

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 360 04 011
UBA-FB 000550



**Gutachten über die
Entwicklung eines
Prüfverfahrens zur
Ermittlung von
Mindestfixierzeiten von
Holzschutzmitteln**

von

Dr. rer. nat. Ute Schoknecht

Dr. ing. Helena Mathies

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)

Dr. rer. nat. Robby Wegner

Dipl. Chem. Claudia Bornkessel

Materialprüfungsanstalt des Landes Brandenburg

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Diese TEXTE-Veröffentlichung kann bezogen werden bei

Vorauszahlung von 7,50 Euro

durch Post- bzw. Banküberweisung,
Verrechnungsscheck oder Zahlkarte auf das

Konto Nummer 4327 65 - 104 bei der
Postbank Berlin (BLZ 10010010)
Fa. Werbung und Vertrieb,
Wolframstraße 95-96,
12105 Berlin

Parallel zur Überweisung richten Sie bitte
eine schriftliche Bestellung mit Nennung
der **Texte-Nummer** sowie des **Namens**
und der **Anschrift des Bestellers** an die
Firma Werbung und Vertrieb.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr
für die Richtigkeit, die Genauigkeit und
Vollständigkeit der Angaben sowie für
die Beachtung privater Rechte Dritter.
Die in der Studie geäußerten Ansichten
und Meinungen müssen nicht mit denen des
Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 33 00 22
14191 Berlin
Tel.: 030/8903-0
Telex: 183 756
Telefax: 030/8903 2285
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet IV 1.6
Jürgen Fischer

Berlin, Dezember 2003

Inhaltsverzeichnis		Seite
	Erläuterung der Abkürzungen.....	6
	Vorwort.....	7
	Einleitung.....	8
1	Literaturübersicht zur Fixierung von Holzschutzmitteln.....	10
2	Methodenvorschlag für ein Laborverfahren zur Ermittlung der Mindestfixierdauer für Holzschutzmittel mit DIBt-Zulassung für die Gefährdungsklassen 3 und 4.....	14
3	Material und Methoden.....	19
3.1	Laborversuche zur Ermittlung der Mindestfixierdauer für Holzschutzmittel.....	19
3.1.1	Holzschutzmittel.....	19
3.1.2	Prüfkörper.....	19
3.1.3	Imprägnierverfahren.....	20
3.1.4	Konditionierung der behandelten Prüfkörper.....	20
3.1.5	Emissionsversuche.....	21
3.2	Mess- und Analysenverfahren.....	21
3.2.1	Bestimmung von Kupfer und Chrom.....	21
3.2.2	Bestimmung von Bor.....	22
3.2.3	Bestimmung von quartären Ammoniumverbindungen.....	22
3.2.4	Bestimmung von Kupfer-HDO.....	22
3.2.5	Bestimmung von Propiconazol.....	23
3.3	Datenverarbeitung und Darstellung der Ergebnisse.....	24
4	Ergebnisse.....	25
4.1	Fixierung eines CKB-Salzes nach Vakuum- und Trogränkung.....	26
4.1.1	Kupfer.....	26
4.1.2	Chrom.....	27
4.1.3	Bor.....	28
4.2	Fixierung eines Quat-Präparates nach Vakuum- und Trogränkung....	29
4.2.1	Benzalkoniumchlorid.....	29
4.3	Fixierung von CuHDO-Präparaten nach Vakuum- bzw. Trogränkung	30
4.3.1	Kupfer-HDO.....	30
4.3.2	Kupfer.....	31
4.3.3	Bor.....	32
4.4	Fixierung eines Kupfer/Triazol/Bor-Präparates nach Vakuumtränkung	33
4.4.1	Kupfer.....	33
4.4.2	Propiconazol.....	34
4.4.3	Bor.....	35
4.5	Fixierung eines Quat/Triazol-Präparates nach Trogränkung.....	36
4.5.1	DDAC.....	36
4.5.2	Propiconazol.....	37
4.6	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	38
5	Diskussion.....	46

