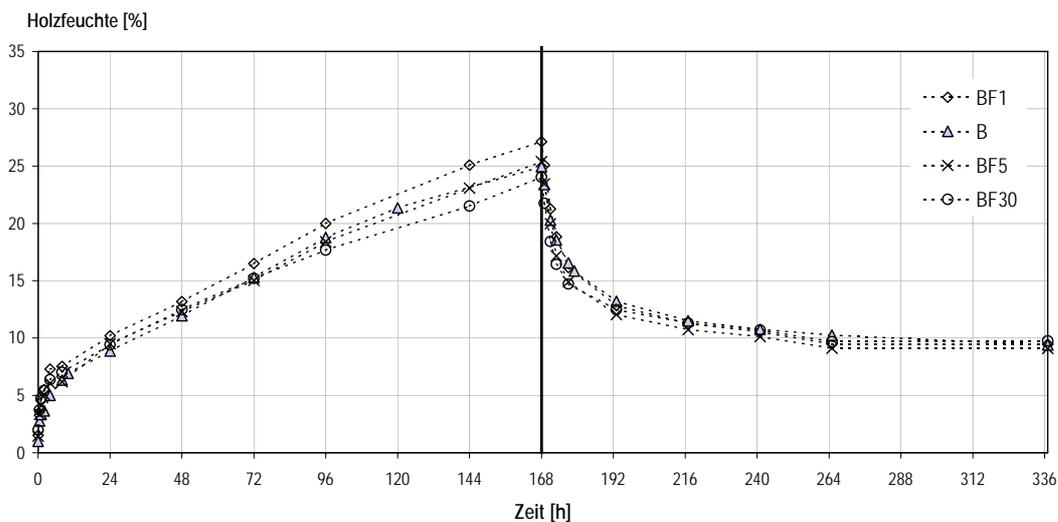


Abbildung 48: Holzfeuchteverlauf in mit Paraffin B und den Kombinationen BF1, BF5 sowie BF30 getränkten Kiefernprüfkörpern während der Absorptions- und Desorptionsphase

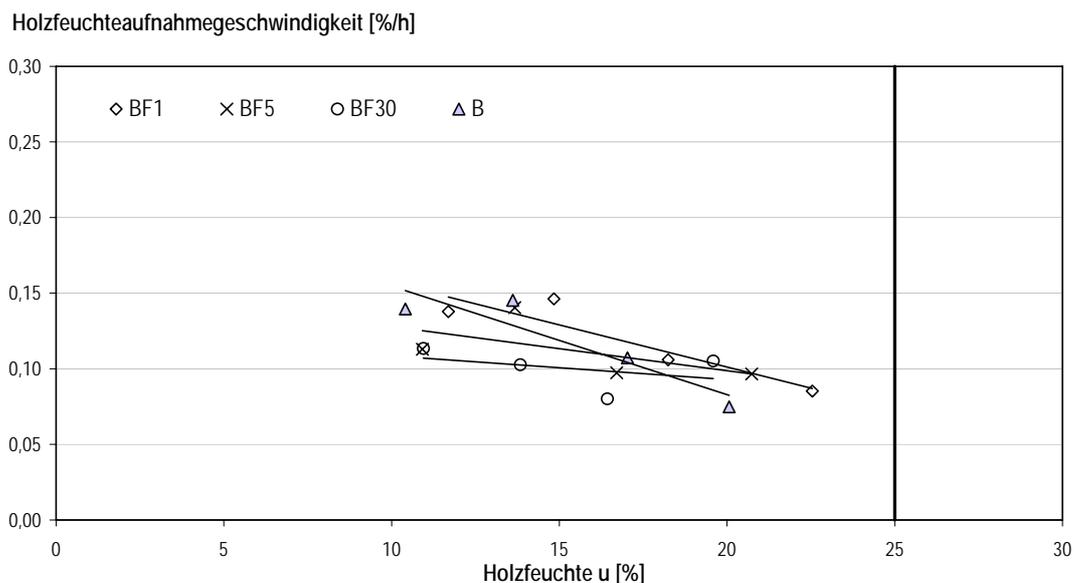


Abbildung 49: Steigung der Absorptionskurve von mit Paraffin B und den Kombinationen BF1, BF5 sowie BF30 getränkten Kiefernprüfkörpern

Die Steigungen der Absorption (Abbildung 49) lagen zwischen 0,09 und 0,11%/h, während für die Desorption Werte zwischen 1,7 und 1,9%/h berechnet wurden (Abbildung 50).

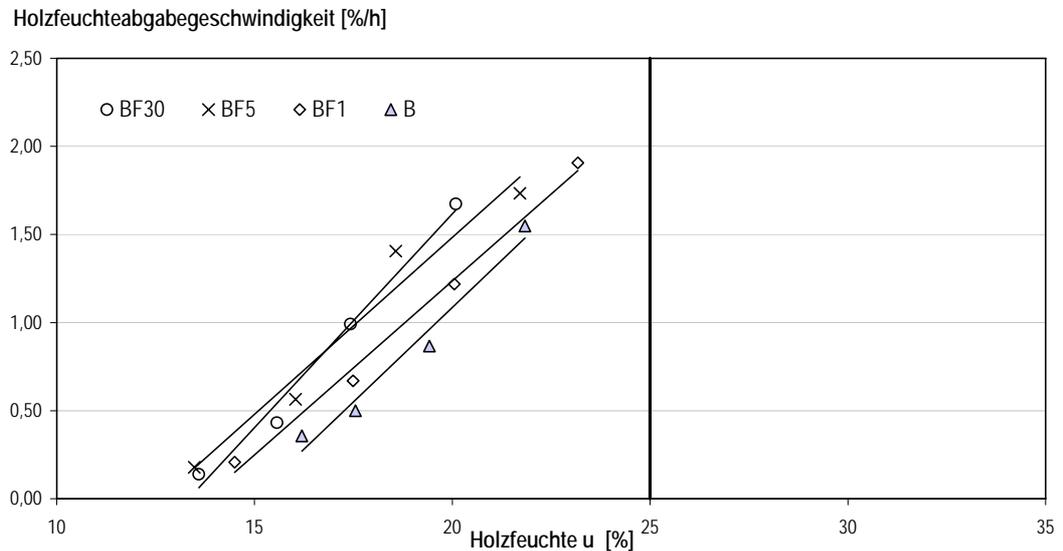


Abbildung 50: Steigung der Desorptionskurve von mit Paraffin B und den Kombinationen BF1, BF5 sowie BF30 getränkten Kiefernprüfkörpern

### 3.1.8.4 Paraffin-/Ölkombinationen mit Hauptkomponente C

Die Zunahme des Wassergehaltes von Prüfkörpern mit Paraffin-/Ölkombinationen der Hauptkomponente C während der Absorptionsphase war in der Regel identisch (Abbildung 51). Eine Ausnahme bildeten Prüfkörper mit CE5, die nach 48 h eine deutlich höhere Wasseraufnahme aufwiesen.

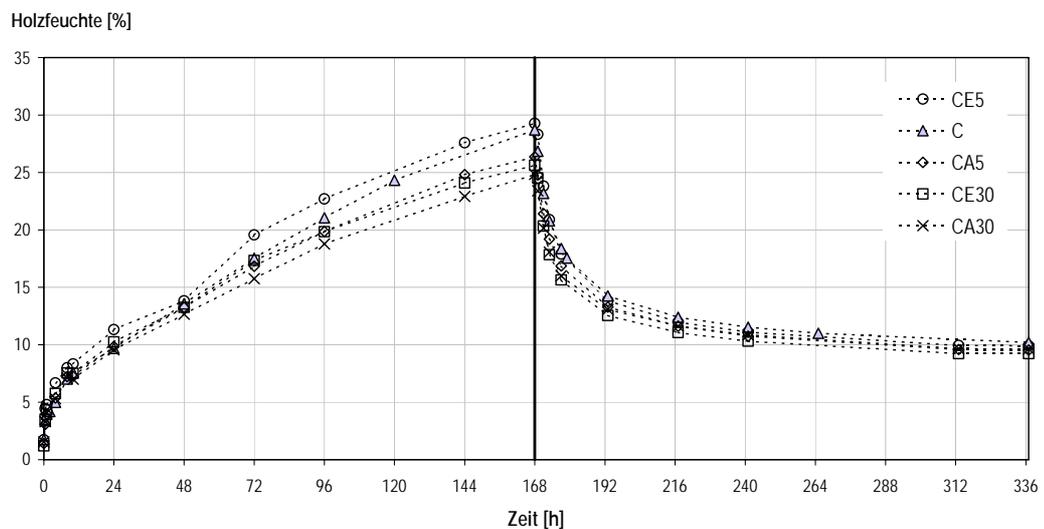


Abbildung 51: Holzfeuchteverlauf in mit Paraffin C und den Kombinationen CA5, CA30, CE5 sowie CE30 getränkten Kiefernprüfkörpern während der Absorptions- und Desorptionsphase

Während der Desorptionsphase wurde kein signifikanter Unterschied bezüglich der Wasserabgabe der Prüfkörper beobachtet.

Die Steigungen der Absorptionskurven (Abbildung 52) der Prüfkörper lagen bei allen Prüfkörpern zwischen 0,07 und 0,08%/h. Die Steigungen der Desorptionskurven (Abbildung 53) betragen zwischen 1,06 und 2,1%/h.

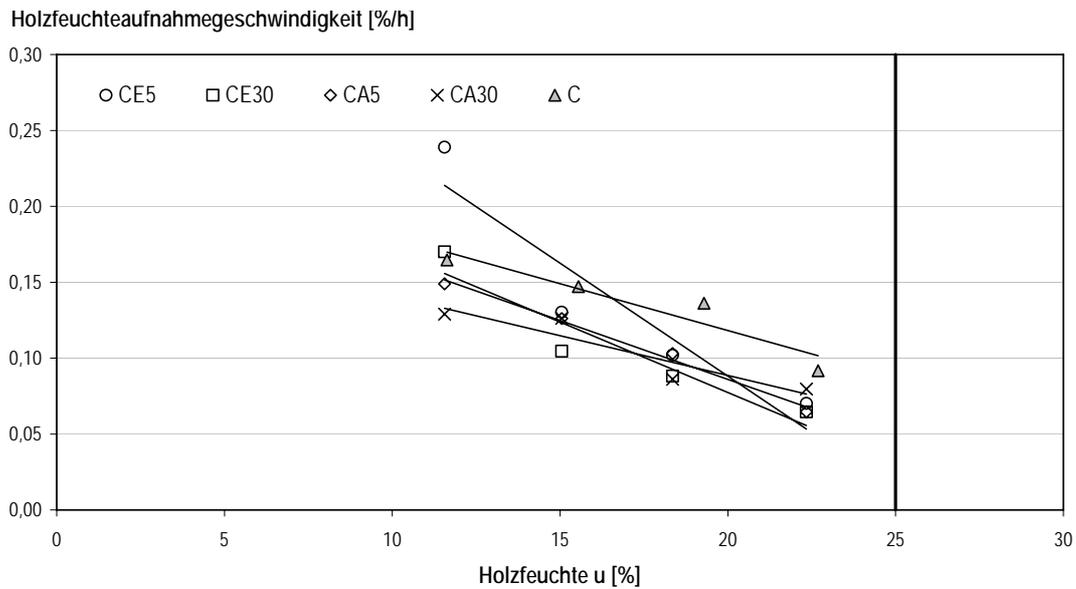


Abbildung 52: Steigung der Absorptionskurve von mit Paraffin C und den Kombinationen CA5, CA30, CE5 sowie CE30 getränkten Kiefernprüfkörpern

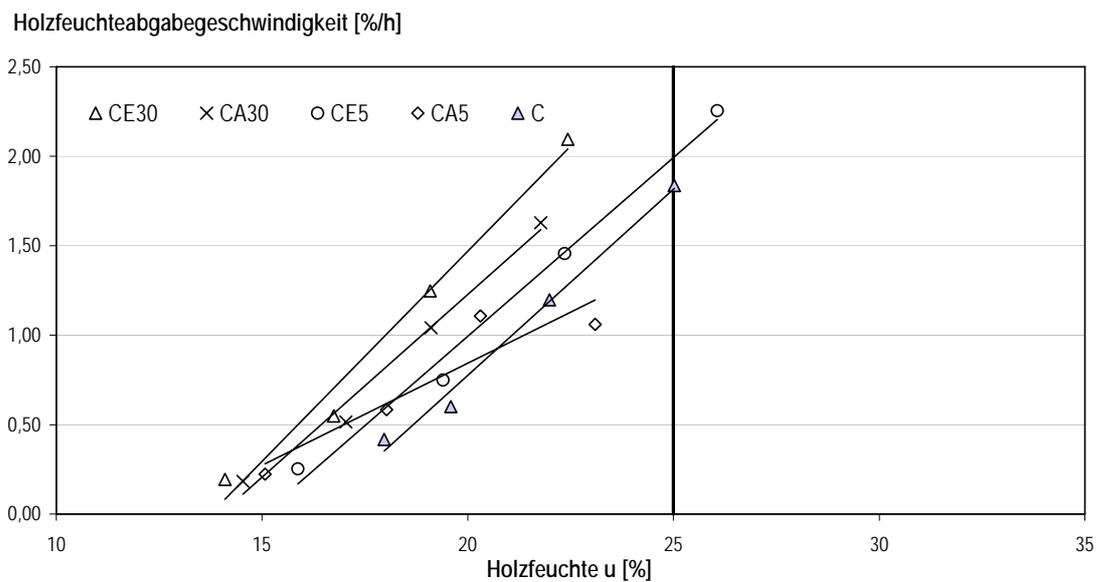


Abbildung 53: Steigung der Desorptionskurve von mit Paraffin C und den Kombinationen CA5, CA30, CE5 sowie CE30 getränkten Kiefernprüfkörpern

### 3.1.8.5 Paraffin-/Ölkombinationen mit Hauptkomponente D

Die Holzfeuchte der Prüfkörper, die mit DE30 und DA30 getränkt wurden, lag während der Absorptionsphase immer niedriger als die der Prüfkörper mit DA5 und DE5 (Abbildung 54). Nach Beendigung der Wasserlagerung betrug die Holzfeuchte von DA5 und DE5 zwischen 24 und 27%, die von DE30 und DA30 zwischen 32 und 33%. Nach der Desorptionsphase von 168 h erzielten alle Prüfkörper eine gemittelte Holzfeuchte von ca. 10%.

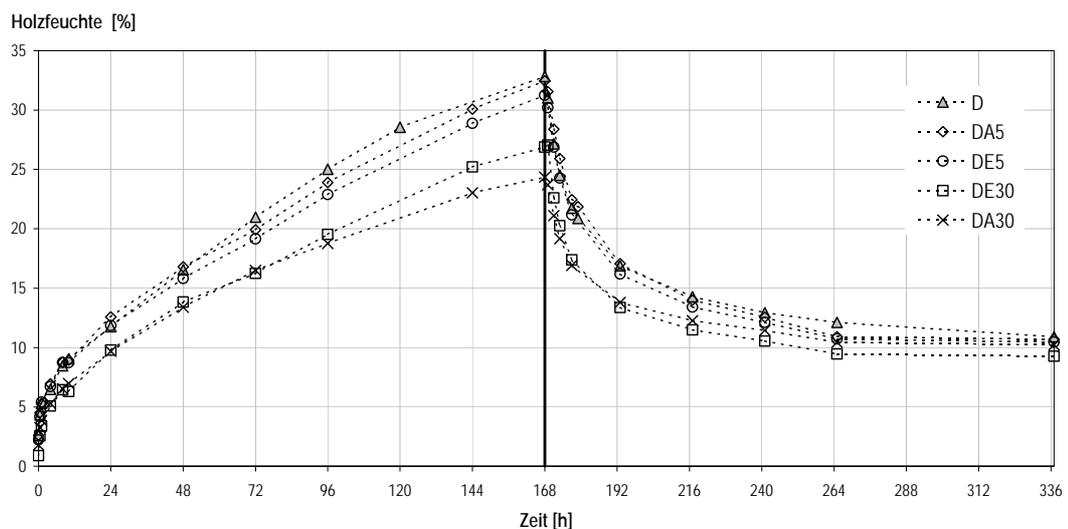


Abbildung 54: Holzfeuchteverlauf in mit Paraffin D und den Kombinationen DA5, DA30, DE5 sowie DE30 getränkten Kiefernprüfkörpern während der Absorptions- und Desorptionsphase

Aus den Steigungen der Absorptionskurven (Abbildung 55) geht hervor, dass ein Unterschied zwischen den Kombinationen besteht. Dabei ist die Art der Nebenkombinente (Paraffin A oder Weißöl E) weniger entscheidend als ihr prozentualer Anteil. Die Steigung der Absorptionskurve von Prüfkörpern mit DA5 und DE5 betrug 0,12%/h und von Prüfkörpern mit DA30 und DE30 zwischen 0,06 und 0,07%/h.

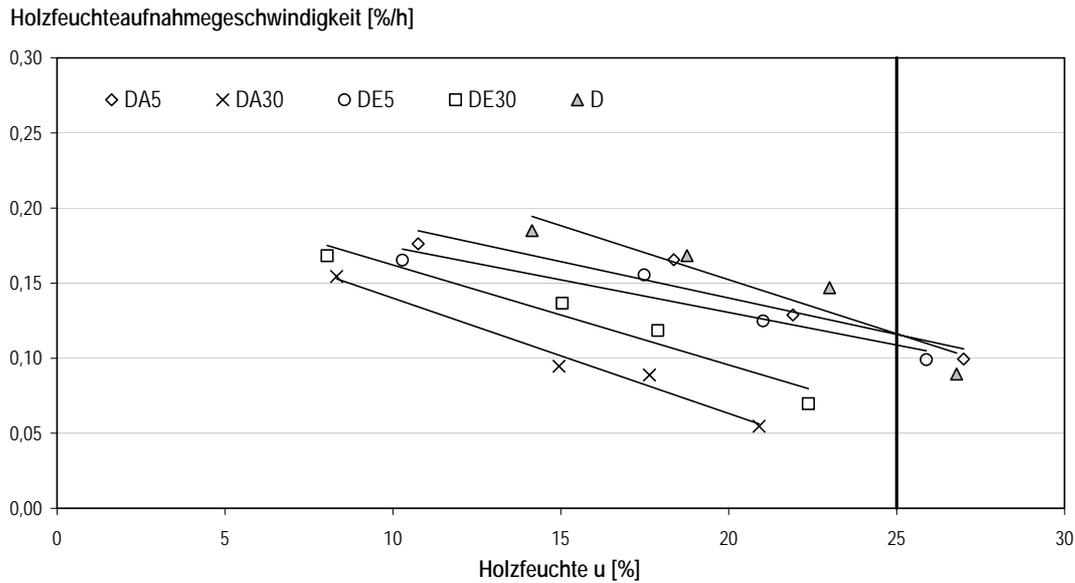


Abbildung 55: Steigung der Absorptionskurve von mit Paraffin D, und den Kombinationen DA5, DA30, DE5 sowie DE30 getränkten Kiefernprüfkörpern

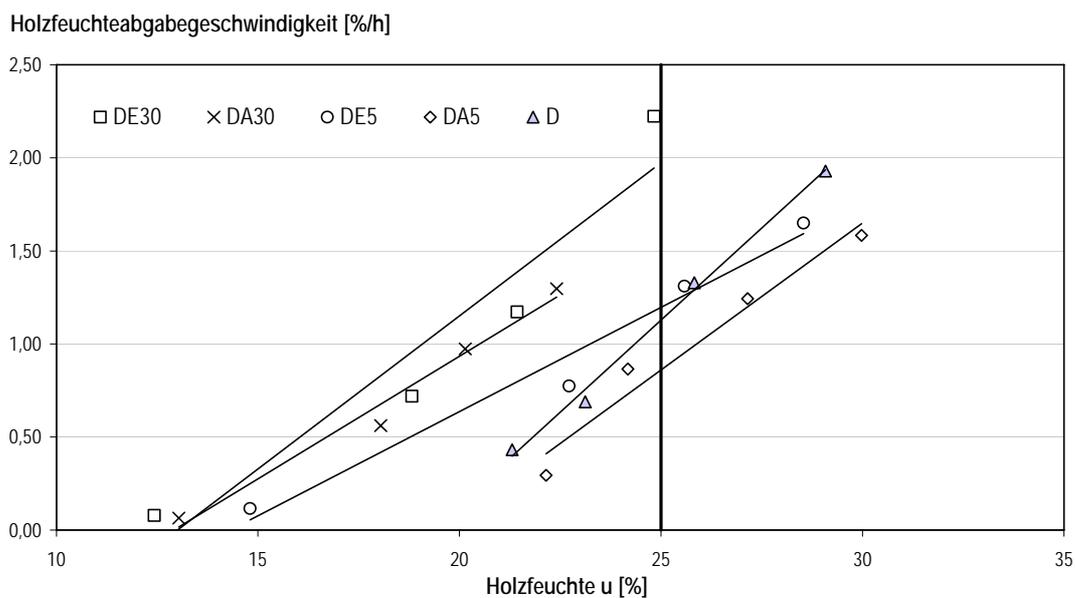


Abbildung 56: Steigung der Desorptionskurve von mit Paraffin D und den Kombinationen DA5, DA30, DE5 sowie DE30 getränkten Kiefernprüfkörpern

Die Steigungen der Desorptionsphase (Abbildung 56) lagen bei den Kombinationen mit Weißöl E (1,7- 2,2 %/h) höher als bei den Kombinationen mit Paraffin A (1,3-1,6%/h).

Die ermittelte Zeit bis zum Erreichen von 20% Holzfeuchte in der Absorptions- bzw. Desorptionsphase, die Holzfeuchte nach 168 h Wasserlagerung und nachfolgender Lagerung im Normklima, die Steigungen von Absorptions- und

Desorptionsphase sowie die ermittelten MRI-Werte sind für alle untersuchten Prüfkörper in Tab. 33 aufgeführt.

Tab. 33: Zeit bis zum Erreichen von 20% Holzfeuchte in der Absorptionsphase ( $t_{AB20}$ ) und der Desorptionsphase ( $t_{DE20}$ ), Holzfeuchte nach Wasserlagerung ( $u_{168h}$ ) und Lagerung im Normklima ( $u_{337h}$ ), Steigungen der Absorptionsphase (Abs.) und Desorptionsphase (Des.) sowie der MRI aller untersuchten Prüfkörper

Material	$t_{AB20}$ [h]	$u_{168h}$ [%]	$t_{DE20}$ [h]	$u_{337h}$ [%]	Steigung [%/h]		MRI
					Abs.	Des.	
Kontrollen	0,20	99,5	21,0	10,2	11,9	1,10	2,325
A	128,25	23,1	2,25	6,6	0,08	1,52	0,052
B	108,00	24,95	3,25	9,4	0,08	1,50	0,048
C	84,50	28,73	6,25	10,2	0,09	1,83	0,048
D	67,50	32,84	14,00	10,9	0,12	1,16	0,095
E	72,00	29,49	6,50	8,5	0,07	1,60	0,041
BF1	96,00	27,1	2,00	9,4	0,09	1,90	0,043
BF5	112,50	25,4	3,00	9,1	0,10	1,70	0,054
BF30	125,00	24,0	4,00	9,7	0,11	1,70	0,059
CA5	97,50	26,4	5,25	9,5	0,07	1,06	0,059
CA30	110,50	24,8	2,25	9,6	0,08	1,63	0,047
CE5	75,50	29,3	15,25	9,9	0,07	2,00	0,034
CE30	97,50	25,6	3,25	9,2	0,07	2,10	0,030
DA5	72,50	32,5	15,25	10,7	0,12	1,58	0,072
DA30	109,25	24,4	3,25	10,2	0,06	1,30	0,041
DE5	77,50	31,3	11,75	10,5	0,12	1,65	0,068
DE30	99,75	26,9	3,25	9,6	0,07	2,20	0,031

Die ermittelten MRI-Werte lagen bei allen getränkten Prüfkörpern zwischen 0,03 und 0,09. Der MRI der getränkten Prüfkörper unterschied sich höchst signifikant von dem MRI der Kiefernkontrollen, der 2,33 betrug. Die Absorptionsgeschwindigkeit der Kontrollen war mit 11,9%/h signifikant höher als die der behandelten Prüfkörper. Demgegenüber unterschieden sich die Steigungen der Desorptionskurven nicht signifikant.

Ob die MRI-Werte der Prüfkörper mit der Dimension 50x25x15 mm<sup>3</sup> mit den Werten von RAPP et al. (2000) korrelieren, wurde nicht untersucht.

Eine Aussage über die Anzahl der Tage im Jahr, an denen Prüfkörper im Freiland eine Holzfeuchte über 25% aufweisen, wie sie von RAPP et al. (2000) mit Prüfkörpern der Dimension 100x70x20 mm<sup>3</sup> aufgestellt wurde, lässt sich auf Grundlage der durchgeführten Untersuchungen nicht sicher treffen.

Tendenziell zeigten die Prüfkörper während der MRI-Untersuchung und der Freilandbewitterung ein ähnliches Wasseraufnahme- bzw. abgabeverhalten. Demnach würden Paraffine mit einem niedrigen Erstarrungspunkt eine höhere holzschützende Wirkung auf als Paraffine mit einem hohen Erstarrungspunkt aufweisen. Die Holzfeuchte nach der Desorptionsphase lag bei Prüfkörpern mit den Paraffinen A und E mit 6,6 bzw. 8,5% (Tab. 33) sehr niedrig, was die Annahme stützt, dass sich nicht mehr die gesamte aufgenommene Ölmenge im Holz befand, denn nach KEYLWERTH (1949) stellt sich im Normklima eine Holzfeuchte von ca. 12% ein.

### 3.1.9 Änderung der Holzfeuchte bewitterter Prüfkörper

Der Holzfeuchteverlauf in allen getränkten Prüfkörpern lag stets signifikant unter dem der Kontrollen.

#### 3.1.9.1 Reine Paraffine und Weißöl

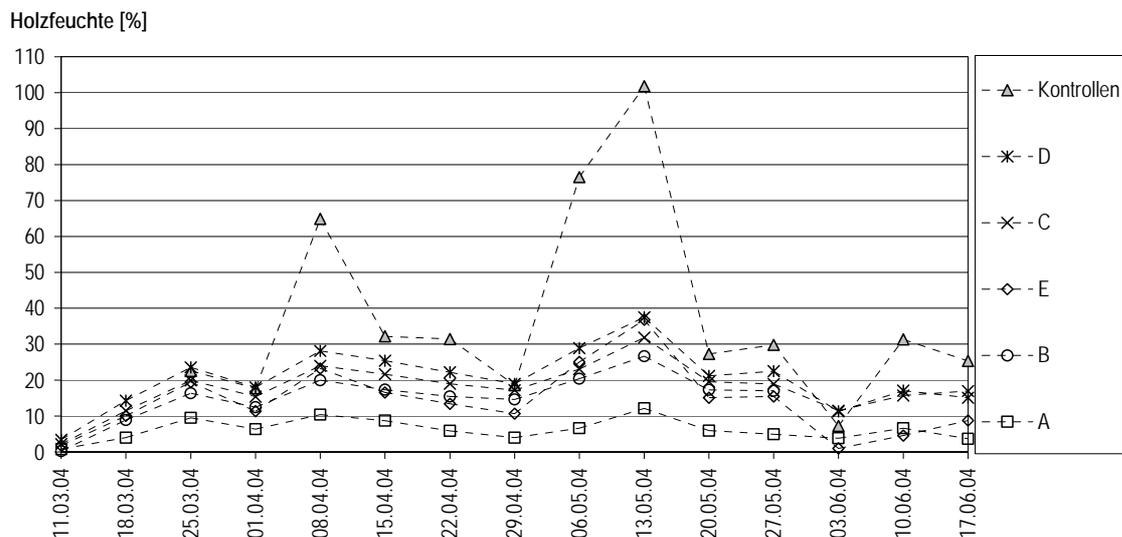


Abbildung 57: Änderung der Holzfeuchte in Kiefernprüfkörpern, imprägniert mit den Paraffinen A, B, C, D und Weißöl E sowie Kontrollen

Die Holzfeuchte der Prüfkörper, die mit den Paraffinen B, C, D und Weißöl E getränkt wurden, lag signifikant höher als die der Prüfkörper mit Paraffin A (Abbildung 57). Paraffin D wies während der gesamten Messperiode die höchste Holzfeuchte (14-39%) auf, die niedrigste wurde bei Prüfkörpern mit Paraffin A (4-12%) bestimmt.

In Tab. 34 ist die Holzfeuchtedifferenz von Prüfkörpern mit und ohne vorheriger MRI-Untersuchung während der Bewitterung für die Paraffine A, B, C, D sowie für das Weißöl E dargestellt. Positive Werte bedeuten eine höhere Holzfeuchte der Prüfkörper mit MRI-Untersuchung, negative eine höhere Holzfeuchte der Prüfkörper ohne MRI-Untersuchung. Da die Prüfkörper zu Beginn der Bewitterung unterschiedliche Holzfeuchten aufwiesen, wurde mit der Bestimmung der Differenz der Holzfeuchten erst nach 4 Wochen Freilandbewitterung begonnen, so dass die unterschiedlich vorbelasteten Prüfkörper einen Feuchteausgleich erfahren konnten.

Die Holzfeuchte der Prüfkörper, an denen vor der Bewitterung eine MRI-Untersuchung durchgeführt wurde, lag bei Prüfkörpern mit Paraffin A und B bei jeder Messung über der Holzfeuchte von Prüfkörpern ohne MRI-Untersuchung. Prüfkörper, die mit den Paraffinen C und D oder mit Weißöl E getränkt wurden, ließen keine einheitliche Aussage darüber zu, ob Prüfkörper mit oder ohne MRI-Untersuchung im Freiland eine höhere Holzfeuchte aufwiesen.

Tab. 34: Differenz der Holzfeuchte ( $\Delta u$ ) bei Freibewitterung von Prüfkörpern (Kiefernprüfkörpern imprägniert mit den Paraffinen A, B, C, D sowie Weißöl E) mit und ohne initialer MRI-Bestimmung

Datum	$\Delta u$ A	$\Delta u$ B	$\Delta u$ C	$\Delta u$ D	$\Delta u$ E
08.04.04	4,80	4,61	3,68	2,54	4,66
15.04.04	2,95	2,16	0,61	-2,00	1,13
22.04.04	2,45	1,81	-0,56	-3,41	-0,59
29.04.04	3,12	2,00	0,53	-1,17	1,25
06.05.04	4,29	2,84	1,66	-0,83	-0,14
13.05.04	4,71	3,42	1,64	-0,73	0,70
20.05.04	2,63	0,15	-0,87	-2,59	-1,02
27.05.05	1,90	0,50	-0,06	-2,33	-0,34
03.06.04	0,98	0,30	0,02	3,04	1,30
10.06.04	1,47	0,12	0,16	4,19	1,43
17.06.04	0,53	0,15	-0,15	1,77	0,75

### 3.1.9.2 Kombinationen aus Paraffin B und PE Additiv

Prüfkörper, die mit Kombinationen von Paraffin B und PE-Additiv imprägniert wurden, wiesen keinen signifikanten Unterschied bezüglich der Holzfeuchte auf (Abbildung 58). Die Holzfeuchte aller Kombinationen lag zwischen 9 und 28%.

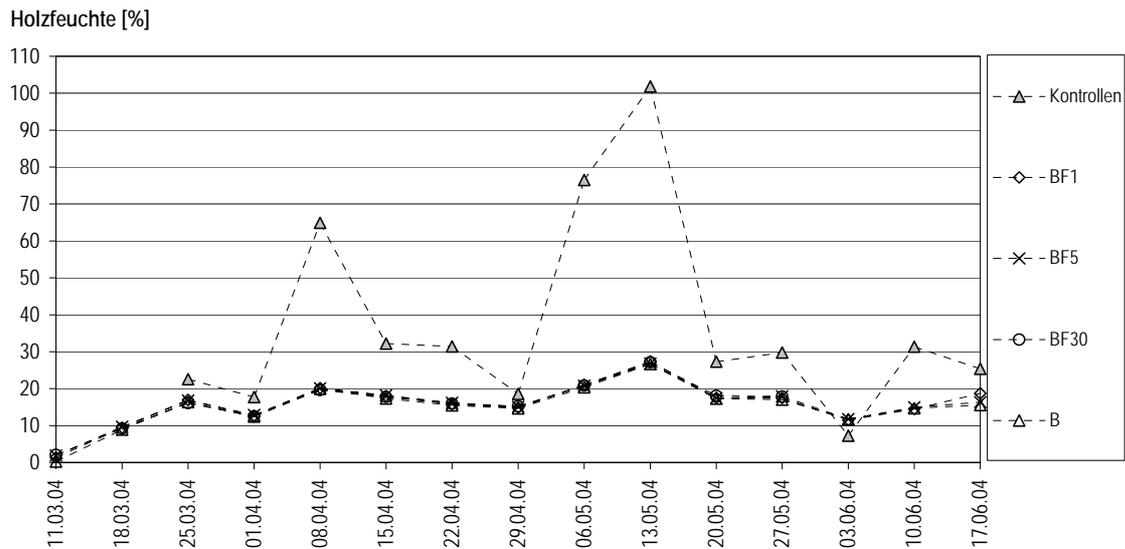


Abbildung 58: Änderung der Holzfeuchte in den Kiefernprüfkörpern, imprägniert mit den Paraffin/PE-Kombinationen BF1, BF5 und BF30 und unbehandelten Kontrollen

Tab. 35: Differenz der Holzfeuchte bei Bewitterung von Kiefernprüfkörpern imprägniert mit BF1, BF5 und BF30 mit und ohne vorheriger MRI Untersuchung ( $\Delta u$ )

Datum	$\Delta u$ BF1	$\Delta u$ BF5	$\Delta u$ BF30
08.04.04	4,14	3,61	3,28
15.04.04	2,14	1,49	1,16
22.04.04	1,57	0,98	0,27
29.04.04	1,86	1,69	0,71
06.05.04	2,32	2,19	1,15
13.05.04	3,47	3,74	1,82
20.05.04	0,74	0,35	-0,91
27.05.05	0,93	0,68	0,22
03.06.04	0,53	0,57	-0,35
10.06.04	0,52	0,16	-0,32
17.06.04	0,22	0,07	-0,90

Bei Prüfkörpern mit und ohne vorheriger MRI-Bestimmung wurde ein geringer Unterschied der Holzfeuchte festgestellt (Tab. 35), der sich mit der Zeit der Bewitterung zudem noch verringerte. Es ist auffällig, dass mit steigendem PE-Anteil die vorhandene Holzfeuchtedifferenz in der Regel geringer wurde. In einem Fall führte eine 30%igen PE-Additivzugabe sogar zu höheren Feuchten. Die Holzfeuchte der Prüfkörper mit vorheriger MRI-Untersuchung lag bei den Kombinationen BF1 und BF5 stets über der Holzfeuchte der Prüfkörper ohne vorheriger MRI-Untersuchung.

### 3.1.9.3 Paraffin-/Ölkombinationen mit Hauptkomponente C

Prüfkörper, die mit Paraffin-/Ölkombinationen aus CA und CE getränkt wurden, zeigten keinen signifikanten Unterschied der Holzfeuchte (Abbildung 59) in Abhängigkeit vom Additivzusatz, sie betrug in der Zeit von März bis Juni 2004 zwischen 9 und 33%.

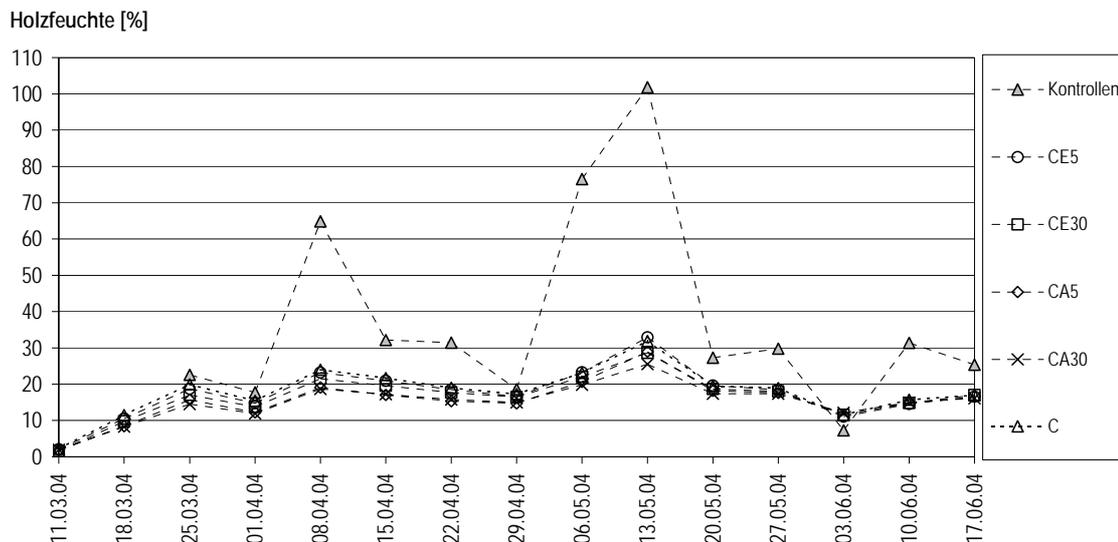


Abbildung 59: Änderung der Holzfeuchte in Kiefernprüfkörpern, imprägniert mit den Paraffin-/Ölkombinationen CA5, CA30, CE5 und CE30 und unbehandelten Kontrollen

Tab. 36: Differenz der Holzfeuchte bei Bewitterung von Kiefernprüfkörpern imprägniert mit CA5, CA30, CE5 und CE30 mit und ohne vorheriger MRI-Untersuchung ( $\Delta u$ )

Datum	$\Delta u$ CA5	$\Delta u$ CA30	$\Delta u$ CE5	$\Delta u$ CE30
08.04.04	7,45	5,56	7,66	5,24
15.04.04	6,90	4,66	6,42	4,09
22.04.04	4,80	3,96	3,83	2,88
29.04.04	4,07	3,75	3,85	2,98
06.05.04	4,55	3,75	3,96	2,62
13.05.04	4,78	4,64	3,51	3,73
20.05.04	2,16	2,60	2,03	1,66
27.05.05	1,98	2,15	2,03	2,08
03.06.04	1,04	1,21	1,00	1,00
10.06.04	1,35	1,26	1,84	1,60
17-06-04	1,13	0,98	1,25	0,70

Prüfkörper mit und ohne MRI-Bestimmung wiesen während der Freilandbewitterung Unterschiede ihrer Holzfeuchte auf (Tab. 36), die mit der Zeit der Bewitterung abnahmen. Die Holzfeuchte der Prüfkörper, an denen vor

der Bewitterung eine MRI-Untersuchung vorgenommen wurde, lag stets über der Holzfeuchte von Prüfkörpern ohne MRI-Untersuchung.

Eine Ausnahme bildeten Prüfkörper, die mit CE30 behandelt wurden, bei denen die Prüfkörper mit MRI-Untersuchung bei drei Messungen eine minimal niedrigere Holzfeuchte aufwiesen. Die Holzfeuchtedifferenz war bei Prüfkörpern mit einem 30%igen Anteil der Nebenkomponente (Paraffin A oder Weißöl E) kleiner als bei den Kombinationen mit einem Nebenkomponentenanteil von 5%, was die holzschützende Wirkung einer niedrignschmelzenden, migrationsfähigen Komponente bestätigt.

### 3.1.9.4 Paraffin-/Ölkombinationen mit Hauptkomponente D

Die Holzfeuchte der Prüfkörper, die mit Paraffin-/Ölkombinationen mit Hauptkomponente D imprägniert wurden, lag zwischen 9 und 39% (Abbildung 60). Ein signifikanter Unterschied zwischen den Kombinationen in Abhängigkeit der Konzentration der Additive wurde nicht festgestellt.

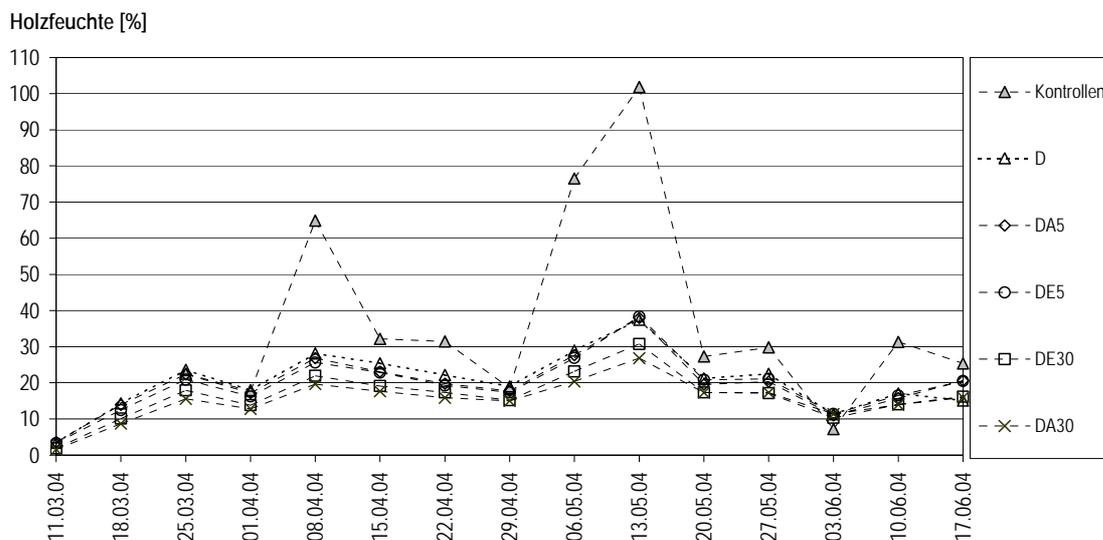


Abbildung 60: Änderung der Holzfeuchte in Kiefernprüfkörpern, imprägniert mit den Paraffin-/Ölkombinationen DA5, DA30, DE5 und DE30 und unbehandelten Kontrollen

Die Holzfeuchte der Prüfkörper, an denen vor der Bewitterung eine MRI-Untersuchung vorgenommen wurde, lag überwiegend über der Holzfeuchte der Prüfkörper ohne vorherige MRI-Untersuchung.

Es wurde bei den Prüfkörpern mit und ohne MRI-Bestimmung ein geringer Unterschied in der Holzfeuchte gemessen (Tab. 37), der mit fortschreitender Bewitterung kleiner wurde. Im Fall des Paraffins D bleibt festzuhalten, das eine

Erhöhung des Anteils des Additivs A zu höheren Differenzfeuchten führte, in allen anderen Fällen (Paraffin B, C mit A und E als Additiv, D mit E als Additiv) führte eine höhere Additivzugabe zu geringeren Differenzen in der Holzfeuchte von Prüfkörpern mit und ohne vorheriger MRI-Bestimmung.

Tab. 37: Differenz der Holzfeuchte bei Bewitterung von Kiefernprüfkörpern (50x25x15mm<sup>3</sup>) imprägniert mit DA5, DA30, DE5 und DE30 mit und ohne vorheriger MRI Untersuchung ( $\Delta u$ )

Datum	$\Delta u$ DA5	$\Delta u$ DA30	$\Delta u$ DE5	$\Delta u$ DE30
08.04.04	6,58	6,31	6,32	3,95
15.04.04	4,87	5,59	4,98	2,41
22.04.04	2,43	4,29	2,64	1,37
29.04.04	2,63	4,29	3,33	2,19
06.05.04	3,15	4,81	2,82	1,11
13.05.04	1,96	4,86	-0,48	0,36
20.05.04	1,52	3,10	0,50	-0,23
27.05.05	2,30	3,09	0,79	-0,02
03.06.04	0,47	1,16	0,29	0,21
10.06.04	1,40	2,19	0,31	0,28
17.06.04	0,77	2,04	-0,10	-0,24

Obwohl die hydrophobierten Prüfkörper relativ hohe Holzfeuchten von bis zu 30% aufwiesen, sind diese Materialfeuchten auf Grund der sehr kleinen Dimension (50x25x15mm<sup>3</sup>) der Prüfkörper als nicht kritisch zu werten. So bemerkt SELL (1979), dass die Feuchteschwankungen mit abnehmenden Abmessungen der Versuchskörper zunehmen. Folglich ist dieser Freilandversuch nicht mit Ergebnissen von SAILER (2000) vergleichbar.

Freilanduntersuchungen, zum Beispiel DIN ENV 12037 (1996) oder der Doppellagentest (RAPP und AUGUSTA 2004), nutzen Prüfkörperdimensionen, bei denen die Hirnflächen im Verhältnis zum Volumen kleiner sind, wodurch die Wasseraufnahme entscheidend beeinflusst wird. Der Freilandversuch verdeutlichte, dass synthetische Öle und Wachse für eine Hydrophobierung von Holz geeignet sind.

Die sehr niedrigen Holzfeuchten der mit Paraffin A getränkten Prüfkörper sind auf einen Paraffinausfluss zurückzuführen. Die Holzfeuchte wurde während der Freilandbewitterung gravimetrisch bestimmt, so dass ein Masseverlust als Abnahme des Wassergehaltes (Holzfeuchte) gewertet wurde. Wie viel Paraffin am Ende der Bewitterung noch im Holz verblieben war, wurde nicht ermittelt.

Bei Prüfkörpern mit Weißöl E wurde ebenfalls ein Ölausfluss beobachtet. Deshalb ist davon auszugehen, dass auch bei diesen Prüfkörpern, die tatsächliche Holzfeuchte höher lag, als hier angenommen. Die Prüfkörper, die mit Paraffin A und E behandelt waren, wurden nachträglich nicht konditioniert, da im Trockenschrank schon bei Temperaturen unter 50°C ein Ölausfluss beobachtet wurde.

Das Verhalten von Paraffinen im Holz wird maßgeblich durch den Erstarrungspunkt des Paraffins bestimmt. Prüfkörper, die mit den langkettigen Paraffinen C und D getränkt wurden, wiesen während der Bewitterung stets eine höhere Feuchte auf, als mit kurzkettigen Paraffinen A und B imprägnierte Prüfkörper. Das Verhalten der Paraffine C und D im Holz ist auf Grund ihrer hohen Schmelzpunkte mit vernetzenden Ölen vergleichbar, da sie nach dem Erstarren im Lumen ein statisches System bilden, das auf Dimensionsänderungen des Holzes als Folge von Temperatur- und Feuchteschwankungen nicht reagiert. Eine dauerhafte Benetzung der Zellwand, die das Anlagern von Wassermolekülen unterbindet, wird somit ohne Verwendung einer geeigneten, mobilen Komponente (z. B. Paraffin A oder B) nicht erreicht. Die Paraffine A und B sowie das Weißöl E sind auf Grund ihrer Mobilität im Holz mit nicht oder wenig vernetzenden Ölen vergleichbar, die eine dauerhafte Benetzung der Zellwand bewirken. Dadurch wiesen sie eine höhere wasserabweisende Wirkung im Holz auf als die Paraffine C und D.