6	Vorschlag zur Bewertung von Daten aus Fixierungsversuchen.....	51
7	Literaturverzeichnis.....	52

Anhang

Anhang 1	Fixierung eines CKB-Salzes nach Vakuum- und Trogrankung.....	55
1.1	Daten fur Kupfer.....	55
1.1.1	KVD, Lagerung bei 5 °C.....	55
1.1.2	KVD, Lagerung bei 20 °C.....	56
1.1.3	KVD, Auswaschversuche mit 5 Prufkorpern je Ansatz, Lagerung bei 20 °C	57
1.1.4	TT, Lagerung bei 5 °C.....	58
1.1.5	TT, Lagerung bei 20 °C.....	59
1.2	Daten fur Chrom.....	60
1.2.1	KVD, Lagerung bei 5 °C.....	60
1.2.2	KVD, Lagerung bei 20 °C.....	61
1.2.3	KVD, Auswaschversuche mit 5 Prufkorpern je Ansatz, Lagerung bei 20 °C	62
1.2.4	TT, Lagerung bei 5 °C.....	63
1.2.5	TT, Lagerung bei 20 °C.....	64
1.3	Daten fur Bor.....	65
1.3.1	KVD, Lagerung bei 5 °C.....	65
1.3.2	KVD, Lagerung bei 20 °C.....	66
1.3.3	KVD, Auswaschversuche mit 5 Prufkorpern je Ansatz, Lagerung bei 20 °C	67
1.3.4	TT, Lagerung bei 5 °C.....	68
1.3.5	TT, Lagerung bei 20 °C.....	69
Anhang 2	Fixierung eines Quat-Preparates nach Vakuum- und Trogrankung...	70
2.1	Daten fur Benzalkoniumchlorid.....	70
2.1.1	KVD, Lagerung bei 5 °C.....	70
2.1.2	KVD, Lagerung bei 20 °C.....	71
2.1.3	TT, Lagerung bei 5 °C.....	72
2.1.4	TT, Lagerung bei 20 °C.....	73
Anhang 3	Fixierung von CuHDO-Preparaten nach Vakuum- bzw. Trogrankung	74
3.1	Daten fur Kupfer-HDO.....	74
3.1.1	KVD, Lagerung bei 5 °C.....	74
3.1.2	KVD, Lagerung bei 20 °C.....	75
3.1.3	TT, Lagerung bei 5 °C.....	76
3.1.4	TT, Lagerung bei 20 °C.....	77
3.2	Daten fur Kupfer.....	78
3.2.1	KVD, Lagerung bei 5 °C.....	78
3.2.2	KVD, Lagerung bei 20 °C.....	79
3.2.3	TT, Lagerung bei 5 °C.....	80
3.2.4	TT, Lagerung bei 20 °C.....	81
3.3	Daten fur Bor.....	82
3.3.1	TT, Lagerung bei 5 °C.....	82
3.3.2	TT, Lagerung bei 20 °C.....	83
Anhang 4	Fixierung eines Kupfer/Triazol/Bor-Preparates nach Vakuumtrankung	84
4.1.	Daten fur Kupfer.....	84

4.1.1	KVD, Lagerung bei 5° C.....	84
4.1.2	KVD, Lagerung bei 20 °C.....	85
4.2.	Daten für Propiconazol.....	86
4.2.1	KVD, Lagerung bei 5 °C.....	86
4.2.2	KVD, Lagerung bei 20 °C.....	87
4.3.	Daten für Bor.....	88
4.3.1	KVD, Lagerung bei 5 °C.....	88
4.3.2	KVD, Lagerung bei 20 °C.....	89
Anhang 5 Fixierung eines Quat/Triazol-Präparates nach Trogränkung.....		90
5.1	Daten für DDAC.....	90
5.1.1	TT, Lagerung bei 5 °C.....	90
5.1.2	TT, Lagerung bei 20 °C.....	91
5.2	Daten für Propiconazol.....	92
5.2.1	TT, Lagerung bei 5 °C.....	92
5.2.2	TT, Lagerung bei 20 °C.....	93
Kurzfassung		94
Summary		98

Erläuterung der Abkürzungen

AWPA	American Wood Preservers' Association
CC	kupfer- und chromhaltige Holzschutzmittel
CCA	kupfer-, chrom- und arsenhaltige Holzschutzmittel
CKB	chrom-, kupfer- und borhaltige Holzschutzmittel
CuHDO	Bis(N-Cyclohexyl-diazenium-dioxy)kupfer
CX	Kupfer-HDO-Präparat
DDAC	Didecyldimethylammoniumchlorid
DIN	Deutsche Industrienorm
EN	Europäische Norm
ENV	Europäische Vornorm
GC	Gaschromatograph
GK	Gefährdungsklasse
HPLC	Hochdruckflüssigchromatographie
ISO	International Organization for Standardization
KVD	Kesseldruckvakuumtränkung
MS	Massenspektrometer
MSD	Massenselektiver Detektor
Quat	quartäre Ammoniumverbindung
rF	relative Luftfeuchte
rpm	Umdrehungen pro Minute
TT	Trogtränkung

Vorwort

Der vorliegende Bericht wurde durch das Umweltbundesamt finanziell gefördert.

An der Bearbeitung des Gutachtens waren das Labor IV.11 „Umweltverträglicher Materialschutz bei biologischer Beanspruchung“ der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) und das Dezernat „Holzschutzmittelanalytik/Holztechnologie“ des Materialprüfungsamtes des Landes Brandenburg beteiligt.

Die für die Laboruntersuchungen benötigten Holzschutzmittel wurden uns durch verschiedene Herstellerfirmen zur Verfügung gestellt. Für die freundliche Unterstützung des Vorhabens möchten wir an dieser Stelle danken.

Einleitung

Holzbauteile für konstruktive Anwendungen werden bei entsprechender Gefährdung durch chemische Holzschutzmittel vorbeugend gegen einen Befall durch Insekten und Pilze geschützt. Die Behandlung erfolgt vorwiegend in stationären Anlagen durch Kesseldruckimprägnierung und Trogränkung. Von den ca. 30.000 t chemischer Holzschutzmittel, die jährlich in Deutschland verarbeitet werden, entfällt ein großer Teil auf diesen gewerblichen Bereich. Man rechnet mit etwa 4-6 Mio. m³ Holz, die jährlich imprägniert werden. Die dafür verwendeten Holzschutzmittel müssen in Deutschland allgemein bauaufsichtlich zugelassen sein. Diese Zulassungen nehmen u.a. auf die Anwendungsverfahren Bezug und legen Einbringmengen für bestimmte Gefährungsklassen fest.

Durch das Inkrafttreten der EG-Richtlinie 98/8/EG über das Inverkehrbringen von Biozidprodukten wird zukünftig für alle Holzschutzmittel – unabhängig vom Anwendungsbereich - auch eine Zulassung nach dieser Richtlinie erforderlich, bei der eine Bewertung möglicher Risiken für Gesundheit und Umwelt neben der Wirksamkeitsbewertung größeres Gewicht erhält. Wesentliche Grundlage für die Umweltbewertung ist die Betrachtung möglicher Emissionswege sowie der freigesetzten Biozidmengen.

Eine kritische Phase – sowohl zur Sicherung des Gebrauchswertes als auch im Hinblick auf die Vermeidung von Emissionen in die Umwelt, ist der Zeitraum zwischen Imprägnierung und Auslieferung, in der das eingebrachte Schutzmittel dauerhaft im Holz gebunden - fixiert - wird. Die dabei stattfindenden Reaktionen sind abhängig von den chemischen Eigenschaften der Holzschutzmittelbestandteile und unterscheiden sich deshalb für die verschiedenen Holzschutzmitteltypen. In dieser Phase muss insbesondere das Risiko einer Auswaschung durch Niederschläge vermieden werden. Üblicherweise wird dies durch Lagerung unter Dach erreicht. Allerdings muss diese Lagerung auch über den gesamten für die Fixierung erforderlichen Zeitraum erfolgen.

Bisher ist es üblich, dass Empfehlungen zur Fixierdauer in Technischen Merkblättern enthalten sein können. In den Zulassungen finden sich nur sehr allgemeine Angaben. Diese Hinweise - wenn überhaupt vorhanden - beruhen jedoch auf unterschiedlich gewonnenen Erfahrungen und können auch für vergleichbare Rezepturen und Einbringverfahren sehr unterschiedlich sein. Eine einheitliche Beurteilung von Holzschutz-

mitteln ist auf dieser Grundlage nicht möglich. Deshalb sollen die für unterschiedliche Produkte erforderlichen Fixierzeiten nach einem festgelegten Verfahren ermittelt werden und die Anforderungen an die Fixierung einheitlichen Kriterien unterliegen.

Zielstellung der vorliegenden Untersuchungen war es, ein Prüfverfahren auf der Basis bestehender Vorschläge zu entwickeln und dessen Eignung für verschiedene Holzschutzmitteltypen und Imprägnierverfahren zu erproben. Die in systematisch angelegten Versuchen gewonnenen Daten sollen für die untersuchten Holzschutzmittel einen Überblick über den Fixierungsverlauf in Abhängigkeit vom Einbringverfahren und der Lagertemperatur vermitteln.

In dem vorgeschlagenen Prüfverfahren werden Prüfkörper mit dem zu untersuchenden Holzschutzmittel imprägniert und bei 5 bzw. 20 °C gelagert. Zu verschiedenen definierten Zeitpunkten werden in einem Laborversuch Biozidemissionen durch kurzzeitigen Wasserkontakt ermittelt und mit der eingebrachten Wirkstoffmenge verglichen. Aus dem dabei festgestellten erreichbaren Fixierungsgrad und dem Fixierungsverlauf wird die erforderliche Fixierdauer bestimmt.

In die Untersuchungen wurden Holzschutzmittel auf der Basis von Chrom-Kupfer-Bor-Salzen, quartären Ammoniumverbindungen, Kupfer-HDO, Kupfer/Triazol/Bor sowie Quat/Triazol einbezogen. Die Mittel wurden durch Kesseldruckimprägnierung bzw. Trogtränkung in Prüfkörper aus Kiefernspiltholz eingebracht.

Das Verfahren soll bei der bauaufsichtlichen Zulassung von Holzschutzmitteln angewandt werden, ist jedoch grundsätzlich nicht auf diesen Bereich beschränkt. Es liefert außerdem Aussagen darüber, ob bei einem mit einem bestimmten Verfahren eingebrachten Holzschutzmittel während der Fixierung ein erhöhtes Risiko für Biozidemissionen in Wasser besteht.

1 Literaturübersicht zur Fixierung von Holzschutzmitteln

Unter Fixierung von Holzschutzmitteln versteht man ursprünglich eine „Komplexsalzbildung zwischen Holzschutzmittelsalzen und Holzbestandteilen mit verminderter Wasserlöslichkeit zur Herabsetzung der Auslaugbarkeit der Schutzmittel“ (zitiert aus Müller, 1993). Inzwischen wird der Begriff in erweitertem Sinn verwendet und umfasst allgemein die „chemische Bindung eines Wirkstoffs an die Zellwand“ (zitiert aus Zujest, 2003). Dabei können unterschiedliche Reaktionen ablaufen.

Eine Übersicht über die Erkenntnisse und Modelle zur Fixierung verschiedener Holzschutzmitteltypen gibt Lebow (1996).

Intensiv untersucht ist die Fixierung von Kupfer und Chrom insbesondere in CCA-behandeltem Holz. In einer Anfangsphase von Minuten bis Stunden werden Kupfer und Chrom durch Ionenaustausch und Adsorption an Holzbestandteile gebunden. Danach erfolgen Fällungs- und Umwandlungsreaktionen. Eine wichtige Reaktion ist die Reduktion von Cr(VI) zu Cr(III), die einen Anstieg des pH-Wertes und weitere Redoxreaktionen auslöst. Dabei werden wasserlösliche in unlösliche Bestandteile umgewandelt und so im Holz festgelegt. Außerdem werden Kupfer und Chrom an OH-Gruppen von Lignin, Cellulose und extrahierbaren Holzbestandteilen gebunden. Bei der Fixierung von Chrom kommt es durch Oxidation und anschließende Decarboxylierung primärer Hydroxylgruppen von Holzbestandteilen zur Bildung messbarer Mengen von CO₂. Porandowski et al. (1998) verfolgten auf diese Weise die Fixierung von CCA und beobachteten höhere CO₂-Bildungsraten mit steigender Fixierungstemperatur.