Auch WELZBACHER (2004) fand bei Prüfkörpern, die mit langkettigen Paraffinen imprägniert wurden, höhere Feuchten, als bei Prüfkörpern, die mit kurzkettigen Paraffinen behandelt wurden. Dies widerspricht einer Untersuchung von DIX et al. (2003), der die hydrophobierende Wirkung von Paraffinen bei MDF-Platten prüfte. Die Untersuchung zeigte, dass der Einsatz von langkettigen Paraffinen zu einer geringeren Wasseraufnahme führte. Die Untersuchungen sind allerdings nur bedingt vergleichbar, da die Imprägnierung von Vollholz auf der Tränkung eines kapillar-porösen Systems beruht, während bei MDF die Fasern von der Imprägniersubstanz umschlossen werden (ALBRECHT 1968).

Die Holzfeuchte der Prüfkörper mit Paraffin C und D überschritten während der Messperiode den Fasersättigungsbereich, der bei Kiefer zwischen 30 und 34%

liegt (TRENDELENBURG und MAYER-WEGELIN 1955). Eine Holzfeuchte über Fasersättigung bedeutet, dass die Zellwände mit Wasser gesättigt sind und dass die Zelllumen Wasser enthalten. Durch die hohe Beladung der Prüfkörper mit Paraffin ist davon auszugehen, dass die Lumina der Zellen im darrtrockenen Zustand nach der Tränkung mit Paraffin weitestgehend ausgefüllt waren. Eine Holzfeuchte über Fasersättigung ist daher nur ein Quellen und die damit verbundene Dimensionsänderung des Holzes zu erklären, wobei es zu einem Ablösen des erstarrten Paraffins von der Zellwand kommt. Im Ergebnis bildeten sich zwischen dem erstarrten Paraffin und der Zellwand Kapillaren, die eine erhöhte Wasseraufnahme ermöglichen.

Prüfkörper, die mit den Paraffinen A und B imprägniert wurden, überschritten den Fasersättigungsbereich nicht, was die Annahme unterstützt, dass die teilweise noch viskosen Paraffine im Holz eine Wasseraufnahme behindern. Da aber davon ausgegangen wird, dass die Paraffine nicht in die Zellwand eindringen, ist eine Wasseraufnahme bis Fasersättigung möglich.

### **3.1.10 Vorauswahl geeigneter Paraffin-/Ölkombinationen für die weiteren Versuchsphasen**

Holz im Außenbereich kann je nach Farbton eine Oberflächentemperatur von 40°C (weiß) bis 80°C (schwarz) erreichen (COLLING 2000). Für den Einsatz im Außenbereich ist deshalb ein Paraffin zu verwenden, das einen Erstarrungspunkt von mindestens 80°C aufweist, da es sonst zu einem Paraffinausfluss kommen kann. Prüfkörper mit Paraffin B (Erstarrungstemperatur von 58°C) zeigten bei starker Sonneneinstrahlung im Freibewitterungsversuch ein Ausschwitzen. Da dieses schon im Vorfeld vermutet worden war, wurde Paraffin B mit einem PE-Additiv verschiedener Konzentration gemischt, was zu einer Erhöhung der Erstarrungstemperatur führen sollte. Ein Unterschied der Prüfkörper mit Paraffin B und PE-Additiv bezüglich des Ausschwitzens der Imprägnierlösung wurde bei einer optischen Bewertung der Prüfkörper jedoch nicht festgestellt. **Ein Einsatz der genannten Paraffine A, B, der Kombinationen aus Paraffin B und PE-Additiv F sowie des Weißöles E wird daher auf Grund des zu niedrigen Schmelzpunktes bzw. des Unvermögens, bei hohen Temperaturen im Holz zu verbleiben, ausgeschlossen.**

**Die Eignung von reinen Paraffinen C und D sowie die Paraffin-/Ölkombinationen mit den Hauptkomponenten C und D für die Tränkung von Vollholz für den Außenbereich ist auf Grund des Schmelzpunktes und der zu erzielenden Beladung gegeben.**

Für weitere Untersuchungen wurde die Kombination aus einem bei 85°C schmelzendem Paraffin (C) und dem bei Sonneneinstrahlung mobilisierbarem Paraffin (A) gewählt.

## **3.2 Entwicklung eines Sparverfahrens**

### **3.2.1 Erweiterung der bestehenden Labortränkanlage**

Basierend auf dem Angebot (19.145,80 €) der Firma Zirbus vom 23.06.2004 erfolgte die Bestellung einer separaten Wachsaufschmelz- und Vordruckeinheit, wobei die Anlage am 26.01.2005 geliefert wurde. Die Inbetriebnahme der Anlage wurde nach Mängelbeseitigung am 29.03.2005 realisiert. Ab diesem Zeitpunkt konnte mit der Entwicklung eines Spartränkverfahrens begonnen werden. Limitierend war, dass es im weiteren Betrieb der Anlage immer wieder zu konstruktionsbedingten Ausfällen kam:

- 26.01.2005 Anlieferung der Anlage (siehe Anhang: Abnahmeprotokoll)
- Die Drucksonde in der Rohrleitung wurde in nicht-temperaturstabiler Ausführung verbaut und fiel am 18.02.2006 aus, Austausch gegen temperaturstabiles Modell am 29.03.2005.
- Der Wellendichtring erwies sich als Fehlkonstruktion und verursachte drei Leckagen:
  - 14.02.2005 – Instandsetzung 24.02.2005
  - 27.03.2006 – Instandsetzung 12.04.2006
  - 13.04.2006 – Instandsetzung 22.05.2006.
- Motorschaden des Rührwerkmotors (24.02.2006 Ausfall, Instandsetzung 08.03.2006)
- Ein Umbau der Rührwerkslagerung und Einbau eines zusätzlichen Kugellagers erfolgte ab dem 13.04.2006 in Bad Grund durch Firma Zirbus, Wiederaufstellung war am 22.05.2006.

- Die elektronische Steuerungseinheit des ASG 400 fiel am 27.07.2006 teilweise aus, so dass ein Schalten der Pumpe und Öffnen des pneumatischen Flut-Ventils nicht möglich war. Als Folge konnte bis zur Überbrückung der Steuerungskontakte am 07.08.2006 durch einen beauftragten Elektriker kein Vordruck-Prozess betrieben werden.
- Am 10.08.2006 fiel die komplette Steuerungssoftware des ASG 400 aus, die elektronische Steuerungseinheit JUMO 500 musste vollständig neu programmiert werden. Das Auslesen, Festsetzen der Prozessparameter und Signal-Eingangskanäle inklusive vollständiger Neuprogrammierung erfolgte in der Zeit vom 21.08.2006 bis 04.10.2006.

Ein kontinuierlicher Betrieb der Anlage war somit nicht möglich.

### 3.2.2 Einfluss des Vordruckes auf die Wachsaufnahmemenge

Die Variation des Vordruckes hatte einen überraschenden Einfluss auf die resultierende Wachsaufnahme: Mit **steigendem Vordruck verringerte sich die eingebrachte Wachsmenge** (Abbildung 61).

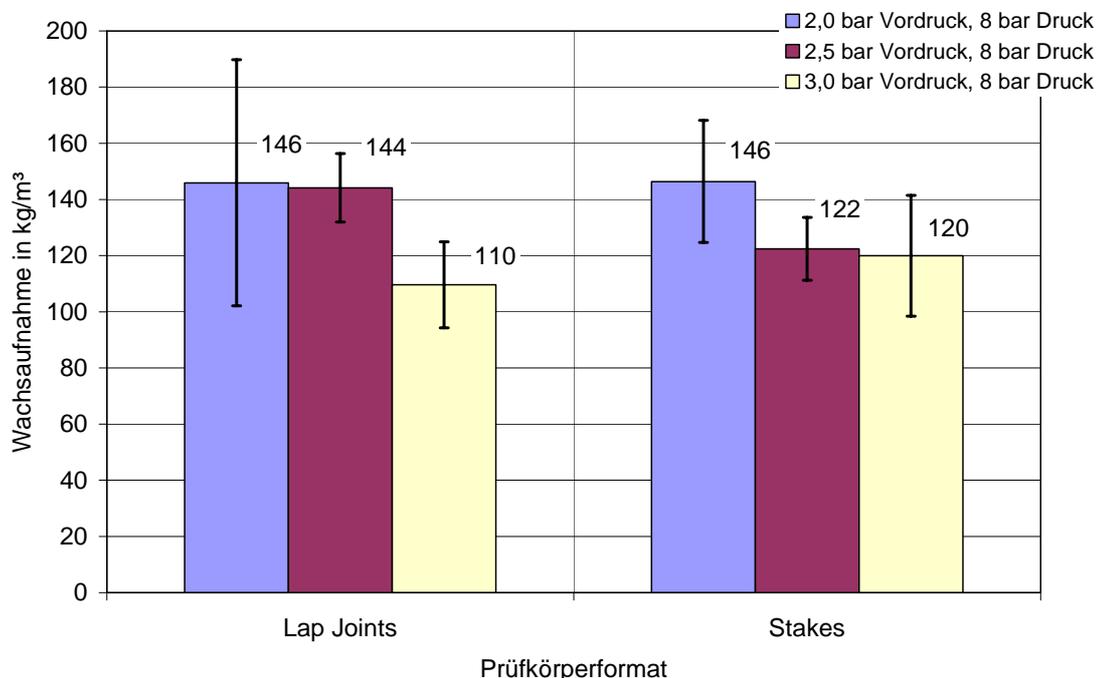


Abbildung 61: Mittlere Wachsaufnahme und Standardabweichung (I) von Prüfkörpern aus Kiefernspilnholz; verwendetes Tränkwachs: Parafint C80, Tränktemperatur: 120°C, Vordruckdauer: 30 Minuten, Druckphase: 4 Stunden

Das Prüfkörperformat hatte keinen signifikanten Einfluss auf die erzielte mittlere Wachsbeladung. Beide Prüfkörperformate wiesen bei einem Vordruck von 3,0 bar eine mittlere Wachsaufnahme von 110 bis 120 kg/m<sup>3</sup> auf.

### 3.2.3 Einfluss der Prüfkörperlänge auf die Wachsaufnahme

Um einen Einfluss der axialen Prüfkörperlänge auf die Wachsaufnahme von Kiefersplint-Prüfkörpern in Versuchen zur Optimierung des Tränkprozesses auszuschließen, wurden verschieden lange Prüfkörper des Querschnittes 25x50 mm<sup>3</sup> in einem Sparprozess getränkt. Weiterhin wurden die verschieden langen Prüfkörper jeweils unversiegelt, eine als auch beide Hirnflächen versiegelt und anschließend getränkt (Abbildung 62). Es zeigte sich, dass die Prüfkörperlänge keinen signifikanten Einfluss auf die Wachsbeladung hat.

Aus Abbildung 62 geht hervor, dass eine einseitige Versiegelung der Hirnflächen die mittlere Wachsaufnahme in der Regel kaum beeinflusst. Hingegen führte eine beidseitige Versiegelung bei kleinen Prüfkörperformaten zu einer geringeren Wachsaufnahme. Bei den 40 cm langen Prüfkörpern führte die Versiegelung zu keiner Veränderung des Tränkergebnisses.

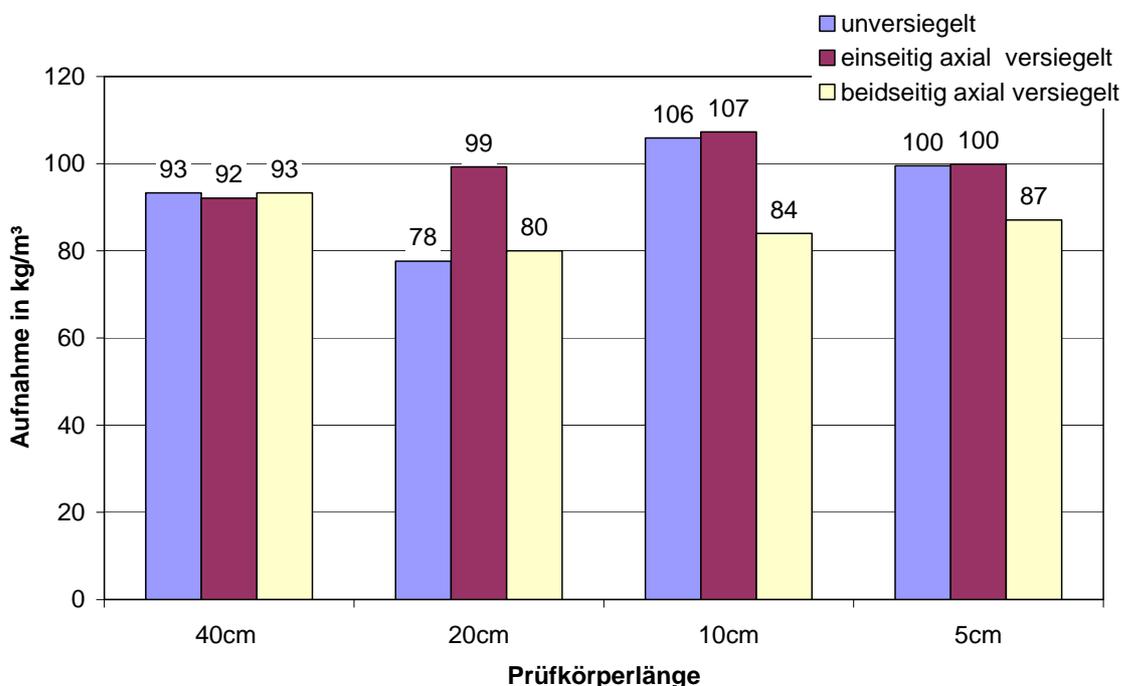


Abbildung 62: Mittlere Wachsaufnahme von verschieden langen Kiefersplint-Prüfkörpern des Querschnittes 25x50 mm<sup>3</sup> nach Spartränkung mit Parafllint C80 und 5%igen Anteil Terhell 5803; Tränkparameter: 3 bar Vordruck/ 30 min, 8 bar Druck/ 4 h, 120°C mittlere Tränktemperatur

Die unversiegelten Proben wiesen eine mittlere Wachsaufnahme von 78 bis 106 kg/m<sup>3</sup> auf. Eine Versiegelung einer Hirnfläche resultierte in einer mittleren Wachsaufnahme von 92 bis 107 kg/m<sup>3</sup>. Tendenziell war die Wachsaufnahme beidseitig versiegelter Prüfkörper mit 80 und 93 kg/m<sup>3</sup> niedriger.

### 3.2.4 Einfluss des Tränkwachses auf die Wachsaufnahme

Mit zunehmendem Erstarrungspunkt des Tränkwachses stieg auch die mittlere Wachsaufnahme an (Abbildung 63).

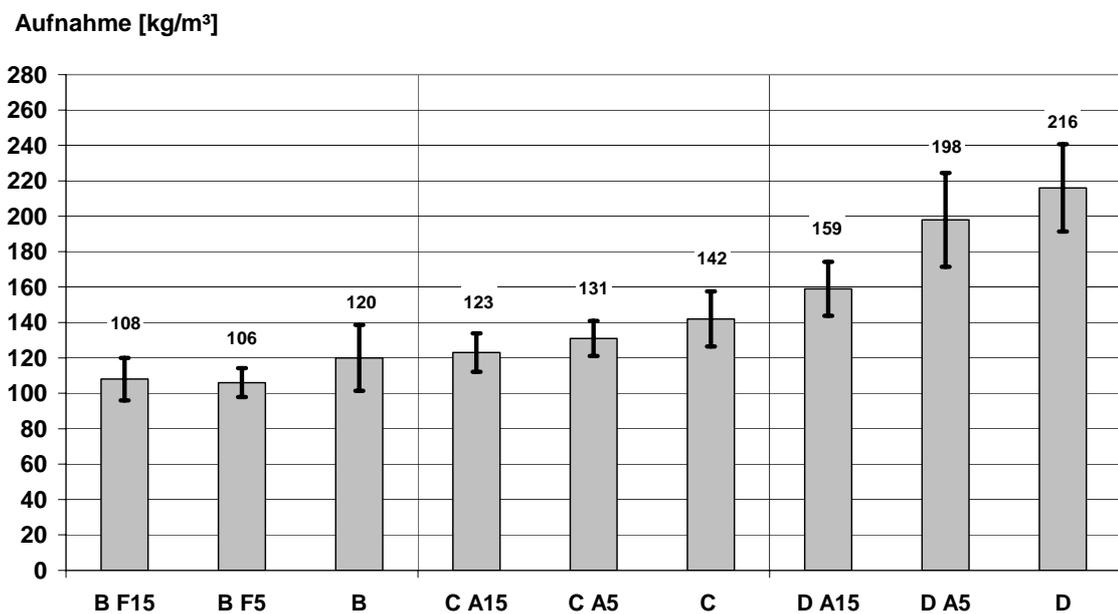


Abbildung 63: Mittlere Wachsaufnahme von Kiefern splintprüfkörpern nach Tränkung mit verschiedenen Tränkwachsen mit ansteigendem Erstarrungspunkt; Vordruck: 3,0 bar/ 30 min, Druckphase 8 bar/ 2 h

Die aus dem Grundwachs Terhell 5803 (B) hergestellten Wachse wiesen neben den kürzesten Kettenlängen auch die niedrigste Wachsaufnahme aller untersuchten Wachsblends auf, wobei mittlere Wachsaufnahmen von 108 bis 120 kg/m<sup>3</sup> durch die Spartränkung erreicht wurden. Eine Verlängerung der Kettenlänge durch Einsatz des Grundwachses Paraflint C80 (C) führte im Vergleich zur Tränkung mit Terhell 5803 bei identischen Tränkparametern zu höheren Einbringmengen. Die Aufnahme lag für die auf Paraflint C80 basierenden Wachsblends im Bereich von 123 bis 142 kg/m<sup>3</sup>. Hierbei gilt: Je höher der Anteil an C80 desto größer die Wachsaufnahme. Die Spartränkungen mit Tränkwachsen auf Basis von Paraflint C105 (D) ergaben sogar

Wachsaufnahmen bis zu 216 kg/m<sup>3</sup>. Ein ansteigender Reinheitsgrad führte analog zur Tränkung mit C80 zu erhöhten mittleren Aufnahmen.

### 3.2.5 Einfluss der Spartränkung auf die Wachsverteilung

Durch die Erhöhung des Vordruckes während der Spartränkung wurden verschiedene Wachsaufnahmen erreicht (Tab. 38).

Tab. 38: Mittlere Wachsaufnahme nach Tränkung von Kiefernslint-Prüfkörpern (400x50x25 mm<sup>3</sup>) bei ansteigendem Vordruck und konstanten Prozessparametern (Temperatur: 110°C; Prozessdruck 8 bar für 2 h)

Vordruck	2,0 bar	2,5 bar	3,0 bar	3,5 bar
mittlere Wachsaufnahme	151 kg/m <sup>3</sup>	131 kg/m <sup>3</sup>	109 kg/m <sup>3</sup>	69 kg/m <sup>3</sup>

Nach Auftrennung der Prüfkörper erschienen alle Schnittinnenflächen homogen durchfärbt. Beispielhaft ist die gleichmäßige Färbung des Kiefernslint-Prüfkörpers bei einer Wachseladung von 66 kg/m<sup>3</sup> nach Spartränkung in Abbildung 64 dargestellt.



Abbildung 64: Schnittflächen eines aufgetrennten Kiefernslint-Prüfkörpers nach Spartränkung mit Bekro-Rot gefärbtem Wachs Paraflint C80; Wachsmenge des Prüfkörpers 66 kg/m<sup>3</sup>

Die Wachs-anlagerung und Verteilung im Prüfkörperinnern wurde lichtmikroskopisch untersucht. Die Kiefern-splintprüfkörper aus einem Spartränkverfahren zeigten überwiegend eine Wachsbeschichtung an der Innenseite der Zellwände im Lumen (Abbildung 65).

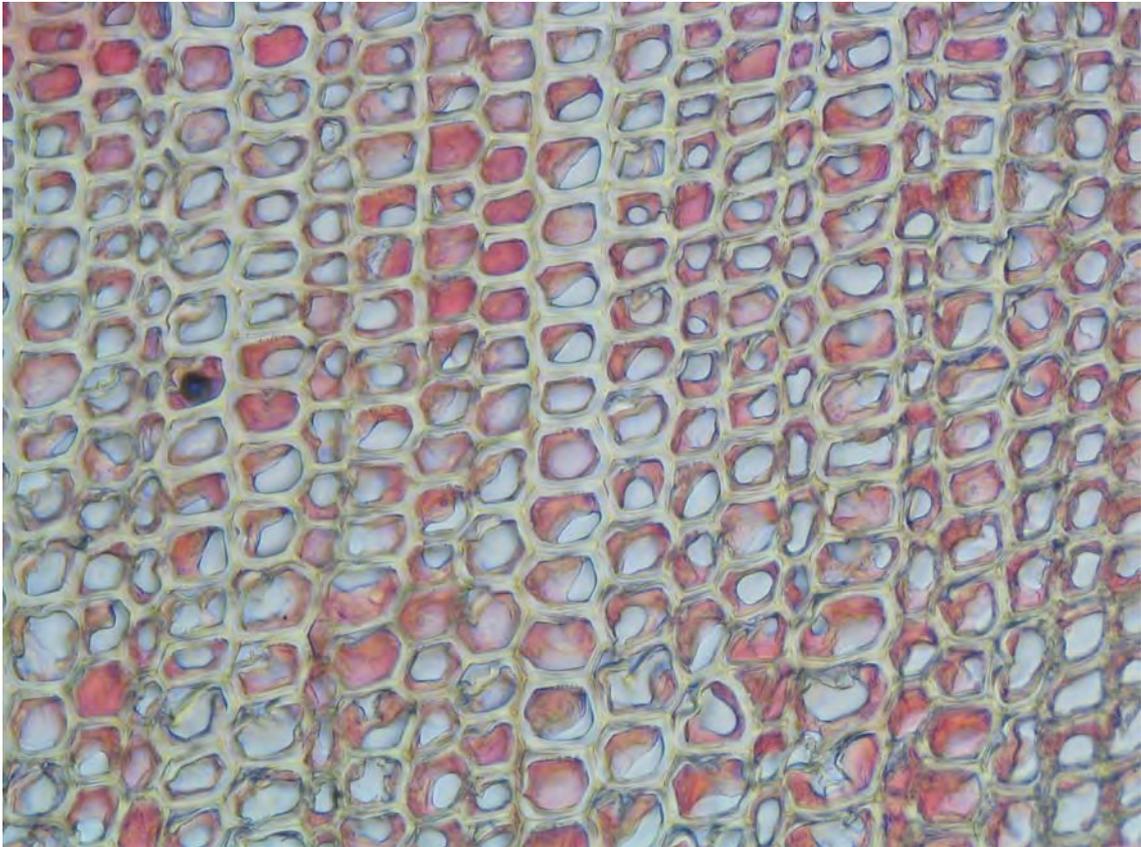


Abbildung 65: Querschnitt durch mit angefärbtem Parafllint C80 Wachs spargetränktem Kiefernprüfkörper (Wachsaufnahme 115 kg/m<sup>3</sup>). Die Zelllumina sind weitgehend nicht durch Wachs verschlossen, sondern die Zellwände von innen beschichtet.

Im Gegensatz zu den im Sparverfahren getränkten Prüfkörpern wies der Querschnitt von Prüfkörpern aus einer Vollzelltränkung (Vorvakuum 30mbar/ 30 Minuten; Prozessdruck 8 bar/ 4 h; Tränktemperatur 120°C; Wachsaufnahme 445 kg/m<sup>3</sup>) weitgehend verschlossene Zelllumina auf; Abbildung 66).

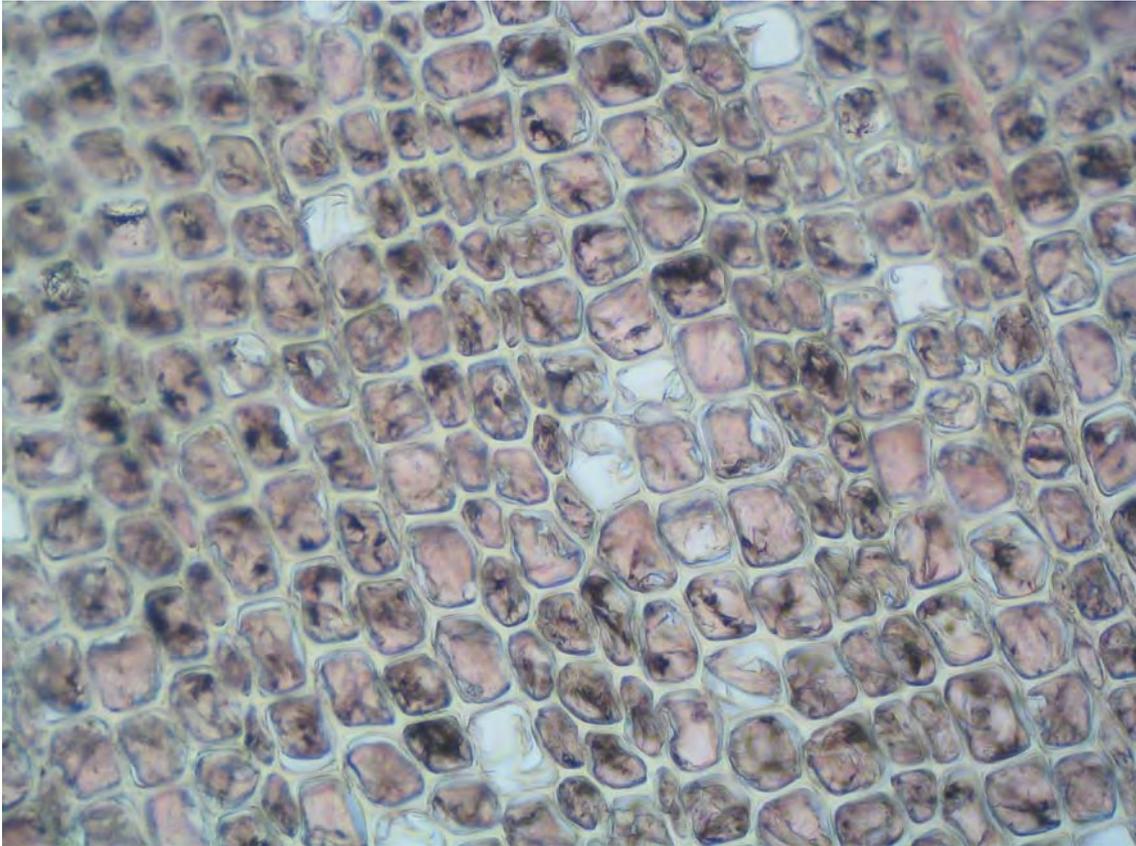
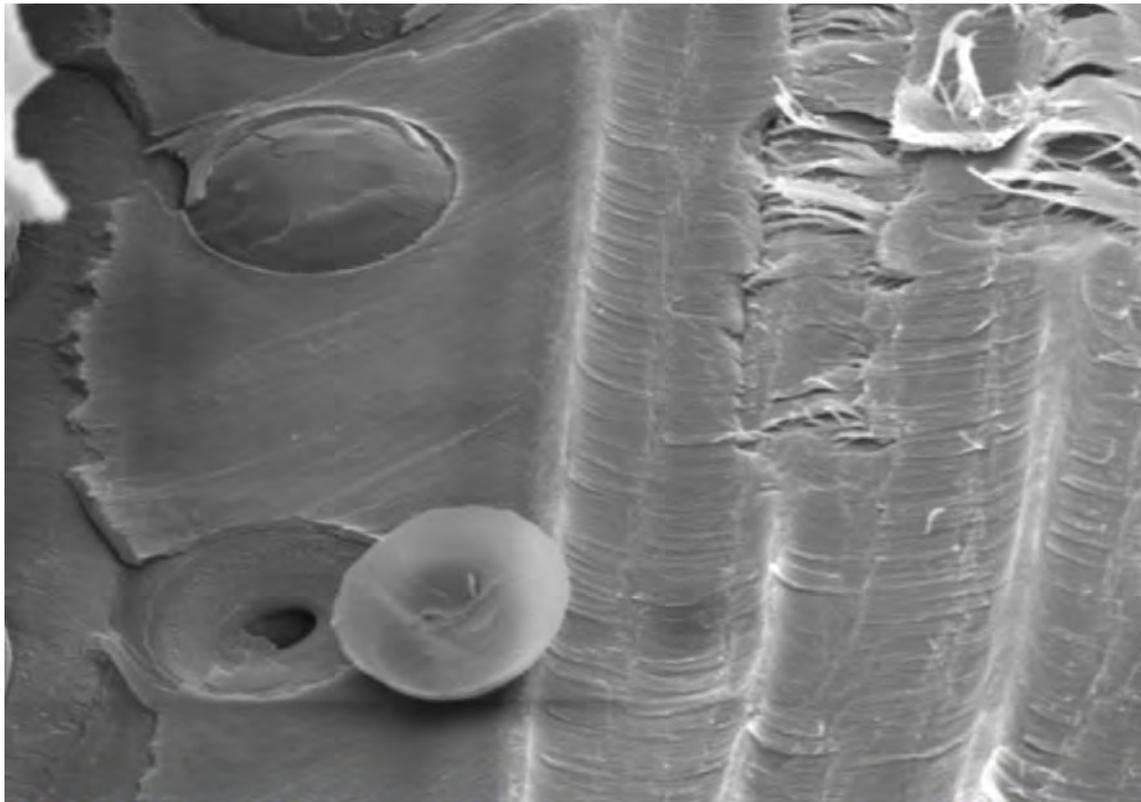


Abbildung 66: Querschnitt durch mit angefärbtem Wachs vollzellgetränkte Kiefernprüfkörper (Wachsaufnahme 445 kg/m<sup>3</sup>). Die Zelllumina sind weitgehend durch Wachs verschlossen.

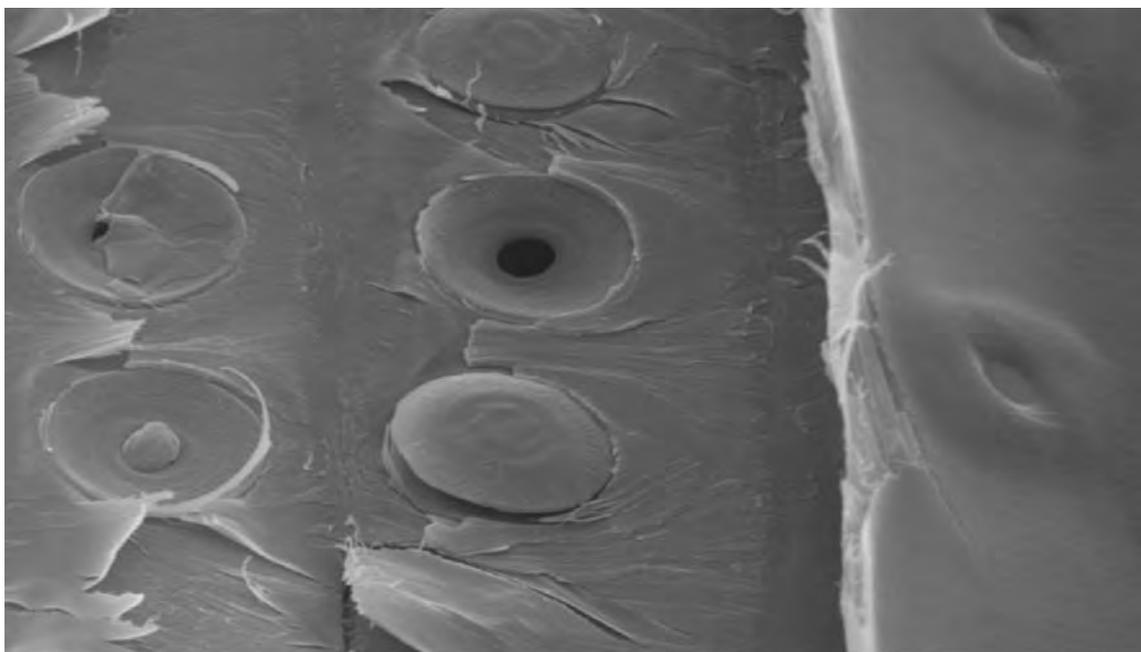
Die Untersuchung der Wachsverteilung im Prüfkörperinnern mit Hilfe des Raster-Elektronen-Mikroskops (REM) zeigte wie die lichtmikroskopischen Aufnahmen eine Benetzung der Zelllumina von spargetränkten Prüfkörpern (Abbildung 67 und Abbildung 68).



rad. 1300x

— 20  $\mu\text{m}$  —

Abbildung 67: Radialschnitt durch mit angefärbtem Wachs spargetränkte Kiefernprüfkörper (Wachsaufnahme  $113 \text{ kg/m}^3$ ). Die Zelllumina sind weitgehend nicht durch Wachs verschlossen, vielmehr weisen die Zellwände eine Wachsbeschichtung auf.



rad 1000x

— 30  $\mu\text{m}$  —

Abbildung 68: Radialschnitt durch mit C80-Wachs spargetränkte Kiefernprüfkörper (Wachsaufnahme  $113 \text{ kg/m}^3$ ). Die Zellwände weisen eine Wachsbeschichtung auf.

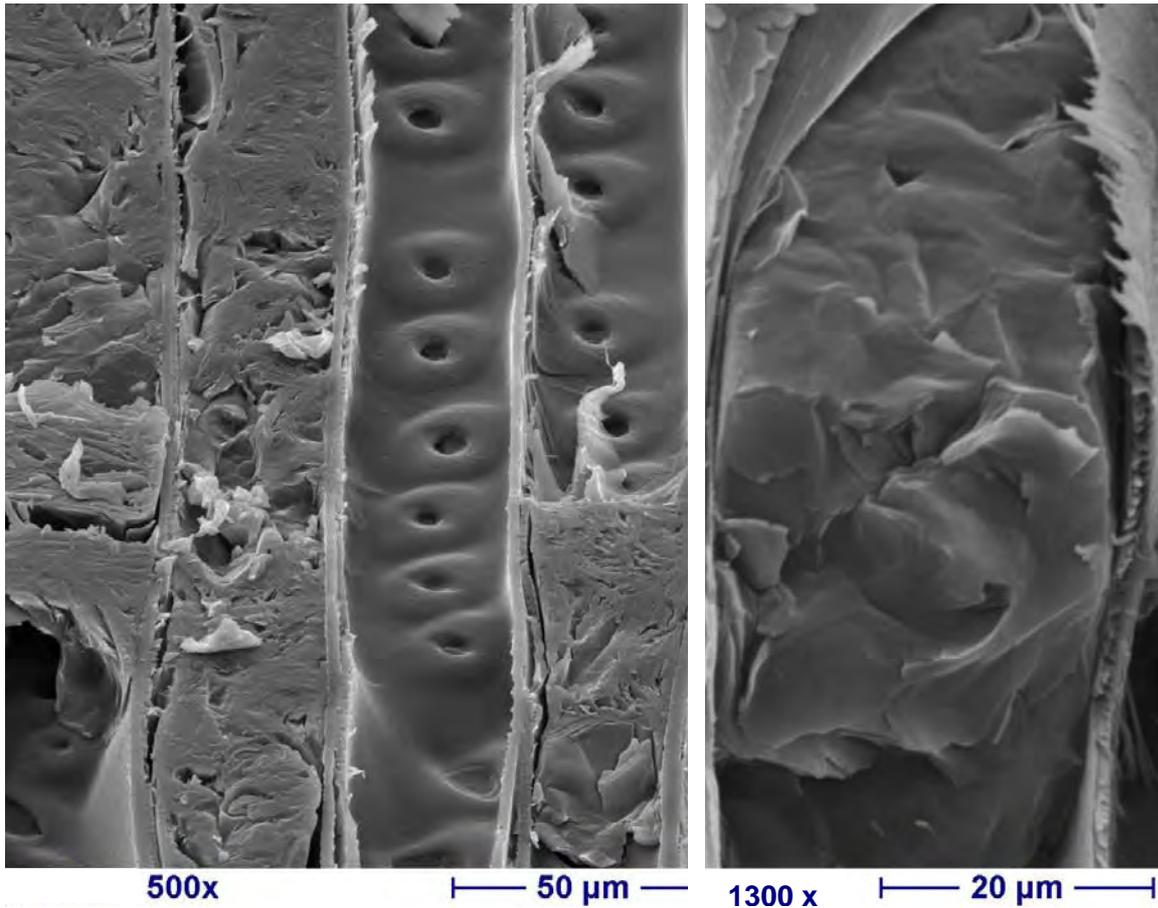


Abbildung 69: Radialschnitt durch mit C80-Wachs vollzellgetränkte Kiefernprüfkörper (Wachsaufnahme  $113 \text{ kg/m}^3$ ). Die Zelllumina sind überwiegend verschlossen.

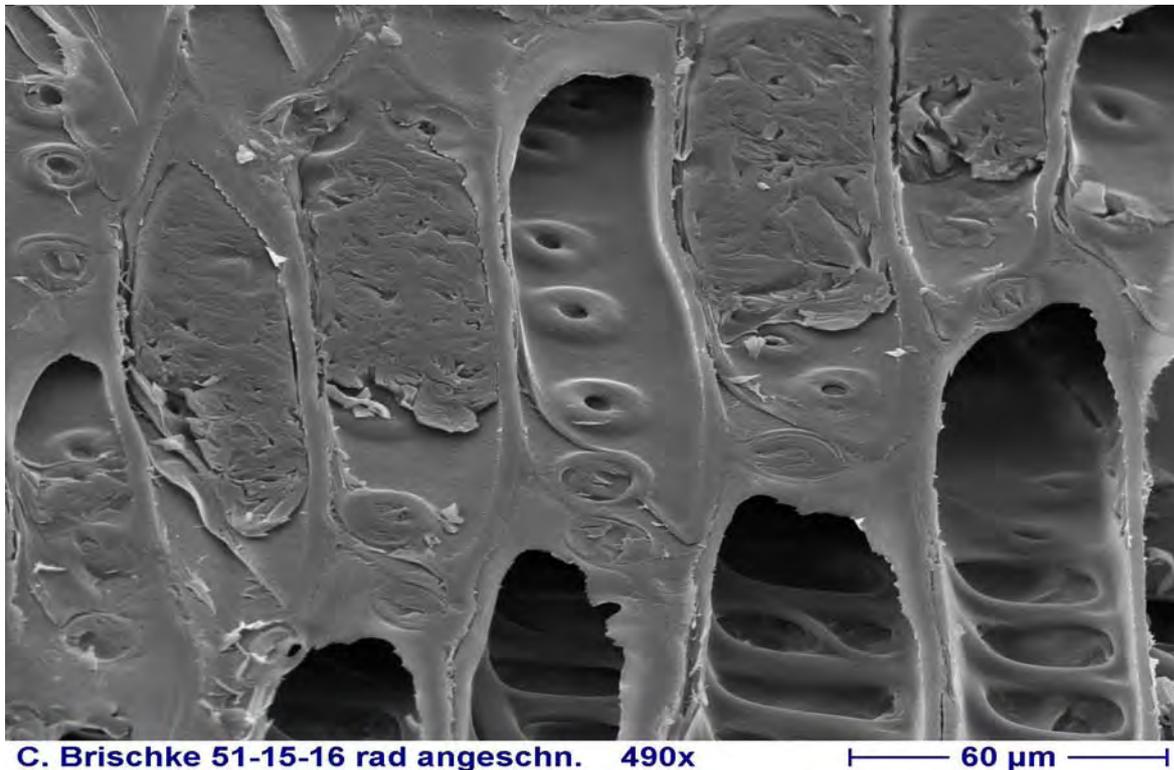


Abbildung 70: Radialer Anschnitt eines mit C80-Wachs vollzellgetränkten Kiefernprüfkörpers (Wachsaufnahme  $113 \text{ kg/m}^3$ ). Die Zelllumina sind überwiegend verschlossen.

Die REM-Aufnahmen von vollzellgetränkten Kiefernspint-Prüfkörpern zeigten wie die lichtmikroskopischen Untersuchungen den überwiegenden Verschluss der Zelllumina durch das Wachs (Abbildung 69 und Abbildung 70).

### 3.2.6 Einfluss der Spartränkung auf das Ausbluten

Das Ausbluten von Wachs wurde unterteilt nach „Austropfen“ und „Aussaugen durch ein Glasfaservlies“ betrachtet.

Die Untersuchungen zum Aussaugen mittels Glasfaservlies ergaben einen unterschiedlichen Wachsverlust der Proben bei zunehmender Temperatur (Abbildung 71).

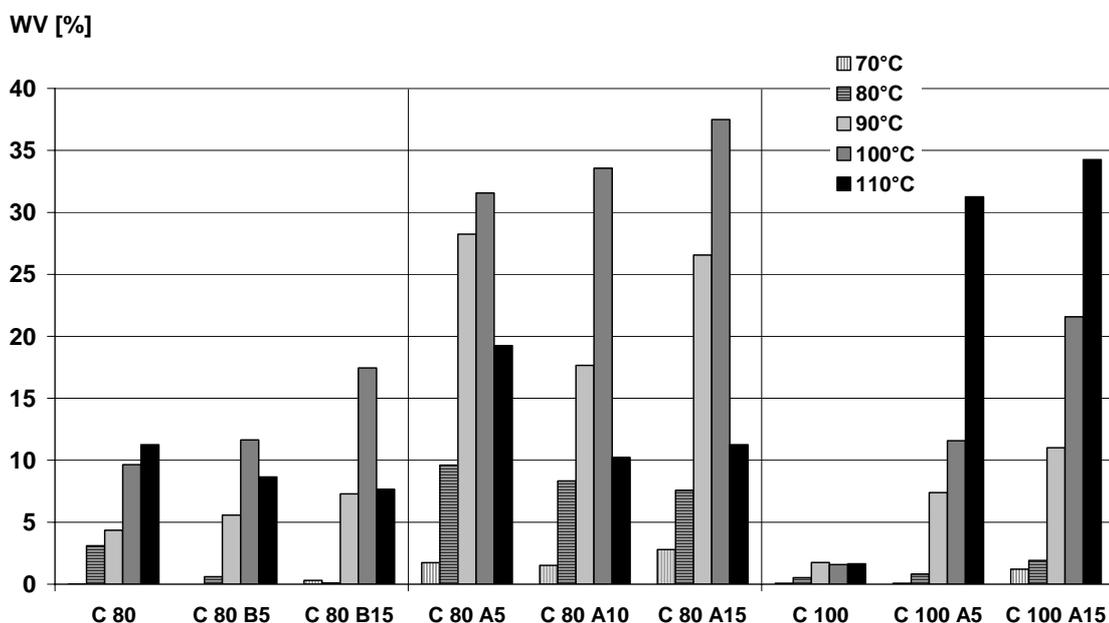


Abbildung 71: Wachsverlust durch Aussaugen mittels Faservlies bei steigender Temperatur

Ein erstes Aussaugen (>1%) des auf dem Grundwachs C 80 mit Zusätzen des Terhell 5803-Additives (B) basierten Blends konnte ab einer Temperatur von 90°C beobachtet werden, wobei sich dieser Effekt mit zunehmenden B-Additivanteil verstärkte. Demgegenüber wies das reine C 80 Wachs bereits bei 80°C einen Wachsverlust von ca. 4% auf.

Signifikant höher lag der Wachsverlust nach Aussaugen der mit C 80 imprägnierten Proben mit unterschiedlich hohen Zusätzen von Terhell 3496 (Grundwachs A). Erste Wachsverluste > 2% infolge Aussaugens wurden bereits

bei einer Temperatur von 70°C ermittelt. Der Einsatz von Wachs A als Additiv führte gegenüber zu Terhell 5803 zu einem mehr als doppeltem Wachsverlust. Den geringsten Wachsverlust durch Ausaugen zeigten die mit reinem C 100 Wachs imprägnierten Proben. Der maximal ermittelte Wachsverlust bei 110°C lag bei ca. 2%. Der Zusatz des Additivs A in verschieden hoher Konzentration führte zu signifikant erhöhtem Wachsverlust der Proben bis zu einem Maximum von 34% im Fall der mit 15%igen A-Additivanteil imprägnierten Proben. Deutlich höhere Wachsverluste wurden bei den Versuchen zum Austropfen gefunden (Abbildung 72).

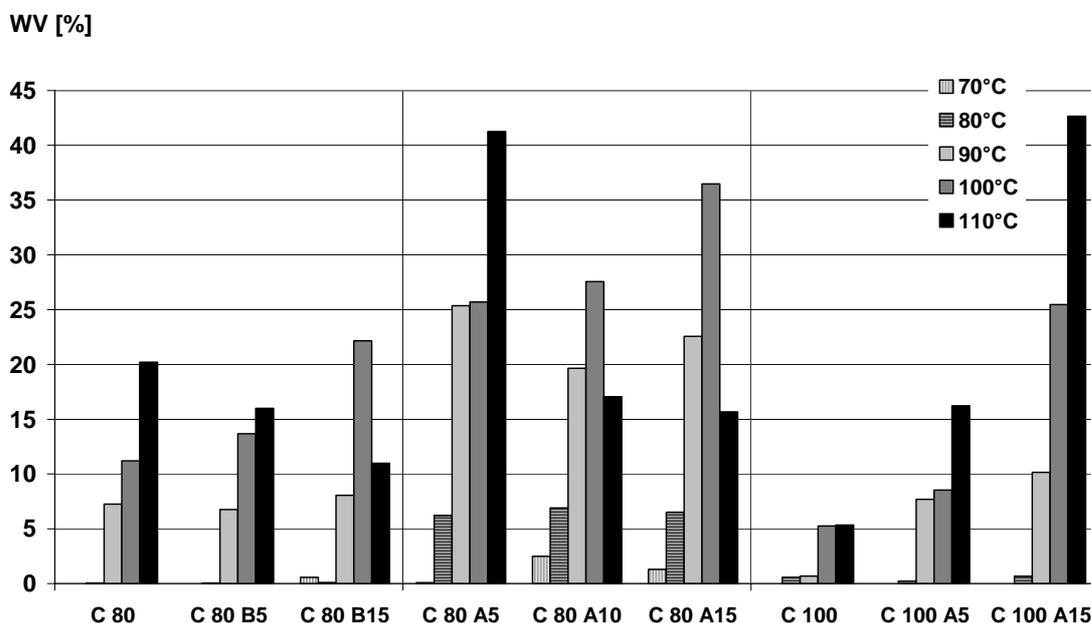


Abbildung 72: Wachsverlust durch Austropfen bei steigender Temperatur

Die Kombination aus dem Grundparaffin C 80 und dem Terhell 5803-Additiv (B) zeigte erstes Austropfen ab einer Temperatur von 90°C, ein Wachsverlust von ca. 6 bis 8% wurde bei allen C 80-B-Additiv-Kombinationen bei 90°C beobachtet. Die Zugabe von verschiedenen hohen Anteilen des Additivs B erhöhte den Wachsverlust deutlich im Vergleich zum Grundparaffin C 80.

Der Einsatz von 5% A-Additiv in Kombination mit C-80 führte bereits bei einer Temperatur von 80°C zu einem Wachsverlust von ca. 6%, erstes Austropfen wurde bei einer Temperatur von 70°C festgestellt. Mit steigendem A-Additivanteil erhöhte sich das Ausbluten.

Die mit dem Paraffin C 100 imprägnierten Proben zeigten das geringste Austropfen, ein erhöhter A-Additivanteil führte bei steigender Temperatur zu erhöhtem Austropfen.

Für weitere Untersuchungen wurde eine Paraffinkombination auf Basis des Grundparaffins Paraflint C80 und 5% B-Additiv (Terhell 5803) ausgewählt, da diese Zweikomponentenformulierung das geringste Ausbluten bei einer Minimaltemperatur von 90°C zeigte und dabei noch B-Additiv als mobile Komponente enthält.

### 3.2.7 Definition eines Prozessdiagramms für die Spartränkung

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus 3.2.2 bis 3.2.6 wurde das folgende Prozessdiagramm für eine Spartränkung mit Paraffin entwickelt (Abbildung 73).

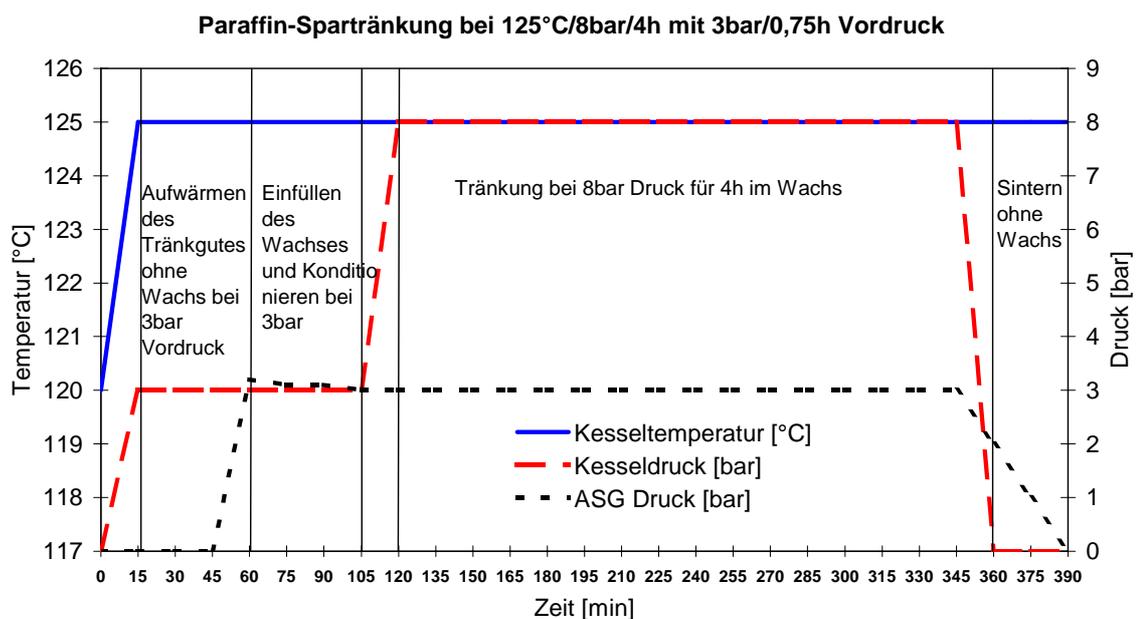


Abbildung 73: Diagramm zur beispielhaften Darstellung der optimierten Paraffin-Spartränkung

Nach Erreichen der Ziel-Tränkttemperatur von 125°C im paraffinfreiem Tränkraum wurde der Prozessdruck im Tränkkessel auf 3 bar Vordruck erhöht, das dort fixierte Holz wurde ohne Wachs unter dem Vordruck für 45 min erwärmt. Nach der Aufwärmphase wurde das Tränkwachs aus dem Aufschmelzgefäß ASG 400 unter einem selbstregulierten Einfülldruck > 3 bar in den Tränkkessel gepumpt, wo sich das fixierte Holz befand.

Ohne Druckerhöhung wurde das Holz für weitere 45 min im 125°C heißen Paraffinbad konditioniert, um zu verhindern, dass eventuell an der

Holzoberfläche erstarrendes Paraffin die Paraffinaufnahme in der Druckphase behindert. Während der Konditionierungsphase erfolgt noch keine Paraffinaufnahme, da der vorliegende Druck von 3 bar durch die eingepresste Luft der Vordruckstufe einer Paraffinaufnahme entgegenwirkt. Anschließend wird der Prozessdruck im Kessel auf 8 bar erhöht und für 4 h aufrecht erhalten, wodurch es zur Paraffinaufnahme kommt. Nach der Imprägnierphase wurde der Prozessdruck abgesenkt, wobei die in den Zelllumina komprimierte Luft das frei vorliegende Paraffin von innen nach außen drückt. Im Ergebnis ist die Paraffinaufnahme im Vergleich zu einer Vollzelltränkung ohne Vordruck signifikant reduziert.

Nach der Imprägnierphase wurde das Imprägnierwachs abgelassen. Abschließend folgte eine nachgeschaltete Vakuumphase einschließlich einer Sinterphase, bei der die Holzproben um 5° schräggestellt für weitere 30 min im wachsfreien Tränkraum verblieben, um überschüssiges Wachs von den Oberflächen zu entfernen.

## Herstellung von Musterproben in Gebrauchsdimension und Prozessoptimierung

### 3.2.8 Tränkbarkeit verschiedener Fichtensortimente

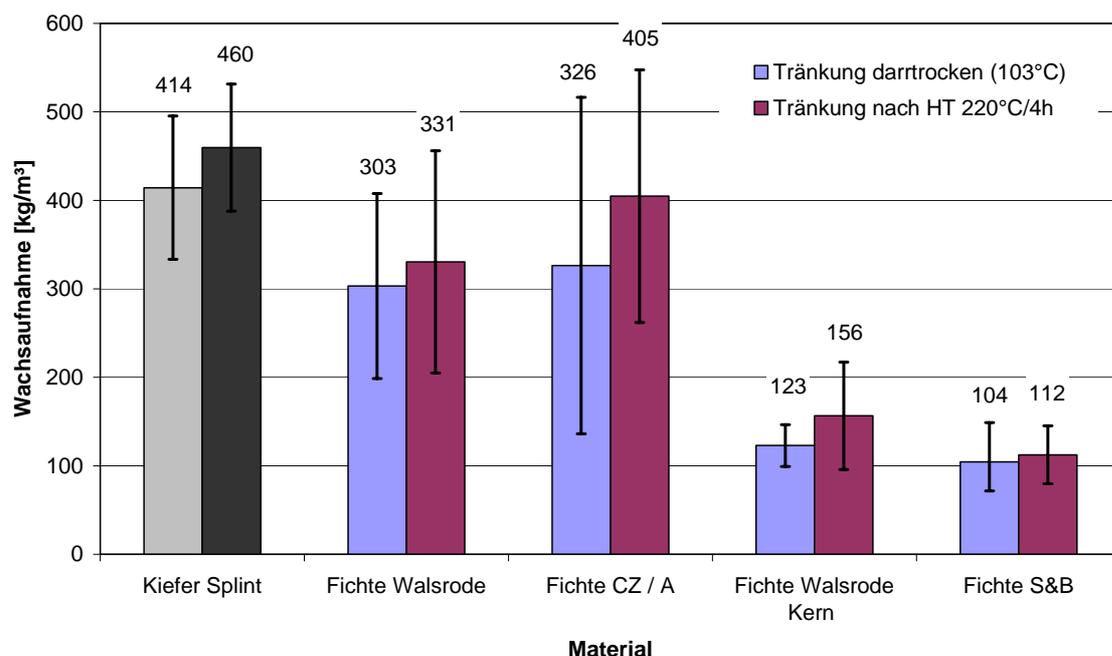


Abbildung 74: Mittlere Wachsaufnahme der verschiedenen Materialien, jeweils mit und ohne vorherige Hitzebehandlung bei 220°C für 4h

Die Fichtensortimente aus BFH-Beständen waren durch eine signifikant höhere Wachsaufnahme charakterisiert als die von Steinbrügge & Berninghausen GmbH gelieferte Fichte (Abbildung 74).

Eine Hitzebehandlung bei 220°C für 4 h führte bei allen Materialien zu einer tendenziell verbesserten Tränkbarkeit von 10% (Fichte S&B, Fichte Walsrode) bis zu 20% (Fichte CZ/A, Fichte Walsrode Kern).

Mögliche Unterschiede in der Dichte/Darrdichte der Fichtensortimente als Einflussfaktor können in diesem Fall ausgeschlossen werden, da die Darrdichte der von Steinbrügge & Berninghausen GmbH gelieferten Fichte sich **nicht signifikant** von der Darrdichte der Fichte aus BFH-Beständen unterschied (Abbildung 75).

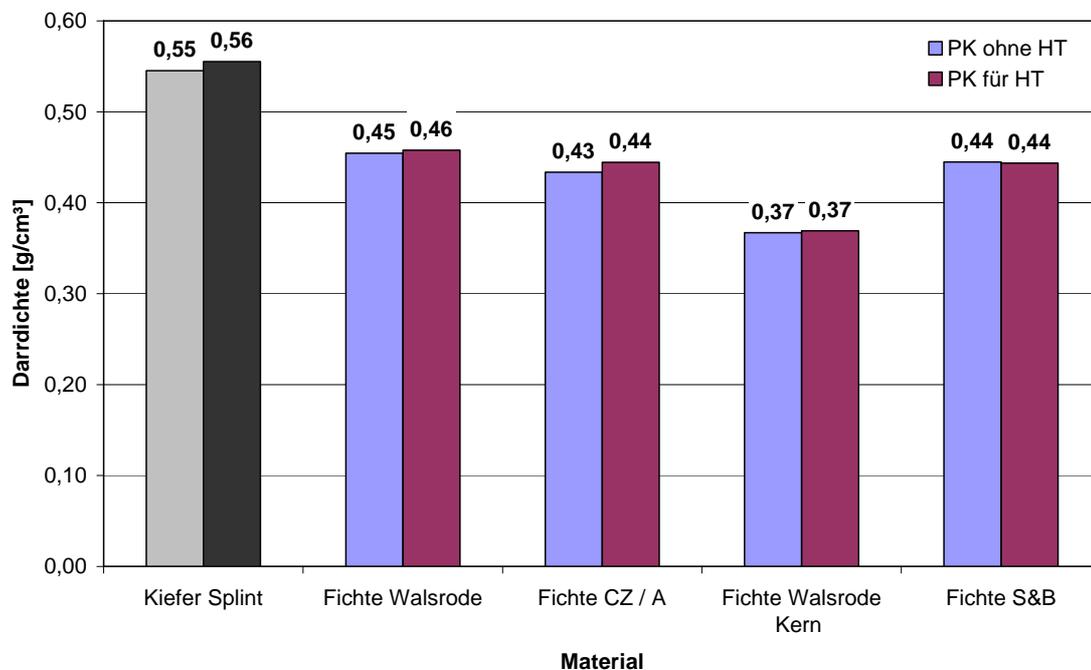


Abbildung 75: Mittlere Darrdichten der verschiedenen für die Tränkung verwendeten Materialien jeweils für die Prüfkörper ohne und mit Hitzebehandlung vor der Tränkung

Die höchsten mittleren Masseverluste durch eine Luft-Hitze-Behandlung vor der Tränkung wiesen die von der Steinbrügge & Berninghausen GmbH gelieferten Fichtensortimente auf (Abbildung 76).

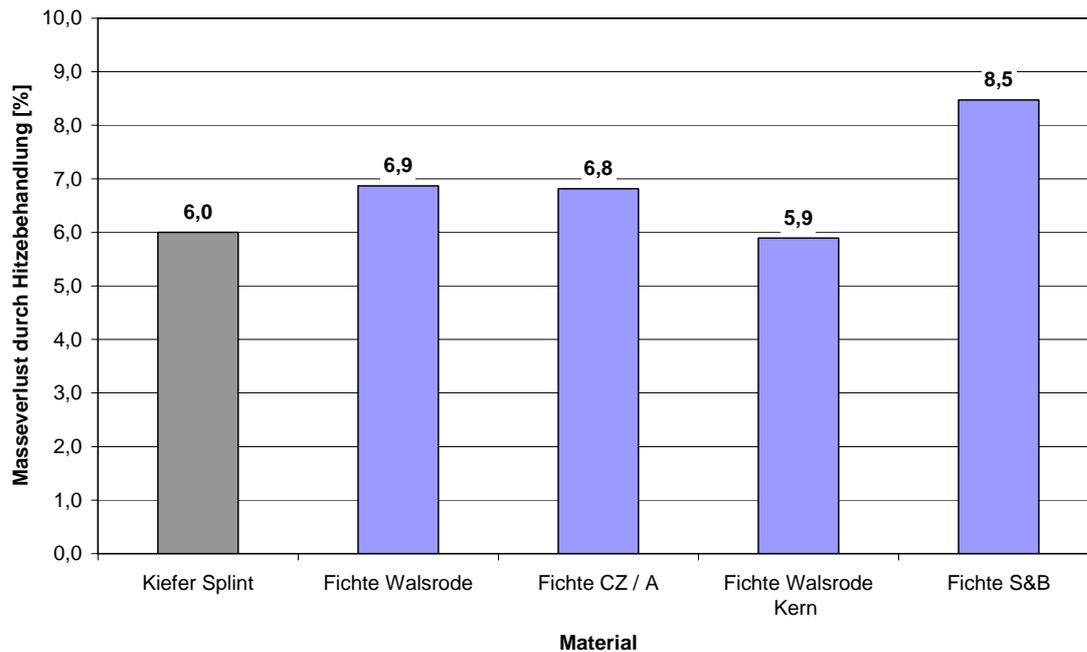


Abbildung 76: Mittlerer Masseverlust nach Hitzebehandlung bei 220°C für 4h im Trockenschrank

### 3.2.8.1 Optische Bewertung der Wachsaufnahme und -verteilung

Abbildung 77 zeigt die an den verschiedenen Fichtensortimenten ermittelte t-50 Linie nach Tränkung mit gefärbtem Wachs.

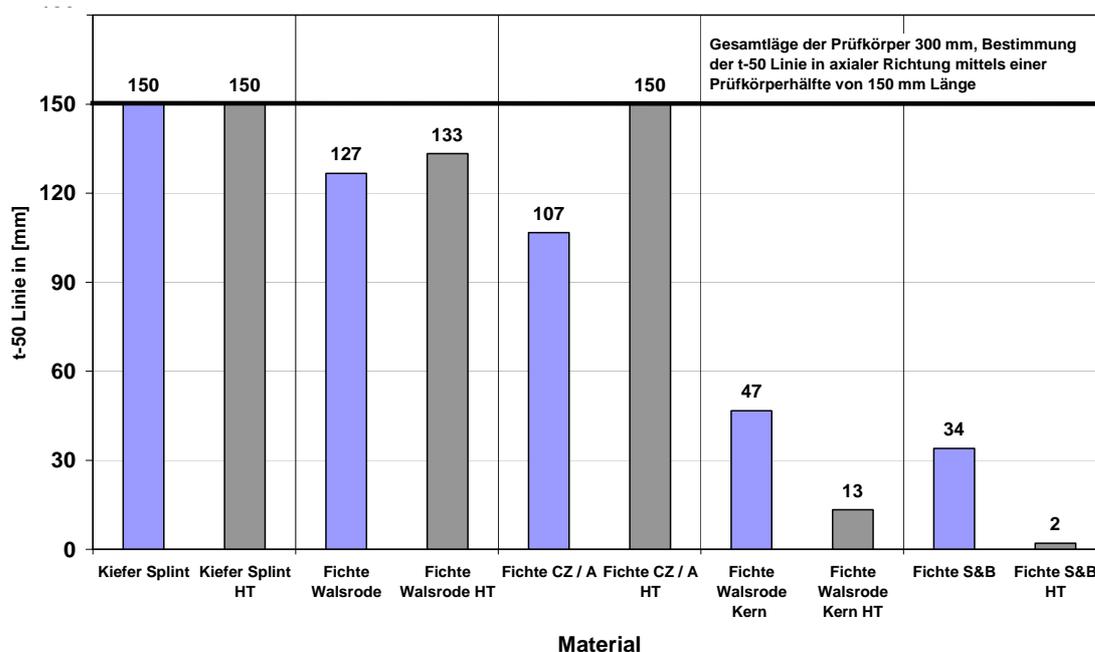


Abbildung 77: Mittlere axiale t-50 Linie in [mm] der verschiedenen Fichten-Prüfkörperhälften der Länge 150mm

Die von der Steinbrügge & Berninghausen GmbH gelieferte Fichte wies nach Tränkung mit farbigem Wachs die geringste mittlere t-50 Linie auf. Prüfkörper aus Kiefernsplint, Fichte Walsrode oder Fichte CZ/A zeigten eine nahezu vollständige Durchtränkung bzw. Durchfärbung. Eine Hitzebehandlung führte für Fichte Walsrode und Fichte CZ/A zu einer verbesserten Farbstoffverteilung.

### 3.2.8.1.1 Durchfärbung von Kiefernsplint-Prüfkörpern

Da alle Kiefernsplint-Prüfkörper vollständig durchtränkt wurden, werden im Folgenden nur die Übersichtsbilder der aufgetrennten Prüfkörper gezeigt, auf eine Darstellung der axialen Eindringung wird verzichtet.



Abbildung 78: Kiefernsplint-Prüfkörper nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist vollständig und homogen durchtränkt



Abbildung 79: Hitzebehandelter Kiefernsplint-Prüfkörper nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist vollständig und homogen durchtränkt



Abbildung 80: Kiefernslint-Prüfkörper nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist vollständig und homogen durchtränkt



Abbildung 81: Hitzebehandelter Kiefernslint-Prüfkörper nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist vollständig und homogen durchtränkt

### 3.2.8.1.2 Durchfärbung von Fichte der S & B GmbH (Bremen)

#### Aufnahme-Maximum



Abbildung 82: Fichten-Prüfkörper der Steinbrügge & Berninghausen GmbH nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt

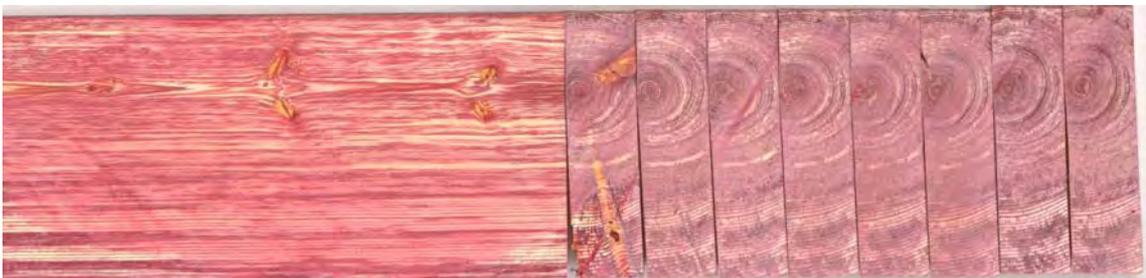


Abbildung 83: Fichten-Prüfkörper der Steinbrügge & Berninghausen GmbH nach Paraffin-Vollzell-Tränkung – axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt

Nachfolgend wird der zugehörige Prüfkörper mit vorheriger Hitzebehandlung gezeigt.



Abbildung 84: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der Steinbrücke & Berninghausen GmbH nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt



Abbildung 85: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der Steinbrücke & Berninghausen GmbH nach Paraffin-Vollzell-Tränkung – axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt

### Aufnahme - Median



Abbildung 86: Fichten-Prüfkörper der Steinbrücke & Berninghausen GmbH nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt

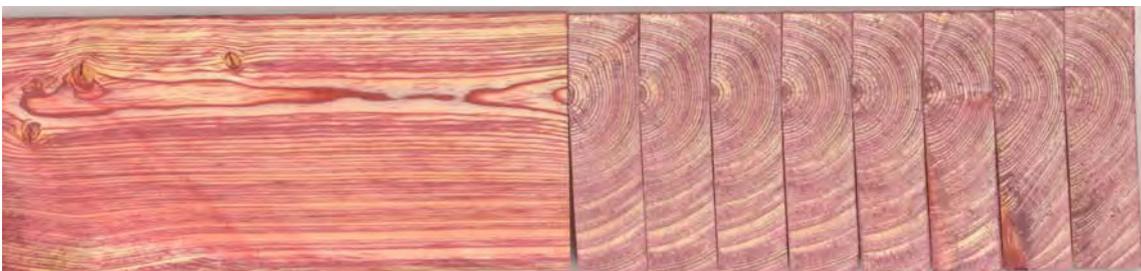


Abbildung 87: Fichten-Prüfkörper der Steinbrücke & Berninghausen GmbH nach Paraffin-Vollzell-Tränkung – axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt

Nachfolgend wird der zugehörige Prüfkörper mit vorheriger Hitzebehandlung gezeigt.



Abbildung 88: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der Steinbrügge & Berninghausen GmbH nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt



Abbildung 89: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der Steinbrügge & Berninghausen GmbH nach Paraffin-Vollzell-Tränkung– axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt

### Aufnahme - Minimum



Abbildung 90: Fichten-Prüfkörper der Steinbrügge & Berninghausen GmbH nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt

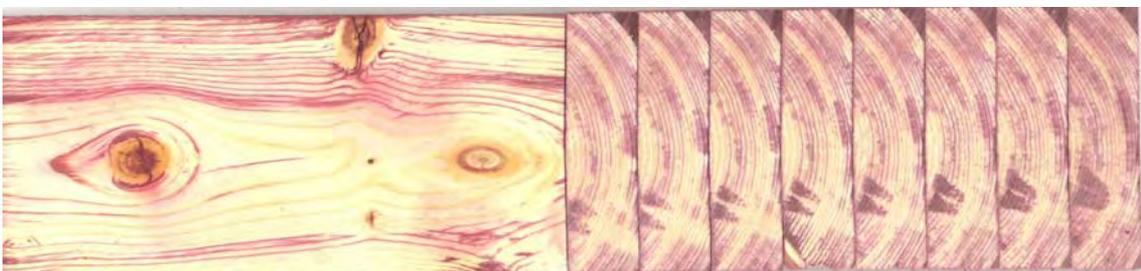


Abbildung 91: Fichten-Prüfkörper der Steinbrügge & Berninghausen GmbH nach Paraffin-Vollzell-Tränkung – axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt

Nachfolgend wird der zugehörige Prüfkörper mit vorheriger Hitzebehandlung gezeigt.



Abbildung 92: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der Steinbrücke & Berninghausen GmbH nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt



Abbildung 93: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der Steinbrücke & Berninghausen GmbH nach Paraffin-Vollzell-Tränkung– axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt

### 3.2.8.1.3 Durchfärbung von Fichte aus BFH-Beständen (Fichte CZ/A)

#### Aufnahme-Maximum



Abbildung 94: Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-CZ/A) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist vollständig durchfärbt

Nachfolgend wird der zugehörige Prüfkörper mit vorheriger Hitzebehandlung gezeigt.

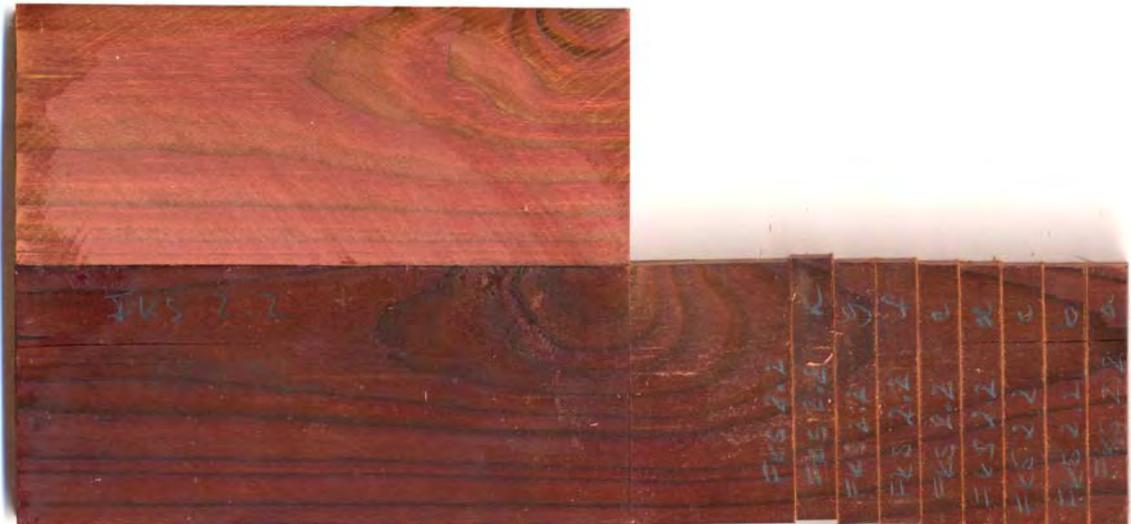


Abbildung 95: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-CZ/A) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist vollständig durchfärbt

### Aufnahme - Median



Abbildung 96: Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-CZ/A) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist vollständig durchfärbt



Abbildung 97: Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-CZ/A) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung – axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist vollständig durchfärbt

Nachfolgend wird der zugehörige Prüfkörper mit vorheriger Hitzebehandlung gezeigt.



Abbildung 98: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-CZ/A) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist vollständig durchfärbt

### Aufnahme - Minimum



Abbildung 99: Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-CZ/A) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt



Abbildung 100: Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-CZ/A) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung – axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt

Nachfolgend wird der zugehörige Prüfkörper mit vorheriger Hitzebehandlung gezeigt.

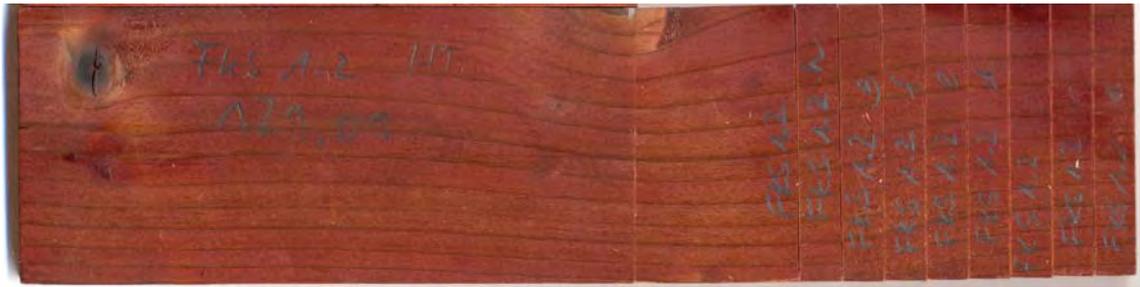


Abbildung 101: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-CZ/A) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt

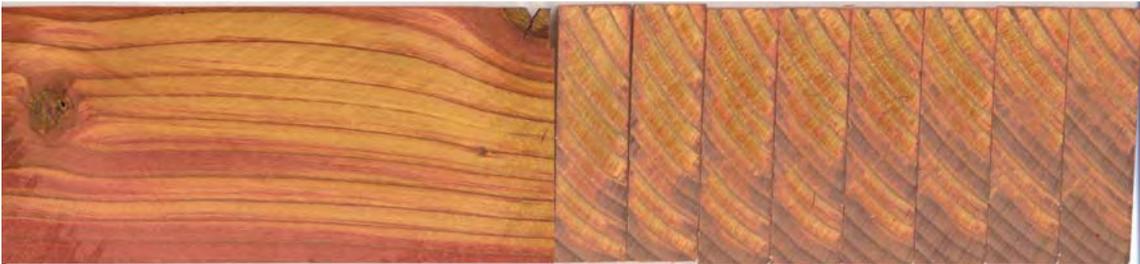


Abbildung 102: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-CZ/A) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung– axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt

#### 3.2.8.1.4 Durchfärbung von Fichte aus BFH-Beständen (Fichte Walsrode)

##### **Aufnahme-Maximum**

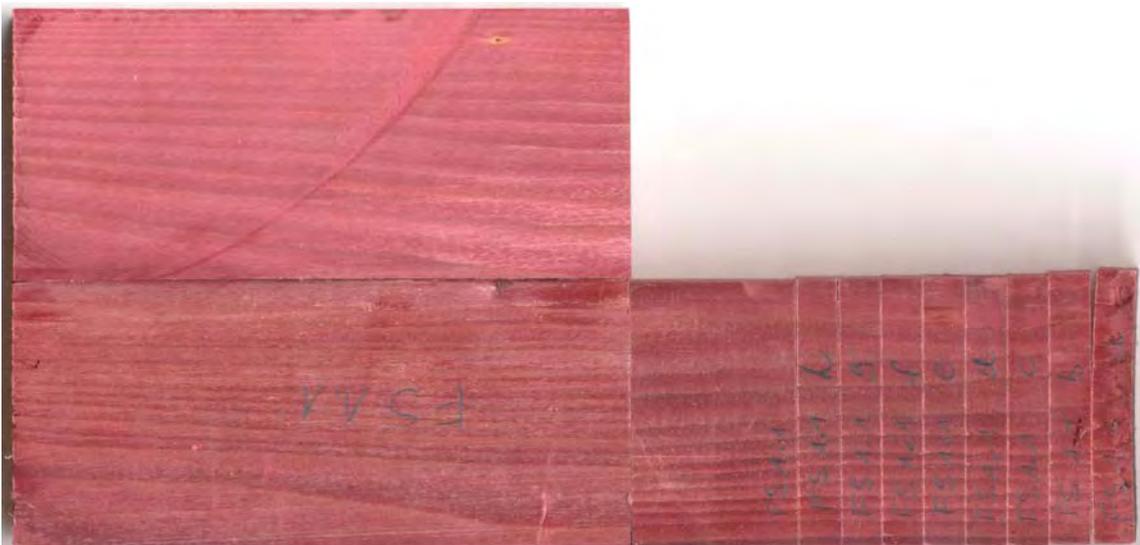


Abbildung 103: Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist vollständig durchfärbt

Nachfolgend wird der zugehörige Prüfkörper mit vorheriger Hitzebehandlung gezeigt.



Abbildung 104: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist vollständig durchfärbt

### Aufnahme - Median



Abbildung 105: Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt

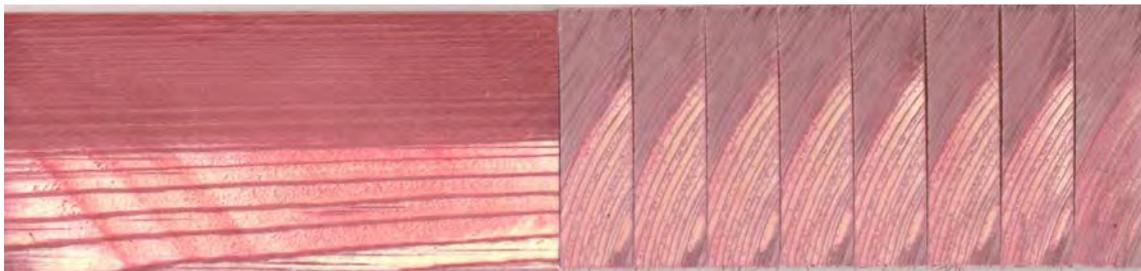


Abbildung 106: Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung – axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt

Nachfolgend wird der zugehörige Prüfkörper mit vorheriger Hitzebehandlung gezeigt.



Abbildung 107: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt



Abbildung 108: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung– axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt

### Aufnahme - Minimum



Abbildung 109: Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt

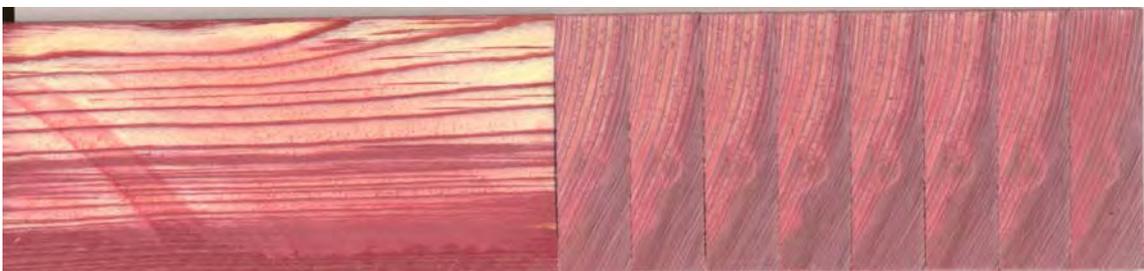


Abbildung 110: Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung – axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt

Nachfolgend wird der zugehörige Prüfkörper mit vorheriger Hitzebehandlung gezeigt.



Abbildung 111: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt

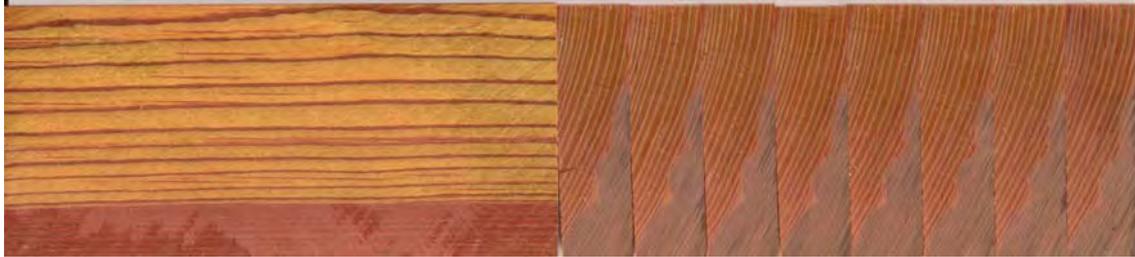


Abbildung 112: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung– axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt

### 3.2.8.1.5 Durchfärbung von Fichte aus BFH-Beständen (Fichte Walsrode Kern)

#### Aufnahme-Maximum



Abbildung 113: Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode-Kern) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt



Abbildung 114: Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode-Kern) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung – axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt

Nachfolgend wird der zugehörige Prüfkörper mit vorheriger Hitzebehandlung gezeigt.

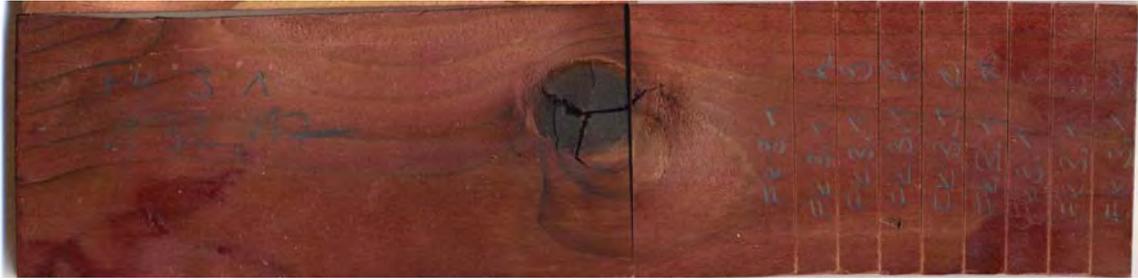


Abbildung 115: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode-Kern) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt

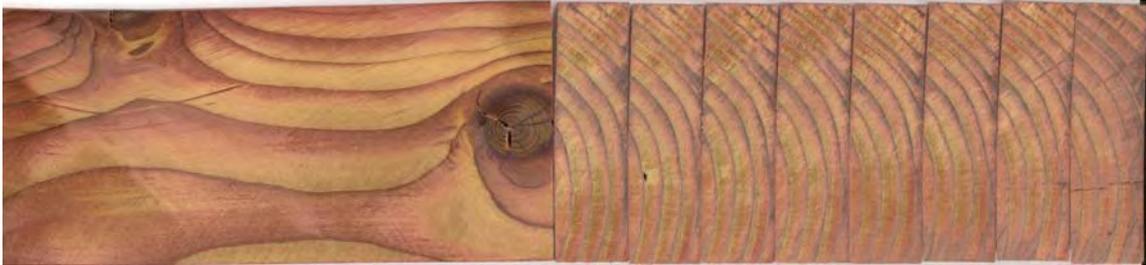


Abbildung 116: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode-Kern) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung – axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt

### Aufnahme - Median



Abbildung 117: Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode-Kern) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt



Abbildung 118: Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode-Kern) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung – axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt

Nachfolgend wird der zugehörige Prüfkörper mit vorheriger Hitzebehandlung gezeigt.

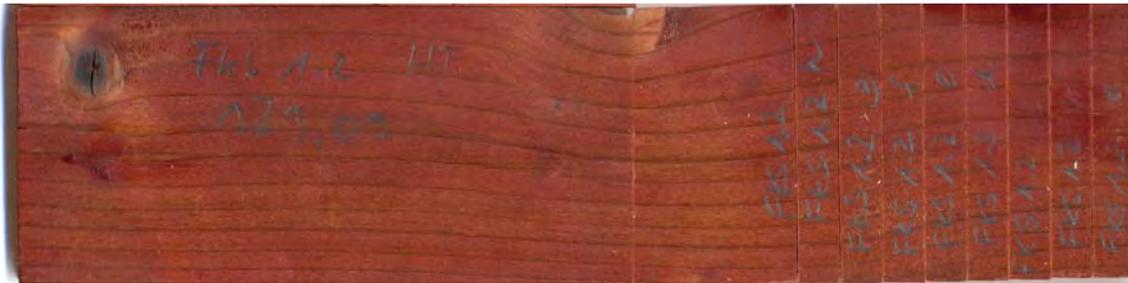


Abbildung 119: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode-Kern) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt



Abbildung 120: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode-Kern) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung – axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt

### Aufnahme - Minimum



Abbildung 121: Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode-Kern) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt

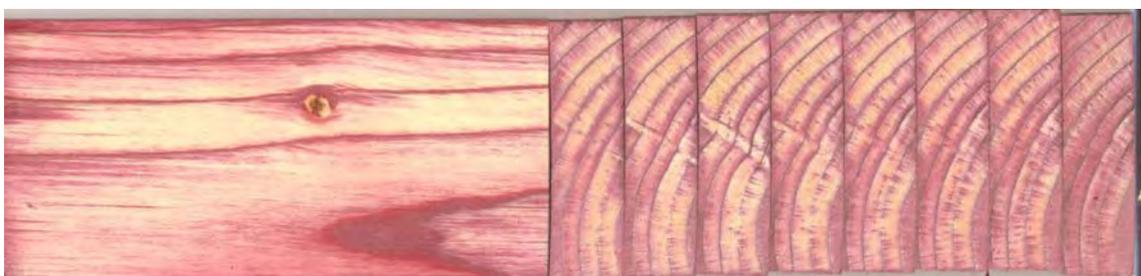


Abbildung 122: Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode-Kern) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung – axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt

Nachfolgend wird der zugehörige Prüfkörper mit vorheriger Hitzebehandlung gezeigt.



Abbildung 123: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode-Kern) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt



Abbildung 124: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode-Kern) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung– axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt

### 3.2.9 Anteil schwer tränkbarer Fichtensortimente am Gesamtbestand der S & B GmbH

Sämtliche untersuchten Fichtenholzsortimente zeigten bezüglich der Darrdichte lediglich geringe, nicht signifikante Unterschiede (Abbildung 125).

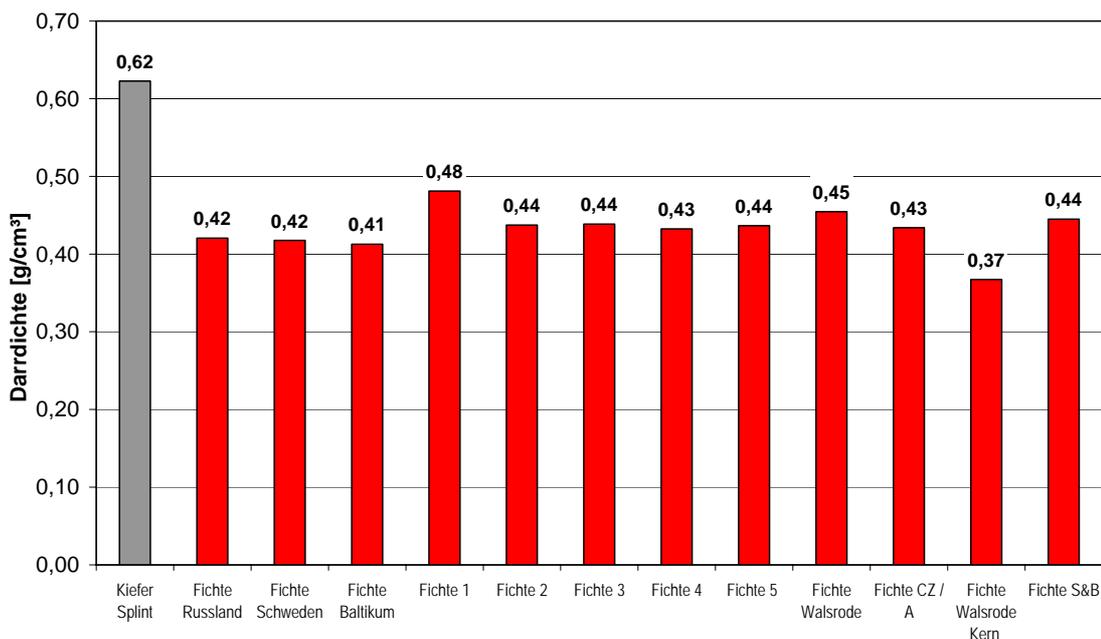


Abbildung 125: Mittlere Darrdichte der hinsichtlich der Tränkbarkeit untersuchten Fichtenholzsortimente

Die Paraffin-Tränkungen hingegen zeigten signifikante Unterschiede in der Paraffinaufnahme der verschiedenen Fichtensortimente (Abbildung 126). Ein Zusammenhang aus Darrdichte und Wachsaufnahme ließ sich aus diesen Ergebnissen nicht ableiten.

Fichte 4 aus Bernau lieferte mit 521 l/m<sup>3</sup> mittlerer Paraffin-Aufnahme die höchste in dieser Untersuchung ermittelte Aufnahmemenge, die sogar höher lag als die mittlere Aufnahme von Kiefer Splint (419 l/m<sup>3</sup>) und Kiefer Splint BFH (461 l/m<sup>3</sup>). Auch die in Vorversuchen verwendete Fichte Walsrode und Fichte CZ / A aus BFH-Beständen zeigten mit 368 l/m<sup>3</sup> bzw. 450 l/m<sup>3</sup> mittlerer Paraffinaufnahme vergleichbar hohe Wachsaufnahmemengen wie die untersuchten Kiefer-Splint-Sortimente. Wie in den Versuchen zur Mustertränkung von Fichtenprüfkörpern in Gebrauchsdimension war die mittlere Aufnahmemenge von Fichte S & B mit 116 l/m<sup>3</sup> am geringsten im Vergleich zu allen bislang untersuchten Fichtensortimenten.

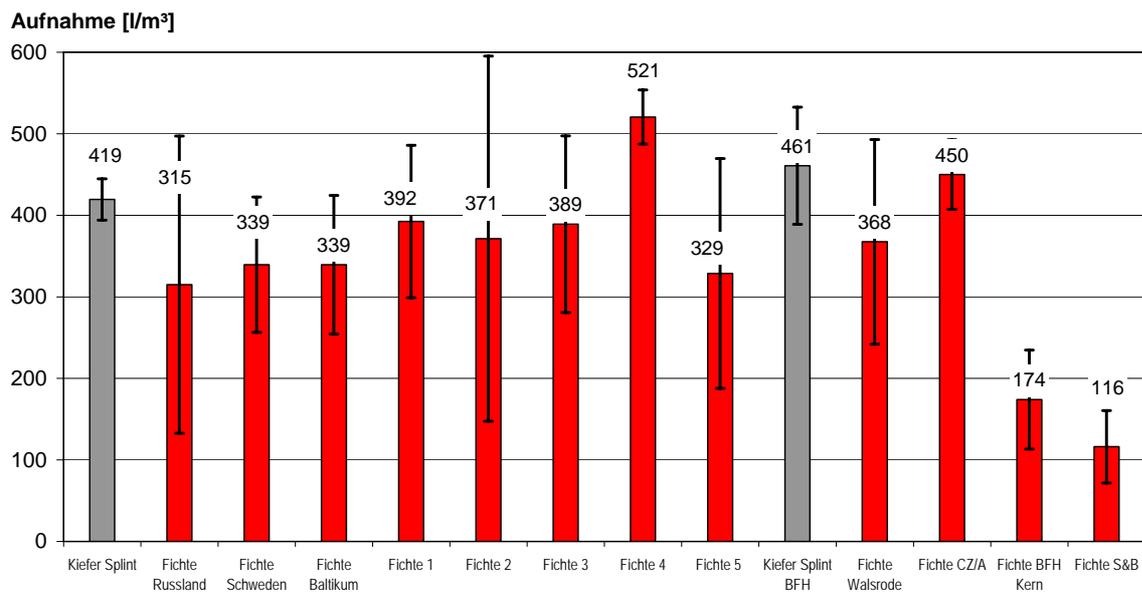


Abbildung 126: Mittlere Paraffinaufnahme mit Standardabweichung (I) der hinsichtlich Tränkbarkeit untersuchten Fichtenholzsortimente

Prüfkörper aus reinem Fichten-Kernholz (BFH-Bestand) aus dem Sortiment Fichte Walsrode Kern zeigten eine ähnlich geringe mittlere Wachsaufnahme von 174 l/m<sup>3</sup>.