Es gibt umfangreiche Untersuchungen über Faktoren, die Einfluss auf die Fixierung von CCA-Salzen haben. Neben der Holzart, den Dimensionen der behandelten Hölzer und der eingebrachten Menge ist die Temperatur bei der Lagerung entscheidend. Bei niedrigen Temperaturen verläuft die CCA-Fixierung deutlich verzögert. Daraus ergibt sich ein wichtiger Ansatzpunkt, die Fixierung unter Praxisbedingungen zu beschleunigen, indem das behandelte Holz in verschiedenen technischen Verfahren einer erhöhten Temperatur ausgesetzt wird.

Untersuchungen von Kartal und Lebow (2000) zeigen die Bedeutung des Lignins für die Fixierung von CCA. Sie verglichen die Auswaschbarkeit von Kupfer, Chrom und Arsen unmittelbar nach der Tränkung bzw. nach 14 Tagen Lagerung für Druckholz und normal gewachsenes Holz. Druckholz entsteht im Bereich von Verkrümmungen (Innenradius) und weist höhere Ligningehalte und eine veränderte Zusammensetzung

der Kohlenhydrate auf. Unmittelbar nach Behandlung waren Kupfer, Chrom und Arsen aus Druckholz weniger auswaschbar als aus normal gewachsenem Holz, nach 14 Tagen Fixierdauer waren die Auswaschverluste einheitlich.

Waldron und Cooper (2001) beschreiben ein mathematisches Verfahren zur Modellierung der Cr(VI)-Freisetzung aus CCA-behandeltem, unfixiertem Holz, mit dem die durch Auswaschen zu erwartende Cr(VI)-Freisetzung bestimmt werden kann. Dieses Modell lässt sich auch auf Kupfer und Arsen erweitern (Waldron und Cooper, 2002).

Bei Präparaten, die Kupfer in Kombination mit Aminen enthalten, liegt Kupfer durch das Amin in löslicher Form vor. Im Holz entstehen Kupfer-Amin-Holz-Komplexe und wasserunlösliche Komplexe des Kupfers mit Lignin und Hemicellulose. Außerdem bindet der Aminstickstoff an Hydroxylgruppen von Cellulose. Durch weitere Reaktionen werden die Amine freigesetzt und entweichen. Das enthaltene Amin bestimmt die Stabilität, Polarität und Löslichkeit des Amino-Kupfer-Komplexes und damit die Fixierung des Kupfers. Amine mit höherer Molmasse steigern die Auswaschbeständigkeit des Kupfers. Lucas und Ruddick (2002) behandelten Holz mit Kupfer-Monoethanolamin- und Kupfer-Ethylendiamin-Lösungen in verschiedenen Mischungsverhältnissen und führten anschließend Auswaschversuche durch. Die Auswaschverluste waren bei Zusatz von Monoethanolamin geringer als bei Ethylendiamin. Das optimale Mischungsverhältnis lag bei 6 : 1 (Monoethanolamin : Kupfer).

Bei Präparaten auf der Basis von quartären Ammoniumverbindungen und CuHDO fallen im Holz schwer lösliche Verbindungen aus. DDAC reagierte in Laborversuchen schnell mit Lignin- und Cellulose-Modellsubstraten, wobei Reaktionen mit Lignin bevorzugt abliefen. Das nicht gebundene DDAC war dann jedoch leicht auswaschbar. Man nimmt an, dass die schnelle Bindung der quartären Ammoniumverbindungen Ursache für deren geringes Eindringvermögen ist.

Organische Holzschutzmittelwirkstoffe, die in lösemittelbasierten Formulierungen ins Holz eingebracht werden, verbleiben nach dem Verdunsten des Lösungsmittels aufgrund ihrer geringen Wasserlöslichkeit im Holz.

Zur Kontrolle der erreichten Holzschutzmittelfixierung können verschiedene Verfahren eingesetzt werden. Auswaschtests sind naheliegend, erfordern allerdings auch einigen Aufwand zur Analyse der freigesetzten Wirkstoffe. In einem einfachen Verfahren kann

vor Ort noch unfixiertes Cr(VI) durch Reagenzierung mit Diphenylcarbazid nachgewiesen werden. In den Niederlanden wurde das „shower-test“-Verfahren entwickelt, u.a. um auf Lagerplätzen festzustellen, ob kupferhaltige Holzschutzmittel ausreichend fixiert sind (Havermans et al., 1993, Esser et al., 2002).

Grundsätzlich wird ein hoher Fixierungsgrad innerhalb einer kurzen Zeit nach der Applikation des Holzschutzmittels angestrebt, um eine langfristige Wirksamkeit der Holzschutzmittelbehandlung zu sichern, erforderliche Lagerzeiten kurz zu halten, aber auch um Emissionen in die Umwelt zu vermeiden. Von besonderer gesundheitlicher Bedeutung ist die Umwandlung des als krebserregend beschriebenen Cr(VI) in Cr(III). Aus diesen Gründen wurden Faktoren, die die Fixierung von Holzschutzmitteln beeinflussen, untersucht und Verfahren zur Fixierung von Holzschutzmitteln optimiert.