Die Wassertränkungen an axial zugeordneten Proben zeigten für alle untersuchten Sortimente geringere bzw. vergleichbare mittlere Wasseraufnahmemengen im Vergleich zu den Wachstränkungen (Abbildung 127).

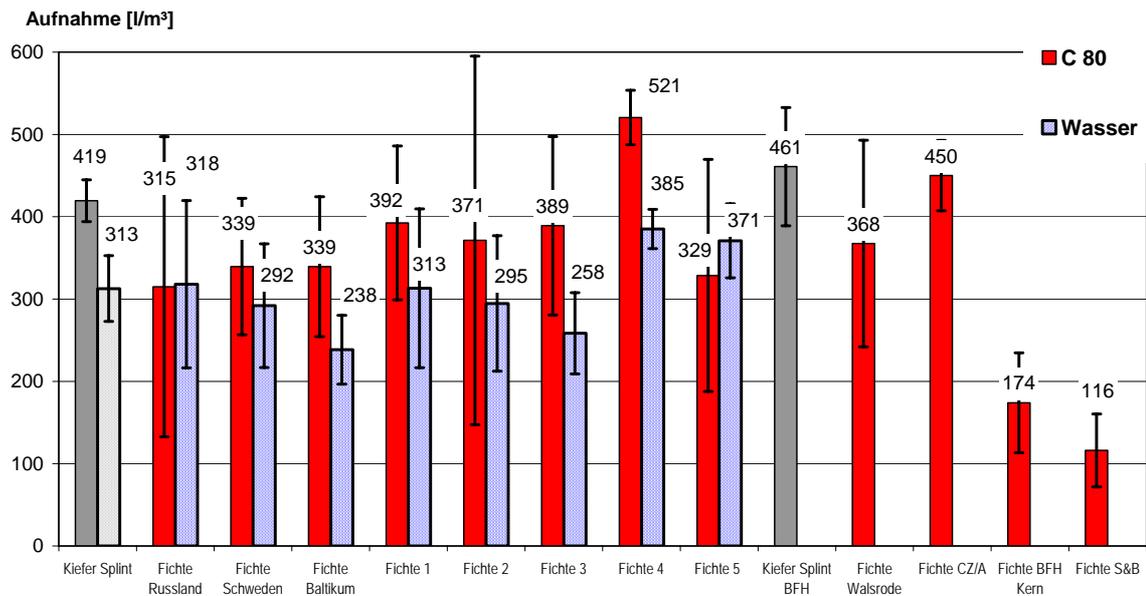


Abbildung 127: Mittlere Paraffin- und Wasseraufnahme mit Standardabweichung (I) der hinsichtlich Tränkbarkeit untersuchten Fichtenholzsortimente

Lediglich bei Prüfkörpern aus Fichte 5 und Fichte „Russland“ wurden höhere mittlere Wasseraufnahmemengen im Vergleich zur Paraffinaufnahme ermittelt, die jedoch nicht signifikant unterschiedlich waren. Alle übrigen untersuchten Sortimente zeigten geringere mittlere Wasseraufnahmemengen im Vergleich zu den Paraffinaufnahmen, die im Fall von Fichte 4 (385 l/m<sup>3</sup> Wasser zu 521 l/m<sup>3</sup> Wachs) und Kiefer Splint (313 l/m<sup>3</sup> Wasser zu 419 l/m<sup>3</sup> Wachs) sogar signifikant niedriger waren. Die höchste mittlere Aufnahme nach Wassertränkung zeigte die Fichte 4 aus Bernau, die bereits die höchste mittlere Paraffinaufnahme aller untersuchten Sortimente aufwies.

### 3.2.9.1 Häufigkeitsverteilung der Wachsaufnahme

Für die Häufigkeitsverteilung der Einzelwerte der Wachsaufnahme der verschiedenen Fichtenprüfkörper wurde die Gesamtspannweite der Paraffinaufnahmen (min. = 65 kg/m<sup>3</sup>; max. = 531 kg/m<sup>3</sup>) in 15 Klassen der Klassenweite 36 [kg/m<sup>3</sup>] aufgeteilt, die Einzelwerte der insgesamt 100 Fichtenprüfkörper aus 12 Herkünften aus 3.2.8 und 3.2.9 wurden diesen Klassen anschließend als absolute Häufigkeit zugeordnet (Abbildung 128).

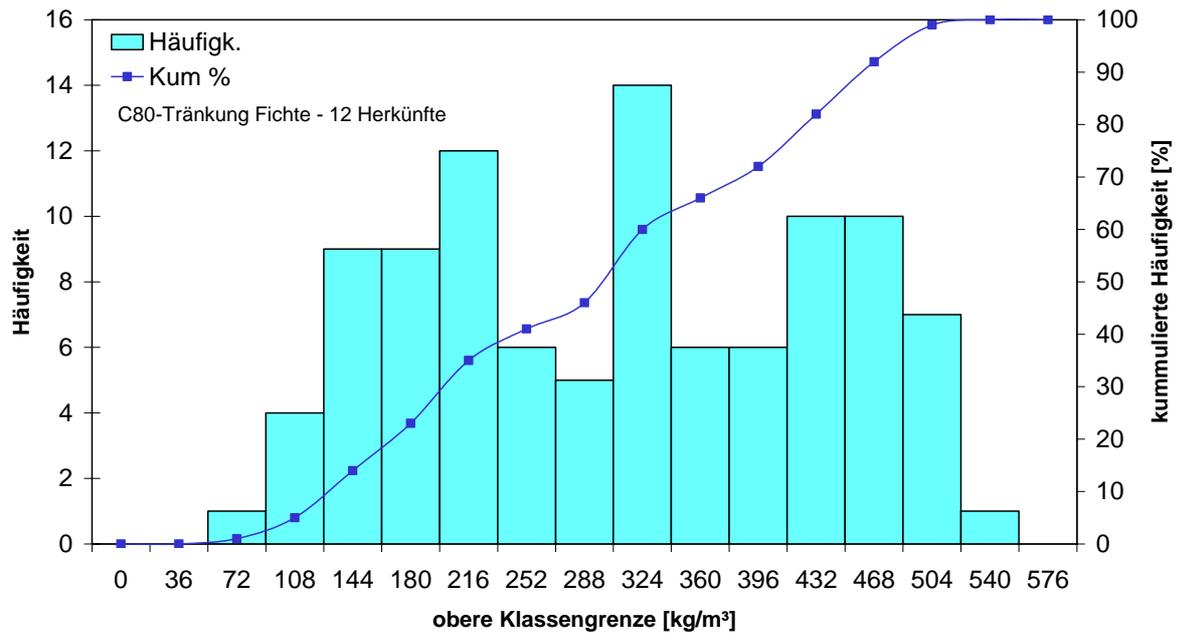


Abbildung 128: Häufigkeitsverteilung der Fichtenprüfkörper aus 12 verschiedenen Herkünften in 15 Klassen der Klassenweite 36 [kg/m³] nach Vollzelltränkung mit Parafint C 80; n = 100

Für Fichtenprüfkörper zeigte sich eine breite Streuung der Einzelwerte. Auffällig war die Konzentration der Fichte S & B ausschließlich in den drei untersten Häufigkeitsklassen und die Zuordnung der Fichte CZA und Fichte Bernau ausschließlich zu den oberen fünf bzw. oberen vier Klassen. Die Einzelwerte der übrigen 9 Fichtenherkünften verteilten sich ohne signifikante Häufigkeit über die komplette Wertespanne. Damit ist für eine Einschätzung der Wirtschaftlichkeit des Verfahrens bezüglich eines möglichen Ausschusses durch Minderaufnahme eine geeignete Kenngröße bzw. Schnelltestmethode zur Charakterisierung der Permeabilität von Fichtenholz notwendig, um stark streuende Fichtensortimente von der Tränkung auszuschließen.

Im Gegensatz zu den Fichten- Prüfkörpern zeigten die Kiefernspint-Prüfkörper eine geringere Streuung der Einzelwerte, wie aus Abbildung 129 hervorgeht. Die minimal von einem Kiefernspint-Prüfkörper erreichte Paraffinaufnahme betrug 327 kg /m³, maximal wurden 509 kg/m³ erreicht. Damit verteilen sich die 25 Prüfkörper aus drei Herkünften ohne signifikante Streuung über die oberen sechs Klassen. Abweichungen vom mittleren Tränkergebnis waren nur im Fall von Mehraufnahme zu verzeichnen, die das Ergebnis hinsichtlich Ausschuss durch Minderaufnahme nicht negativ beeinflussen.

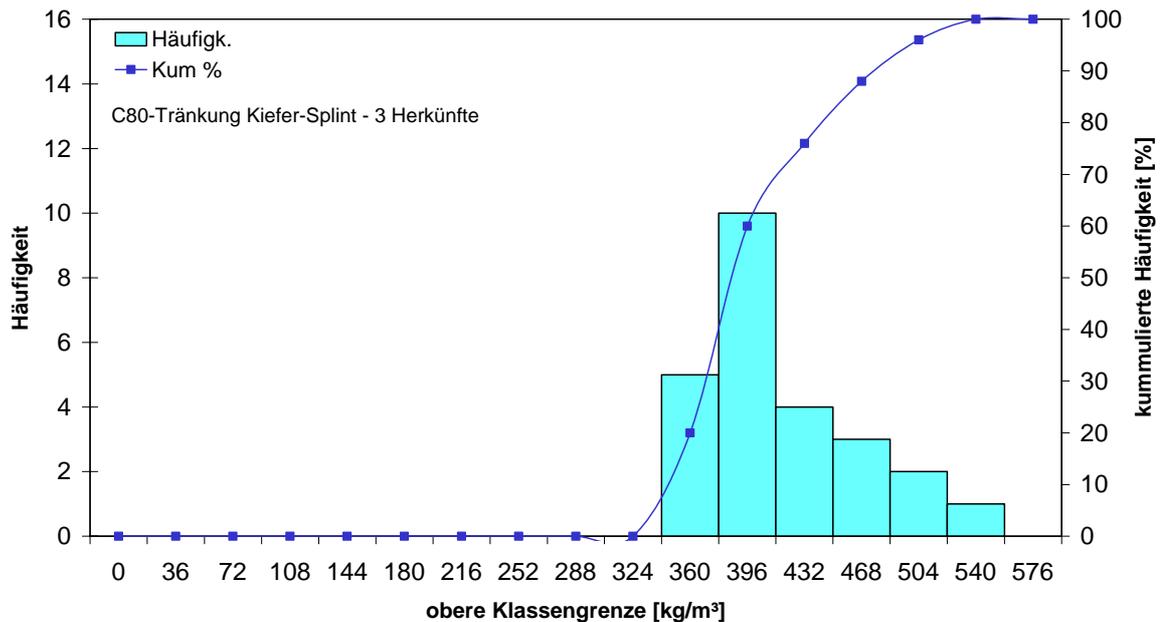


Abbildung 129: Häufigkeitsverteilung der einzelnen Kiefersplintprüfkörper aus 3 verschiedenen Herkünften in 15 Klassen der Klassenweite 36 [kg/m<sup>3</sup>] nach Vollzelltränkung mit Parafint C 80; n = 25

### 3.2.10 Entwicklung einer Schnelltest-Methode zur Einschätzung der Tränkbarkeit von Fichtenholz

In Tab. 39 sind die Untersuchungsergebnisse der Permeabilitätsmessungen von Fichtenholz dargestellt.

Tab. 39: Für das Wegschlagen der Weiserflüssigkeit benötigte Zeit in Sekunden und tatsächlich erreichte Wachsaufnahme nach Vollzelltränkung

Fichten - Sortiment	Verwendete Weiserflüssigkeit und für das Auftropfen genutzte Schnittfläche der Prüfkörper (r = radial, t = tangential, l = longitudinal)															Wachs- auf- nahme [l/m <sup>3</sup> ]
	Isopropanol			n-Heptan			Aceton			Silikonöl			Weißöl			
	r	t	l	r	t	l	r	t	l	r	t	l	r	t	l	
S & B	27,8	38,3	0,7	8,0	13,3	0,6	9,5	11,2	0,5	420	420	-	420	399	2,1	112,2
Fichte 4	5,8	11,1	0,6	1,6	3,6	0,5	2,0	4,3	0,4	420	420	-	206	420	3,3	524,3
Wals- rode	18,0	17,2	0,8	4,8	4,8	0,5	7,6	6,9	0,5	420	420	-	-	-	1,8	320,4
Kern	17,7	18,6	0,6	5,2	5,8	0,5	6,5	4,9	0,5	420	420	-	-	-	2,7	137,0
Referenzhölzer																
Kiefer	4,6	5,5	0,2	1,5	1,1	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	1,8	446,8
Buche	7,5	5,9	0,2	1,1	1,2	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	3,3	346,3

Für die Untersuchungen mit Isopropanol, Heptan und Aceton wurden alle Schnittrichtungen der 4 charakteristischen Fichtenholzsortimente eingesetzt. Silikon- und Weißöl eigneten sich für eine sichere Charakterisierung nicht, da sehr lange Zeitintervalle für das Wegschlagen der Tropfen benötigt wurden. Deshalb wurden diese Weiserflüssigkeiten nicht für alle Kombinationen untersucht.

Durch den Einsatz von Isopropanol war eine sichere Bestimmung hervorragend tränkbarer Fichtenholzsortimente möglich (Abbildung 130).

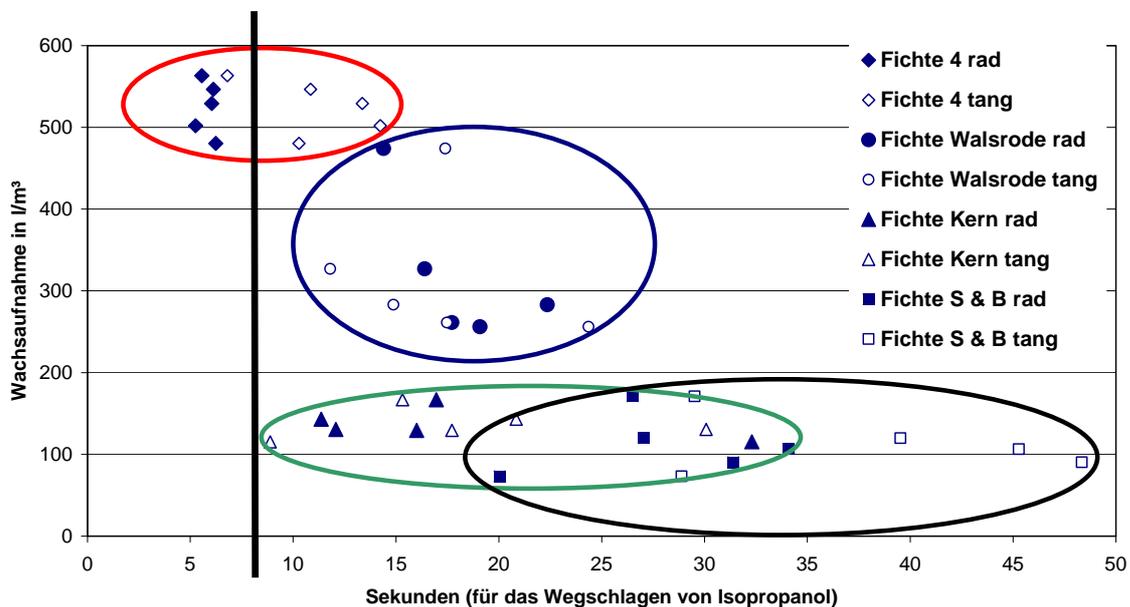


Abbildung 130: Korrelation der realen Wachsaufnahme der einzelnen Prüfkörper mit der für das Wegschlagen von Isopropanol benötigten Zeit; Zeitangaben resultieren aus dem Mittelwert von  $n = 5$  Zeitnahmen

Unterhalb einer Zeit von 8 s lagen nur Fichtenprüfkörper des Sortiments Bernau 4, die in 3.2.9 die signifikant höchste Wachsaufnahme zeigten. Die Fichte Walsrode mit ebenfalls hoher Wachsaufnahme ließ sich hingegen nicht sicher von den schlecht tränkbaren Sortimenten Fichte Kern und Fichte S & B trennen, da oberhalb von 10 s keine Abhängigkeit von erreichter Wachsaufnahme und Wegschlaggeschwindigkeit der Weiserflüssigkeit mehr existierte.

Die Versuche mit n-Heptan als Weiserflüssigkeit zur Beurteilung der Permeabilität zeigten ein ähnliches Ergebnis, jedoch war in diesem Fall eine sichere Unterscheidung der Fichtensortimente auf Grund des beschleunigten Wegschlagens durch Verdunstung erschwert (Abbildung 131).

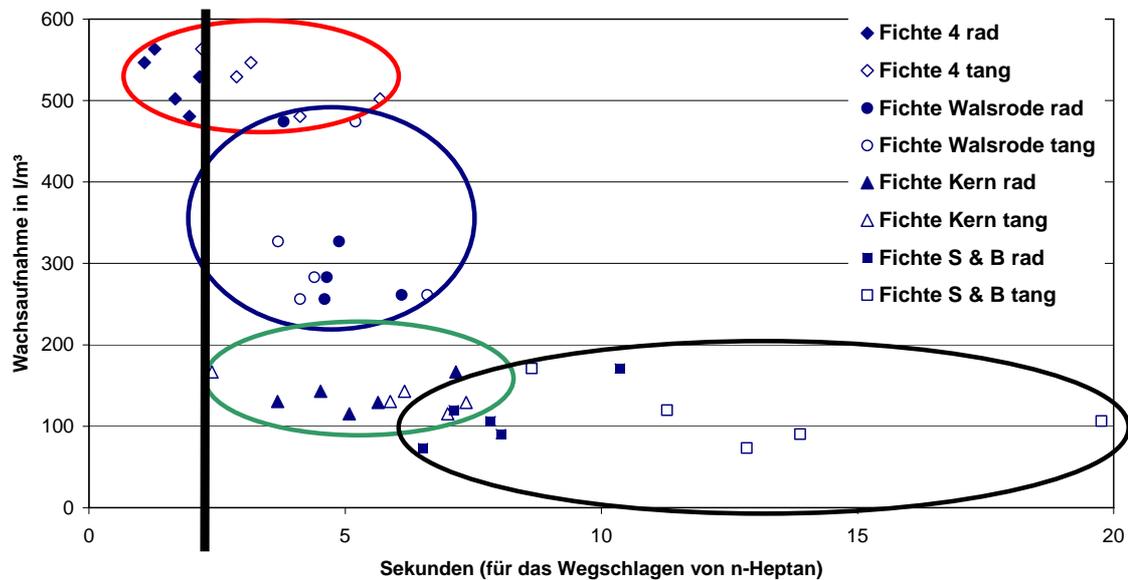


Abbildung 131: Korrelation der tatsächlichen Wachsaufnahme der einzelnen Prüfkörper mit der für das Wegschlagen von n-Heptan benötigten Zeit; Zeitangaben resultieren aus dem Mittelwert von  $n = 5$  Zeitnahmen

Eine Trennlinie zur Unterscheidung von sehr gut tränkbaaren Fichtensortimenten und Fichtensortimenten unterschiedlicher Permeabilität konnte bei ca. 2 s ermittelt werden. Nach dieser Zeit war keine Unterscheidung mehr möglich. Ein praktischer Einsatz von n-Heptan in einem Schnelltest ohne weitere technische Optimierung der optischen Erfassung ist durch die kurze zu ermittelnde Zeitspanne als ungeeignet anzusehen.

Die Ergebnisse der Untersuchungen mit Aceton ergaben im Vergleich mit n-Heptan ein ähnliches Ergebnis (Abbildung 132).

Eine sichere Trennung der sehr gut tränkbaaren Fichte Bernau 4 und den Fichtensortimenten unterschiedlicher Permeabilität war nur unterhalb von 4 Sekunden möglich. Damit gelten die gleichen Einschränkungen für einen praktischen Einsatz, wie für n-Heptan.

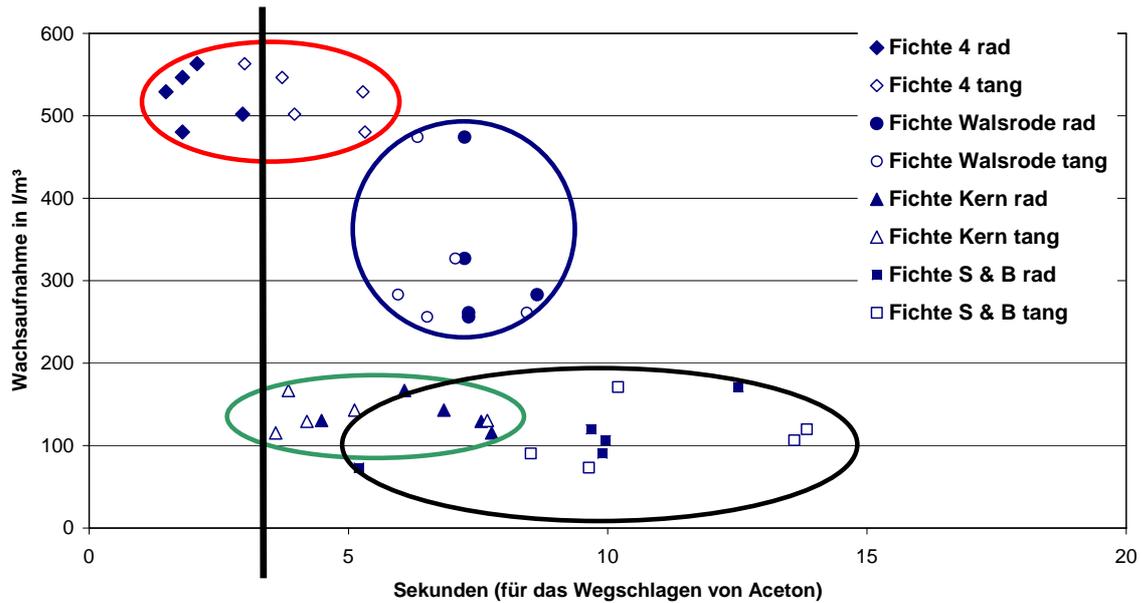


Abbildung 132: Korrelation der tatsächlichen Wachsaufnahme der einzelnen Prüfkörper mit der für das Wegschlagen von Aceton benötigten Zeit; Zeitangaben resultieren aus dem Mittelwert von  $n = 5$  Zeitnahmen

Die Ergebnisse mit Weißöl als Weiserflüssigkeit sind in Abbildung 133 dargestellt.

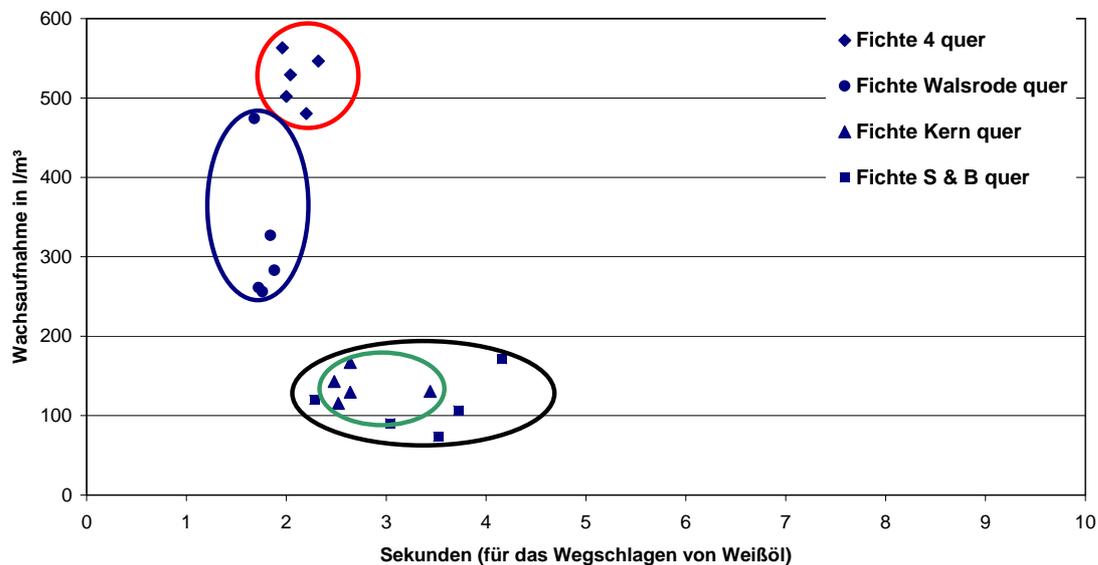


Abbildung 133: Korrelation der tatsächlichen Wachsaufnahme der einzelnen Prüfkörper mit der für das Wegschlagen von Weißöl auf der Querschnittsfläche (quer) benötigten Zeit; Zeitangaben resultieren aus dem Mittelwert von  $n = 5$  Zeitnahmen

Silikon- oder Weißöl ist infolge der langen Zeitspannen für das Wegschlagen für einen Schnelltest nicht geeignet. Auch erschwerte das „flächige“ Verlaufen

beider Öle, eine sichere Bestimmung des Zeitpunktes, an dem das Öl tatsächlich weggeschlagen war. Diese Verteilung des Öls ohne Eindringung war bei dem Silikonöl besonders stark ausgeprägt, weshalb die Silikonöl-Versuche nach dieser Zeit abgebrochen wurden.

Mit allen untersuchten Flüssigkeiten (Ausnahme des Silikonöl) konnten die sehr gut tränkbaeren Fichtensortimente (Fichte Bernau 4 und Fichte Walsrode) von den anderen Sortimenten unterschieden werden. Weitere Untersuchungen zur Entwicklung einer Methode zur Detektion gut tränkbarer Fichtenholzsortimente erscheinen vor diesem Hintergrund aussichtsreich.

### **3.3 Grundlagen zur Einschätzung der Wirtschaftlichkeit und Produktsicherheit**

Im folgenden werden die Kosten des Verfahrens durch Betrachtung der beiden Faktoren Imprägniermittel und Tränggut eingeschätzt.

#### **3.3.1 Kosten des Imprägniermittels**

Die Kosten des Imprägniermittels setzen sich aus den Faktoren Imprägniermittelverbrauch durch Aufnahme während der Trängkung und Verschleiß zusammen.

##### **3.3.1.1 Minimal erforderliche Paraffin/ Hilfsstoffaufnahmemenge**

Die Aufnahmemengen der verwendeten Kiefern-, Fichten- und Buchenprüfkörper nach Sparträngkung mit Paraflint C80 + 5% Terhell 5803 und verschiedenen Farbmittelkonzentrationen sind in Abbildung 136 und Abbildung 137 dargestellt.

###### **3.3.1.1.1 Wachsaufnahmen bei 2% Farbstoff- und 0,5% Pigmentanteil**

Aus Abbildung 134 geht hervor, dass Prüfkörper mit Zielbeladungen im unteren Aufnahmebereich bei einem 2%igem Farbstoff- und 0,5%igem Pigmentanteil mittlere Wachsaufnahmen von 84 kg/m<sup>3</sup> (Buche), 94 kg/m<sup>3</sup> (Fichte) und 128 kg/m<sup>3</sup> (Kiefer) aufweisen.

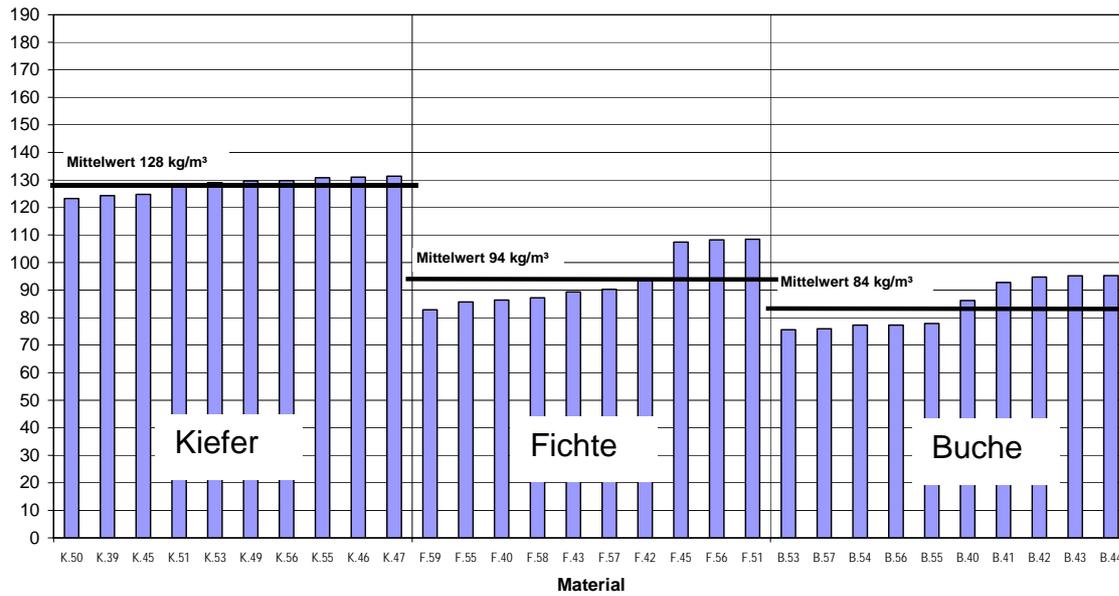
Wachsaufnahme in  $\text{kg/m}^3$ 

Abbildung 134: Unterer Bereich der Aufnahmemengen in  $\text{kg/m}^3$  von Prüfkörpern mit 2% Farbstoff und 0,5 % Pigmentanteil für Versuche zur Bestimmung der minimal erforderlichen Materialmengen an Paraffin und Farbmittel

Eine Spartränkung mit reduziertem Vordruck wurde zur Herstellung von Prüfkörpern des oberen Aufnahmebereichs mit 2%igem Farbstoff- und 0,5%igem Pigmentanteil verwendet, wobei mittlere Wachsaufnahmen von  $125 \text{ kg/m}^3$  (Buche),  $139 \text{ kg/m}^3$  (Fichte) und  $142 \text{ kg/m}^3$  (Kiefer) resultierten (Abbildung 135).

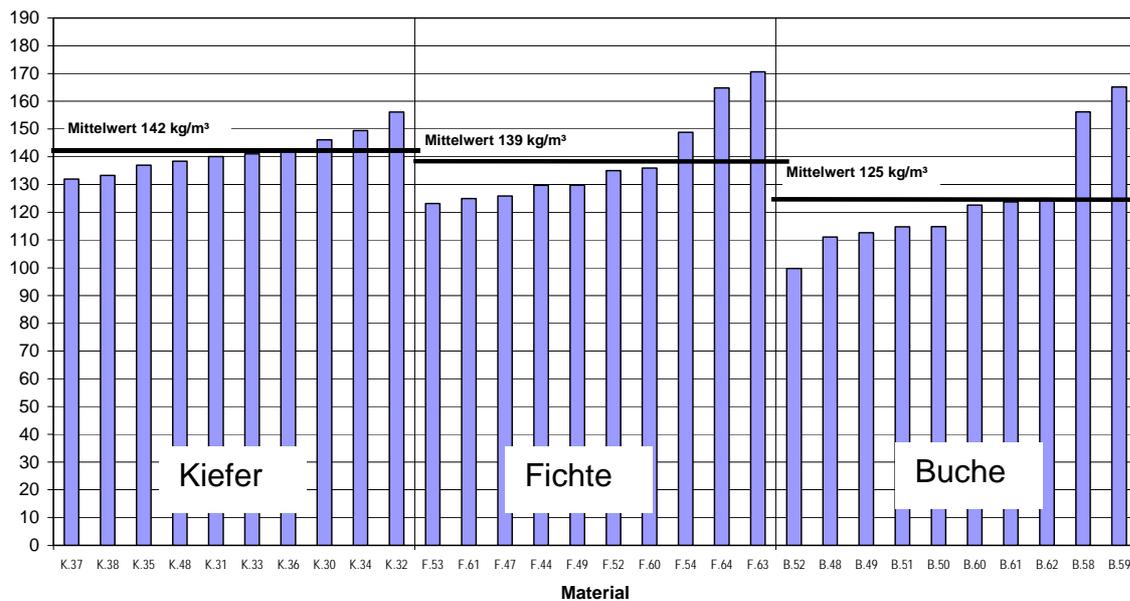
Wachsaufnahme in  $\text{kg/m}^3$ 

Abbildung 135: Oberer Bereich der Aufnahmemengen in  $\text{kg/m}^3$  von Prüfkörpern mit 2% Farbstoff und 0,5 % Pigmentanteil für Versuche zur Bestimmung der minimal erforderlichen Materialmengen an Paraffin und Farbmittel

Eine nähere Betrachtung der erreichten Wachsbeladungen zeigt, dass die Prüfkörper einen Aufnahmebereich von ca. 70 bis ca. 170 kg/m<sup>3</sup> umfassen. Die Prüfkörper wurden am 03.08.2006 für 6 Monate auf dem BFH/vTI-Gelände exponiert, um sowohl die Holzfeuchten als auch die Farbstabilität nach definierten Zeiten zu bestimmen.

### 3.3.1.1.2 Wachsaufnahmen bei 4% Farbstoff- und 1% Pigmentanteil

Die Prüfkörper mit Zielbeladungen im oberen Aufnahmebereich zeigten nach Wachstränkung mit 4%igem Farbstoff- und 1%igem Pigmentanteil mittlere Aufnahmen von 78 kg/m<sup>3</sup> (Fichte), 85 kg/m<sup>3</sup> (Buche) und 105 kg/m<sup>3</sup> (Kiefer) (Abbildung 136).

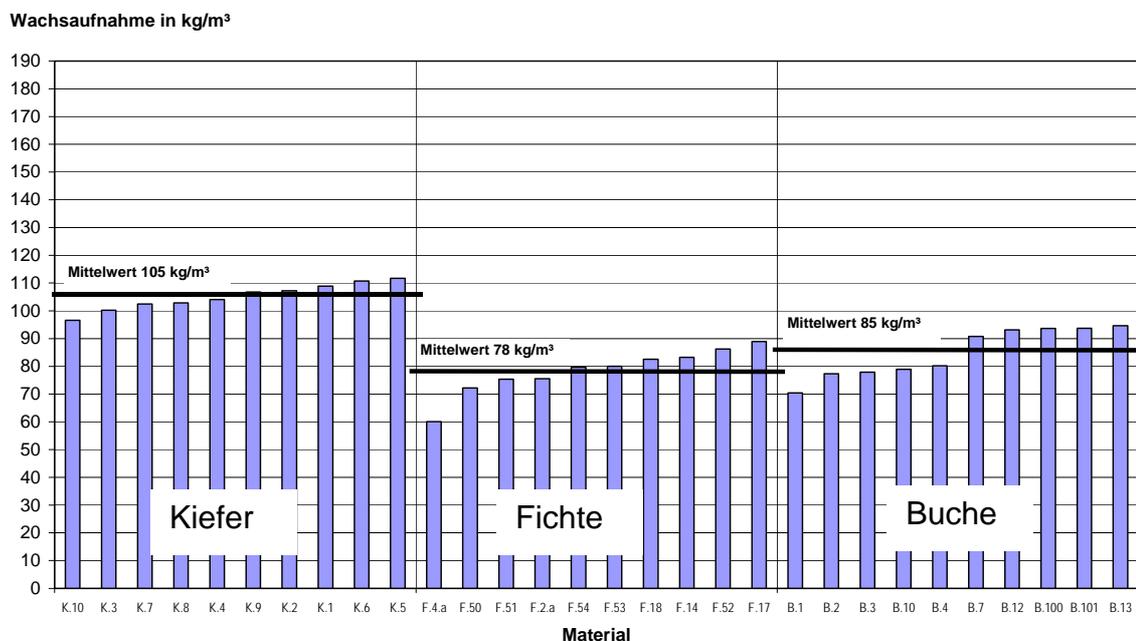


Abbildung 136: Unterer Bereich der Aufnahmemengen in kg/m<sup>3</sup> von Prüfkörpern mit 4% Farbstoff und 1% Pigmentanteil für Versuche zur Bestimmung der minimal erforderlichen Materialmengen an Paraffin und Farbstoff

Eine Spartränkung mit reduziertem Vordruck wurde für die Tränkung zur Herstellung der Prüfkörpergruppen des oberen Aufnahmebereichs mit 4%igem Farbstoff- und 1%igem Pigmentanteil verwendet. Mittlere Aufnahmemengen von 121 kg/m<sup>3</sup> (Buche), 125 kg/m<sup>3</sup> (Fichte) und 161 kg/m<sup>3</sup> (Kiefer) waren die Folge (Abbildung 137).

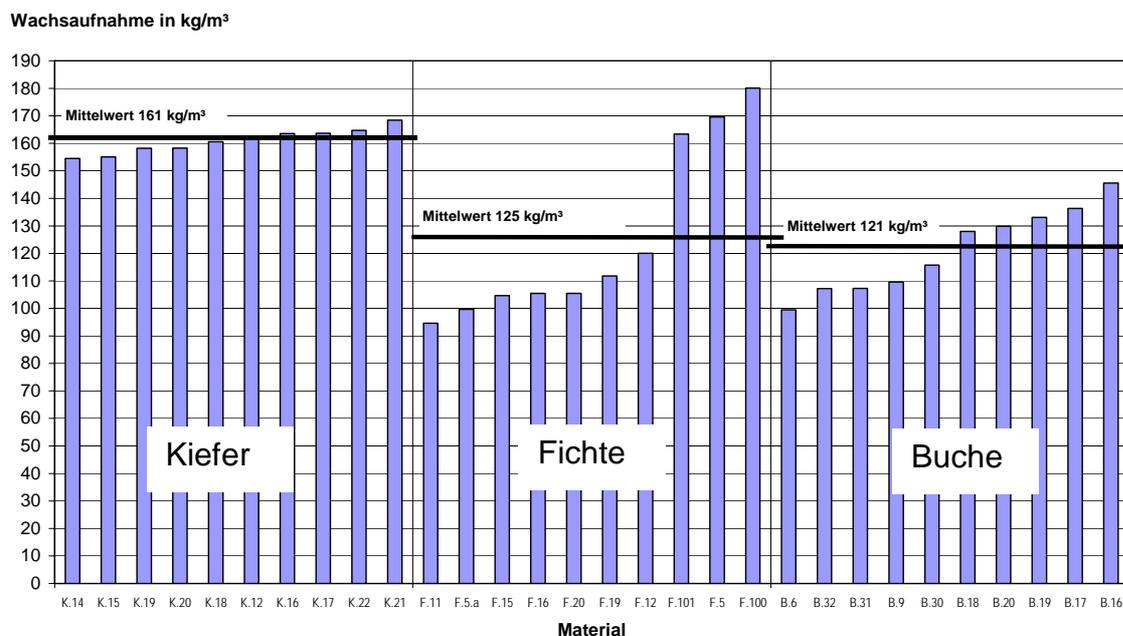


Abbildung 137: Oberer Bereich der Aufnahmemengen in kg/m<sup>3</sup> von Prüfkörpern mit 4% Farbstoff und 1% Pigmentanteil für Versuche zur Bestimmung der minimal erforderlichen Materialmengen an Paraffin und Farbstoff

Eine nähere Betrachtung der erreichten Wachseladungen zeigt, dass die Prüfkörper einen Aufnahmebereich von ca. 60 bis ca. 180 kg/m<sup>3</sup> abdecken. Auch diese Prüfkörper wurden am 03.08.2006 für 6 Monate auf dem BFH/vTI-Gelände exponiert, um sowohl die Holzfeuchten als auch die Farbstabilität zu bestimmen.

3.3.1.1.3 Durchfärbung der spargetränkten Prüfkörper mit angefärbtem Paraffin  
 Wie in 2.3.1.1 beschrieben, wurde die homogene Paraffinverteilung optisch an 3 aufgetrennten Prüfkörpern je Imprägnierparameter bestimmt. Abbildung 138 zeigt beispielhaft die Innenseiten von aufgetrennten Kiefernprüfkörpern mit verschieden hoher Wachseladung. Beide Prüfkörper zeigen eine homogene Durchfärbung der kompletten Schnittfläche. Deswegen wird im weiteren davon

ausgegangen, dass bei vorliegend guter Tränkbarkeit eine vollständige und homogene Hydrophobierung der Prüfkörper gegeben ist.

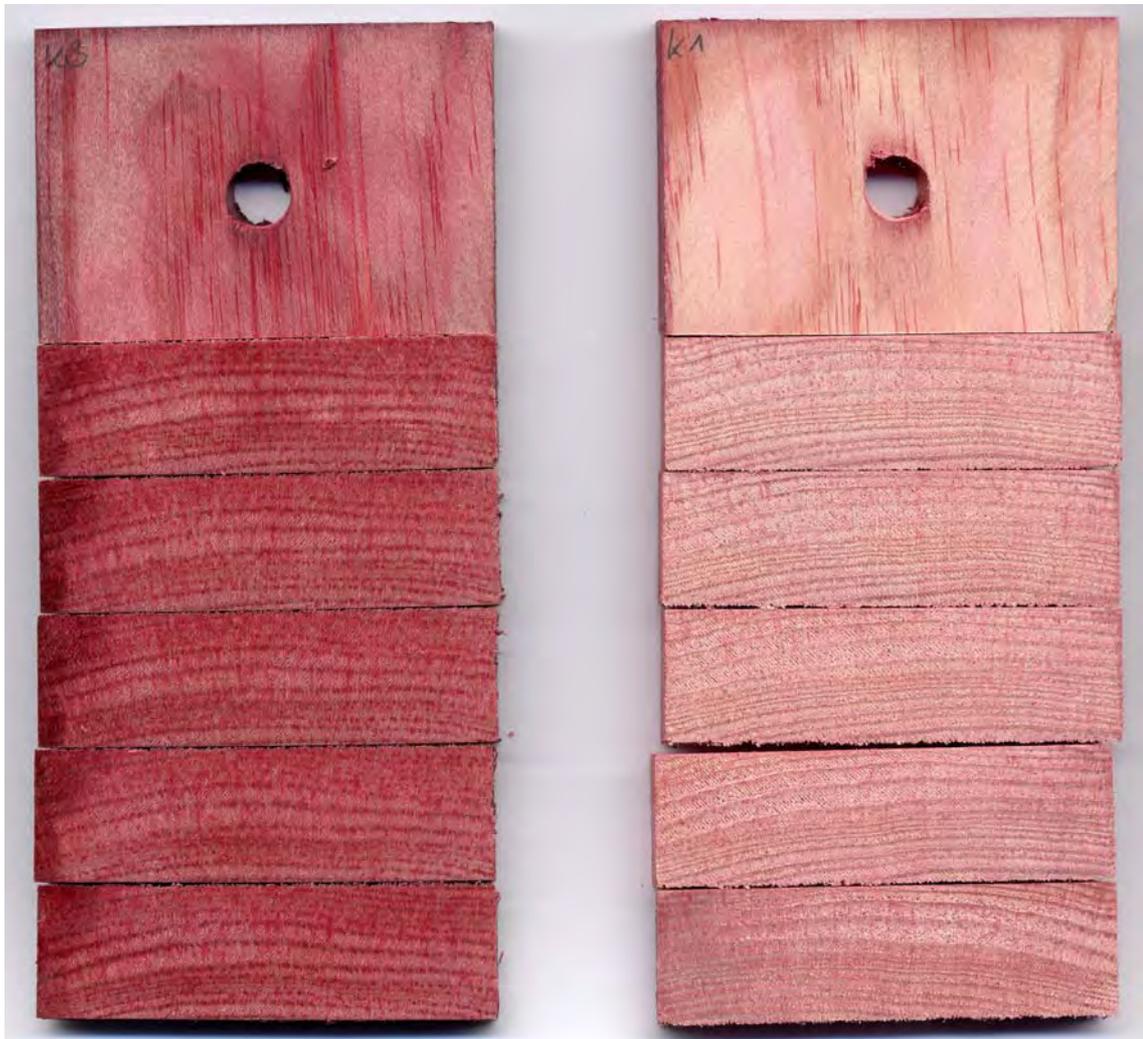


Abbildung 138: Aufgetrennte Kiefern-Prüfkörperhälften; links: 165 kg/m<sup>3</sup> Paraffinbeladung, rechts: 67 kg/m<sup>3</sup> Paraffinbeladung

#### 3.3.1.1.4 Exposition der Prüfkörper zur Bestimmung der minimalen Aufnahmemengen

Die Prüfkörper aus 3.3.1.1.1 und 3.3.1.1.2 wurden gemeinsam mit unbehandelten Kontrollen am 03.08.2006 auf einem um 45° geneigten Prüfkörpergestell (Abbildung 14) ausgebracht (Abbildung 139). Die Bewertung der Oberfläche sowie die gravimetrische Bestimmung der Holzfeuchte erfolgte 14-tägig.



Abbildung 139: Aufbau der Bewitterungsversuche. Neigung der exponierten Prüfkörper-Fläche um 45°.

Die Änderung der Holzfeuchte der untersuchten Kiefernprüfkörper über die 6-monatige Bewitterung ist in Abbildung 140 dargestellt. Im Vergleich zu den Kiefernkontrollen wiesen alle hydrophobierten Proben eine signifikant geringere Holzfeuchte auf.

## Holzfeuchte [%]

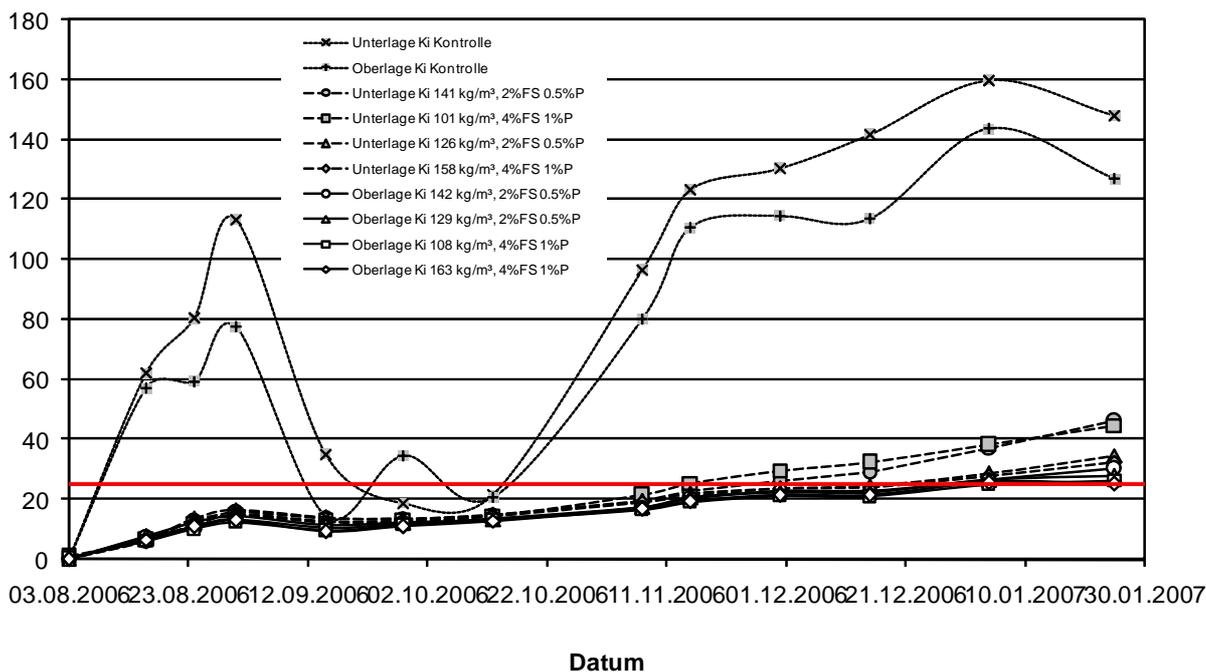


Abbildung 140: Änderung der Holzfeuchte unbehandelter und verschieden imprägnierter Kiefernproben während einer 6-monatigen Bewitterung in Doppellagenanordnung; FS = Konzentration des Farbstoffes, P = Konzentration des Pigments

Die aus Fichte hergestellten hydrophobierten Proben zeigen eine signifikant geringere Holzfeuchte als die unbehandelten Kontrollen (Abbildung 141).

## Holzfeuchte [%]

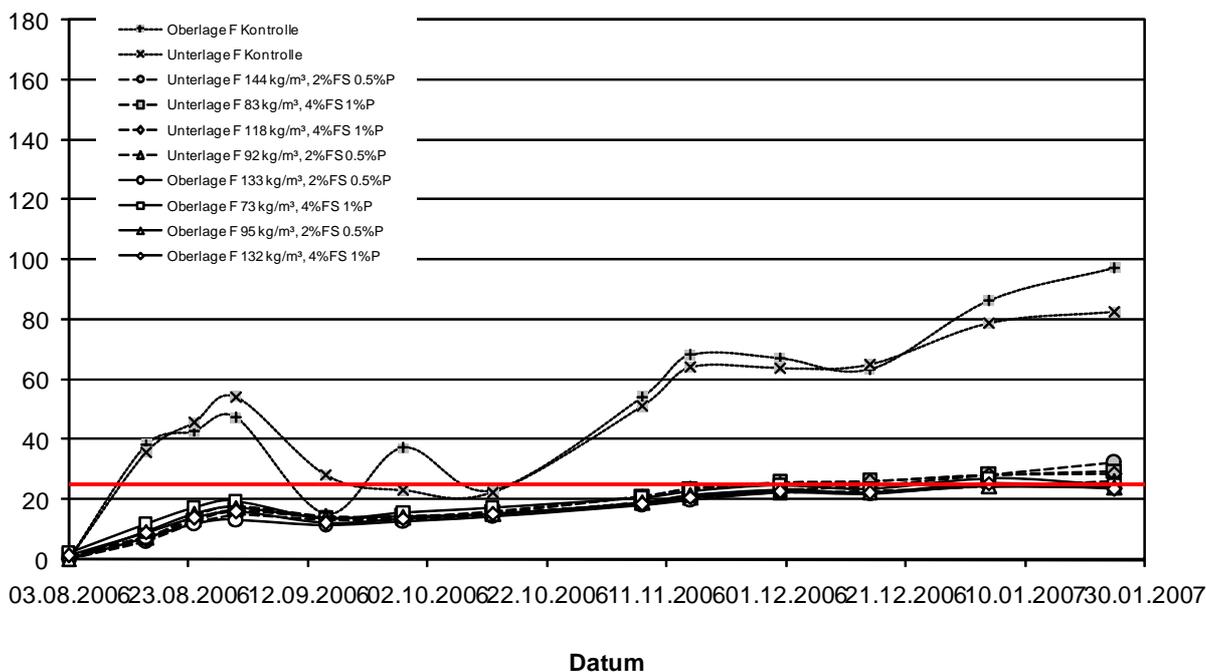


Abbildung 141: Änderung der Holzfeuchte unbehandelter und verschieden imprägnierter Fichtenproben während einer 6-monatigen Bewitterung in Doppellagenanordnung; FS = Konzentration des Farbstoffes, P = Konzentration des Pigments

Auch die hydrophobierten Buchenproben wurde eine signifikant verringerte Holzfeuchte im Vergleich mit Kontrollen ermittelt (Abbildung 142).

### Holzfeuchte [%]

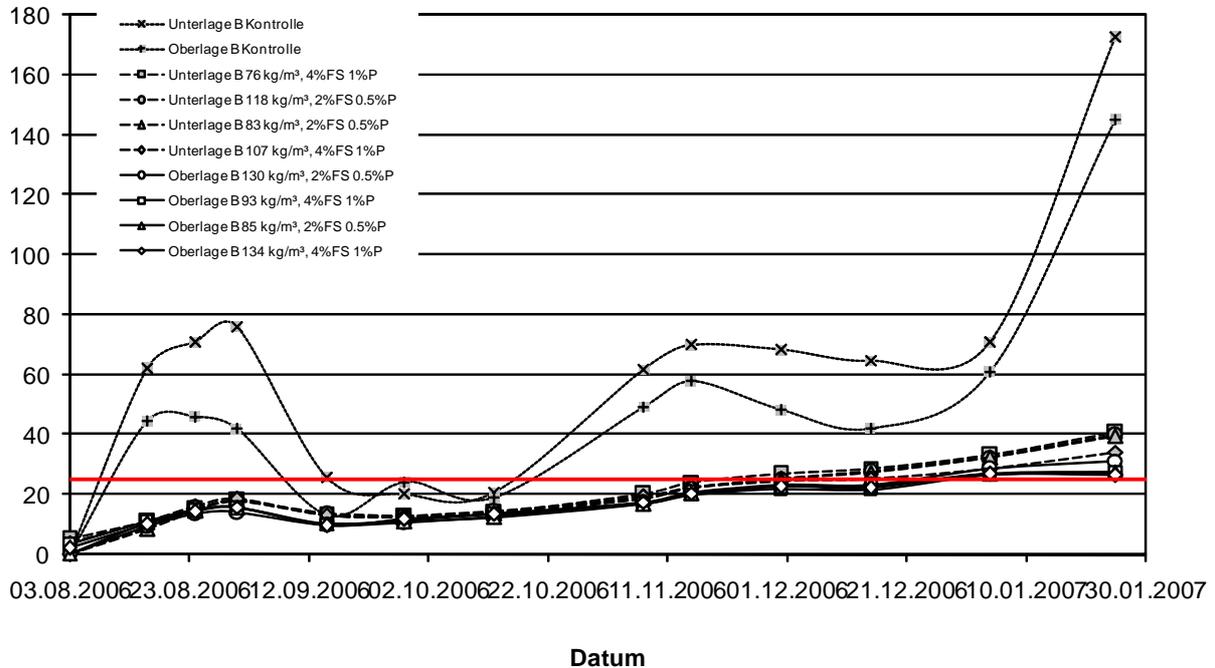


Abbildung 142: Änderung der Holzfeuchte unbehandelter und verschieden imprägnierter Buchenproben während einer 6-monatigen Bewitterung in Doppellagenanordnung; FS = Konzentration des Farbstoffes, P = Konzentration des Pigments

Tendenziell war für alle Holzarten festzustellen:

Eine Wachsaufnahme von 80 bis 160 kg/m<sup>3</sup> bewirkte eine signifikante Abnahme der Holzfeuchte.

Je geringer die Aufnahmemenge an Wachs desto höher die sich einstellende Holzfeuchte.

Die Holzfeuchte in der Unterlage war bedingt durch Staunässe höher als die Holzfeuchte in der Oberlage.

Bereits nach 3-monatiger Bewitterung wiesen die unbehandelten als auch behandelten Prüfkörper eine signifikante Farbveränderung auf (Abbildung 143 bis Abbildung 147).



Abbildung 143: Prüfkörper nach dreimonatiger Bewitterung, Oberflächen sind stark verblasst und verfärbt



Abbildung 144: Prüfkörper nach dreimonatiger Bewitterung, die Hälfte der Prüfkörper ist mit unbewitterter Unterseite nach außen gedreht, um die Verfärbung/Entfärbung der bewitterten Oberflächen zu verdeutlichen

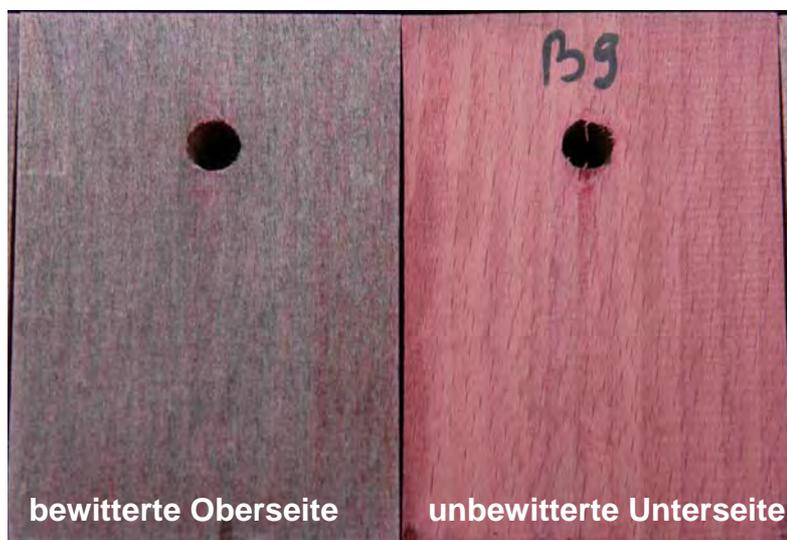


Abbildung 145: Prüfkörper nach dreimonatiger Bewitterung; wachsimprägnierte Buchenprüfkörper

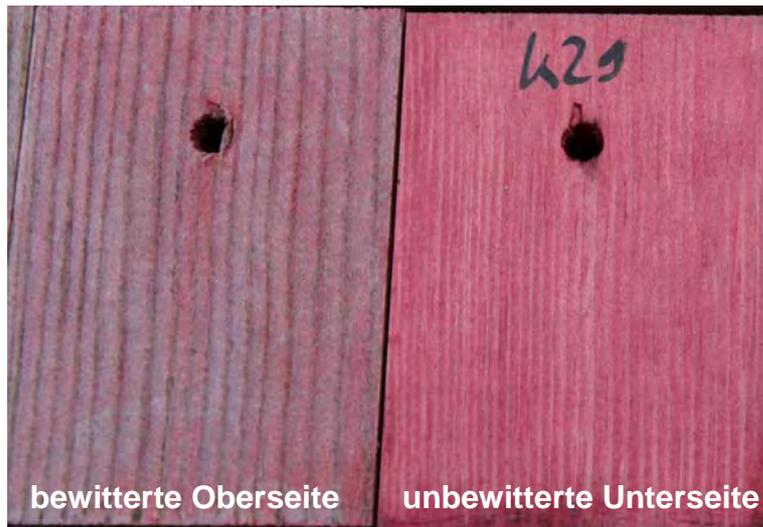


Abbildung 146: Prüfkörper nach dreimonatiger Bewitterung; wachsimprägnierte Kiefern-Splintprüfkörper



Abbildung 147: Prüfkörper nach dreimonatiger Bewitterung; wachsimprägnierte Fichtenprüfkörper

Diese Farbveränderung konnte auch über die  $L^*a^*b^*$  Farbwertbestimmung eindeutig nachgewiesen werden (Abbildung 148 bis Abbildung 156).

## hell-dunkel Farbwert L [ ]

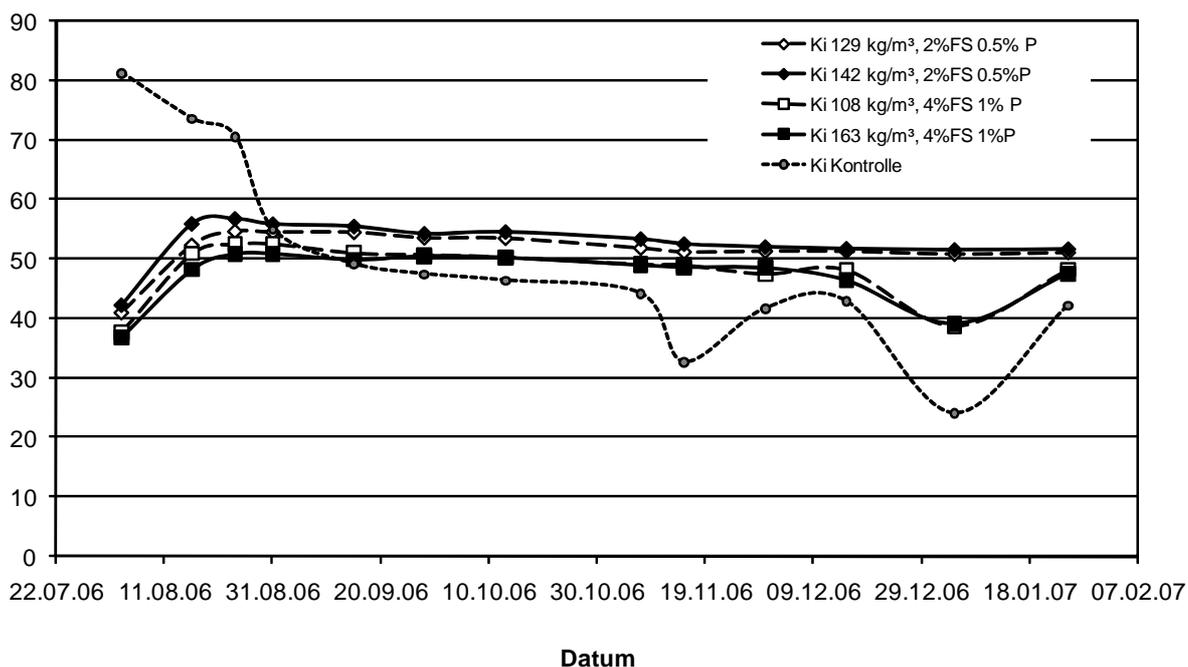


Abbildung 148: Entwicklung der hell-dunkel Komponente L von unbehandelten und wachsimprägnierten Kiefernproben während der Freibewitterung über 6 Monate

## rot-grün Farbwert a [ ]

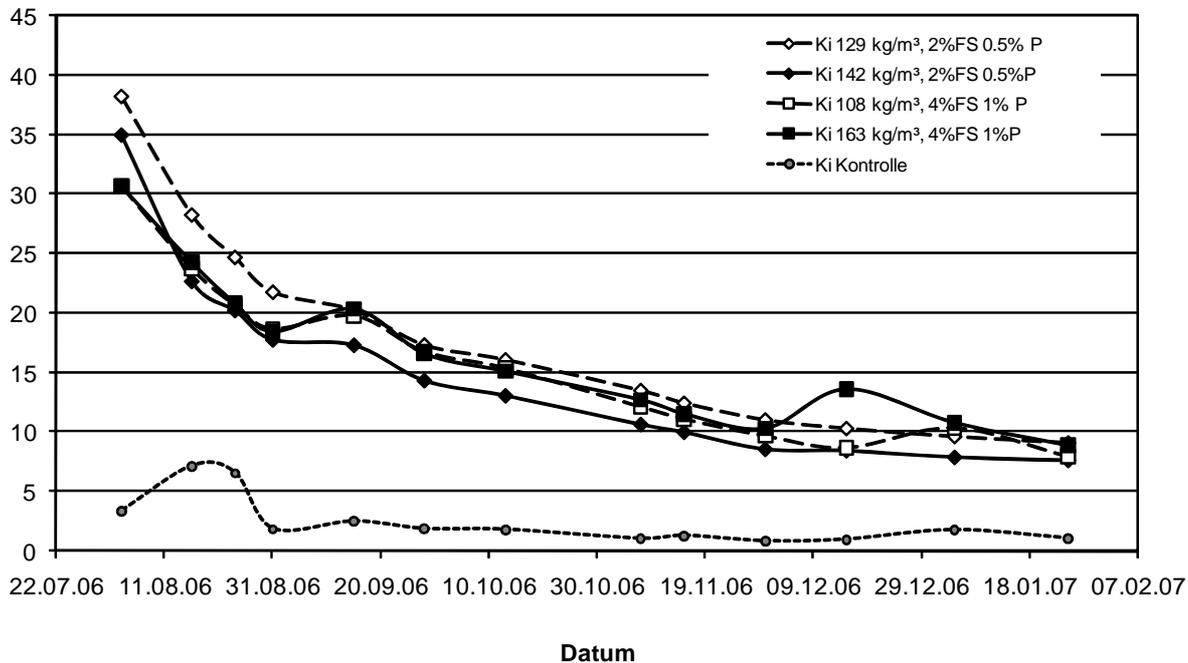


Abbildung 149: Entwicklung der rot-grün Komponente a von unbehandelten und wachsimprägnierten Kiefernproben während der Freibewitterung über 6 Monate

## gelb-blau Farbwert b [ ]

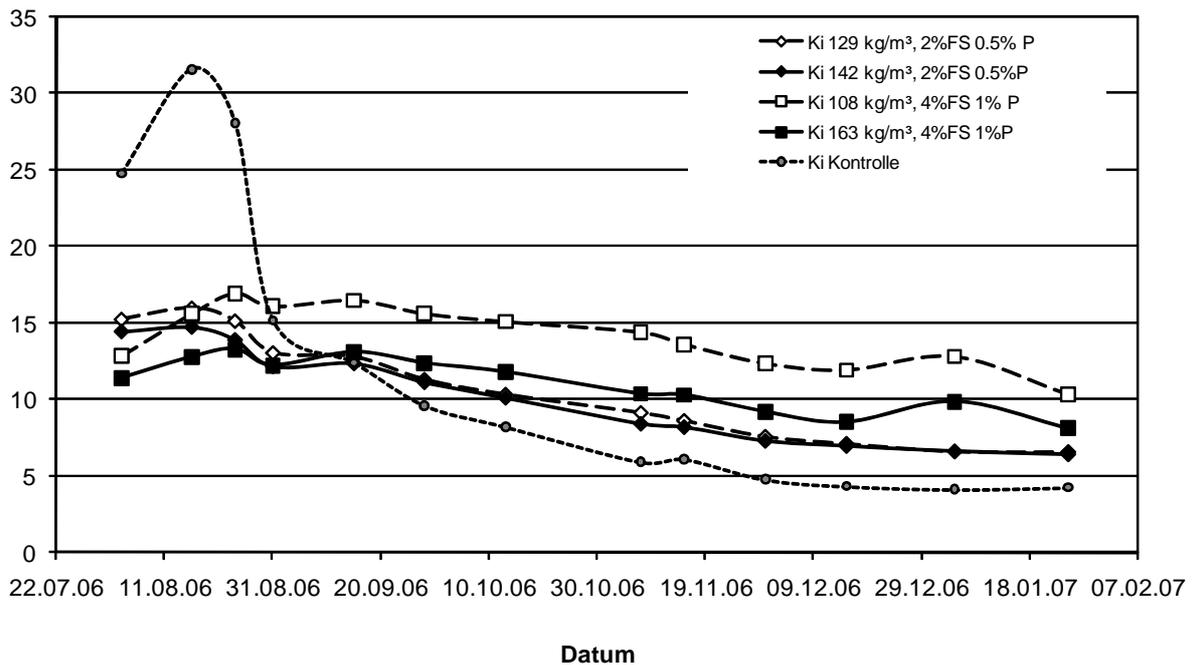


Abbildung 150: Entwicklung der gelb-blau Komponente b von unbehandelten und wachsimprägnierten Kiefernproben während der Freibewitterung über 6 Monate

## hell-dunkel Farbwert L [ ]

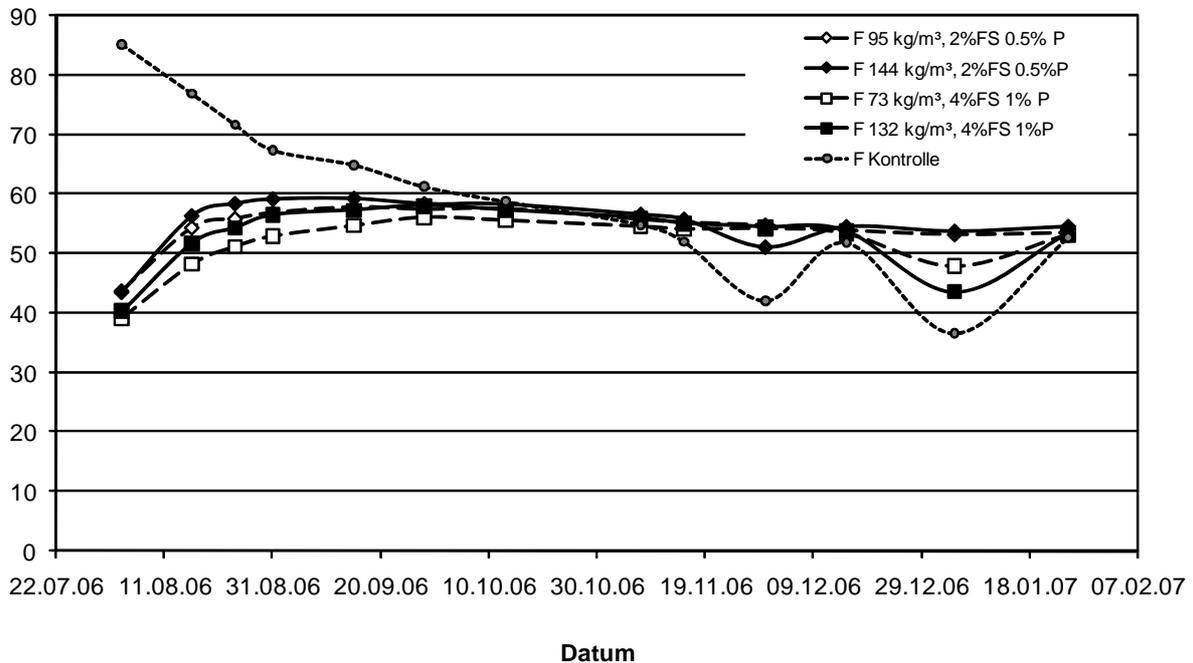


Abbildung 151: Entwicklung der hell-dunkel Komponente L von unbehandelten und wachsimprägnierten Fichtenproben während der Freibewitterung über 6 Monate

## grün-rot Farbwert a [ ]

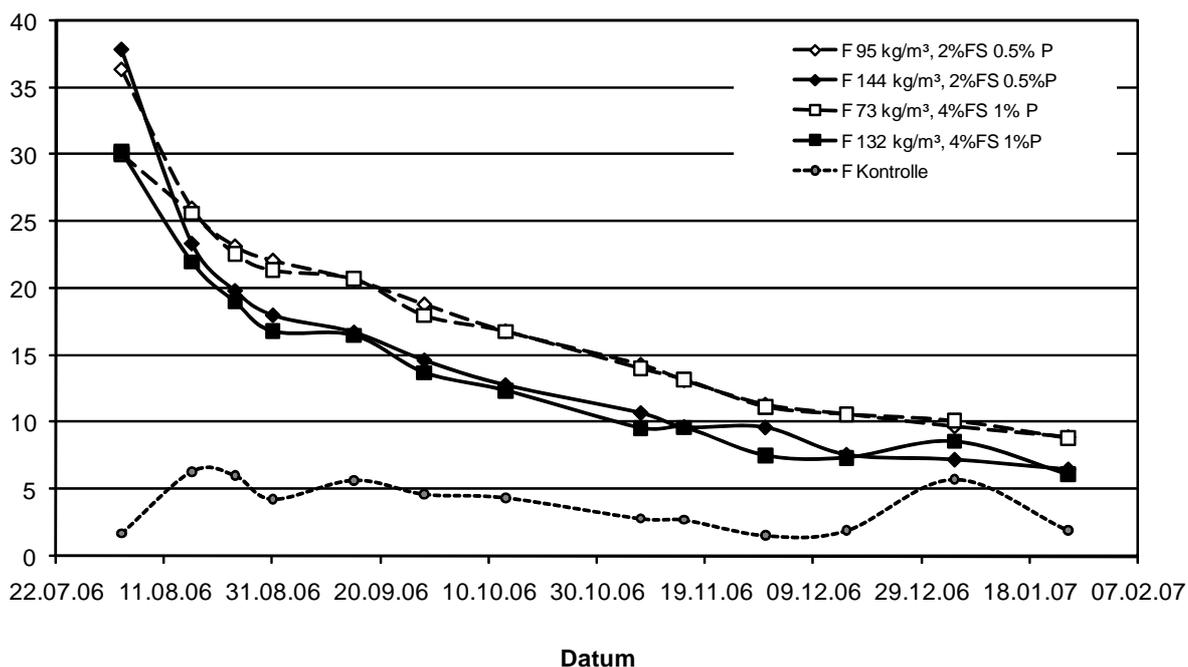


Abbildung 152: Entwicklung der grün-rot Komponente a von unbehandelten und wachsimprägnierten Fichtenproben während der Freibewitterung über 6 Monate

## gelb-blau Farbwert b [ ]

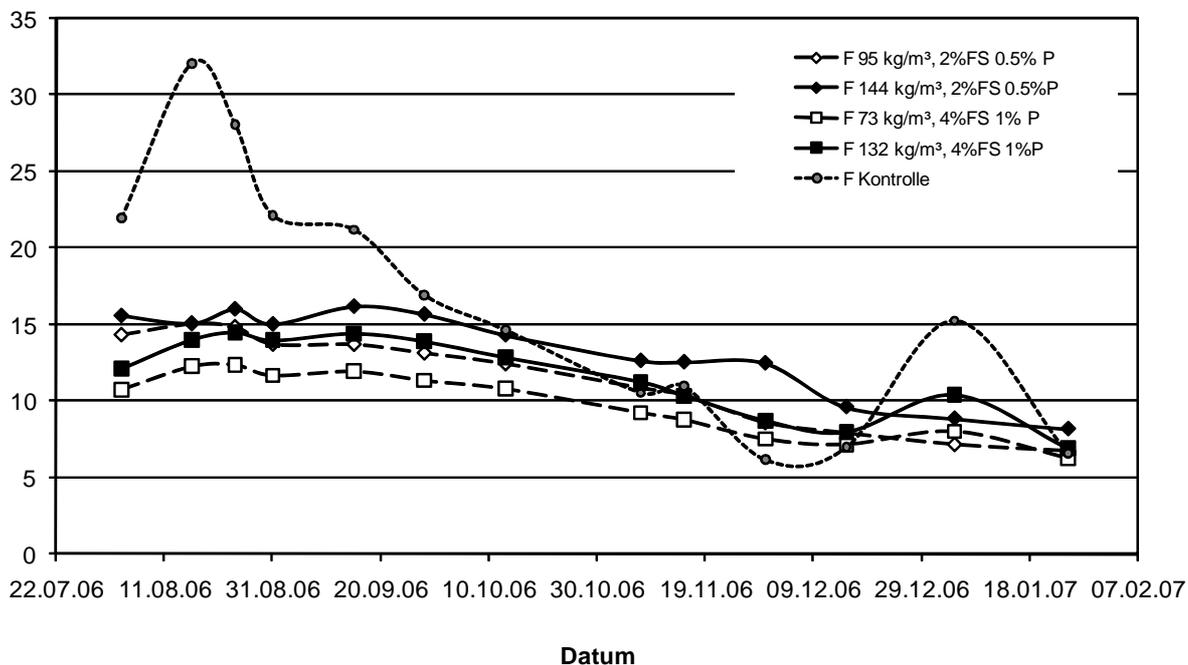


Abbildung 153: Entwicklung der gelb-blau Komponente b von unbehandelten und wachsimprägnierten Fichtenproben während der Freibewitterung über 6 Monate

## hell-dunkel Farbwert L [ ]

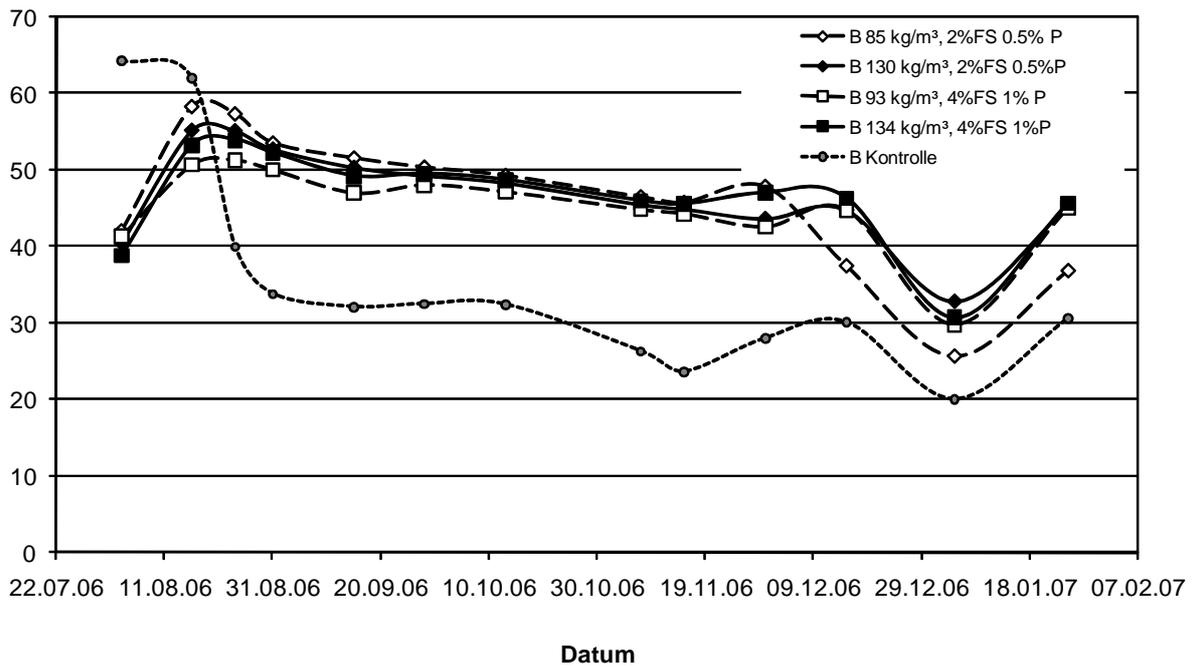


Abbildung 154: Entwicklung der hell-dunkel Komponente L von unbehandelten und wachsimprägnierten Buchenproben während der Freibewitterung über 6 Monate

## rot-grün Farbwert a [ ]

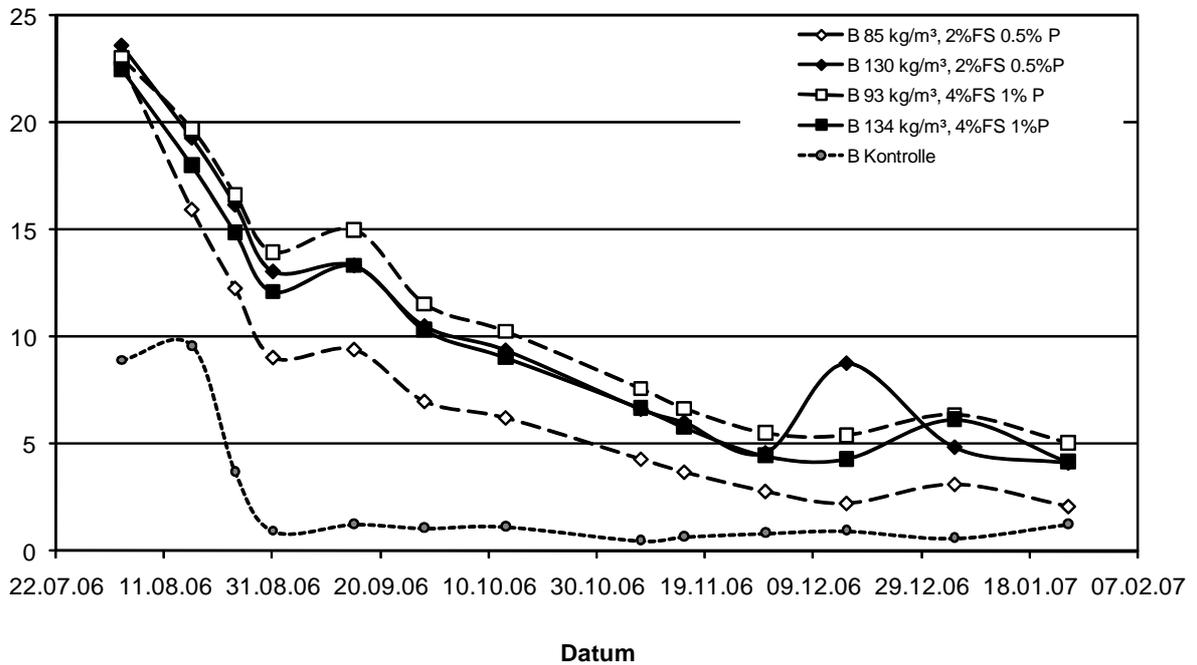


Abbildung 155: Entwicklung der grün-rot Komponente a von unbehandelten und wachsimprägnierten Buchenproben während der Freibewitterung über 6 Monate

gelb-blau Farbwert b [ ]

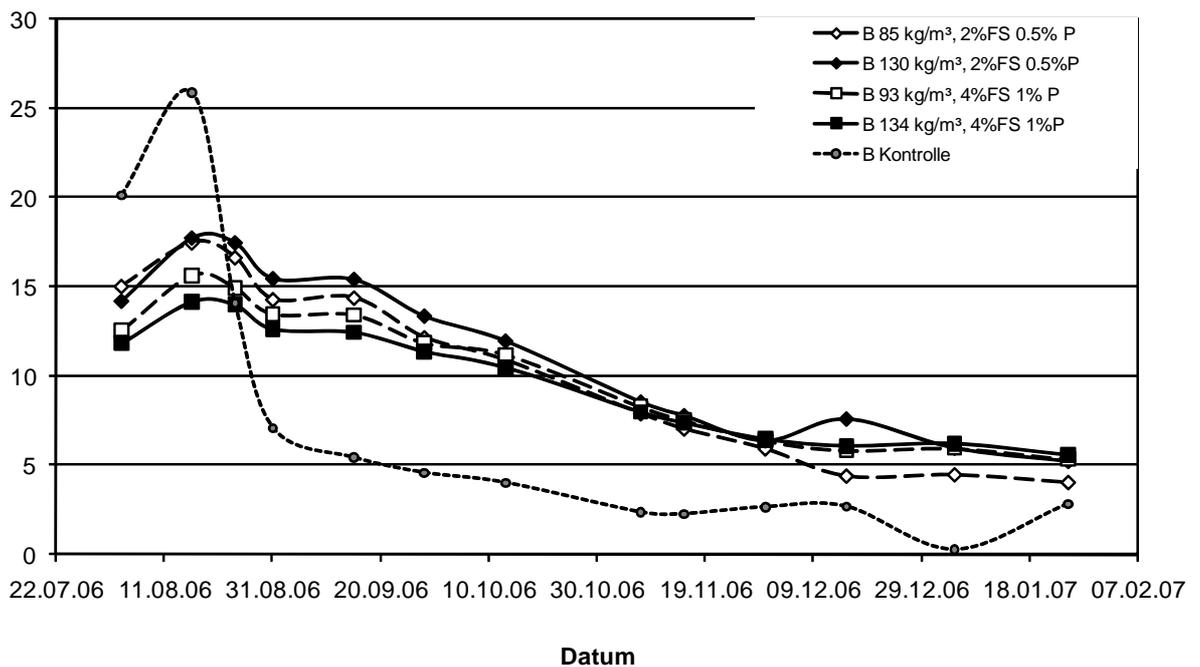


Abbildung 156: Entwicklung der gelb-blau Komponente b von unbehandelten und wachsimprägnierten Buchenproben während der Freibewitterung über 6 Monate

Hervorzuheben ist, dass eine mit dem bloßen Auge wahrnehmbare Farbveränderung erst dann zu beobachten ist, sofern auch eine Veränderung der  $L^*a^*b^*$ -Farbwerte ermittelt wurde.

Bemerkenswert ist ferner, dass die starke optische Veränderung der Prüfkörper in Freibewitterung den Laborergebnissen bei künstlicher UV-Bewitterung widersprach.

Dies führte dazu, weitere Anstrengungen hinsichtlich der Optimierung der Farbe/Pigmente zu betreiben. Die Ursachen hierfür wurden unter Mitwirkung der Firmen Steinbrügge & Berninghausen, Firma SASOL Wax GmbH und Firma Habich diskutiert, wobei z. B. neue Farbstoffe durch die Firma SASOL beschafft und durch selbiges Unternehmen untersucht wurden. Die entsprechenden Ergebnisse liegen dem vTI nicht vor.

Im Nachgang in Labormaßstab untersuchte weitere Farbstoffe zeigten zwar eine gute Lichtbeständigkeit, jedoch war die Verarbeitung dieser Farbstoffe infolge eines extremen Absetzverhaltens in einem herkömmlichen Tränkprozess nicht möglich (Abbildung 157).



Abbildung 157: Während der Tränkung beobachtetes Absetzen des Farbstoffes „Kelly Plasol 29 Orange“

#### 3.3.1.1.5 Bewertung der Prüfkörper nach 20 Monaten Exposition im Freiland ohne Erdkontakt

Im Rahmen eines Ortstermins am 07. März 2008 wurde die optische Erscheinung im Beisein von Herrn Berninghausen von verschiedenen wachsimprägnierten und kolorierten Fichten-, Kiefern- und Buchenproben nach 20 Monaten Bewitterung bewertet.

Alle Versuchsproben zeigten starke Vergrauung, wobei die Kontrollen (mittlere horizontale Probenreihe) am stärksten vergraut und verfärbt waren (Abbildung 158).

Für weitere Untersuchungen wurden drei Versuchsproben (F3, K8 und B9) von Herrn Berninghausen, Firma Steinbrügge & Berninghausen, entnommen (Abbildung 159). Über die Art der Untersuchungen, deren Umfang sowie dem Ergebnis liegen dem vTI keine Informationen vor.



Abbildung 158: Versuchsproben nach 20 monatiger Bewitterungsdauer

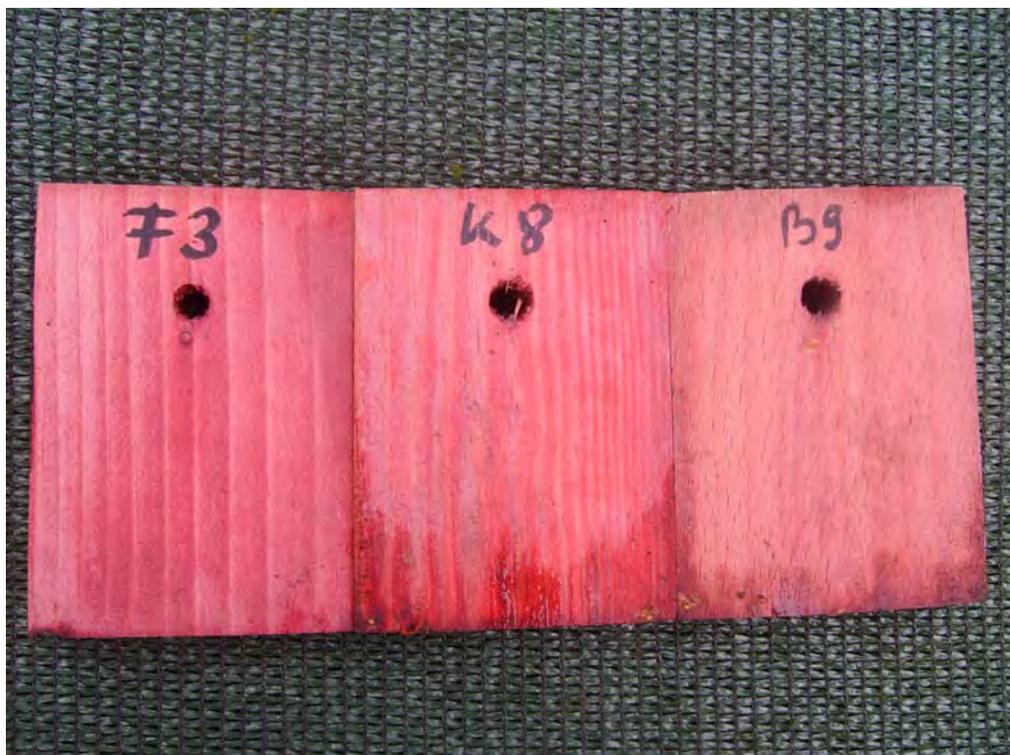


Abbildung 159. Unterseiten der für weitergehende Untersuchungen entnommenen hydrophobierten Versuchsproben

Hervorzuheben ist, dass keine der hydrophobierten Proben nach 20-monatiger Bewitterung Anzeichen von Fäulnis aufwies.

Im Gegensatz hierzu wurde sowohl in der Zwischenlage von Buchen-, Kiefern- als auch Fichtenkontrollen ein Befall Weißfäule hervorrufender Pilze gefunden (Abbildung 160, Abbildung 161, Abbildung 162).



Abbildung 160. Weißfäule an Buchenkontrollen



Abbildung 161. Weißfäule an Kiefernkontrollen



Abbildung 162. Weißfäule an Fichtenkontrollen

### 3.3.1.1.6 Bewertung der Prüfkörper von Oktober 2008 bis Mai 2009

Nach mehrjähriger Exposition im Freiland in Gebrauchsklasse 3 wurden die wachsimprägnierten und kolorierten Fichten-, Kiefern- und Buchenproben sowie die unbehandelten Kontrollen hinsichtlich ihrer optischen Erscheinung zwischen Oktober 2008 und Mai 2009 bewertet. Parallel hierzu wurde auch die Holzfeuchte der Proben bestimmt.

Einen ersten Gesamteindruck bezüglich der Optik der Front- und Rückseite der bewitterten Prüfkörper der Decklage gibt Abbildung 163. Das linke Bild in der Abbildung verdeutlicht, dass die Frontseiten aller Prüfkörper unabhängig von der Holzart oder Behandlung stark vergraut/verwittert sind. Da die Vergrauung bereits wenige Monate nach Exposition (Abbildung 143) festgestellt wurde, kann hieraus abgeleitet werden, dass die verwendeten Pigment-Paraffin-Kombinationen keine dauerhafte Kolorierung für exponierte Fassaden darstellen.

Im Gegensatz hierzu sind erwartungsgemäß die Rückseiten (Abbildung 163, rechtes Bild) nicht vergraut, allerdings weisen sie deutliche Anzeichen einer Entfärbung und eines Schimmelbefalls auf. Nachfolgend wird hierzu detailliert eingegangen.

Tab. 40: Durchschnittstemperaturen und mittlere Niederschlagsmenge im Untersuchungszeitraum von Oktober 2008 bis Mai 2009

Zeitraum	Monatsmittel	
	Temperatur (°C)	Niederschlag (mm)
Oktober 2008	10,0	105,0
November 2008	6,4	56,6
Dezember 2008	2,5	18,8
Januar 2009	0,3	27,0
Februar 2009	1,7	48,0
März 2009	5,5	77,8
April 2009	12,9	13,0
Mai 2009	13,5	47,8



Abbildung 163: Versuchsproben im November 2008 nach 27 Monaten Bewitterungsdauer – Oberseite (linkes Bild) und Unterseite (rechtes Bild) der Decklage

Abbildung 164 zeigt die Änderung der Holzfeuchte für un- und behandelte Buche im Zeitraum von Oktober 2008 bis Mai 2009, wobei die Holzfeuchte der Prüfkörper gravimetrisch über die Masse in einem 14-tägigen Rhythmus bestimmt wurde. Aus der Abbildung geht eindeutig hervor, dass bei allen Prüfkörpern mit Ausnahme von unbehandelter Buche (Decklage) die Holzfeuchte im Zeitraum von Oktober 2008 bis Anfang März 2009 stetig ansteigt. Besonders auffällig hierbei ist, dass die Holzfeuchte bei unbehandelter Buche in der Decklage von Ende Dezember 2008 bis Mitte Januar 2009 sogar deutlich abnahm. Ursache hierfür sollten die vergleichsweise niedrigen Temperaturen (Tab. 40) sein, die ein bis zwei Grad unterhalb des jährlichen Mittels lagen (LIESE 2009). Während die Prüfkörper in der Decklage sukzessive auch bei niedrigen Temperaturen abtrockneten, blieben die Prüfkörper in der Unterlage nahezu ungestört; teilweise sogar gefroren. Mitte Januar war es dann einige Tage mit Höchsttemperaturen knapp unter 10°C relativ mild, weshalb auch die Prüfkörper der Unterlage nicht mehr im angefroren waren. Da es während dieser Zeit regnete, war ein Anstieg der Holzfeuchte die Folge.

Bemerkenswert ist weiterhin, dass Mitte April 2009 für unbehandelte Buche sowohl in der Deck- als auch Unterlage Holzfeuchten „< 0%“ bestimmt wurden. Dieses Ergebnis ist dadurch zu erklären, dass bei mehreren unbehandelten Buchenhölzern der Pilzbefall (Abbildung 165) bereits nach 3 Jahren zu einem signifikanten Verlust an Holzsubstanz, d. h. Masse, geführt haben muss. Da bei der gravimetrischen Bestimmung der Holzfeuchte zwangsweise auch ein Masseverlust erfasst wird, welcher infolge des gewählten Versuchsdesigns bei der Berechnung der Holzfeuchte „nicht“ berücksichtigt wird, wodurch im Ergebnis auch Holzfeuchten unter 0% resultieren können.

Idealerweise müsste analog DIN EN 113 das Darrgewicht bestimmt und hierüber im Anschluss die Holzfeuchte berechnet werden. Dies hätte aber zur Folge, dass der Versuch in seiner Gesamtheit gestört werden würde, bspw. könnten vorhandene Pilze abgetötet werden.