Die aus der Literatur bekannten Einflussfaktoren lassen sich nach Einflüssen des Holzes, der Holzschutzmittelbehandlung und der Lagerbedingungen gruppieren. Einflussfaktoren des Holzes sind Holzart, pH-Wert, Ligningehalt, extrahierbare Bestandteile, Holzfeuchte und die Dimension des behandelten Holzes. Bei der Behandlung wirken sich Einbringmenge, Einbringverfahren und Formulierung aus. Wichtige Parameter bei der Lagerung sind Temperatur, Luftfeuchte und Lagerdauer.

Die Holzfeuchte hat insbesondere dann Bedeutung, wenn die Auswaschung der Wirkstoffe durch Diffusion gegen einen Konzentrationsgradienten erfolgt. Zum Beispiel für Borate, die generell sehr leicht auswaschbar sind, wird deren Auswaschbarkeit mit steigender Holzfeuchte erhöht (Peylo und Willeitner, 2001).

Auch die Holzfeuchte bei der Behandlung kann Einfluss auf die spätere Auswaschbarkeit haben. So konnte Mazela (2000) zeigen, dass bei Rundhölzern, die bei Holzfeuchten von 12, 28 bzw. 55 % mit einem CKB-Salz behandelt wurden, in Auswaschversuchen nach EN 84 die prozentualen Kupfer-, Chrom- und Bor-Verluste mit der Holzfeuchte bei der Behandlung stiegen. Er führt dies darauf zurück, dass bei höherer Holzfeuchte die Wirkstoffkonzentrationen in den oberflächennahen Schichten durch Umverteilung während der Trocknungsphase erhöht waren.

Um unterschiedliche Laborverfahren zur Ermittlung von Holzschutzmittelemissionen in Wasser zu vergleichen, haben Habicht et al. mit verschiedenen Holzschutzmitteltypen (CX, ammoniakalisches Kupfer/Quat, CCA und CX in Kombination mit einem Triazol) Auswaschversuche nach EN 84, dem AWPA-Standard E11 sowie dem Japanischen

Standard JIS K 1571 durchgeführt und Kupfer in den Auswaschwässern analysiert. Dabei wurden auch die Fixierdauer und die Feuchtebedingungen während der Fixierung variiert. Die Auswaschverluste waren höher, wenn die Prüfkörper sofort offen bei normalem Raumklima, und nicht - wie nach EN 113 üblich - in der Anfangsphase geschlossen bei hoher Luftfeuchte gelagert wurden.

Mit dem Ziel, Emissionen aus behandeltem Holz in Wasser unmittelbar nach der Behandlung zu minimieren, hat die American Wood Preservers' Association (AWPA) eine Studie zur Fixierung verschiedener kupferhaltiger Holzschutzmittel (ammoniakalisches Kupfer-Zink-Arsenat, CCA, CC, ammoniakalisches Kupfer/Quat, Cu/Triazol, Cu/Triazol/Bor) veranlasst, an der sich 3 Holzschutzmittelhersteller beteiligt haben. Für die Untersuchungen wurden Prüfkörper behandelt, aus denen Teilproben entnommen und zu 7 definierten Zeitpunkten innerhalb von 28 Tagen für 4 Stunden unter statischen Bedingungen ausgewaschen wurden. In den Auswaschwässern und den Prüfkörpern wurden Kupfer bzw. auch Chrom analysiert. Ursprünglich wurden Freilandexperimente durchgeführt. Um die Fixierungsbedingungen genauer kontrollieren zu können und die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, ist man zu Laborversuchen übergegangen. Die Prüfkörper bzw. Teilproben wurden bei hoher Luftfeuchte in geschlossenen Gefäßen bei 4 °C, 22 °C bzw. 50 °C konditioniert. Außerdem wurden die Laborversuche mit bis zu 3 verschiedenen Einbringmengen durchgeführt. In allen Beispielen hat sich gezeigt, dass die Fixierung von Kupfer mit abnehmender Temperatur und steigender Einbringmenge verzögert wird. Lediglich bei den niedrigsten untersuchten Einbringmengen bzw. auch bei höheren Temperaturen waren zum Teil keine Unterschiede erkennbar. Für die einzelnen Versuche wurden die Daten der Wirkstoffverluste extrapoliert und der Zeitpunkt ermittelt, wann die Wirkstoffverluste bei einer bestimmten Einbringmenge und Fixierungstemperatur ein gleichbleibendes Niveau erreicht haben. Dieser Zeitpunkt wurde als Fixierdauer definiert. Aus den Daten zur Fixierdauer bei einer bestimmten Temperatur lassen sich wiederum Funktionen ableiten, aus denen die erforderliche Fixierdauer für eine bestimmte Einbringmenge und Lagertemperatur festgelegt werden kann. Es ist vorgesehen, dieses Verfahren als AWPA-Standard vorzuschlagen. (Pasek, 2003)

2 Methodenvorschlag für ein Laborverfahren zur Ermittlung der Mindestfixierdauer für Holzschutzmittel mit DIBt-Zulassung für die Gefährdungsklassen 3 und 4

(1) Ziel und Anwendungsbereich

Die Mindestfixierzeiten werden nach dem hier beschriebenen Verfahren ermittelt und mit dem Zulassungsantrag der begutachtenden Stelle vorgelegt. Die Daten werden in festgelegter Form ins Technische Merkblatt (TM) übernommen. Die Zulassung enthält einen Hinweis auf die Daten im TM. Das Verfahren wird nur für Holzschutzmittel (HSM), die die Voraussetzungen (Prüfgrundsätze des DIBt) für die Zulassung in GK 3 und 4 erfüllen, angewandt.