## Holzfeuchte [%]

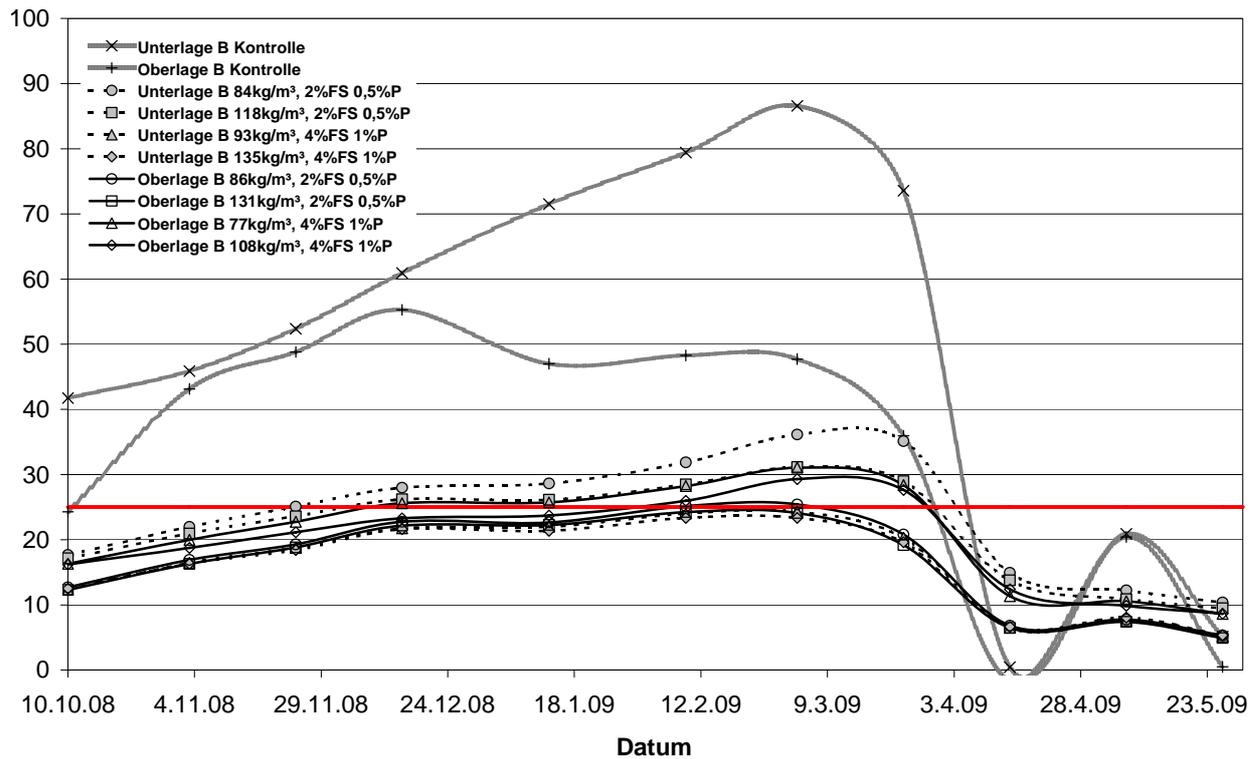


Abbildung 164: Änderung der Holzfeuchte unbehandelter und imprägnierter Buchenproben in Doppellagenanordnung; FS = Konzentration des Farbstoffes, P = Konzentration des Pigments



Abbildung 165: Unbehandelter Prüfkörper (B49) aus Buche mit Mycel und Fruchtkörperbildung – Decklage



Abbildung 166: Wachsbehandelter Buchenprüfkörper B6 nach 3 Jahren Exposition – Decklage, oberes Bild: Hirnfläche - Kopf, Mitte links: Frontseite, Mitte rechts: Rückseite, unteres Bild: Hirnfläche – Fuß

Obwohl für wachsbehandelte Prüfkörper im Vergleich zu unbehandelten Buchenhölzern wesentlich geringere Holzfeuchten berechnet wurden, weisen auch die wachsbehandelten Prüfkörper infolge des Quellens bzw. Schwindens nur eine geringe Formstabilität auf (Abbildung 166 und Abbildung 167). Das Quell-Schwind-Verhalten der behandelten Proben bedingt weiterhin, dass auch diese Proben zu einer starken Rissbildung neigen.

Während die Oberflächen der direkt exponierten behandelten Buchenhölzer verwittert sind, sind bei den Rückseiten deutliche Entfärbungen zu beobachten (Abbildung 166, Bild „Mitte rechts“). Im Gegensatz sind bei Buche in Unterlage im Prinzip „nur“ Entfärbungen festzustellen (Abbildung 167, Bild „Mitte rechts“). Dies sollte auf eine Migration farbstoffhaltigen Wachses zurückzuführen sein.

Abbildung 166 und Abbildung 167 verdeutlichen aber auch, dass nach ca. 3 Jahren Exposition in Doppellagenanordnung keine der wachsbehandelten Buchenproben einen visuell sichtbaren Befall durch holzerstörende Pilze aufweist.

Demgegenüber kann ein Bewuchs durch Schimmelpilze nicht verhindert werden.



Abbildung 167: Wachsbehandelter Buchenprüfkörper B12 nach 3 Jahren Exposition – Unterlage;  
oberes Bild: Hirnfläche - Kopf, Mitte links: Frontseite, Mitte rechts: Rückseite, unteres Bild: Hirnfläche  
– Fuß

## Holzfeuchte [%]

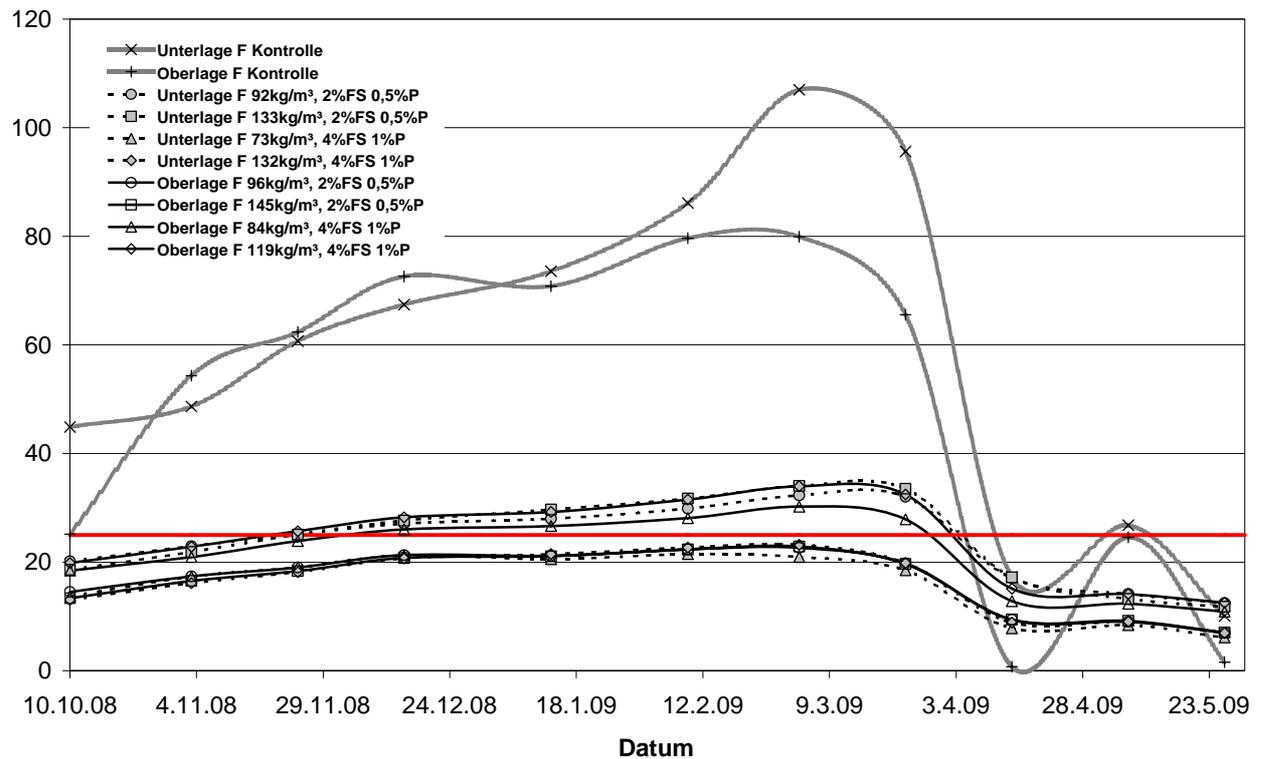


Abbildung 168: Änderung der Holzfeuchte unbehandelter und imprägnierter Fichtenproben in Doppellagenanordnung; FS = Konzentration des Farbstoffes, P = Konzentration des Pigments



Abbildung 169: Totalausfall des Fichtenprüfkörpers F 46 infolge extremer Rissbildung – Decklage: Frontansicht (links); Rückseite (rechts)

In Abbildung 168 sind für den Untersuchungszeitraum von Oktober 2008 bis Mai 2009 die berechneten Holzfeuchten für un- und behandelte Fichtenhölzer dargestellt. Es ist klar ersichtlich, dass für unbehandelte Fichte im Vergleich zu wachsbehandelter Fichte nicht nur höhere Holzfeuchten ermittelt wurden, sondern diese auch wesentlich stärkeren Schwankungen unterworfen sind.

Weiterhin geht aus Abbildung 168 hervor, dass Mitte Februar bis Anfang März 2009 sowohl für die behandelten als auch für die unbehandelten Prüfkörper die größten Holzfeuchten bestimmt wurden. Bedingt durch den vergleichsweise warmen und trocknen Monat März sinken die Holzfeuchten der Fichtenproben innerhalb weniger Wochen auf < 20%. Auffällig hierbei ist, dass analog zu unbehandelter Buche die Kurve der Holzfeuchte für Fichte in Decklage die Linie „0% Holzfeuchte“ schneidet. Dieser Befund ist ein Beleg dafür, dass es bei diversen unbehandelten Prüfkörpern zu einem Masseverlust an Holzsubstanz infolge eines Pilzbefalls gekommen ist.

Daneben sind einige unbehandelte Fichtenhölzer in der Decklage derart stark gerissen (Abbildung 169), dass sie ausgefallen/zerstört sind, obwohl visuell kein Pilzbefall festzustellen ist. Allerdings ist dies gleichzeitig eine weitere Erklärung für die extreme Schwankung der berechneten Holzfeuchte für Fichtenproben in der Decklage.



Abbildung 170: Wachsbehandelter Fichtenprüfkörper F16 nach 3 Jahren Exposition – Decklage;  
oberes Bild: Hirnfläche - Kopf, Mitte links: Frontseite, Mitte rechts: Rückseite, unteres Bild: Hirnfläche  
– Fuß

Im Gegensatz zu den unbehandelten Prüfkörpern sind die wachsbehandelten Fichtenhölzer (Abbildung 170 und Abbildung 171) zwar auch mehr oder weniger gerissen, allerdings nicht so stark, dass dies zu einem Ausfall der Proben geführt hat. Bemerkenswert in diesem Zusammenhang ist, dass auch im Vergleich zu wachsbehandelter Buche (z. B. Abbildung 166) die Rissbildung bei wachsbehandelter Fichte reduziert zu sein scheint. Eine ähnliche Feststellung gilt bezüglich der Dimensionsstabilität.

Aus Abbildung 171 geht eindeutig hervor, dass es während der Exposition zu einem Wachsaustritt über die Hirn- als auch Mantelflächen kommt, der gleichzeitig zu einer Verlagerung des Farbstoffes führt. Insofern ist es nicht überraschend, dass es unabhängig von der Art der Exposition (Deck- oder Unterlage bzw. Front- oder Rückseite) zu partiellen Entfärbungen der kolorierten Prüfkörper gekommen ist (Abbildung 170 und Abbildung 171). Aus den bisher dargestellten Ergebnissen kann bereits abgeleitet werden, dass das untersuchte Stoffsystem keine dauerhafte Kolorierung in Gebrauchsklasse 3 darstellt. Negativ ist ebenfalls zu werten, dass auch wachsbehandelte Fichte einen Schimmelbewuchs aufweist, wodurch das optische Erscheinungsbild der Hölzer zusätzlich gemindert wird.

Obwohl für wachsbehandelte Fichte Holzfeuchten von über 25% berechnet wurden, konnte visuell bisher an keiner dieser Proben ein Befall von Holz zerstörenden Pilzen festgestellt werden. Eine Erklärung hierfür ist, dass die kritischen Holzfeuchten in Monaten Dezember bis Anfang März (Abbildung 168) bestimmt wurden, in denen die biologische Aktivität in der Regel äußerst gering ist. Um die Dauerhaftigkeit wachsbehandelter Proben im Vergleich zu unbehandelten Kontrollen besser beurteilen zu können, sollten derartige Untersuchungen bspw. auch in tropischen Regionen durchgeführt werden.



Abbildung 171: Wachsbehandelter Fichtenprüfkörper F38 nach 3 Jahren Exposition – Unterlage;  
oberes Bild: Hirnfläche - Kopf, Mitte links: Frontseite, Mitte rechts: Rückseite, unteres Bild: Hirnfläche  
– Fuß

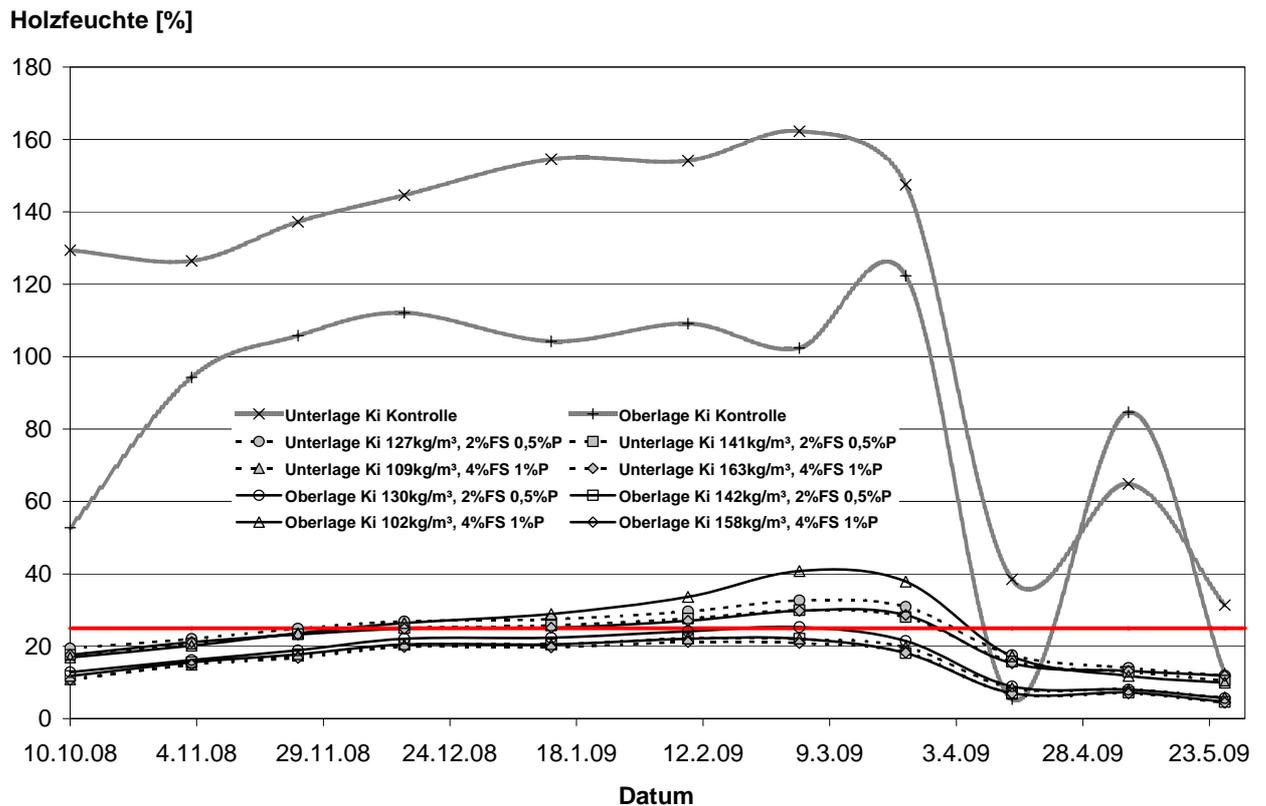


Abbildung 172: Änderung der Holzfeuchte unbehandelter und imprägnierter Kiefernproben in Doppellagenanordnung; FS = Konzentration des Farbstoffes, P = Konzentration des Pigments

Abbildung 172 veranschaulicht für un- und behandeltes Kiefernspinhholz die Änderung der Holzfeuchte mit der Zeit bei Exposition in Gebrauchsklasse 3.

Während die Holzfeuchten wachsbehandelter Kiefer nahezu denen von wachsbehandelter Fichte (Abbildung 168) entsprechen, werden für unbehandelte Kiefer wesentlich höhere Holzfeuchten berechnet. Dieses Ergebnis ist allerdings nicht überraschend, da Kiefersplint gegenüber Fichte sehr gut tränkbar (DIN EN 350-2) ist und folglich leichter den Regen aufnehmen kann.

Weiterhin geht aus Abbildung 172 hervor, dass die Kurve der Holzfeuchte für unbehandelte Kiefer in Decklage die 0% Linie im Gegensatz zu unbehandelter Fichte oder Buche nicht schneidet. Hieraus kann abgeleitet werden, dass der Holzabbau durch Holz abbauende Mikroorganismen noch nicht soweit fortgeschritten ist.



Abbildung 173: Wachsbehandelter Kiefernprüfkörper K20 nach 3 Jahren Exposition – Decklage;  
oberes Bild: Hirnfläche - Kopf, Mitte links: Frontseite, Mitte rechts: Rückseite, unteres Bild: Hirnfläche  
– Fuß

Für wachsbehandelte Kiefer (Abbildung 173 bis Abbildung 176) ist festzustellen, dass diese Proben -analog zu Fichte- weit weniger gerissen sind als wachsbehandelte Buche. Dies bedingt, dass bisher keine der wachsbehandelten Kiefernhälzer infolge einer Rissbildung ausgefallen sind.

Ansonsten gelten auch für wachsbehandelte Kiefer folgende Feststellungen:

- Vergrauung der Frontseite der Decklage
- Entfärbung bzw. ungleichmäßige Farbstoffverteilung in den Proben sowohl in der Decklage als auch in der Unterlage
- Partieller Wachsaustritt
- Dimensionsinstabilität



Abbildung 174: Wachsbehandelter Kiefernprüfkörper K14 nach 3 Jahren Exposition – Unterlage;  
oberes Bild: Hirnfläche - Kopf, Mitte links: Frontseite, Mitte rechts: Rückseite, unteres Bild: Hirnfläche  
– Fuß



Abbildung 175: Gerissener, wachsbehandelter Kiefernprüfkörper K18 nach 3 Jahren Exposition – Decklage; oberes Bild: Hirnfläche - Kopf, Mitte links: Frontseite, Mitte rechts: Rückseite, unteres Bild: Hirnfläche – Fuß



Abbildung 176: Gerissener, wachsbehandelter Kiefernprüfkörper K12 nach 3 Jahren Exposition – Unterlage; oberes Bild: Hirnfläche - Kopf, Mitte links: Frontseite, Mitte rechts: Rückseite, unteres Bild: Hirnfläche – Fuß

### 3.3.1.2 Optische Tränkzyklenstabilität

Das Tränkwachs zeigte mit steigender Tränkzyklenzahl (maximal 22) eine mit bloßem Auge erkennbare Farbveränderung (Abbildung 177).

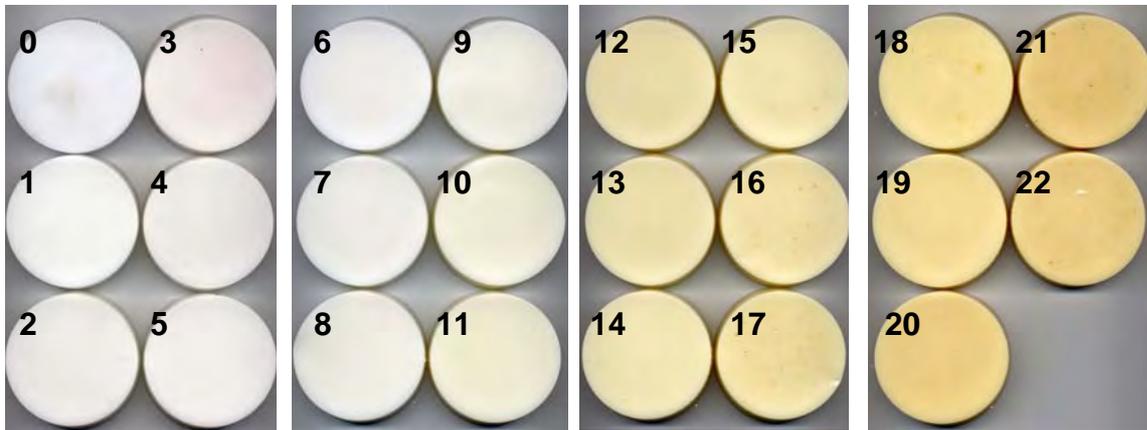


Abbildung 177: Farbveränderung des Tränkwaxes bei steigender Tränkzyklenzahl

Infolge der Tränkungen verloren die Proben an Helligkeit und wiesen eine Veränderung der Farbwerte in Richtung gelb/rot auf. Die Messung der Proben 0 bis 22 mit dem Minolta Chromameter CR-220 zur Bestimmung der Farbwerte bestätigte die optische Veränderung des Tränkwaxes (Abbildung 178).

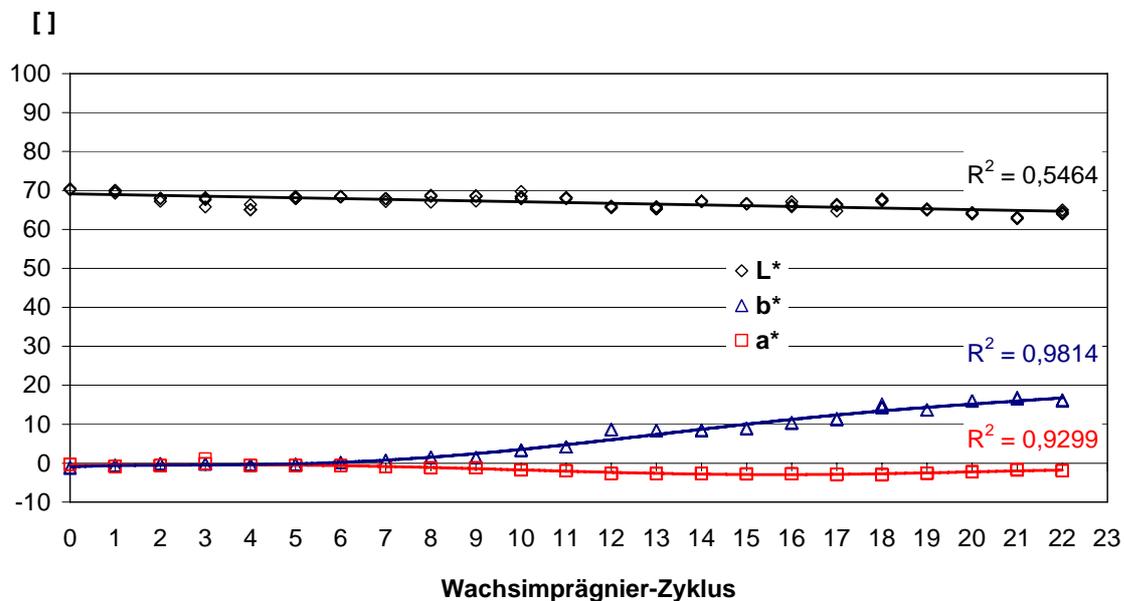


Abbildung 178: L\*a\*b\*-Farbwerte des Waxes aus Probenahme nach Tränkzyklen 0 bis 22; nach Zyklus 6 wurden zusätzlich zu den Fichtenprüfkörpern auch Kiefernprüfkörper getränkt

Die stärkste Veränderung wies die b\*- Komponente auf, die den Wechsel von blau (-b\*) nach gelb (+b\*) beschreibt. Geringer war der Einfluss der 22

Paraffintränkungen auf die Helligkeit  $L^*$  und auf die Komponente  $a^*$ , die den Wechsel von grün ( $-a^*$ ) nach rot ( $+a^*$ ) beschreibt. Eine Betrachtung der Komponenten  $a^* + b^*$  zeigt den Wechsel der Farbe in Richtung gelb/rot (Abbildung 179).

**a + b [ ]**

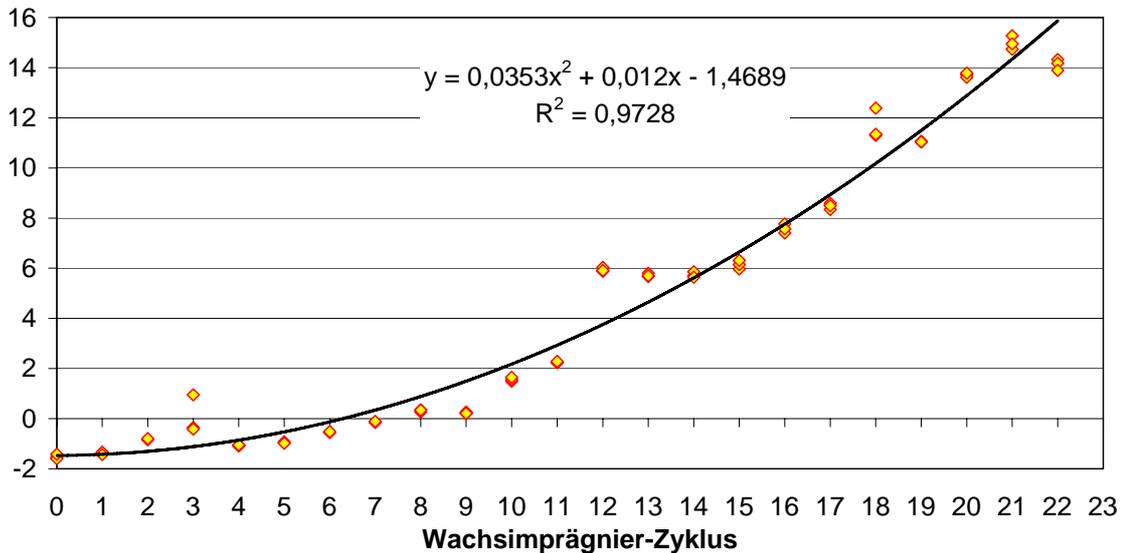


Abbildung 179:  $a^* + b^*$ - Farbwerte des Wachses aus Probennahme nach Tränkzyklen 0 bis 22

Die Ursache dieser Farbwechsel sollte durch chemische Analysen der an SASOL WAX GmbH, Hamburg gesandten Proben ermittelt werden.

Die Versuche zum Einfluss der Holzart auf das Tränkwachs zeigten nach 7 abgeschlossenen Tränkzyklen für Kiefer eine deutliche Veränderung der Wachsfarbe (Abbildung 180).



Abbildung 180: Farbveränderung des Tränkwachses bei ansteigender Zyklenzahl von 0 bis 7 unter Verwendung von Kiefernprüfkörpern

Die Veränderung der Farbe konnte auch durch Bestimmung der CIE  $L^*$   $a^*$   $b^*$  Farbwerte bestätigt werden (Abbildung 181).

Bereits nach dem zweiten Tränkzyklus wurde eine deutliche Verschiebung der Farbwerte sichtbar. Hierbei wies die  $b^*$ -Komponente ( $-b = \text{blau}$ ,  $+b = \text{gelb}$ ) die

stärkste Verschiebung in den positiven Bereich auf, was auf eine Gelbverfärbung hinweist. Auch wurde eine Verschiebung der Farbwerte in den Rotbereich (+a) sichtbar.

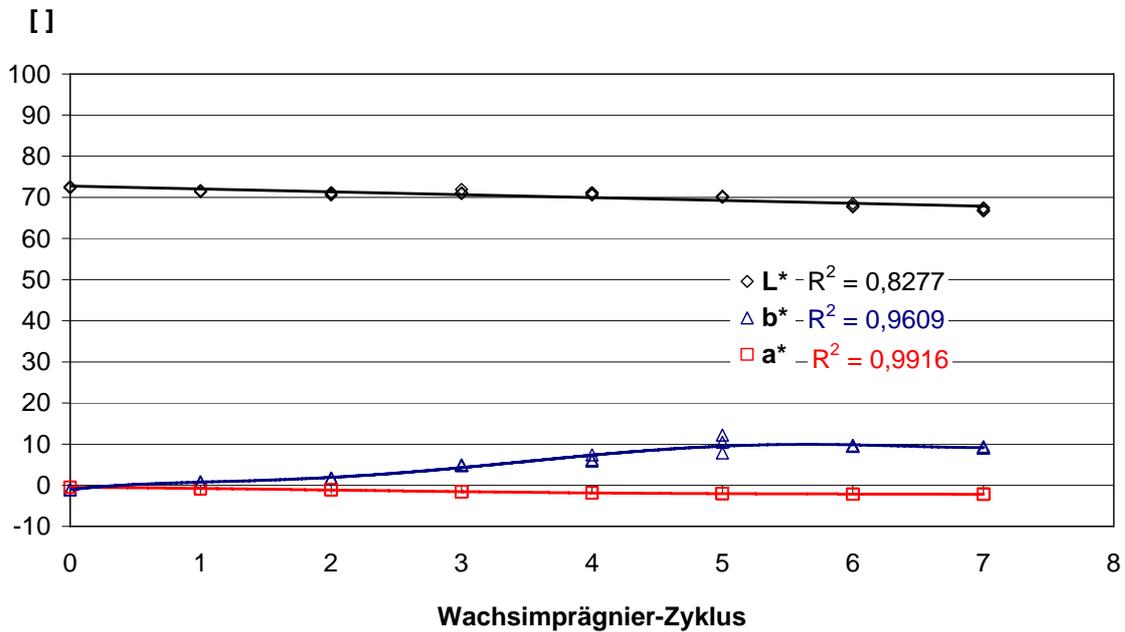


Abbildung 181: L\*a\*b\*-Farbwerte des Wachses aus Probennahme nach Tränkzyklen 0 bis 7 mit Kiefernproben

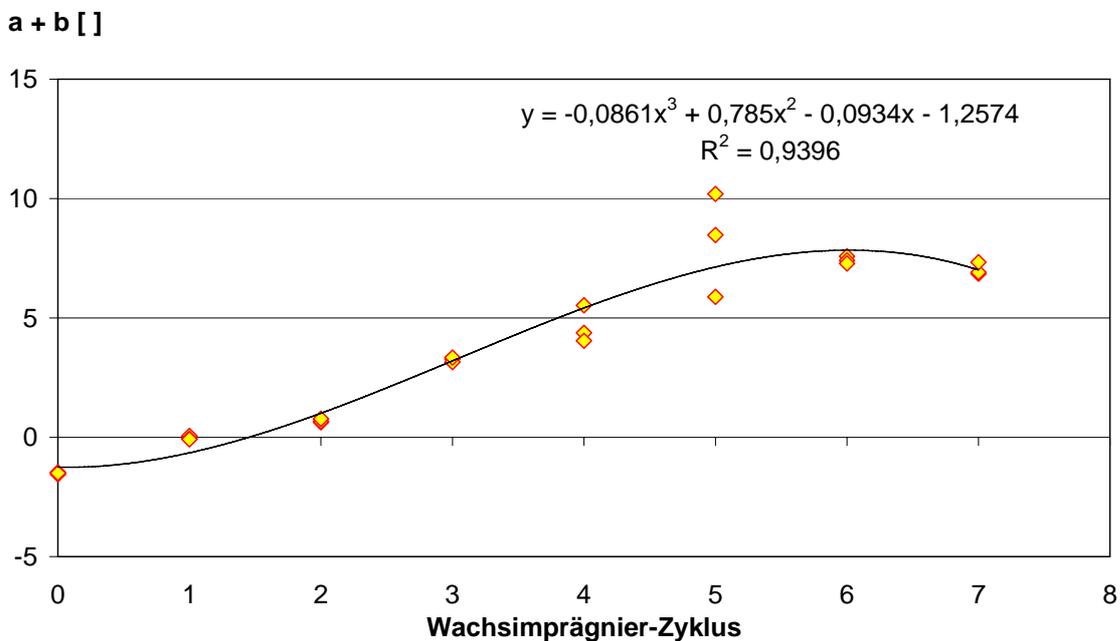


Abbildung 182: a\*+ b\*- Farbwerte des Wachses aus Probennahme nach Tränkzyklen 0 bis 7 mit Kiefernproben

Analog zur Trängung von Kiefern-/Fichtenholz-Mischsortimenten über 22 Zyklen konnte die Farbveränderung des Trängwachs mit Kiefernholzkontakt als

Veränderung der Farbwerte in den rot-gelben Bereich durch Addition der  $a^*$ - und  $b^*$ - Werte dargestellt werden (Abbildung 182).

Im Gegensatz zur Tränkung von Kiefernholz wurde keine signifikante Farbänderung des Tränkwachses nach 7 Tränkungen mit Fichtenprüfkörpern gefunden (Abbildung 183).



Abbildung 183: Farbveränderung des Tränkwachses bei ansteigender Zyklenzahl von 0 bis 7 unter Verwendung von Fichtenprüfkörpern

Erwartungsgemäß ergab CIE  $L^*a^*b^*$  Farbwertbestimmung eine geringfügige Veränderung der einzelnen Farbwerte (Abbildung 184).

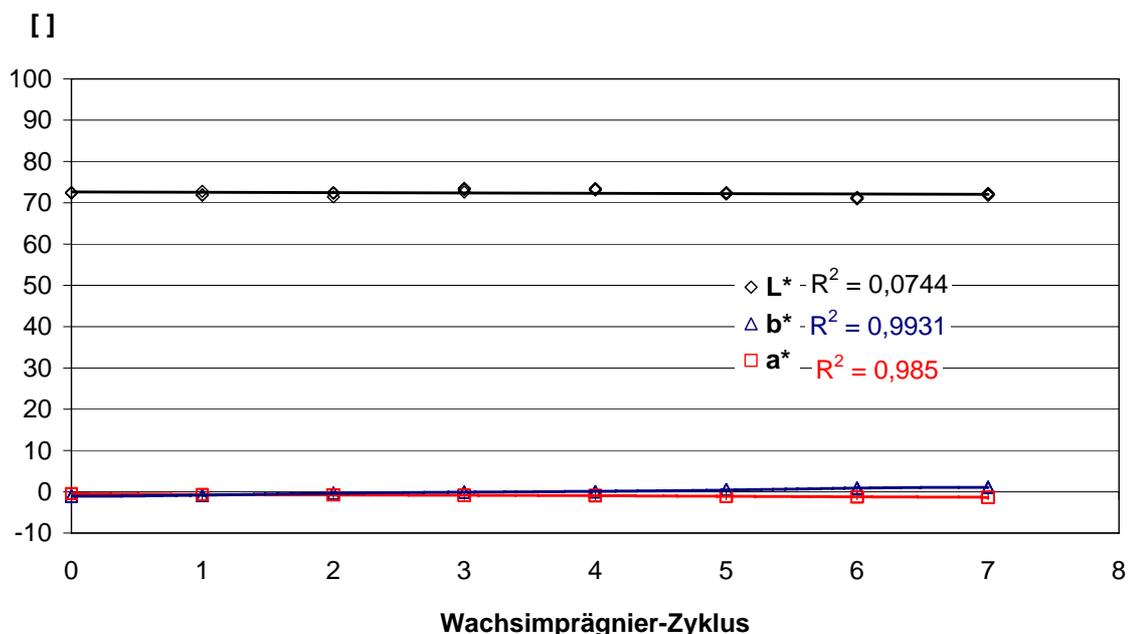


Abbildung 184:  $L^*a^*b^*$ -Farbwerte des Wachses nach Tränkzyklen 0 bis 7 mit Fichtenproben

Über den gesamten Tränkbereich wurde keine Veränderung der  $L^*$  und  $b^*$  Komponente beobachtet, lediglich die  $a^*$  Komponente zeigte eine nicht-signifikante Reduktion des  $a^*$ - Wertes um ca. 2 Punkte. Eine Veränderung der  $L^*a^*b^*$  Werte ist mit dem menschlichen Auge erst ab einer Differenz von mindestens 3 Punkten wahrnehmbar. Fichtenholz verursachte keine Verfärbung des Tränkwachses, weshalb eine ausreichend lange Gebrauchsperiode des

Tränkwachses anzunehmen ist. Da in den Versuchen das verwendete Tränkwachs nicht gewechselt oder aufgefüllt wurde, kann die Möglichkeit einer Verringerung des Verfärbungseffektes nach Tränkung mit Kiefernholz durch Verdünnung nicht beurteilt werden. Weitere Versuche zur Eliminierung der Wachsverfärbung durch in den Prozess eingebrachte Farbstoffe und somit durch Überdeckung der Verfärbung sind zu empfehlen.

Die Untersuchungen zur chemischen Stabilität von gefärbtem Tränkwachs zeigten nach 7 abgeschlossenen Imprägnierzyklen keine mit bloßem Auge erkennbare Verfärbung des Imprägniermittels (Abbildung 185).



Abbildung 185: Farbveränderung des gefärbten Tränkwaxes bei ansteigender Zyklenzahl von 0 bis 7 (von links nach rechts) unter Verwendung von Kiefernprüfkörpern

Die CIE  $L^*$   $a^*$   $b^*$  Farbwertanalyse ergab ebenfalls keine Veränderung der einzelnen Farbwerte (Abbildung 186).

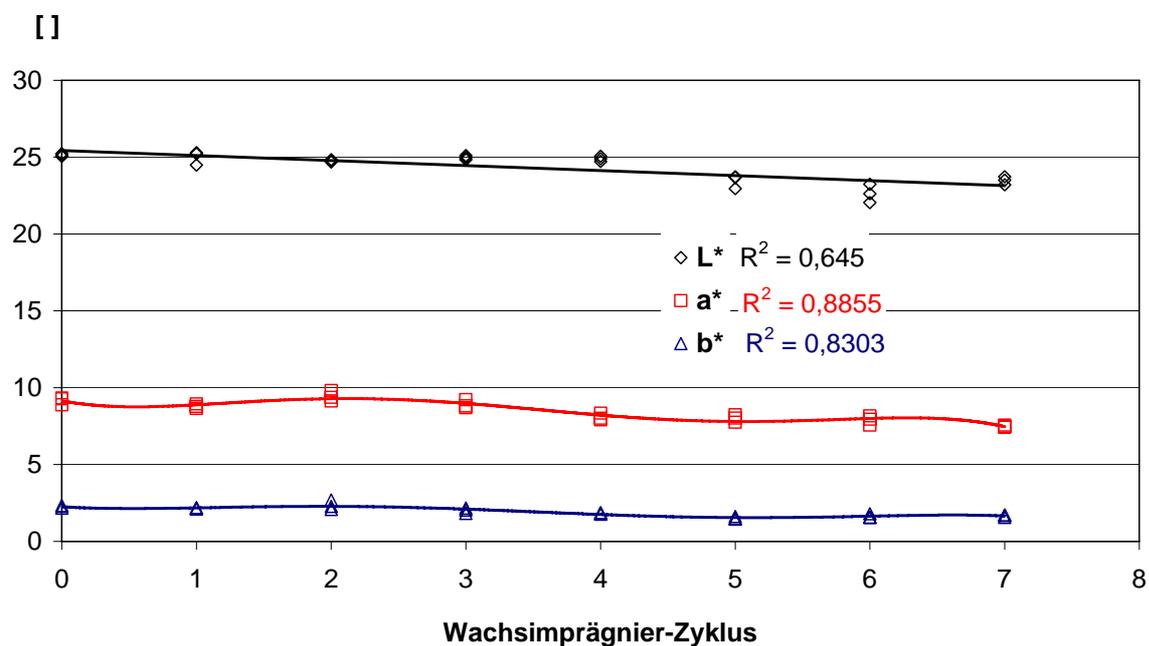


Abbildung 186:  $L^*a^*b^*$ -Farbwerte des gefärbten Waxes aus Probenahme nach Tränkzyklen 0 bis 7 mit Kiefernproben

Über den gesamten Tränkbereich wurden nur geringe Schwankungen der Farbwerte beobachtet, lediglich die  $a^*$  Komponente zeigte eine nicht-signifikante Reduktion des  $a^*$ - Wertes um ca. 2 Punkte.

### 3.3.1.2.1 Chemische Stabilität

Die Wachsproben wurden am 29.06.2006 (22 Zyklen), 06.09.2006 (7 Zyklen Kiefer/Fichte) und am 23.10.2006 (7 Zyklen Farbe) an SASOL WAX GmbH versandt, die Ergebnisse zur chemischen Stabilität nach 22-facher Imprägnierung werden in Abbildung 187 bis Abbildung 190 dargestellt.