(Das Verfahren dient nicht dazu den Status „fixierend“ oder „nicht fixierend“ festzulegen und ebenso wenig zur Ermittlung potentieller Emissionen.)

Für die Angabe der Mindestfixierzeiten im TM gelten allgemein 4 Stufen: 2 Tage, 7 Tage, 14 Tage und 28 Tage. Die Fixierzeiten sind für zwei Temperaturbereiche – „Tageshöchsttemperatur dauerhaft über 20 °C“ und „Tageshöchsttemperatur dauerhaft unter 5 °C“ – anzugeben.

(2) Prinzip

Probehölzer werden mit Schutzmittellösung gemäß der in der Praxis vorgesehenen Verfahren behandelt. Nach Lagerung bei Temperaturen von 20 °C und 5 °C werden die behandelten Prüfkörper und unbehandelte Kontrollproben einer Auswaschbeanspruchung in Anlehnung an ENV 1250-2 unterzogen und die Eluate auf ihre Wirkstoffgehalte untersucht. Aus den Analysenwerten der fixierenden Wirkstoffe werden die Fixierungsgrade berechnet und Mindestfixierzeiten abgeleitet.

(3) Prüfmittel

3.1 Probehölzer (Anforderungen entsprechend EN 113, 6.1 – 6.4)

Die Probehölzer werden aus gehobelten Latten (Splintholz der Kiefer *Pinus sylvestris* L.) mit einem Querschnitt von 25 x 15 [mm²] geschnitten, die aus 3 verschiedenen Bäumen stammen. Die Probehölzer aus jeder Latte werden jeweils fortlaufend markiert. Die Probehölzer werden mindestens 4 Wochen im Klimaraum gelagert.

Anzahl der Probehölzer:

Für die Prüfung eines Holzschutzmittels werden für jede Tränkart mindestens 3 behandelte Prüfkörper je Lagertemperatur und je Lagerzeit verwendet (Bsp.: KVD-Produkt – 24 Prüfkörper). Außerdem werden 3 unbehandelte Kontrollproben benötigt.

3.2 Wasser

Für die Auswaschungen wird destilliertes/entionisiertes Wasser verwendet. Entionisiertes Wasser besitzt üblicherweise leicht saure pH-Werte (5,5 – 6,5).

3.3 Geräte und Ausrüstung (entsprechend ENV 1250-2, 6.1 – 6.12)

- Klimaraum (Temperatur: 20 °C ± 2, rel. Luftfeuchte: 65 % ± 5) zur Konditionierung der Probehölzer und Lagerung der behandelten Prüfkörper
- Kühltank zur Lagerung der behandelten Prüfkörper bei 5 °C
- Vakuum-Exsikkatoren und Vakuumpumpe mit Druckmessgerät
- Chemisch inerte Gewichte
- Inerte Tränkgefäße
- Inerte Versuchsgefäße (z.B. Bechergläser)
- Magnetrührwerk, Magnetrührer, Gestell (zur Sicherstellung der freien Beweglichkeit des Magnetrührers am Boden des Versuchsgefäßes)
- Inerte Gefäße zur Aufbewahrung der gewonnenen Eluate

(4) Durchführung**4.1 Identität des Holzschutzmittels**

Die Probe des Holzschutzmittels muss für das zu prüfende Produkt repräsentativ sein. Die Untersuchung der Holzschutzmittel vor der Imprägnierung erfolgt gemäß den QS-Prüfvorschriften des Herstellers und umfasst in jedem Fall die Analyse der Wirkstoffe. (Alle übrigen Bestandteile werden zwischen begutachtender Stelle und Antragsteller vertraulich behandelt.)

4.2 Abdichten des Hirnholzes

Für die Prüfung von Tauchprodukten sind die Hirnflächen der Probehölzer nach deren Konditionierung abzudichten. Dazu sind 3 Schichten eines geeigneten Abdichtungsmittels aufzutragen. Zwischen Abdichten und Tauchen der Probehölzer muss mindestens eine Woche liegen.

4.3 Tränkung

4.3.1 Tränkung mit KVD-Produkten

Die Probehölzer werden auf 0,01 g abgewogen und entsprechend EN 113 - 7.1.22 getränkt. Das Schutzmittel ist in einer Konzentration anzuwenden, die eine Aufnahmemenge an Schutzmittel, die dem kritischen Wert (doppelter Wert der zugelassenen Einbringmenge - kg HSM/m³ Gesamtholz) entspricht, sicherstellt. Die Aufnahmemengen sind für jedes Probeholz festzuhalten. Die zulässige Abweichung von der mittleren Aufnahme beträgt 15 %.

4.3.2 Tauchprodukte (Trogtränkung)

Die an den Hirnflächen geeignet abgedichteten Probehölzer werden auf 0,01 g abgewogen und für mindestens 24 Stunden getaucht. Das Schutzmittel ist in einer Konzentration anzuwenden, mit der die Solleinbringmenge an Schutzmittel sichergestellt wird. Die Aufnahmemengen sind für jedes Probeholz festzuhalten. Die zulässige Abweichung von der mittleren Aufnahme beträgt 15 %.

4.4 Lagerung (entsprechend EN 113, 7.1.3)

Die Prüfkörper (behandelte Probehölzer) werden unmittelbar nach dem Auswiegen in Exsikkatoren auf ihren Schmalflächen gelagert. (Auf die vorgesehene Lagerung über Xylol zur Vermeidung von Schimmelpilzwachstum kann im allgemeinen verzichtet werden.)

Die Lagerzeiten und -temperaturen sind wie folgt festgelegt:

Lager-/Fixierzeiten: 2, 7, 14 und 28 Tage

Lager-/Fixiertemperaturen : 5 °C (Kühlschrank) und 20 °C (Klimaraum)

4.5 Auswaschung (in Anlehnung an ENV 1250-2, 9.3.3)

Zur Festlegung der Rührgeschwindigkeit des Magnetrührers wird das Versuchsgefäß mit 100 mL destilliertem/entionisiertem Wasser sowie Magnetrührer ausgestattet und die Drehzahl des Magnetrührwerkes so geregelt, dass die Höhe des Strudels 50 % der Gesamthöhe des gerührten Wassers beträgt.

Nach dem Lagern werden die Prüfkörper (3 für jeden Zeitpunkt und jede Lagertemperatur) und Kontrollproben (3 nach 2 Tagen Lagerung bei 20 °C) gewogen und jeweils mit 100 mL destilliertem/entionisiertem Wasser mit einer Temperatur von 20 ± 2 °C 1 Stunde unter Rühren mit der ermittelten Drehzahleinstellung ausgewaschen. Das Eluat

wird in ein separates, verschließbares Gefäß überführt und bis zur analytischen Untersuchung im Kühlschrank aufbewahrt. Die ausgewaschenen Prüfkörper werden gewogen. Die analytische Untersuchung der Eluate muss in einem zeitlichen Abstand zur Auswaschung erfolgen, der eine Veränderung der Wirkstoffgehalte ausschließt. In Zweifelsfällen ist dies durch Bestimmung der Stabilität der Wirkstoffe in den Eluaten sicherzustellen.

4.6 Untersuchung der Eluate

Die in dem Eluat enthaltenen Mengen an Wirkstoffen werden analytisch bestimmt. Die ausgewaschenen Wirkstoffmengen für jeden Prüfkörper einer Serie werden berechnet (in mg Wirkstoff/Prüfkörper). Die Ergebnisse für die Kontrollproben werden gemittelt und der Mittelwert wird vom Analysenergebnis für jeden Prüfkörper abgezogen. Dies ergibt die ausgewaschene Wirkstoffmenge A.

(5) Auswertung

Für jeden Versuchszeitpunkt t_x wird der Fixierungsgrad für jeden Prüfkörper berechnet:

$$\text{Gleichung 1: } \mathbf{FG = (E - A)/E \times 100 \text{ [\%]}}$$

E = Eingebachte Wirkstoffmenge [mg]/Prüfkörper

A = Ausgewaschene Wirkstoffmenge [mg]/Prüfkörper

FG = Fixierungsgrad [%]

Die Einzelwerte werden zu einem mittleren Fixierungsgrad FG_m gemittelt:

$$\text{Gleichung 2: } \mathbf{FG_m = \sum_{1-3} FG/3}$$

Der Fixierungsindex zum Zeitpunkt t_x wird wie folgt berechnet:

$$\text{Gleichung 3: } \mathbf{FI = FG_m/FG_{max} \times 100}$$

FI = Fixierungsindex

FG_m = mittlerer Fixierungsgrad

FG_{max} = maximaler Fixierungsgrad

Der maximale Fixierungsgrad entspricht dem höchsten im Versuchszeitraum ermittelten mittleren Fixierungsgrad.

(6) Prüfbericht

Der Prüfbericht soll enthalten:

- a) Hinweis auf das Verfahren
- b) Bezeichnung und Art des Holzschutzmittels
- c) Wirkstoffgehalte
- d) Holzart (mittlere Rohdichte)
- e) Abdichtungsmittel
- f) Tränkparameter (Verdünnungsmittel, Konzentration, Datum)
- g) Lagerbedingungen
- h) Für jedes Probehholz die aufgenommene Menge an Holzschutzmittel in mg je Prüfkörper und in kg/m^3 bzw. g/m^2
- i) Auswaschungen (Datum, Wasserbeschaffenheit)
- j) Aufbewahrung der Eluate
- k) Für jeden Prüfkörper die ausgewaschenen Mengen an Wirkstoffen in mg sowie die Fixierungsgrade in %
- l) Für jede Serie von Prüfkörpern den mittleren Wirkstoffverlust, den mittleren Fixierungsgrad sowie den mittleren Fixierungsindex.