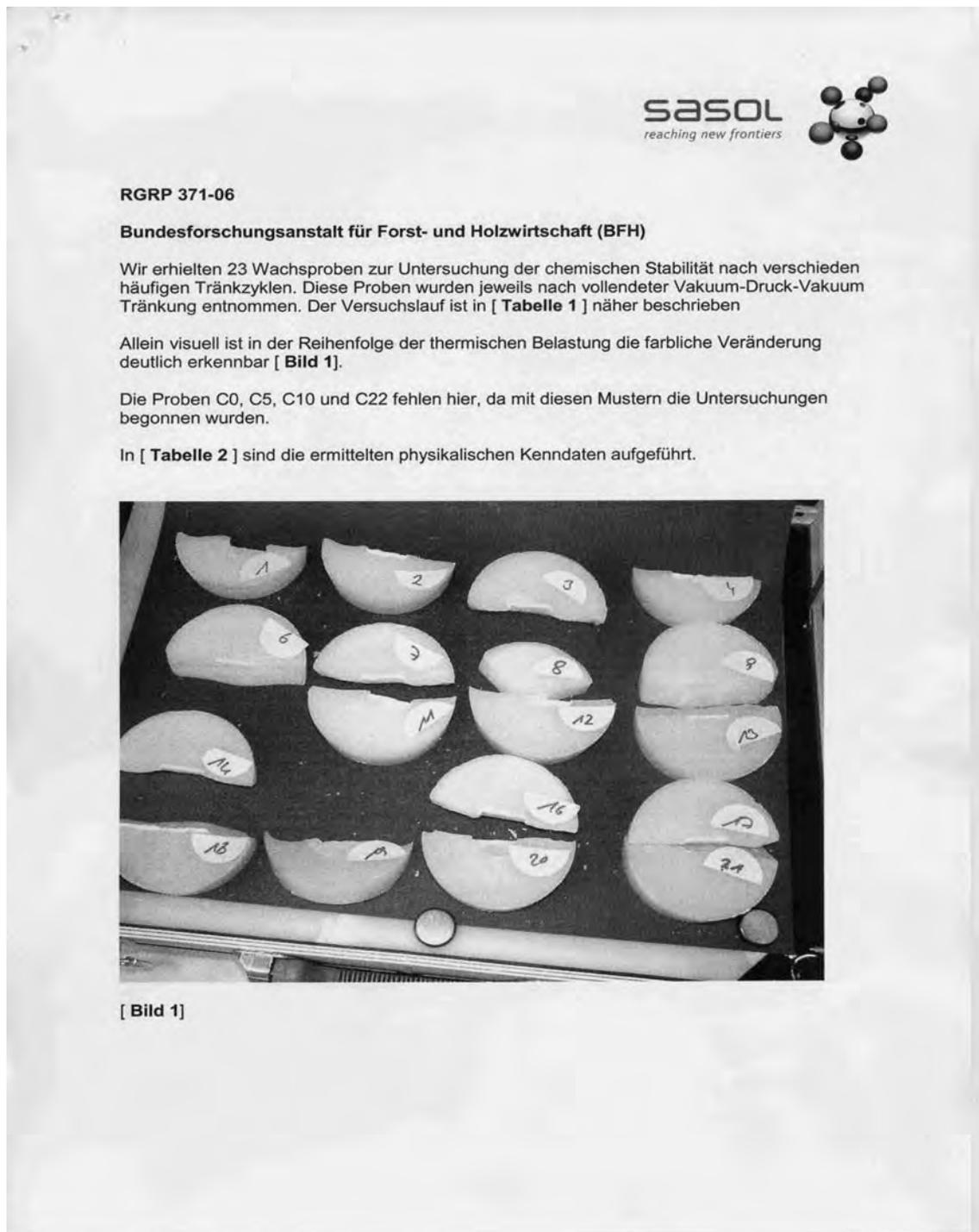


Abbildung 187: Auszug aus Ergebnisprotokoll der Untersuchungen zur chemischen Stabilität des Tränkwachses durch Firma SASOL nach 22 Zyklen; Seite 1




Beschreibung	Probennummer
C 80 Wachs mit 5% iger Belgabe Terhell 5803 aufgeschmolzen	0
Wachsschmelze 4 mal aufgeheizt (120°C) und abgekühlt, Probe nach 4. Aufheizen genommen	1
Fichtenholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum)	2
Fichtenholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum); nach Tränkung wurde das Wachs bei 85°C bis zum nächsten Zyklus gelagert	3
Fichtenholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum)	4
Fichtenholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum); nach Tränkung wurde das Wachs bei 85°C bis zum nächsten Zyklus gelagert	5
Kiefernholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum)	6
Kiefernholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum); nach Tränkung wurde das Wachs bei 85°C bis zum nächsten Zyklus gelagert	7
Kiefernholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum)	8
Kiefernholz- und Fichtenholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum); nach Tränkung wurde das Wachs bei 20°C gelagert bis zur nächsten Tränkung	9
Fichten-und Kiefernholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum)	10
Fichten-und Kiefernholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum); nach Tränkung wurde das Wachs bei 85°C bis zum nächsten Zyklus gelagert	11
Fichten-und Kiefernholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum)	12
Fichten-und Kiefernholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum); nach Tränkung wurde das Wachs bei 85°C bis zum nächsten Zyklus gelagert	13
Fichten-und Kiefernholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum)	14
Fichten-und Kiefernholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum); nach Tränkung wurde das Wachs bei 85°C bis zum nächsten Zyklus gelagert	15
Fichten-und Kiefernholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum); nach Tränkung wurde das Wachs bei 20°C bis zum nächsten Zyklus gelagert	16
Fichten-und Kiefernholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum); nach Tränkung wurde das Wachs bei 85°C bis zum nächsten Zyklus gelagert	17
Fichten-und Kiefernholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum); nach Tränkung wurde das Wachs bei 85°C bis zum nächsten Zyklus gelagert	18
Fichten-und Kiefernholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum); nach Tränkung wurde das Wachs bei 85°C bis zum nächsten Zyklus gelagert	19
Fichten-und Kiefernholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum); nach Tränkung wurde das Wachs bei 85°C bis zum nächsten Zyklus gelagert	20
Fichten-und Kiefernholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum)	21
Fichten-und Kiefernholztränkung (45min Aufwärmen bei 120°C, 30min Vakuum bei 120°C, 2h Druck 8bar, 30min Nachvakuum)	22

**[ Tabelle 1 ]**

Abbildung 188: Auszug aus Ergebnisprotokoll der Untersuchungen zur chemischen Stabilität des Tränkwachses durch Firma SASOL nach 22 Zyklen; Seite 2

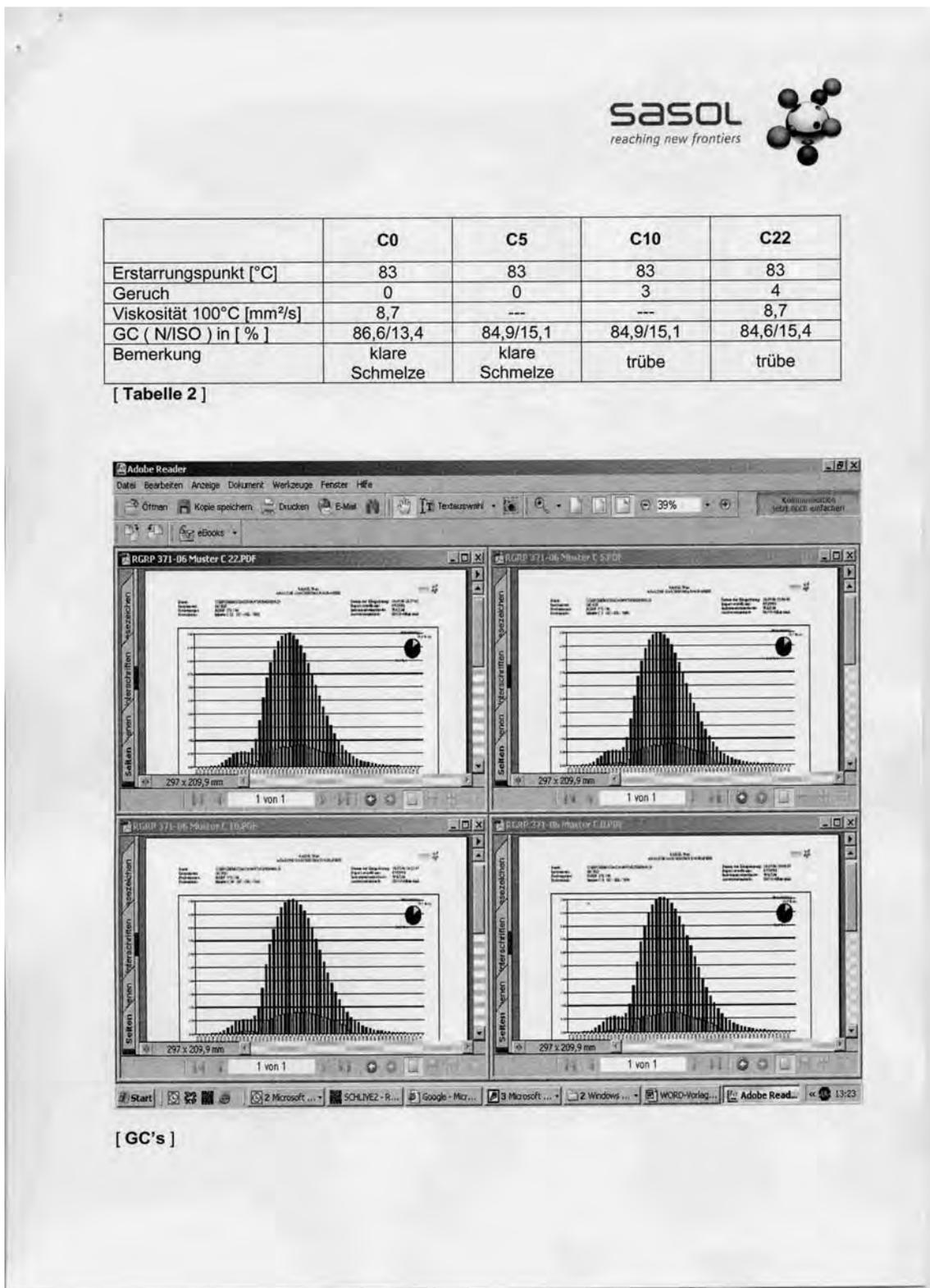


Abbildung 189: Auszug aus Ergebnisprotokoll der Untersuchungen zur chemischen Stabilität des Tränkwaxes durch Firma SASOL nach 22 Zyklen; Seite 3

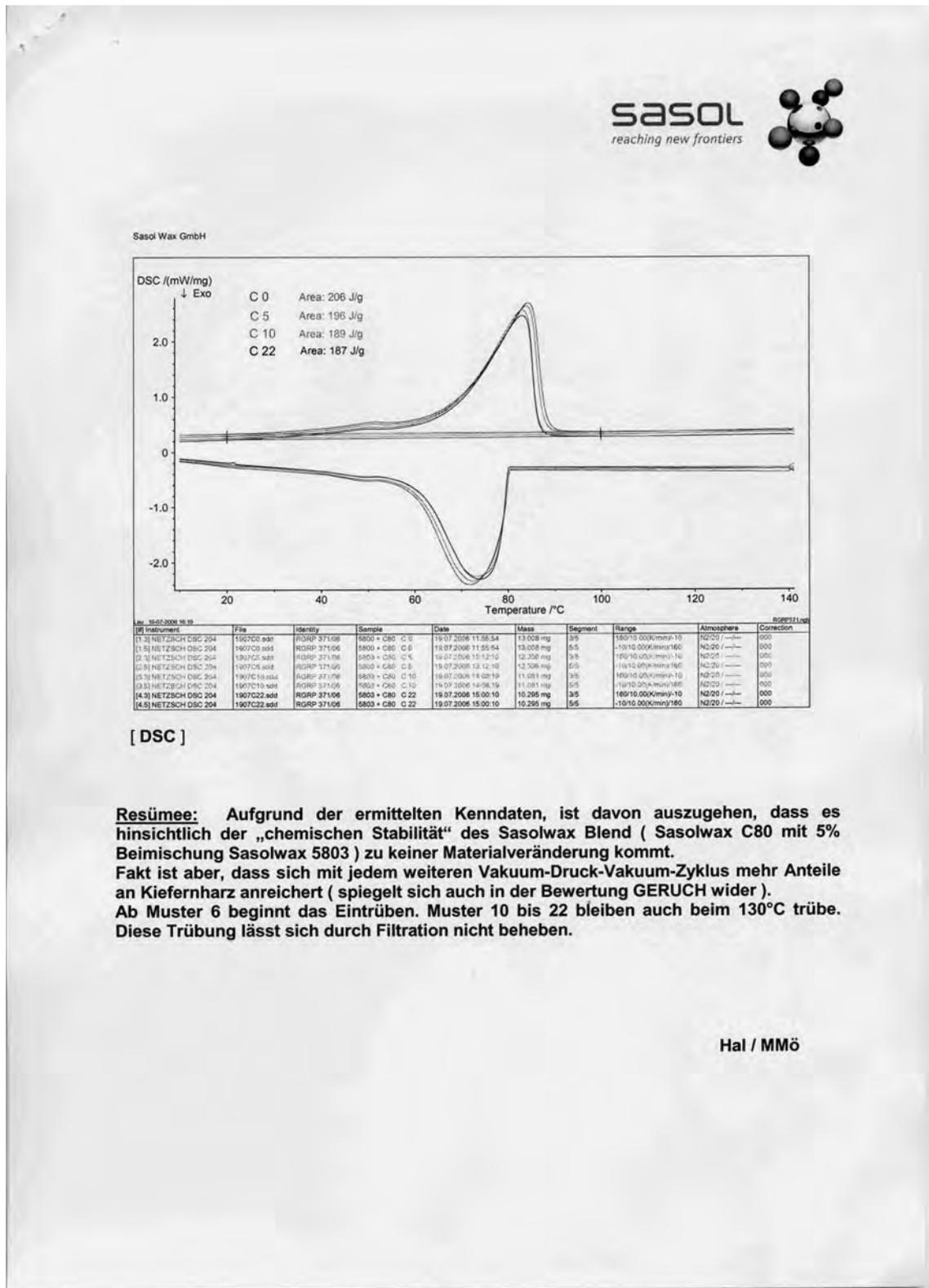


Abbildung 190: Auszug aus Ergebnisprotokoll der Untersuchungen zur chemischen Stabilität des Tränkwaxes durch Firma SASOL nach 22 Zyklen; Seite 4

Die Ergebnisse nach siebenfacher Imprägnierung mit Fichten- und Kiefernprüfkörpern in separaten Gefäßen sind in Abbildung 191 bis Abbildung 199 dargestellt.



<b>RGRP</b>		No.: 487-06			
By: Mmó	In: 15.09.2006	Out: 26.09.2006	PEA:	Industry: Holzwirtschaft	
Customer: BFH Hamburg		Country: Deutschland (D)			
Keywords: Blend C80/5803 - siehe hierzu auch RGRP 371-06			BU:	063 Industrial Wax	
<b>Remarks:</b>					
Probenumfang : 1 x Nullprobe + 1-7 Kiefer und 1-7 Fichte. Bitte Kenndaten bestimmen an Nullprobe, sowie jeweils die Muster 1, 3 und 7 zu Fichte und Kiefer Bei der BFH wurde im Gegensatz zu der unter RGRP 371-06 untersuchten Muster, hier mit getrennten Holzarten verfahren. Eventuell wäre zu prüfen, inwieweit wir analytisch die migrierten Inhaltsstoffe aus den Hölzern bewerten können (Konzentrationen ?)					
Test	Test method	Unit	✓	Price in €	Costs
<b>STANDARD</b>					
100	Congealing Point	°C	<input checked="" type="checkbox"/>	15,34	107,38
120	Oil Content	%	<input type="checkbox"/>	40,90	0,00
130	Needle Penetration 25°C	0,1mm	<input type="checkbox"/>	35,79	0,00
134	Needle Penetration 40°C	0,1mm	<input type="checkbox"/>	35,79	0,00
152	Saybolt Colour	---	<input checked="" type="checkbox"/>	28,63	85,89
160	Odour	---	<input checked="" type="checkbox"/>	28,63	200,41
177	Viscosity 100°C	mm <sup>2</sup> /s	<input checked="" type="checkbox"/>	35,79	250,53
<b>SPECIAL</b>					
104	Drop Point Mettler	°C	<input type="checkbox"/>	66,47	0,00
125	DSC Standard	---	<input type="checkbox"/>	102,26	0,00
151	ASTM Colour	---	<input type="checkbox"/>	28,63	0,00
295	GC (n. peak)	---	<input checked="" type="checkbox"/>	127,82	894,74
286	IR	---	<input type="checkbox"/>	76,69	0,00
194	nD100	---	<input type="checkbox"/>	15,34	0,00
328	PE-Additive	Yes/No	<input type="checkbox"/>	30,68	0,00
---	Other additives	Yes/No	<input type="checkbox"/>	30,68	0,00
<b>RAL</b>					
471	GC-solvent	ppm	<input type="checkbox"/>	76,69	0,00
152	Saybolt Colour	---	<input type="checkbox"/>	28,63	0,00
160	Odour	---	<input type="checkbox"/>	28,63	0,00
247	PAK Ph.Eur.	Lightab-sorption	<input type="checkbox"/>	70,00	0,00
220	FDA (short version) Microwax	Lightab-sorption	<input type="checkbox"/>	70,00	0,00
285	UV-Test /Saybolt	---	<input type="checkbox"/>	35,79	0,00
310	Ash Content	%	<input type="checkbox"/>	102,26	0,00
309	Sulphur Content	mg/kg	<input type="checkbox"/>	33,32	0,00
<b>OTHERS</b>					
			<input type="checkbox"/>		0,00
			<input type="checkbox"/>		0,00
			<input type="checkbox"/>		0,00
			<input type="checkbox"/>		0,00
---	Man Hours	Number	<input type="checkbox"/>	90,00	0,00
<b>Total costs</b>					<b>1538,95</b>
<b>Comments:</b>					<b>Workdays in lab</b>
Kenndaten siehe Word-Dokument.					<b>9</b>
Lab Technician					Be

RGRP 487-06 BFH Holzimprägnierung.xls

Abbildung 191: Auszug aus Ergebnisprotokoll der Untersuchungen zur chemischen Stabilität des Tränkwaxes durch Firma SASOL nach 7 Zyklen; Seite 1

Kenndaten RGRP487-06, BFH-Hamburg

	Nullprobe	Fichte 1	Fichte3	Fichte 7	Kiefer 1	Kiefer 3	Kiefer 7
EP	81,5	81,5	81,5	81,5	81,5	82,0	82,0
Farbe Saybolt	27	23	19	n.m.trübe	n.m.trübe	n.m.trübe	n.m.trübe
Geruch	1	n. Holz	n. Holz	n. Holz	n. Holz	n. Holz	n. Holz
V100	8,6	8,6	8,7	8,7	8,7 leicht trübe	8,8 trübe	8,8trübe
GC	GC	GC	GC	GC	GC	GC	GC

Abbildung 192: Auszug aus Ergebnisprotokoll der Untersuchungen zur chemischen Stabilität des Tränkwachses durch Firma SASOL nach 7 Zyklen; Seite 2

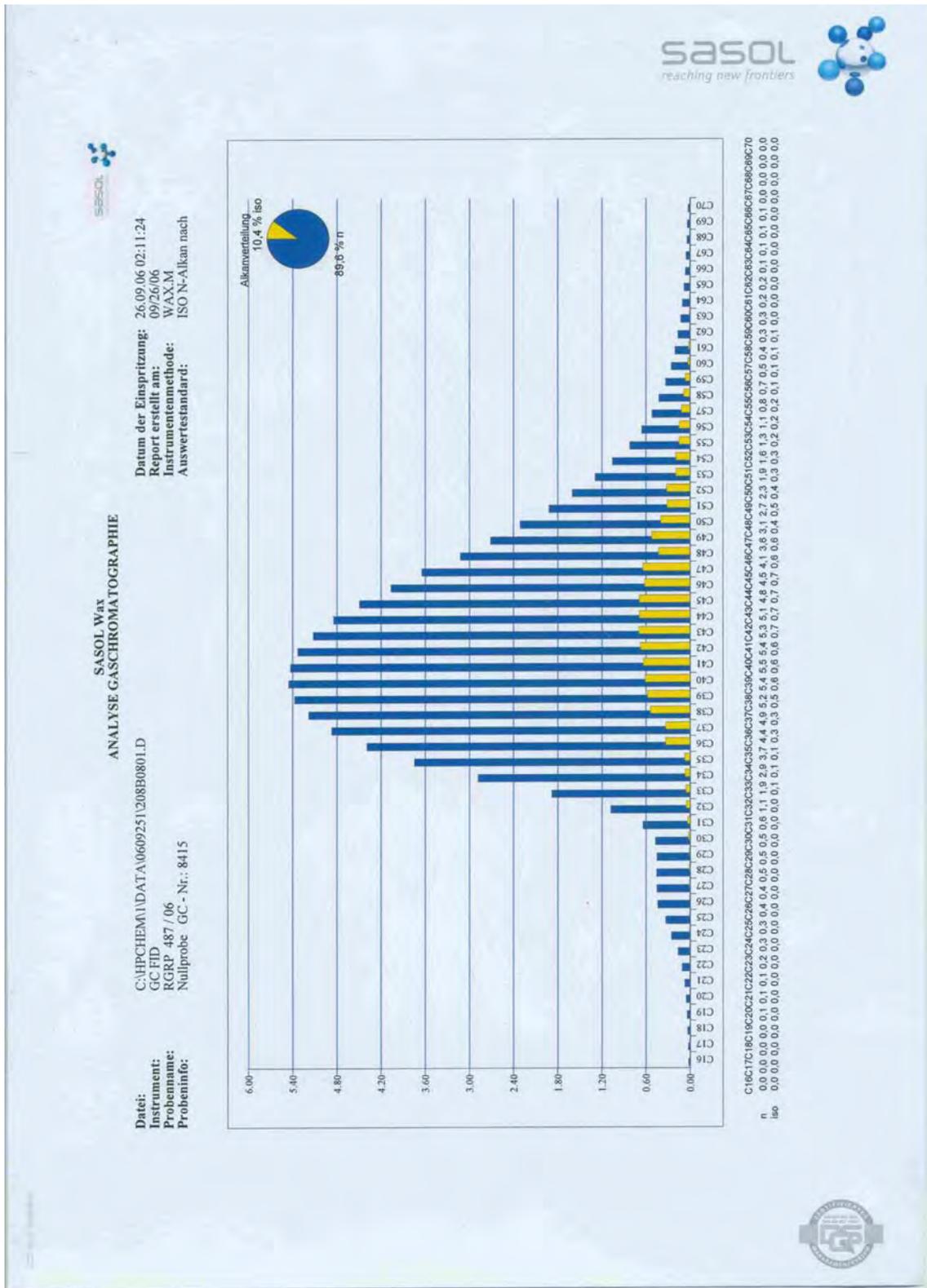
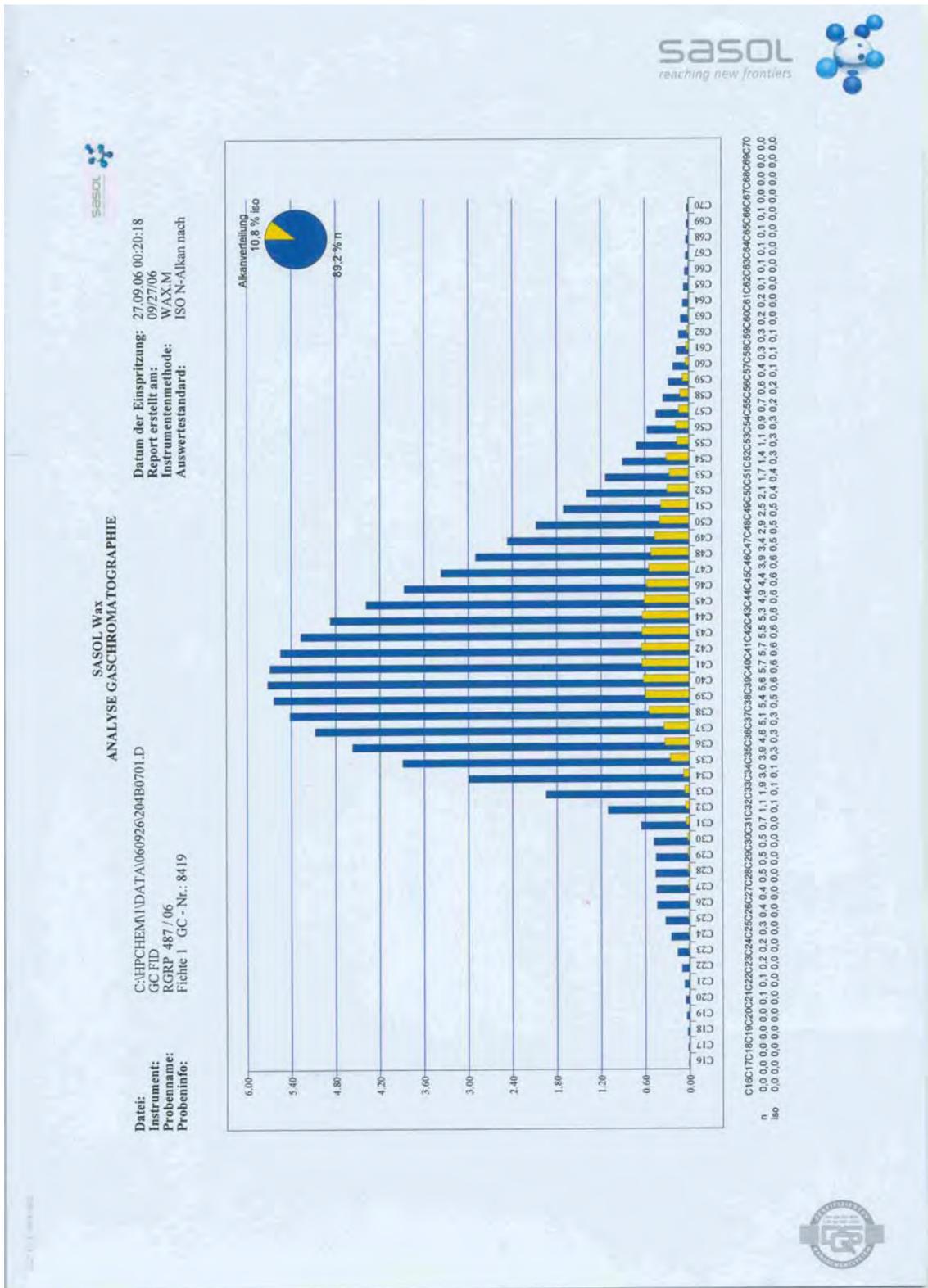


Abbildung 193: Auszug aus Ergebnisprotokoll der Untersuchungen zur chemischen Stabilität des Tränkwaxes durch Firma SASOL nach 7 Zyklen; Seite 3



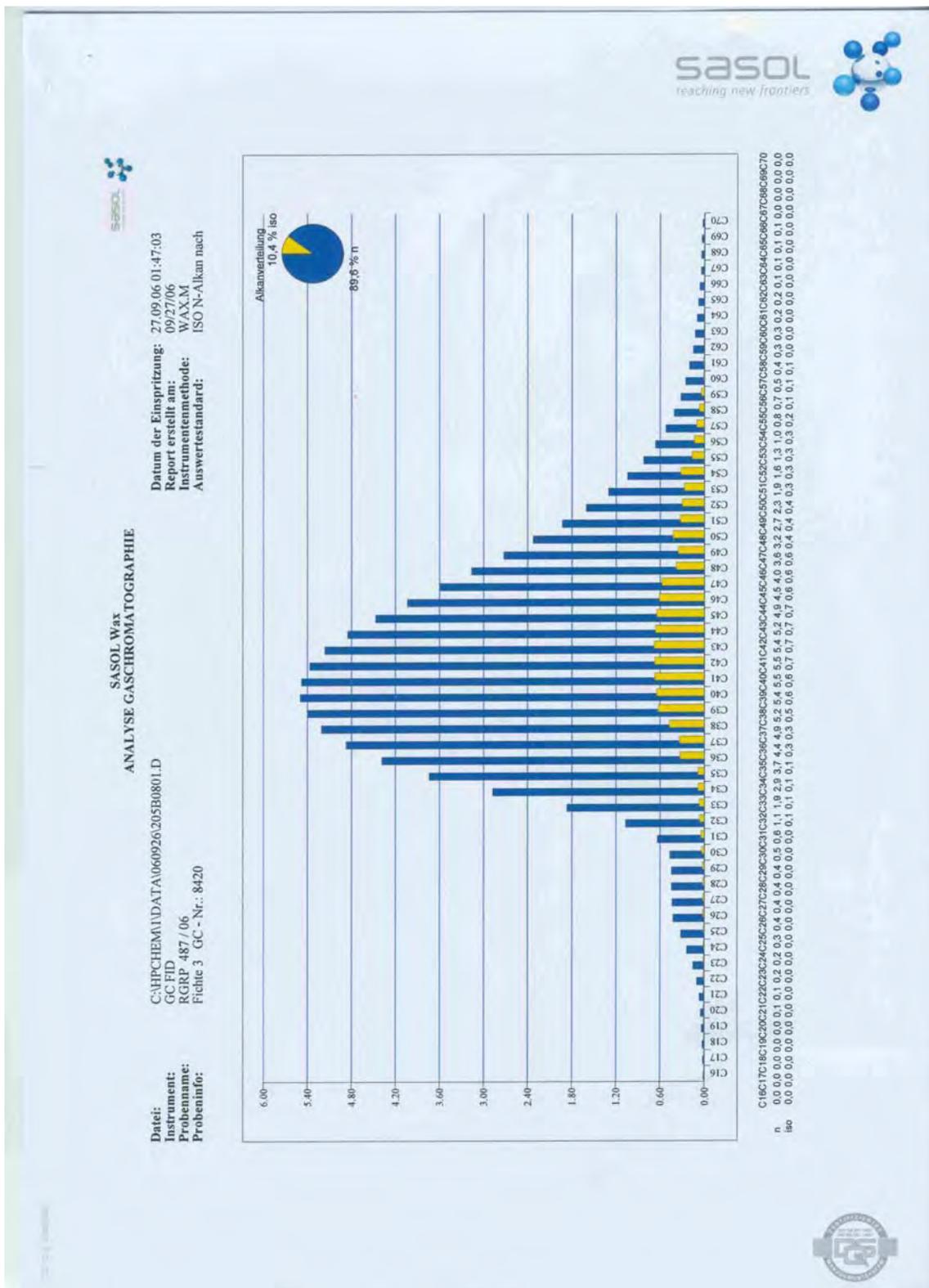


Abbildung 195: Auszug aus Ergebnisprotokoll der Untersuchungen zur chemischen Stabilität des Tränkwaxes durch Firma SASOL nach 7 Zyklen; Seite 5









Imprägnierwaxes. Die beobachteten Verfärbungen sollten auf ausgewaschene Holzinhaltstoffe und/oder Holzpartikel (Sägestaub etc.) zurückzuführen sein.

### **3.3.2 Kosten des Tränkgutes**

Im Hinblick auf eine notwendige Optimierung der Aufnahmemengen von Paraffin und Farbmittel, wurden die Experimente zur Charakterisierung der Fichtensortimente hinsichtlich Homogenität der Tränkbarkeit innerhalb einer Charge in Absprache mit der S & B GmbH bis auf weiteres verschoben.

## 4 ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen des Projektes „*Entwicklung und Untersuchung von hydrophobiertem und koloriertem Holz für Anwendungen im dekorativen, bewitterten Einsatz*“ wurden umfangreiche labortechnische Experimente, Untersuchungen im Freiland als auch technologische Versuche im Pilotmaßstab durchgeführt.

Es konnte gezeigt werden, dass mittels der modifizierten Tränkanlage unter Verwendung diverser Farbstoff-Paraffin-Gemische Buche, Fichte oder Kiefernspiltholz nicht nur getränkt sondern auch eine gleichmäßige Verteilung des Farbstoffes innerhalb des Tränggutes erzielt werden kann.

Für wachsbehandelte Hölzer ist allgemein festzustellen, dass dieses Material weit weniger gerissen war als die entsprechenden unbehandelten Referenzen. Dies hat zur Folge, dass nach 3 Jahren Exposition in Doppellagenanordnung keine der wachsbehandelten Prüfkörper auf Grund von Rissen ausgefallen ist. Ursache hierfür sollte sein, dass in Abhängigkeit von Umgebungsbedingungen weitaus geringere Materialfeuchten resultierten als dies bei den Kontrollen der Fall war. Obwohl für wachsbehandelte Hölzer auch Holzfeuchten von über 25% berechnet wurden, konnte visuell bisher an keiner dieser Proben ein Befall von Holz zerstörenden Pilzen beobachtet werden. Eine Erklärung hierfür ist, dass die kritischen Holzfeuchten im Zeitraum von Dezember bis Anfang März bestimmt wurden, in denen die biologische Aktivität in der Regel äußerst gering ist.

Allerdings weisen auch die wachsbehandelten Prüfkörper eine Reihe von Mängeln auf, die einen „dekorativen, bewitterten Einsatz“ in Frage stellen. Limitierende Faktoren hierbei sind:

- Vergrauung der Frontseite direkt exponierter Oberflächen
- Entfärbung bzw. ungleichmäßige Farbstoffverteilung sowohl in der Decklage als auch in der Unterlage
- Partieller Wachaustritt über Hirn- und Mantelflächen
- Unzureichende Dimensionsstabilität
- Partieller Schimmelbewuchs

## 5 VERZEICHNISSE

### 5.1 Literatur

- ALBRECHT, J.W. 1968: The use of wax emulsion in particleboard production. Proceedings of the Washington State University Particleboard Symposium. Pullman, WA, USA 2: 31-54.
- BAVENDAMM, W. 1962: Kleine Geschichte des Holzschutzes. Holz-Zentralblatt 83: 982-983.
- BRISCHKE, C.; WELZBACHER, C.R.; RAPP, A.O.; BOLLMUS, S. 2006: Biozidfreier Holzschutz mit Ölen und Wachsen – Erfahrungen aus sieben Jahren Freilandversuchen zum Feuchteschutz durch Hydrophobierung. Holz-Zentralblatt 132 (7): 206, 208.
- BORGIN, K. 1965: The testing and evaluation of water repellents. B.W.P.A. annual convention: 67-84.
- COLLING, F 2000: Lernen aus Schäden im Holzbau - Ursachen Vermeidung Beispiele. Hrsg.: Deutsche Gesellschaft für Holzforschung Innovations- und Service GmbH, München. Bruderverlag, Karlsruhe, 460 S.
- DE MEIJER, M.; MILITZ, H. 1999: Sorption behaviour and dimensional changes of woodcoating composites. Holzforschung 53: 553-560.
- DIX, B., ROFFAEL, E., SCHNEIDER, T. 2003: Paraffine unterschiedlicher Kettenlänge als Hydrophobierungsmittel in mitteldichten Faserplatten (MDF). Holz als Roh- und Werkstoff 61(6): 469-470
- JÜNGEL, P., MELCHER, E. 2001: The identification of organic compounds in wood using Thermal Desorption-GC-MS. Stockholm. Sweden. Intern. Res. Group Wood Pres.: Doc. No. 01-20224, 8p.
- KEYLWERTH, R. 1949: Einfache Kontrollmessung bei der Holz Trocknung. Holz-Zentralblatt 26: 307-309.
- KLOPFER, H. 1981: Oberflächenbehandlungsmittel und verfahren. In: WILLEITNER, H.; SCHWAB, E.: Holz- Außenverwendungen im Hochbau – Beanspruchungsverhältnisse, geeignete Holzarten, richtige Konstruktion, wirksamer Schutz, einschlägige Vorschriften. Stuttgart: Verlagsanstalt Alexander Koch GmbH: 89-97.

- LEITHOFF, H.; PEEK, R.-D.; Hitzebehandlung – eine Alternative zum chemischen Holzschutz? In: 21. Holzschutz-Tagung – Holzschutz im ökologischen Spannungsfeld vom 21. bis 23. April 1998 in Rosenheim. München: DGFH, Deutsche Gesellschaft für Holzforschung.
- LIESE, T. 2009: Kupfer- und Chromverteilung in unterschiedlich dimensionierten Prüfkörpern nach 6 Monaten Exposition im Freiland mit Erdkontakt bzw. nach Auswaschung im Labor. Fachhochschule Eberswalde, Diplomarbeit, 95 S.
- NURMI A. 2001: Tall oil resins in wood treatment. COST Action E2: Impacts. 8. Bis 10. November 2001, Reinbek, Germany, 7 p.
- RAPP, A.O.; PEEK, R.-D. 1995: Resins as preservatives – requirements of success. COST Action E2: Wood Durability. 2nd Workshop, Slovenia.
- RAPP, A.O.; PEEK, R.-D.; SAILER, M. 1998: Feuchteverlauf von Holzproben mit und ohne Oberflächenbehandlung während zwei Jahren Freilandbewitterung. In: 21. Holzschutz-Tagung – Holzschutz im ökologischen Spannungsfeld, vom 21. bis 23. April 1998 in Rosenheim. München: DGFH, Deutsche Gesellschaft für Holzforschung.
- RAPP, A.O. 1999: Physikalische und biologische Vergütung von Vollholz durch Imprägnierung mit wasserverdünnbaren Harzen. Dissertation, Universität Hamburg 207 S.
- RAPP, A.O., PEEK, R.-D.; SAILER, M. 2000: Modelling the Moisture Induced Risk Index of decay for treated and untreated Wood above Ground. Holzforschung 54: 111-118.
- RAPP, A.O.; WILLEITNER, H. 2000: Skript zur Vorlesung, Vorlesung Universität Hamburg, 221 S.
- RAPP, A.O.; PEEK, R.-D. 1999: Melaminharzimprägniertes sowie mit Wetterschutzlasur oberflächenbehandeltes und unbehandeltes Vollholz während zweijähriger Freilandbewitterung. Holz als Roh- und Werkstoff 57: 331-340.
- RAPP, A.O.; AUGUSTA, U. 2004: The full guideline for the “double layer test method” – A field test method for determining the durability of wood out of ground. Stockholm, Sweden: Intern. Res. Group Wood Pres., Doc. No.: IRG/WP 04-20290, Ljubljana, Slovenia.

- RAPP, A.O.; WILLEITNER, H. 2004: HOLZSCHUTZVORLESUNG. Studiengang Holzwirtschaft an der Universität Hamburg, Fachbereich Biologie, 269 S.
- RAPP, A.O. 2004: unveröffentlicht.
- RÖMPP 1995: Chemie Lexikon. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York 9. Auflage
- SAILER, M. 2000: Anwendungen von Pflanzensölimprägnierungen zum Schutz von Holz im Außenbereich. Dissertation, Universität Hamburg, 165 S.
- SCHEFFER, T.C. 1971: A climate index for estimating potential for decay in wood structures above ground. Forest Products Journal 21: 25-31.
- SCHMIDT, O. 1994: Holz- und Baupilze - Biologie, Schäden, Schutz, Nutzen. Berlin: Springer Verlag, 246 S.
- SCHMIDT, O. 2004: Mündliche Mitteilung.
- SCHMIDT, H. 2000: Holz im Außenbereich. Informationsdienst Holz. Düsseldorf: Arbeitsgemeinschaft Holz, 22 S.
- SELL, J. 1975: Grundsätzliche Anforderungen an Oberflächenbehandlungen für Holz im Außenbau. Holz als Roh- und Werkstoff 33: 336-340.
- SELL, J. 1977: Hydrophobierende Holzimprägnierung – Wirkungsweise, Eigenschaften, Anwendungsmöglichkeiten. Holz als Roh- und Werkstoff 35, 75-78.
- TRENDELENBURG, R.; MAYER-WEGELIN, H. 1955: Das Holz als Rohstoff. Carl Hauser Verlag, München, 541 S.
- VOULGARIDES, E. 1980: Physical factors affecting the performance of water repellents applied to wood. PhD.-Thesis, University of Wales, Bankor U.K. 320 p.
- WELZBACHER, C.R., RAPP, A.O., 2003: Comparison of thermally modified wood originating from four industrial scale processes – durability. Stockholm, Sweden: Intern. Res. Group Wood Pres., Doc. No.: IRG/WP 02-40229, 13 p.
- WELZBACHER, C.R. 2004: unveröffentlicht.
- WILLEITNER, H.; PEEK, R.-D., 1997: The natural durability story. Stockholm, Sweden. Intern. Res. Group Wood Pres.: Doc. No. 97-20119, 14p.

## 5.2 Zitierte Normen

DIN 68 800-1 1974: Holzschutz im Hochbau; Teil 1: Allgemeines.

DIN 52 175 1975: Holzschutz; Begriffe, Grundlagen.

DIN 68 800-3 1994: Holzschutz; Teil 3: Vorbeugender chemischer Holzschutz.

DIN EN 252 1989: Freiland-Prüfverfahren zur Bestimmung der relativen Schutzwirkung eines Holzschutzmittels im Erdkontakt.

DIN 350-2 1994: Natürliche Dauerhaftigkeit von Vollholz; Teil 2: Leitfaden für die natürliche Dauerhaftigkeit und Tränkbarkeit von ausgewählten Holzarten von besonderer Bedeutung für Europa.

DIN EN 927 1996: Lacke und Anstrichstoffe – Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für Holz im Außenbereich

DIN ENV 12037 1996: Freilandversuch zur Bestimmung der relativen Wirksamkeit eines Holzschutzmittels ohne Erdkontakt: Verfahren mit horizontaler Überlappung („lapjoint“-Verfahren).

## 5.3 Zitierte Gesetzliche Regelungen und Verordnungen

BPD 1998: Directive 98/8/EC of the European Parliament and the Council of 16<sup>th</sup> February 1998 concerning the placing of biocidal products on the market. Official Journal L 12324-04-1998, 01-63

4.BImSchV: Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes in der Neufassung vom 24. Juli 1985. In: Umweltrecht Beck-Texte im dtv Verlag C.H. Beck, München 1996.

Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz 1996: Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen, vom 27. September 1994. In: Abfallrecht. Beck-Texte im dtv. Verlag C.H. Beck, München 1996.

## 5.4 Abbildungen

Abbildung 1: Kesseldruckanlage am vTI.....	13
Abbildung 2: Aufschmelzgefäß ASG 400, Firma Zirbus Technology, Baujahr 2005....	14
Abbildung 3: Beispielhafte Darstellung der in Tab. 7 gelisteten Klassen des Absetzverhaltens von Pigmenten in Paraffin nach 24h.....	21
Abbildung 4: Bestimmung des mittleren Durchmessers der Wachsfläche ( $D_w$ ) und des mittleren Durchmessers der Farbfläche ( $D_f$ ) von gefärbtem Wachs nach Auftropfen auf ein Filterpapier .....	22
Abbildung 5: Beheizbarer Magnetrührer für die Vakuum-Druck-Tränkung der Kiefernproben.....	24
Abbildung 6: Mittlere Penetrationstiefe $t_{50}$ .....	25
Abbildung 7: Anatomische Schnittrichtungen von Holz; <b>M</b> : Mark; 1.,2.,3.,und 4. erster bis vierter Jahresring im Holz ( <b>HO</b> ); <b>FHO</b> : Frühholz; <b>SHO</b> : Spätholz; <b>JG</b> : Jahringgrenze; <b>KA</b> : Kambium; <b>BA</b> : Bast; <b>BO</b> : Borke; <b>HST</b> : Holzstrahlen; <b>BST</b> : Baststrahlen; <b>HK</b> : Harzkanäle .....	26
Abbildung 8: Verteilungsmuster des angefärbten Paraffins im Vollholz nach Vakuum- Druck-Imprägnierung; jeweils an unbehandelten Oberflächen (obere Hälfte) und gehobelten Innenflächen (untere Hälfte).....	27
Abbildung 9: Links: Versuchsaufbau der künstlichen UV-Bestrahlung mit Ultra- Vitalux Lampen; Rechts: Häftig mit Aluminium-Folie abgedeckte Prüfkörper ..	27
Abbildung 10: Frei schwimmend gelagerte Prüfkörper während der Absorptionsphase zur Bestimmung des MRI .....	29
Abbildung 11: Aufbau und Exposition der Prüfkörper für die Freibewitterung.....	31
Abbildung 12: Links: Aussaugversuch, kleinformatige Probe ( $50 \times 25 \times 50 \text{ mm}^3$ ) auf Glasfaservlies; rechts: Austropfversuch, kleinformatige Probe ( $50 \times 25 \times 50 \text{ mm}^3$ ) auf vier Nägeln .....	36
Abbildung 13: Zuschnittschema eines Prüfkörpers für die optische Bewertung der Durchfärbung; 1: erster Längen-Trennschnitt zur Halbierung der axial 300 mm langen Prüfkörper; 2: Längsschnitt zum hälftigen Auftrennen eines 150 mm langen und 19 mm breiten Prüfkörperabschnittes zur Bestimmung der $t_{50}$ Linie in axialer Richtung; 3: Abtrennen von 8 axial 10 mm langen Abschnitten des Prüfkörpers (a, b, c, ... h) zur Betrachtung der Eindringung in axialer Länge .....	39
Abbildung 14: Schematische Darstellung des um eine Prüfkörperhälfte seitlich versetzten Aufbaus der Doppellagenversuchsordnung in $45^\circ$ Neigung.....	43
Abbildung 15: Schematische Darstellung des CIE-Lab-Farbsystems. Das CIE-Lab- Farbsystem basiert auf den so genannten psychologischen Grundfarben Rot, Grün, Blau und Gelb, aus denen sich das psychometrische Farbdigramm konstruieren lässt.....	44
Abbildung 16: Paraffinaufnahme in $\text{kg/m}^3$ nach Vakuum-Drucktränkung.....	53
Abbildung 17: Axiale Eindringtiefe der Füllstoffe 1 bis 10 bei verschiedenen Paraffinen-/Öl-/Farbstoff-/Pigmentkombinationen in Kiefernprüfkörpern, sowie Mittelwerte. 1 Normierstrich entspricht 2 mm axialer Eindringtiefe.....	55
Abbildung 18: Prüfkörper mit Füllstoff 5, Eindringtiefe 2 mm (links), Prüfkörper mit Füllstoff 1, Eindringtiefe 18 mm (Mitte) , Prüfkörper mit Füllstoff 10, Eindringtiefe 25 mm (rechts) .....	56
Abbildung 19: Farbänderung der Außenseiten der mit Paraffin A getränkten Kiefernprüfkörper nach UV-Bestrahlung.....	58

Abbildung 20: Farbänderung der Innenseiten der mit Paraffin A getränkten Kiefernprüfkörper nach UV-Bestrahlung. ....	58
Abbildung 21: Mit Paraffin A getränkte Kiefernprüfkörper mit (links) und ohne (rechts) UV-Bestrahlung. Von jedem Prüfkörper ist die Außenseite (oben) und die Innenseite (unten) abgebildet. ....	59
Abbildung 22: Farbänderung der Außenseiten der mit Paraffin B getränkten Kiefernprüfkörper nach UV-Bestrahlung. ....	59
Abbildung 23: Farbänderung der Innenseiten der mit Paraffin B getränkten Kiefernprüfkörper nach UV-Bestrahlung. ....	60
Abbildung 24: Mit Paraffin B getränkte Kiefernprüfkörper mit (links) und ohne (rechts) UV-Bestrahlung. Von jedem Prüfkörper ist die Außenseite (oben) und die Innenseite (unten) abgebildet. ....	60
Abbildung 25: Farbänderung der Außenseiten der mit Paraffin C getränkten Kiefernprüfkörper nach UV-Bestrahlung. ....	61
Abbildung 26: Farbänderung der Innenseiten der mit Paraffin C getränkten Kiefernprüfkörper nach UV-Bestrahlung. ....	61
Abbildung 27: Mit Paraffin C getränkte Kiefernprüfkörper mit (links) und ohne (rechts) UV-Bestrahlung. Von jedem Prüfkörper ist die Außenseite (oben) und die Innenseite (unten) abgebildet. ....	62
Abbildung 28: Farbänderung der Außenseiten der mit Paraffin D getränkten Kiefernprüfkörper nach UV-Bestrahlung. ....	62
Abbildung 29: Farbänderung der Innenseiten der mit Paraffin D getränkten Kiefernprüfkörper nach UV-Bestrahlung. ....	63
Abbildung 30: Mit Paraffin D getränkte Kiefernprüfkörper mit (links) und ohne (rechts) UV-Bestrahlung. Von jedem Prüfkörper ist die Außenseite (oben) und die Innenseite (unten) abgebildet. ....	63
Abbildung 31: Farbänderung der Außenseiten der mit Weißöl E getränkten Kiefernprüfkörper nach UV-Bestrahlung. ....	64
Abbildung 32: Farbänderung der Innenseiten der mit Weißöl E getränkten Kiefernprüfkörper nach UV-Bestrahlung. ....	64
Abbildung 33: Mit Weißöl E getränkte Kiefernprüfkörper mit (links) und ohne (rechts) UV-Bestrahlung. Von jedem Prüfkörper ist die Außenseite (oben) und die Innenseite (unten) abgebildet. ....	65
Abbildung 34: Farbänderung der Füllstoffe 4, 5, 7, 8 und 9 auf Filterpapier nach UV-Bestrahlung sowie unbehandelte und mit Paraffin B/Testbenzinlösung behandelte Filterpapiere. ....	65
Abbildung 35: Unbehandelte Filterpapiere vor (links) und nach (rechts) UV-Bestrahlung. ....	66
Abbildung 36: Filterpapiere behandelt mit Paraffin B/Testbenzinlösung vor (links) und nach (rechts) UV-Bestrahlung. ....	66
Abbildung 37: Füllstoff 4 auf Filterpapier vor (links) und nach (rechts) UV-Bestrahlung. ....	66
Abbildung 38: Füllstoff 5 auf Filterpapier vor (links) und nach (rechts) UV-Bestrahlung. ....	67
Abbildung 39: Füllstoff 7 auf Filterpapier vor (links) und nach (rechts) UV-Bestrahlung. ....	67
Abbildung 40: Füllstoff 8 auf Filterpapier vor (links) und nach (rechts) UV-Bestrahlung. ....	67
Abbildung 41: Füllstoff 9 auf Filterpapier vor (links) und nach (rechts) UV-Bestrahlung. ....	67

Abbildung 42: Holzfeuchteverlauf in Kiefernkontrollen während der Absorptions- und Desorptionsphase .....	69
Abbildung 43: Steigung der Absorptionskurve von Kiefernkontrollen .....	69
Abbildung 44: Steigung der Desorptionskurve von Kiefernkontrollen .....	70
Abbildung 45: Holzfeuchteverlauf in mit Paraffin A, B, C, D und Weißöl E getränkten Kiefernprüfkörpern während der Absorptions- und Desorptionsphase .....	70
Abbildung 46: Steigung der Absorptionskurve von mit Paraffin A, B, C, D und Weißöl E getränkten Kiefernprüfkörpern .....	71
Abbildung 47: Steigung der Desorptionskurve von mit Paraffin A, B, C, D und Weißöl E getränkten Kiefernprüfkörpern .....	71
Abbildung 48: Holzfeuchteverlauf in mit Paraffin B und den Kombinationen BF1, BF5 sowie BF30 getränkten Kiefernprüfkörpern während der Absorptions- und Desorptionsphase .....	72
Abbildung 49: Steigung der Absorptionskurve von mit Paraffin B und den Kombinationen BF1, BF5 sowie BF30 getränkten Kiefernprüfkörpern.....	72
Abbildung 50: Steigung der Desorptionskurve von mit Paraffin B und den Kombinationen BF1, BF5 sowie BF30 getränkten Kiefernprüfkörpern.....	73
Abbildung 51: Holzfeuchteverlauf in mit Paraffin C und den Kombinationen CA5, CA30, CE5 sowie CE30 getränkten Kiefernprüfkörpern während der Absorptions- und Desorptionsphase .....	73
Abbildung 52: Steigung der Absorptionskurve von mit Paraffin C und den Kombinationen CA5, CA30, CE5 sowie CE30 getränkten Kiefernprüfkörpern ....	74
Abbildung 53: Steigung der Desorptionskurve von mit Paraffin C und den Kombinationen CA5, CA30, CE5 sowie CE30 getränkten Kiefernprüfkörpern ....	74
Abbildung 54: Holzfeuchteverlauf in mit Paraffin D und den Kombinationen DA5, DA30, DE5 sowie DE30 getränkten Kiefernprüfkörpern während der Absorptions- und Desorptionsphase .....	75
Abbildung 55: Steigung der Absorptionskurve von mit Paraffin D, und den Kombinationen DA5, DA30, DE5 sowie DE30 getränkten Kiefernprüfkörpern ...	76
Abbildung 56: Steigung der Desorptionskurve von mit Paraffin D und den Kombinationen DA5, DA30, DE5 sowie DE30 getränkten Kiefernprüfkörpern ...	76
Abbildung 57: Änderung der Holzfeuchte in Kiefernprüfkörpern, imprägniert mit den Paraffinen A, B, C, D und Weißöl E sowie Kontrollen .....	78
Abbildung 58: Änderung der Holzfeuchte in den Kiefernprüfkörpern, imprägniert mit den Paraffin/PE-Kombinationen BF1, BF5 und BF30 und unbehandelten Kontrollen.....	80
Abbildung 59: Änderung der Holzfeuchte in Kiefernprüfkörpern, imprägniert mit den Paraffin-/Ölkombinationen CA5, CA30, CE5 und CE30 und unbehandelten Kontrollen.....	81
Abbildung 60: Änderung der Holzfeuchte in Kiefernprüfkörpern, imprägniert mit den Paraffin-/Ölkombinationen DA5, DA30, DE5 und DE30 und unbehandelten Kontrollen.....	82
Abbildung 61: Mittlere Wachsaufnahme und Standardabweichung (I) von Prüfkörpern aus Kiefernspiltholz; verwendetes Tränk wachs: Paraf lint C80, Tränktemperatur: 120°C, Vordruckdauer: 30 Minuten, Druckphase: 4 Stunden .....	87
Abbildung 62: Mittlere Wachsaufnahme von verschiedenen langen Kiefernspiltholz-Prüfkörpern des Querschnittes 25x50 mm <sup>3</sup> nach Spartränkung mit Paraf lint C80 und 5% igen Anteil Terhell 5803; Tränkparameter: 3 bar Vordruck/ 30 min, 8 bar Druck/ 4 h, 120°C mittlere Tränktemperatur .....	88

Abbildung 63: Mittlere Wachsaufnahme von Kiefernslintprüfkörpern nach Tränkung mit verschiedenen Tränkwachsen mit ansteigendem Erstarrungspunkt; Vordruck: 3,0 bar/ 30 min, Druckphase 8 bar/ 2 h.....	89
Abbildung 64: Schnittflächen eines aufgetrennten Kiefernslint-Prüfkörpers nach Spartränkung mit Bekro-Rot gefärbtem Wachs Paraflint C80; Wachsmenge des Prüfkörpers 66 kg/m <sup>3</sup> .....	90
Abbildung 65: Querschnitt durch mit angefärbtem Paraflint C80 Wachs spargetränktem Kiefernprüfkörper (Wachsaufnahme 115 kg/m <sup>3</sup> ). Die Zelllumina sind weitgehend nicht durch Wachs verschlossen, sondern die Zellwände von innen beschichtet... 91	91
Abbildung 66: Querschnitt durch mit angefärbtem Wachs vollzellgetränkte Kiefernprüfkörper (Wachsaufnahme 445 kg/m <sup>3</sup> ). Die Zelllumina sind weitgehend durch Wachs verschlossen. ....	92
Abbildung 67: Radialschnitt durch mit angefärbtem Wachs spargetränkte Kiefernprüfkörper (Wachsaufnahme 113 kg/m <sup>3</sup> ). Die Zelllumina sind weitgehend nicht durch Wachs verschlossen, vielmehr weisen die Zellwände eine Wachsbeschichtung auf. ....	93
Abbildung 68: Radialschnitt durch mit C80-Wachs spargetränkte Kiefernprüfkörper (Wachsaufnahme 113 kg/m <sup>3</sup> ). Die Zellwände weisen eine Wachsbeschichtung auf. ....	93
Abbildung 69: Radialschnitt durch mit C80-Wachs vollzellgetränkte Kiefernprüfkörper (Wachsaufnahme 113 kg/m <sup>3</sup> ). Die Zelllumina sind überwiegend verschlossen.....	94
Abbildung 70: Radialer Anschnitt eines mit C80-Wachs vollzellgetränkten Kiefernprüfkörpers (Wachsaufnahme 113 kg/m <sup>3</sup> ). Die Zelllumina sind überwiegend verschlossen. ....	94
Abbildung 71: Wachsverlust durch Aussaugen mittels Faservlies bei steigender Temperatur.....	95
Abbildung 72: Wachsverlust durch Austropfen bei steigender Temperatur .....	96
Abbildung 73: Diagramm zur beispielhaften Darstellung der optimierten Paraffin-Spartränkung .....	97
Abbildung 74: Mittlere Wachsaufnahme der verschiedenen Materialien, jeweils mit und ohne vorherige Hitzebehandlung bei 220°C für 4h .....	98
Abbildung 75: Mittlere Darrdichten der verschiedenen für die Tränkung verwendeten Materialien jeweils für die Prüfkörper ohne und mit Hitzebehandlung vor der Tränkung .....	99
Abbildung 76: Mittlerer Masseverlust nach Hitzebehandlung bei 220°C für 4h im Trockenschrank.....	100
Abbildung 77: Mittlere axiale t-50 Linie in [mm] der verschiedenen Fichten-Prüfkörperhälften der Länge 150mm.....	100
Abbildung 78: Kiefernslint-Prüfkörper nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist vollständig und homogen durchtränkt.....	101
Abbildung 79: Hitzebehandelter Kiefernslint-Prüfkörper nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist vollständig und homogen durchtränkt.....	101
Abbildung 80: Kiefernslint-Prüfkörper nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist vollständig und homogen durchtränkt.....	102
Abbildung 81: Hitzebehandelter Kiefernslint-Prüfkörper nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist vollständig und homogen durchtränkt.....	102
Abbildung 82: Fichten-Prüfkörper der Steinbrügge & Berninghausen GmbH nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt.....	103

Abbildung 83: Fichten-Prüfkörper der Steinbrügge & Berninghausen GmbH nach Paraffin-Vollzell-Tränkung – axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt .....	103
Abbildung 84: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der Steinbrügge & Berninghausen GmbH nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt .....	104
Abbildung 85: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der Steinbrügge & Berninghausen GmbH nach Paraffin-Vollzell-Tränkung– axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt .....	104
Abbildung 86: Fichten-Prüfkörper der Steinbrügge & Berninghausen GmbH nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt .....	104
Abbildung 87: Fichten-Prüfkörper der Steinbrügge & Berninghausen GmbH nach Paraffin-Vollzell-Tränkung – axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt .....	104
Abbildung 88: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der Steinbrügge & Berninghausen GmbH nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt .....	105
Abbildung 89: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der Steinbrügge & Berninghausen GmbH nach Paraffin-Vollzell-Tränkung– axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt .....	105
Abbildung 90: Fichten-Prüfkörper der Steinbrügge & Berninghausen GmbH nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt .....	105
Abbildung 91: Fichten-Prüfkörper der Steinbrügge & Berninghausen GmbH nach Paraffin-Vollzell-Tränkung – axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt .....	105
Abbildung 92: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der Steinbrügge & Berninghausen GmbH nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt .....	106
Abbildung 93: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der Steinbrügge & Berninghausen GmbH nach Paraffin-Vollzell-Tränkung– axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt .....	106
Abbildung 94: Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-CZ/A) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist vollständig durchfärbt.....	106
Abbildung 95: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-CZ/A) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist vollständig durchfärbt .....	107
Abbildung 96: Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-CZ/A) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist vollständig durchfärbt.....	107
Abbildung 97: Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-CZ/A) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung – axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist vollständig durchfärbt .....	107
Abbildung 98: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-CZ/A) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist vollständig durchfärbt .....	108
Abbildung 99: Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-CZ/A) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt.....	108
Abbildung 100: Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-CZ/A) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung – axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt .....	108
Abbildung 101: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-CZ/A) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt .....	109

Abbildung 102: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-CZ/A) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung– axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt .....	109
Abbildung 103: Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist vollständig durchfärbt .....	109
Abbildung 104: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist vollständig durchfärbt.....	110
Abbildung 105: Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt .....	110
Abbildung 106: Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung – axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt.....	110
Abbildung 107: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt.....	111
Abbildung 108: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung– axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt .....	111
Abbildung 109: Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt .....	111
Abbildung 110: Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung – axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt.....	111
Abbildung 111: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt.....	112
Abbildung 112: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung– axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt .....	112
Abbildung 113: Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode-Kern) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt .....	112
Abbildung 114: Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode-Kern) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung – axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt .....	112
Abbildung 115: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode-Kern) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt .....	113
Abbildung 116: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode-Kern) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung– axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt.....	113
Abbildung 117: Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode-Kern) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt .....	113
Abbildung 118: Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode-Kern) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung – axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt .....	113
Abbildung 119: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode-Kern) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt .....	114
Abbildung 120: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode-Kern) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung– axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt.....	114
Abbildung 121: Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode-Kern) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt .....	114

Abbildung 122: Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode-Kern) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung – axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt .....	114
Abbildung 123: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode-Kern) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt.....	115
Abbildung 124: Hitzebehandelter Fichten-Prüfkörper der BFH (Fichte-Walsrode-Kern) nach Paraffin-Vollzell-Tränkung– axiale Betrachtung der Durchfärbung; Prüfkörper ist unvollständig durchfärbt .....	115
Abbildung 125: Mittlere Darrdichte der hinsichtlich der Tränkbarkeit untersuchten Fichtenholzsortimente .....	115
Abbildung 126: Mittlere Paraffinaufnahme mit Standardabweichung (I) der hinsichtlich Tränkbarkeit untersuchten Fichtenholzsortimente .....	116
Abbildung 127: Mittlere Paraffin- und Wasseraufnahme mit Standardabweichung (I) der hinsichtlich Tränkbarkeit untersuchten Fichtenholzsortimente .....	117
Abbildung 128: Häufigkeitsverteilung der Fichtenprüfkörper aus 12 verschiedenen Herkunftten in 15 Klassen der Klassenweite 36 [kg/m <sup>3</sup> ] nach Vollzelltränkung mit Paraflint C 80; n = 100 .....	118
Abbildung 129: Häufigkeitsverteilung der einzelnen Kiefernslintprüfkörper aus 3 verschiedenen Herkunftten in 15 Klassen der Klassenweite 36 [kg/m <sup>3</sup> ] nach Vollzelltränkung mit Paraflint C 80; n = 25.....	119
Abbildung 130: Korrelation der realen Wachsaufnahme der einzelnen Prüfkörper mit der für das Wegschlagen von Isopropanol benötigten Zeit; Zeitangaben resultieren aus dem Mittelwert von n = 5 Zeitnahmen .....	120
Abbildung 131: Korrelation der tatsächlichen Wachsaufnahme der einzelnen Prüfkörper mit der für das Wegschlagen von n-Heptan benötigten Zeit; Zeitangaben resultieren aus dem Mittelwert von n = 5 Zeitnahmen.....	121
Abbildung 132: Korrelation der tatsächlichen Wachsaufnahme der einzelnen Prüfkörper mit der für das Wegschlagen von Aceton benötigten Zeit; Zeitangaben resultieren aus dem Mittelwert von n = 5 Zeitnahmen .....	122
Abbildung 133: Korrelation der tatsächlichen Wachsaufnahme der einzelnen Prüfkörper mit der für das Wegschlagen von Weißöl auf der Querschnittsfläche (quer) benötigten Zeit; Zeitangaben resultieren aus dem Mittelwert von n = 5 Zeitnahmen .....	122
Abbildung 134: Unterer Bereich der Aufnahmemengen in kg/m <sup>3</sup> von Prüfkörpern mit 2% Farbstoff und 0,5 % Pigmentanteil für Versuche zur Bestimmung der minimal erforderlichen Materialmengen an Paraffin und Farbmittel.....	124
Abbildung 135: Oberer Bereich der Aufnahmemengen in kg/m <sup>3</sup> von Prüfkörpern mit 2% Farbstoff und 0,5 % Pigmentanteil für Versuche zur Bestimmung der minimal erforderlichen Materialmengen an Paraffin und Farbmittel.....	124
Abbildung 136: Unterer Bereich der Aufnahmemengen in kg/m <sup>3</sup> von Prüfkörpern mit 4% Farbstoff und 1% Pigmentanteil für Versuche zur Bestimmung der minimal erforderlichen Materialmengen an Paraffin und Farbmittel.....	125
Abbildung 137: Oberer Bereich der Aufnahmemengen in kg/m <sup>3</sup> von Prüfkörpern mit 4% Farbstoff und 1% Pigmentanteil für Versuche zur Bestimmung der minimal erforderlichen Materialmengen an Paraffin und Farbmittel.....	126
Abbildung 138: Aufgetrennte Kiefern-Prüfkörperhälften; links: 165 kg/m <sup>3</sup> Paraffinbeladung, rechts: 67 kg/m <sup>3</sup> Paraffinbeladung.....	127
Abbildung 139: Aufbau der Bewitterungsversuche. Neigung der exponierten Prüfkörper-Fläche um 45° .....	128

Abbildung 140: Änderung der Holzfeuchte unbehandelter und verschieden imprägnierter Kiefernproben während einer 6-monatigen Bewitterung in Doppellagenanordnung; FS = Konzentration des Farbstoffes, P = Konzentration des Pigments .....	129
Abbildung 141: Änderung der Holzfeuchte unbehandelter und verschieden imprägnierter Fichtenproben während einer 6-monatigen Bewitterung in Doppellagenanordnung; FS = Konzentration des Farbstoffes, P = Konzentration des Pigments .....	129
Abbildung 142: Änderung der Holzfeuchte unbehandelter und verschieden imprägnierter Buchenproben während einer 6-monatigen Bewitterung in Doppellagenanordnung; FS = Konzentration des Farbstoffes, P = Konzentration des Pigments .....	130
Abbildung 143: Prüfkörper nach dreimonatiger Bewitterung, Oberflächen sind stark verblasst und verfärbt	131
Abbildung 144: Prüfkörper nach dreimonatiger Bewitterung, die Hälfte der Prüfkörper ist mit unbewitterter Unterseite nach außen gedreht, um die Verfärbung/Entfärbung der bewitterten Oberflächen zu verdeutlichen .....	131
Abbildung 145: Prüfkörper nach dreimonatiger Bewitterung; wachsimprägnierte Buchenprüfkörper .....	131
Abbildung 146: Prüfkörper nach dreimonatiger Bewitterung; wachsimprägnierte Kiefern-Splintprüfkörper .....	132
Abbildung 147: Prüfkörper nach dreimonatiger Bewitterung; wachsimprägnierte Fichtenprüfkörper .....	132
Abbildung 148: Entwicklung der hell-dunkel Komponente L von unbehandelten und wachsimprägnierten Kiefernproben während der Freibewitterung über 6 Monate .....	133
Abbildung 149: Entwicklung der rot-grün Komponente a von unbehandelten und wachsimprägnierten Kiefernproben während der Freibewitterung über 6 Monate .....	133
Abbildung 150: Entwicklung der gelb-blau Komponente b von unbehandelten und wachsimprägnierten Kiefernproben während der Freibewitterung über 6 Monate .....	134
Abbildung 151: Entwicklung der hell-dunkel Komponente L von unbehandelten und wachsimprägnierten Fichtenproben während der Freibewitterung über 6 Monate .....	134
Abbildung 152: Entwicklung der grün-rot Komponente a von unbehandelten und wachsimprägnierten Fichtenproben während der Freibewitterung über 6 Monate .....	135
Abbildung 153: Entwicklung der gelb-blau Komponente b von unbehandelten und wachsimprägnierten Fichtenproben während der Freibewitterung über 6 Monate .....	135
Abbildung 154: Entwicklung der hell-dunkel Komponente L von unbehandelten und wachsimprägnierten Buchenproben während der Freibewitterung über 6 Monate .....	136
Abbildung 155: Entwicklung der grün-rot Komponente a von unbehandelten und wachsimprägnierten Buchenproben während der Freibewitterung über 6 Monate .....	136
Abbildung 156: Entwicklung der gelb-blau Komponente b von unbehandelten und wachsimprägnierten Buchenproben während der Freibewitterung über 6 Monate .....	137
Abbildung 157: Während der Tränkung beobachtetes Absetzen des Farbstoffes „Kelly Plasol 29 Orange“ .....	138
Abbildung 158: Versuchsproben nach 20 monatiger Bewitterungsdauer .....	139

Abbildung 159. Unterseiten der für weitergehende Untersuchungen entnommenen hydrophobierten Versuchsproben .....	139
Abbildung 160. Weißfäule an Buchenkontrollen.....	140
Abbildung 161. Weißfäule an Kiefernkontrollen	Abbildung 162. Weißfäule an Fichtenkontrollen
	141
Abbildung 163: Versuchsproben im November 2008 nach 27 Monaten Bewitterungsdauer – Oberseite (linkes Bild) und Unterseite (rechtes Bild) der Decklage.....	143
Abbildung 164: Änderung der Holzfeuchte unbehandelter und imprägnierter Buchenproben in Doppellagenanordnung; FS = Konzentration des Farbstoffes, P = Konzentration des Pigments.....	145
Abbildung 165: Unbehandelter Prüfkörper (B49) aus Buche mit Mycel und Fruchtkörperbildung – Decklage.....	145
Abbildung 166: Wachsbehandelter Buchenprüfkörper B6 nach 3 Jahren Exposition – Decklage, oberes Bild: Hirnfläche - Kopf, Mitte links: Frontseite, Mitte rechts: Rückseite, unteres Bild: Hirnfläche – Fuß .....	146
Abbildung 167: Wachsbehandelter Buchenprüfkörper B12 nach 3 Jahren Exposition – Unterlage; oberes Bild: Hirnfläche - Kopf, Mitte links: Frontseite, Mitte rechts: Rückseite, unteres Bild: Hirnfläche – Fuß .....	148
Abbildung 168: Änderung der Holzfeuchte unbehandelter und imprägnierter Fichtenproben in Doppellagenanordnung; FS = Konzentration des Farbstoffes, P = Konzentration des Pigments.....	149
Abbildung 169: Totalausfall des Fichtenprüfkörpers F 46 infolge extremer Rissbildung – Decklage: Frontansicht (links); Rückseite (rechts) .....	149
Abbildung 170: Wachsbehandelter Fichtenprüfkörper F16 nach 3 Jahren Exposition – Decklage; oberes Bild: Hirnfläche - Kopf, Mitte links: Frontseite, Mitte rechts: Rückseite, unteres Bild: Hirnfläche – Fuß .....	151
Abbildung 171: Wachsbehandelter Fichtenprüfkörper F38 nach 3 Jahren Exposition – Unterlage; oberes Bild: Hirnfläche - Kopf, Mitte links: Frontseite, Mitte rechts: Rückseite, unteres Bild: Hirnfläche – Fuß .....	153
Abbildung 172: Änderung der Holzfeuchte unbehandelter und imprägnierter Kiefernproben in Doppellagenanordnung; FS = Konzentration des Farbstoffes, P = Konzentration des Pigments.....	154
Abbildung 173: Wachsbehandelter Kiefernprüfkörper K20 nach 3 Jahren Exposition – Decklage; oberes Bild: Hirnfläche - Kopf, Mitte links: Frontseite, Mitte rechts: Rückseite, unteres Bild: Hirnfläche – Fuß .....	155
Abbildung 174: Wachsbehandelter Kiefernprüfkörper K14 nach 3 Jahren Exposition – Unterlage; oberes Bild: Hirnfläche - Kopf, Mitte links: Frontseite, Mitte rechts: Rückseite, unteres Bild: Hirnfläche – Fuß .....	157
Abbildung 175: Gerissener, wachsbehandelter Kiefernprüfkörper K18 nach 3 Jahren Exposition – Decklage; oberes Bild: Hirnfläche - Kopf, Mitte links: Frontseite, Mitte rechts: Rückseite, unteres Bild: Hirnfläche – Fuß.....	158
Abbildung 176: Gerissener, wachsbehandelter Kiefernprüfkörper K12 nach 3 Jahren Exposition – Unterlage; oberes Bild: Hirnfläche - Kopf, Mitte links: Frontseite, Mitte rechts: Rückseite, unteres Bild: Hirnfläche – Fuß.....	159
Abbildung 177: Farbveränderung des Tränkwachses bei steigender Tränkzyklenzahl	160
Abbildung 178: L*a*b*-Farbwerte des Wachses aus Probennahme nach Tränkzyklen 0 bis 22; nach Zyklus 6 wurden zusätzlich zu den Fichtenprüfkörpern auch Kiefernprüfkörper getränkt .....	160

Abbildung 179: a*+ b*- Farbwerte des Wachses aus Probennahme nach Tränkzyklen 0 bis 22.....	161
Abbildung 180: Farbveränderung des Tränkwachses bei ansteigender Zyklenzahl von 0 bis 7 unter Verwendung von Kiefernprüfkörpern.....	161
Abbildung 181: L*a*b*-Farbwerte des Wachses aus Probennahme nach Tränkzyklen 0 bis 7 mit Kiefernproben .....	162
Abbildung 182: a*+ b*- Farbwerte des Wachses aus Probennahme nach Tränkzyklen 0 bis 7 mit Kiefernproben .....	162
Abbildung 183: Farbveränderung des Tränkwachses bei ansteigender Zyklenzahl von 0 bis 7 unter Verwendung von Fichtenprüfkörpern.....	163
Abbildung 184: L*a*b*-Farbwerte des Wachses nach Tränkzyklen 0 bis 7 mit Fichtenproben .....	163
Abbildung 185: Farbveränderung des gefärbten Tränkwachses bei ansteigender Zyklenzahl von 0 bis 7 (von links nach rechts) unter Verwendung von Kiefernprüfkörpern .....	164
Abbildung 186: L*a*b*-Farbwerte des gefärbten Wachses aus Probennahme nach Tränkzyklen 0 bis 7 mit Kiefernproben.....	164
Abbildung 187: Auszug aus Ergebnisprotokoll der Untersuchungen zur chemischen Stabilität des Tränkwachses durch Firma SASOL nach 22 Zyklen; Seite 1 .....	165
Abbildung 188: Auszug aus Ergebnisprotokoll der Untersuchungen zur chemischen Stabilität des Tränkwachses durch Firma SASOL nach 22 Zyklen; Seite 2 .....	166
Abbildung 189: Auszug aus Ergebnisprotokoll der Untersuchungen zur chemischen Stabilität des Tränkwachses durch Firma SASOL nach 22 Zyklen; Seite 3 .....	167
Abbildung 190: Auszug aus Ergebnisprotokoll der Untersuchungen zur chemischen Stabilität des Tränkwachses durch Firma SASOL nach 22 Zyklen; Seite 4 .....	168
Abbildung 191: Auszug aus Ergebnisprotokoll der Untersuchungen zur chemischen Stabilität des Tränkwachses durch Firma SASOL nach 7 Zyklen; Seite 1 .....	169
Abbildung 192: Auszug aus Ergebnisprotokoll der Untersuchungen zur chemischen Stabilität des Tränkwachses durch Firma SASOL nach 7 Zyklen; Seite 2 .....	170
Abbildung 193: Auszug aus Ergebnisprotokoll der Untersuchungen zur chemischen Stabilität des Tränkwachses durch Firma SASOL nach 7 Zyklen; Seite 3 .....	171
Abbildung 194: Auszug aus Ergebnisprotokoll der Untersuchungen zur chemischen Stabilität des Tränkwachses durch Firma SASOL nach 7 Zyklen; Seite 4 .....	172
Abbildung 195: Auszug aus Ergebnisprotokoll der Untersuchungen zur chemischen Stabilität des Tränkwachses durch Firma SASOL nach 7 Zyklen; Seite 5 .....	173
Abbildung 196: Auszug aus Ergebnisprotokoll der Untersuchungen zur chemischen Stabilität des Tränkwachses durch Firma SASOL nach 7 Zyklen; Seite 6 .....	174
Abbildung 197: Auszug aus Ergebnisprotokoll der Untersuchungen zur chemischen Stabilität des Tränkwachses durch Firma SASOL nach 7 Zyklen; Seite 7 .....	175
Abbildung 198: Auszug aus Ergebnisprotokoll der Untersuchungen zur chemischen Stabilität des Tränkwachses durch Firma SASOL nach 7 Zyklen; Seite 8 .....	176
Abbildung 199: Auszug aus Ergebnisprotokoll der Untersuchungen zur chemischen Stabilität des Tränkwachses durch Firma SASOL nach 7 Zyklen; Seite 9 .....	177

## 5.5 Tabellen

Tab. 1: Rohdichte bei Holzfeuchte u.....	15
Tab. 2: Darrdichte bei Holzfeuchte $u = 0\%$ .....	15
Tab. 3: Holzfeuchte u.....	15
Tab. 4: Geprüfte Wachse, Öle und Additive; EB = Erstarrungsbereich bzw. -punkt .....	16
Tab. 5: Untersuchte Kombinationen aus den verschiedenen Paraffinen ( <b>A</b> Terhell 3496; <b>B</b> Terhell 5308; <b>C</b> Paraflint C80; <b>D</b> Paraflint C105), Weißöl ( <b>E</b> Pharmawhite W15) und PE-Additiv ( <b>F</b> PE Additiv). Durch Vorversuche hinsichtlich Misch- und Verarbeitbarkeit ausgeschlossene Kombinationsmöglichkeiten sind gestrichelt markiert. ....	17
Tab. 6: Geprüfte Pigmente und Farbstoffe.....	18
Tab. 7: Klassifizierungsschema zur optischen Untersuchung des Absetzverhaltens von Pigmenten im flüssigen Paraffin in Vorversuchen.....	20
Tab. 8: Verarbeitungstemperaturen in °C der verwendeten Paraffin-Ölkombinationen in den Versuchen zur Auftrennung auf Filterpapier ( <b>A</b> Terhell 3496; <b>B</b> Terhell 5308; <b>C</b> Paraflint C80; <b>D</b> Paraflint C105), Weißöl ( <b>E</b> Pharmawhite W15) und PE-Additiv ( <b>F</b> PE Additiv). Durch Vorversuche ausgeschlossene Kombinationsmöglichkeiten sind gestrichelt markiert. ....	21
Tab. 9: Trennungsquotient $T_q$ .....	22
Tab. 10: Spezifische Volumenausbreitung.....	23
Tab. 11: Beladungsgrad der Prüfkörper .....	24
Tab. 12: Paraffin-/Öl-Kombinationen zur Untersuchung der Füllstoffpenetration und Wachsverteilung.....	25
Tab. 13: Klassifizierung der Wachsverteilung .....	26
Tab. 14: Berechnung des Moisture Induced Risk Index .....	31
Tab. 15: Anzahl, Dimension und axiale Versiegelungsart der Prüfkörper für Versuche zur Untersuchung des Einflusses der Prüfkörperlänge auf die Wachaufnahme....	34
Tab. 16: Eingesetzte Wachsblands und ermittelte Erstarrungspunkte (EP) für Versuche zur Untersuchung des Einflusses des Tränkwachses auf die Wachaufnahme.....	34
Tab. 17: Wachsverlust.....	36
Tab. 18: Anzahl der eingesetzten Prüfkörper aus Kiefernslint in Tränkungen für die verschiedenen Versuche zum Wachsverlust unter Temperatureinwirkung .....	37
Tab. 19: Masseverlust ( $m_v$ ) durch Hitzebehandlung .....	39
Tab. 20: Eingesetzte Fichtenholzsortimente für Untersuchungen des Anteiles schwer tränkbarer Fichtenholzsortimente.....	40
Tab. 21: Anzahl und Behandlungsparameter der Prüfkörper aus Kiefernslint, Fichte, und Buche für Freilandversuche zur Bestimmung der minimalen Aufnahmemenge von Paraffin und Pigment.....	42
Tab. 22: Tränkungen zur Bestimmung der chemischen Stabilität des Wachses.....	45
Tab. 23: Tränkungen zur Bestimmung des Einflusses von Kiefern- und Fichtenholz auf die chemische Stabilität der Tränklösung .....	46
Tab. 24: Tränkungen zur Bestimmung des Einflusses von Farbstoffen auf die chemische Stabilität der Tränklösung bei Imprägnierung von Kiefernholz .....	46
Tab. 25: Klassifizierung des Absetzverhaltens der Füllstoffe im Paraffin A (Terhell 3496); 0 = nicht abgesetzt, 1 = abgesetzt aber durchfärbt, 2 = abgesetzt und nicht durchfärbt .....	48

Tab. 26: Klassifizierung des Absetzverhaltens der Füllstoffe im Paraffin B (Terhell 5803); 0 = nicht abgesetzt, 1 = abgesetzt aber durchfärbt, 2 = abgesetzt und nicht durchfärbt.....	49
Tab. 27: Klassifizierung des Absetzverhaltens der Füllstoffe im Paraffin C (Paraflint C80); 0 = nicht abgesetzt, 1 = abgesetzt aber durchfärbt, 2 = abgesetzt und nicht durchfärbt.....	49
Tab. 28: Klassifizierung des Absetzverhaltens der Füllstoffe im Paraffin D (Paraflint C105); 0 = nicht abgesetzt, 1 = abgesetzt aber durchfärbt, 2 = abgesetzt und nicht durchfärbt.....	50
Tab. 29: Trennungsquotient $T_q$ der untersuchte Kombinationen aus den verschiedenen Paraffinen ( <b>A</b> Terhell 3496; <b>B</b> Terhell 5308; <b>C</b> Paraflint C80; <b>D</b> Paraflint C105), Weißöl ( <b>E</b> Pharmawhite W15) und PE-Additiv ( <b>F</b> PE Additiv) mit den Pigmenten 1 bis 9 wie auch dem Farbstoff 10 (Tab. 6).....	51
Tab. 30: Spezifische Volumenausbreitung in $\text{cm}^3/\text{g}$ der untersuchten Kombinationen aus den verschiedenen Paraffinen ( <b>A</b> Terhell 3496; <b>B</b> Terhell 5308; <b>C</b> Paraflint C80; <b>D</b> Paraflint C105), dem Weißöl ( <b>E</b> Pharmawhite W15) und dem PE-Additiv ( <b>F</b> PE Additiv) und Kombinationen mit den Farbstoffen 1 bis 10 (Tab. 6).....	52
Tab. 31: Mittelwerte der Paraffinwachsaufnahme der untersuchten Kombinationen aus den verschiedenen Paraffinen ( <b>A</b> Terhell 3496; <b>B</b> Terhell 5308; <b>C</b> Paraflint C80; <b>D</b> Paraflint C105), dem Weißöl ( <b>E</b> Pharmawhite W15) und dem PE-Additiv ( <b>F</b> PE Additiv) mit den Pigmenten 1 bis 9 und dem Farbstoff 10 (Tab. 6).....	54
Tab. 32: Mittelwert der t-50 Linie der untersuchten Kombinationen aus den verschiedenen Paraffinen ( <b>A</b> Terhell 3496; <b>B</b> Terhell 5308; <b>C</b> Paraflint C80; <b>D</b> Paraflint C105), dem Weißöl ( <b>E</b> Pharmawhite W15) und dem PE-Additiv ( <b>F</b> PE Additiv) mit den Farbstoffen 1 bis 10 (Tab. 6).....	55
Tab. 33: Zeit bis zum Erreichen von 20% Holzfeuchte in der Absorptionsphase ( $t_{AB20}$ ) und der Desorptionsphase ( $t_{DE20}$ ), Holzfeuchte nach Wasserlagerung ( $u_{168h}$ ) und Lagerung im Normklima ( $u_{337h}$ ), Steigungen der Absorptionsphase (Abs.) und Desorptionsphase (Des.) sowie der MRI aller untersuchten Prüfkörper .....	77
Tab. 34: Differenz der Holzfeuchte ( $\Delta u$ ) bei Freibewitterung von Prüfkörpern (Kiefernprüfkörpern imprägniert mit den Paraffinen A, B, C, D sowie Weißöl E) mit und ohne initialer MRI-Bestimmung.....	79
Tab. 35: Differenz der Holzfeuchte bei Bewitterung von Kiefernprüfkörpern imprägniert mit BF1, BF5 und BF30 mit und ohne vorheriger MRI Untersuchung ( $\Delta u$ ) .....	80
Tab. 36: Differenz der Holzfeuchte bei Bewitterung von Kiefernprüfkörpern imprägniert mit CA5, CA30, CE5 und CE30 mit und ohne vorheriger MRI-Untersuchung ( $\Delta u$ ).....	81
Tab. 37: Differenz der Holzfeuchte bei Bewitterung von Kiefernprüfkörpern ( $50 \times 25 \times 15 \text{mm}^3$ ) imprägniert mit DA5, DA30, DE5 und DE30 mit und ohne vorheriger MRI Untersuchung ( $\Delta u$ ).....	83
Tab. 38: Mittlere Wachsaufnahme nach Tränkung von Kiefernspint-Prüfkörpern ( $400 \times 50 \times 25 \text{mm}^3$ ) bei ansteigendem Vordruck und konstanten Prozessparametern (Temperatur: $110^\circ\text{C}$ ; Prozessdruck 8 bar für 2 h).....	90
Tab. 39: Für das Wegschlagen der Weiserflüssigkeit benötigte Zeit in Sekunden und tatsächlich erreichte Wachsaufnahme nach Vollzelltränkung .....	119
Tab. 40: Durchschnittstemperaturen und mittlere Niederschlagsmenge im Untersuchungszeitraum von Oktober 2008 bis Mai 2009 .....	142

## 6 ANHANG

### 6.1 Datenblatt zum für die MRI-Bestimmung verwendetem Wasser

<b>Grundwasserwerk Lohbrügge</b>						
<b>Chemisch-physikalische Analyse des Reinwassers 2002</b>						
Stoffe/Kennwerte	Maßeinheit	Zulässiger Grenzwert nach Trinkwasserverordnung *	Jahres-Mittelwert	Min.	Max.	Untere Grenze des praktischen Analysebereiches
Temperatur	°C	25	11,8	11,5	12,0	–
Leitfähigkeit	µS/cm	2000	435	425	445	5
pH-Wert		6,5-9,5	7,7	7,5	7,9	–
Sauerstoff	mg/l	–	5,7	4,9	6,7	0,1
Gesamthärte	°dH	–	9,9	9,0	10,3	0,1
Karbonathärte	°dH	–	(10,5)	(10,3)	(10,6)	0,1
KB <sub>82</sub>	mmol/l		0,10	0,06	0,16	0,01
KS <sub>13</sub>	mmol/l		3,7	3,7	3,8	0,04
Härtebereich **			2			–
<b>Kationen</b>						
Calcium	mg/l	400	57	51	60	1
Magnesium	mg/l	50	8	8	9	1
Natrium	mg/l	150	22	19	28	0,5
Kalium	mg/l	12	2,8	2,5	3,0	0,5
Eisen	mg/l	0,2	0,01	n.n.	0,04	0,01
Mangan	mg/l	0,05	n.n.			0,005
Ammonium	mg/l	0,5	n.n.			0,05
<b>Anionen</b>						
Chlorid	mg/l	250	23	20	24	1
Sulfat	mg/l	240	8,2	2,0	12	1
Nitrat	mg/l	50	2,5	2,2	3,0	0,2
Nitrit	mg/l	0,1	n.n.			0,01
Fluorid	mg/l	1,5	0,12	0,11	0,13	0,01
Phosphat	mg/l	6,7	0,27	0,23	0,30	0,05
Silikat	mg/l	40	25	23	25	2
<b>Spurenelemente</b>						
Aluminium	mg/l	0,2	n.n.			0,01
Antimon	mg/l	0,01	n.n.			0,0001
Arsen	mg/l	0,01	n.n.			0,0005
Barium	mg/l	1	n.n.	n.n.	0,02	0,02
Blei	mg/l	0,04	n.n.			0,001
Cadmium	mg/l	0,005	n.n.			0,0001
Chrom	mg/l	0,05	n.n.			0,001
Kupfer	mg/l	3	n.n.	n.n.	0,005	0,005
Nickel	mg/l	0,05	n.n.			0,001
Quecksilber	mg/l	0,001	n.n.			0,0001
Selen	mg/l	0,01	n.n.			0,0002
Zink	mg/l	5	n.n.	n.n.	0,03	0,01
Bor	mg/l	1	0,12	n.n.	0,15	0,05
Silber	mg/l	0,01	n.n.			0,001
TOC	mg/l	–	1,4	1,3	1,6	0,1
KMnO <sub>4</sub> -Verbrauch als KMnO <sub>4</sub>	mg/l	19,75	5,3	4,8	5,8	1,0
Cyanid	mg/l	0,05	n.n.			0,01

Organische Umweltchemikalien, wie z.B. Pestizide, organische Chlorverbindungen und polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe, auf die regelmäßig untersucht wurde, waren nicht nachweisbar. Darüberhinaus entsprach das abgegebene Reinwasser stets den mikrobiologischen Anforderungen der Trinkwasserverordnung.

\* Trinkwasserverordnung vom 05.12.1990  
\*\* nach Wasch- und Reinigungsmittelgesetz vom 05.03.1987

## 6.2 Technisches Datenblatt zum Abdichtmittel Sikaflex® - 221

Technisches Merkblatt  
Version 12 / 2005

### Sikaflex® -221

Der haftstarke Dichtstoff

#### Technische Eigenschaften

Chemische Basis	1-K Polyurethan
Farbe	weiss, grau, schwarz
Härtungsmechanismus	feuchtigkeitshärtend
Dichte vor Aushärtung (DIN 53479)	ca. 1,3 kg/l farbabhängig
Standfestigkeit	gut
Verarbeitungstemperatur	5 - 40°C
Hautbildezeit <sup>1)</sup>	ca. 60 min
Durchhärtengeschwindigkeit	(siehe Diagramm 1)
Volumenänderung (DIN 52451)	ca. -5%
Härte Shore A (ISO 868 / DIN 53505)	ca. 40
Zugfestigkeit (ISO 527 / DIN 53504)	ca. 1,8 N/mm <sup>2</sup>
Reissdehnung (ISO 527 / DIN 53504)	ca. 500 %
Weiterreisswiderstand (ISO 34 / DIN 53515)	ca. 6 N/mm
Glasumwandlungstemperatur (ISO 4663 / DIN 53445)	ca. -45 °C
Einsatztemperatur	dauerhaft 24 Stunden 1 Stunde
Kurzfristig	-40°C bis +90°C 120°C 140°C
Haltbarkeit (Lagerung unter 25°C im ungeöffneten Gebinde)	12 Monate

<sup>1)</sup> 23°C / 50% r.Lf.

#### Beschreibung

Sikaflex®-221 ist eine langjährig erprobte, vielseitig anwendbare, standfeste 1-Komponenten-Polyurethan-Dichtmasse, die mit Luftfeuchtigkeit zu einem Elastomer aushärtet. Sikaflex®-221 wird nach dem Qualitätssicherungssystem ISO 9001 / 14001 und dem Responsible Care Programm hergestellt.

#### Produktvorteile

- 1-komponentig
- elastisch
- geruchsarm
- alterungs- und witterungsbeständig
- nicht korrosiv
- überlackierbar
- schleifbar
- zeigt ein breites Haftspektrum
- lebensmittelrechtlich zugelassen (NSF + Bedarfsgegenständeverordnung 2002/72/EG)
- silikonfrei

#### Anwendungsbereich

Sikaflex®-221 zeigt ein breites Haftspektrum und ist geeignet für eine elastische, dauerhafte, haftstarke Abdichtung. Geeignete Untergründe sind Holz, Metalle, Grundierungen und Lackierungen (2-K-Systeme), keramische Materialien, Kunststoffe. Bei transparenten und spannungsrissegefährdeten Untergründen ist eine objektbezogene Beratung erforderlich.

Industry



### Härtungsmechanismus

Die Vernetzungsreaktion von Sikaflex®-221 erfolgt mit Luftfeuchtigkeit. Bei niedriger Temperatur ist der Wassergehalt der Luft geringer und die Vernetzungsreaktion verläuft etwas langsamer (siehe Diagramm).

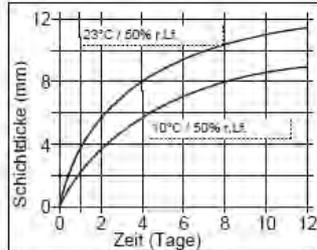


Diagramm 1: Durchhärtungsgeschwindigkeit für Sikaflex®-221

### Chemische Beständigkeit

Sikaflex®-221 ist beständig gegen Wasser, Meer-, Kalkwasser und öffentliche Abwässer sowie gegen schwache Säuren und Laugen, kurzzeitig beständig gegen Treibstoffe, Mineralöle sowie pflanzliche und tierische Fette und Öle, nicht beständig gegen organische Säuren, Alkohol, stärkere Mineralsäuren und Laugen sowie Lösemittel.

Die Informationen sind nur Anhaltspunkte. Eine objektbezogene Beratung erhalten Sie auf Anfrage.

### Verarbeitungshinweise

#### Untergrundvorbereitung

Die Haftflächen müssen sauber, trocken, staub- und fettfrei sein. Angaben zur Vorbereitung von Werkstoffoberflächen finden Sie in unserer Vorbehandlungstabelle.

#### Verarbeitung

Kartuschenmembrane einstechen und vollständig öffnen.

Beutel in die Verarbeitungspistole einlegen und Clip abschneiden.

Düsen Spitze entsprechend der Fugenbreite zuschneiden und die Dichtmasse mit einer geeigneten Druckluft-, Akku- oder Handpistole luftfrei in die Fuge eintragen.

Angebrochene Gebinde müssen innerhalb kurzer Zeit verarbeitet werden.

Die Verarbeitungstemperatur darf 5°C nicht unter- bzw. 40°C nicht überschreiten. Die optimale Temperatur von Material und Werkstoff liegt zwischen 15°C und 25°C.

Für die Beratung zur Auswahl und Einrichtung einer geeigneten Pumpanlage setzen Sie sich bitte mit der Abteilung System Engineering der Sika Industry in Verbindung.

#### Abglätten

Das Abglätten muss innerhalb der Hautbildezeit des Klebstoffes erfolgen. Zum Abglätten empfehlen wir Sika® Abglättmittel N. Andere Abglättmittel müssen auf ihre Eignung überprüft werden.

#### Entfernung

Nicht ausgehärtetes Sikaflex®-221 kann von Geräten und Werkzeugen mit Sika® Remover-208 entfernt werden. Ausgehärtetes Material kann nur noch mechanisch entfernt werden.

Hände/Haut sollten sofort mit Sika® Handclean oder einer geeigneten Handwaschpaste und Wasser gereinigt werden. Keine Lösemittel verwenden!

#### Überlackieren

Sikaflex®-221 kann überlackiert werden.

Die Lackverträglichkeit muss durch Vorversuche überprüft werden. Einbrennlacke dürfen nur auf völlig ausgehärtetem Sikaflex®-221 aufgebracht werden. Es ist zu berücksichtigen, dass Härte und Filmdicke des Lackes den Klebstoff in seiner Dehnung beeinträchtigen und zu Rissbildungen führen können.

### Weitere Informationen

Folgende Dokumente sind auf Anfrage erhältlich:

- Sicherheitsdatenblatt
- Vorbehandlungstabelle
- Allg. Richtlinien zur Verarbeitung von Sikaflex® Kleb- und Dichtstoffen

### Gebinde

Kartusche	310 ml
Beutel	400ml/600 ml
Hobbock	23 l
Fass	195 l

### Wichtig

Für den Umgang mit unseren Produkten sind die wesentlichen physikalischen, sicherheitstechnischen, toxikologischen und ökologischen Daten den stoffspezifischen Sicherheitsdatenblättern zu entnehmen. Die einschlägigen Vorschriften, wie z.B. die Gefahrstoffverordnung, sind zu beachten. Auf Wunsch stellen wir Ihnen unser System-Merkblatt TM 7510 "Hinweise zum Arbeitsschutz" beim Umgang mit Produkten der Sika Deutschland GmbH zur Verfügung.

### Hinweis:

Die vorstehenden Angaben, insbesondere die Vorschläge für Verarbeitung und Verwendung unserer Produkte, beruhen auf unseren Kenntnissen und Erfahrungen im Normalfall, vorausgesetzt die Produkte wurden sachgerecht gelagert und angewandt. Wegen der unterschiedlichen Materialien, Untergründen und abweichenden Arbeitsbedingungen kann eine Gewährleistung eines Arbeitsergebnisses oder eine Haftung, aus welchem Rechtsverhältnis auch immer, weder aus diesen Hinweisen, noch aus einer mündlichen Beratung begründet werden, es sei denn, dass uns insoweit Vorsatz oder grobe Fahrlässigkeit zur Last fällt. Hierbei hat der Anwender nachzuweisen, dass er schriftlich alle Kenntnisse, die zur sachgemäßen und erfolgversprechenden Beurteilung durch Sika erforderlich sind, Sika rechtzeitig und vollständig übermittelt hat. Der Anwender hat die Produkte auf ihre Eignung für den vorgesehenen Anwendungszweck zu prüfen. Änderungen der Produktspezifikationen bleiben vorbehalten. Schutzrechte Dritter sind zu beachten. Im übrigen gelten unsere jeweiligen Verkaufs- und Lieferbedingungen. Es gilt das jeweils neueste Technische Merkblatt, das von uns angefordert werden sollte.



Weitere Informationen  
Internet: [www.sika-industry.de](http://www.sika-industry.de), E-Mail: [industry@de.sika.com](mailto:industry@de.sika.com)  
[www.sika.com](http://www.sika.com)

Sika Deutschland GmbH  
Kleb- und Dichtstoffe Industrie  
Stuttgarter Strasse 139  
D-72574 Bad Urach  
Deutschland  
Tel. +49 7125 940-761  
Fax +49 7125 940-763



886\_48\_35116

Sikaflex®-221 2 / 2

### 6.3 Patentanmeldungen

Innerhalb der Projektlaufzeit wurden zwei Patente angemeldet.

- Patentschrift DE 103 41 883 B4 mit dem Titel „Verwendung eines Imprägniermittels zur Holzschutzbehandlung“, Veröffentlichungstag der Patenterteilung am 02.11.2006, Int Cl. B27K3/02 (2006.01) und
- Patentschrift DE 10 2005 002 096 B3 mit dem Titel „Imprägniermittel zur Imprägnierung von fertig getrocknetem und profiliertem Holz und Verwendung des Imprägniermittels“, Veröffentlichungstag der Patenterteilung am 09.11.2006, Int Cl. B27K3/50 (2006.01)