3 Material und Methoden

3.1 Laborversuche zur Ermittlung der Mindestfixierdauer für Holzschutzmittel

3.1.1 Holzschutzmittel

Die in die Untersuchungen einbezogenen Holzschutzmittel sind in Tabelle 1 gelistet. Es wurden ausnahmslos wasserbasierte Konzentrate ausgewählt, die durch Kesseldruck- bzw. Trogränkung ins Holz einzubringen sind. Als biozide Wirkstoffe sind in den ausgewählten Holzschutzmitteln Kupfer- und Borverbindungen, quartäre Ammoniumverbindungen, Triazole bzw. CuHDO enthalten

3.1.2 Prüfkörper

Die Prüfkörper aus Kiefernspiltholz (*Pinus sylvestris*, 5 cm * 2,5 cm * 1,5 cm) entsprechen den Proben, die in Wirksamkeitsprüfungen für Holzschutzmittel (z.B. EN 113) verwendet werden. Das bedeutet, dass die Prüfkörper 2,5 bis 8 Jahrringe je cm aufweisen, harzfrei waren und die Jahrringe nicht parallel zu den breiten Seitenflächen verliefen.

Die Versuchsserien wurden so zusammengestellt, dass zu jedem Versuchszeitpunkt Prüfkörper aus identischen Serien untersucht wurden, wobei die Serien aus mindestens 2 verschiedenen Stämmen und 3 verschiedenen Leisten stammten.

Tabelle 1: Zusammensetzung der untersuchten Holzschutzmittel

Nr.	Holzschutzmitteltyp	Wirkstoffe
1	CKB-Salz	8,7 % Kupfer 4,4 % Bor 13,4 % Chrom (zur Fixierung)
2	Quat-Präparat	50 % Benzalkoniumchlorid
3	chromfreies Kupferpräparat	0,625 % CuHDO 0,71 % Kupfer
4	chromfreies Kupferpräparat	6,1 % CuHDO 5,75 % Kupfer 0,7 % Bor
5	chromfreies Kupferpräparat	10,0 % Kupfer 0,87 % Bor 1,8 % Propiconazol
6	Quat/Triazol-Präparat	18,8 % DDAC 1,9 % Propiconazol

3.1.3 Imprägnierverfahren

Behandlungsverfahren und Einbringmengen wurden anhand der bauaufsichtlichen Zulassungen für die Gefährdungsklasse 3 bzw. – wenn dafür vorgesehen – für GK 4 festgelegt. Bei Holzschutzmitteldruckimprägnierungen der Splintholzprüfkörper wurden die erforderlichen Mindestmengen gemäß EN 599-1 berücksichtigt.

Die Holzschutzmittel wurden durch Vakuumtränkung (entsprechend EN 113, Pkt. 7.1.22) bzw. 24stündiges Tauchen in Holzschutzmittellösung eingebracht. Die eingebrachten Mengen wurden für jeden Prüfkörper einzeln durch Wägen ermittelt. Bei nachfolgenden Berechnungen wurden die Daten für die einzelnen Prüfkörper zugrunde gelegt. Die Wirkstoffgehalte der Prüfkörper wurden aus den eingebrachten Mengen und den für das jeweilige Produkt angegebenen Konzentrationen berechnet.

Nähere Angaben zur Behandlung der Prüfkörper sind Tabelle 2 zu entnehmen.

Tabelle 2: Einbringmengen

Produkt	HSM-Typ	Behandlungsart	auf- bzw. eingebrachte Menge Mittelwert +/- σ
1	CKB	Vakuumtränkung	16,6 +/- 0,4 kg/m ³
		Tauchen	88 +/- 13 g/m ²
2	Quat	Vakuumtränkung	14,0 +/- 0,6 kg/m ³
		Tauchen	71 +/- 6 g/m ²
3	Cu-HDO	Tauchen	419 +/- 9 g/m ²
4	Cu-HDO	Vakuumtränkung	6,2 +/- 0,1 kg/m ³
5	Cu/Triazol/B	Vakuumtränkung	6,5 +/- 0,2 kg/m ³
6	DDAC/Propiconazol	Tauchen	52 +/- 9 g/m ²

3.1.4. Konditionierung der behandelten Prüfkörper

Die Konditionierung der Prüfkörper erfolgte nach den Vorgaben der EN 113, wobei die Prüfkörper bei 5 bzw. 20 °C für 2, 7, 14 und 28 Tage gelagert wurden. Ein Teil der Prüfkörper wurde zeitweise bei erhöhter Luftfeuchte gelagert. Für diese Prüfkörper wurden nach Konditionierung bei der vorgeschriebenen Luftfeuchte zusätzlich zu späteren Zeitpunkten die Fixierungsgrade bestimmt. Diese zusätzlichen Zeitpunkte sind dem Ergebnisteil zu entnehmen.

3.1.5 Emissionsversuche

Zu den 4 festgelegten Untersuchungszeitpunkten wurden 5 Prüfkörper einzeln so in Gefäßen auf einem Gestell angeordnet, dass alle emittierenden Flächen für Wasser zugänglich waren und ein Magnetrührer frei rotieren konnte. Aufschwimmende Proben wurden beschwert. Das Wasservolumen betrug 2,5 mL/cm² Prüfkörperoberfläche.

Wasser:	in allen Versuchen wurde entionisiertes Wasser verwendet, der pH-Wert lag bei 5,6
Temperatur:	20 - 22 °C
Kontrollversuche:	unbehandelte Prüfkörper
Parallelversuche:	5
Versuchsdauer:	1 h für jeden Auswaschversuch

Die Versuche wurden mit einem Vielfach-Magnetrührer Typ Variomag HP 6 (H + P Labortechnik GmbH) durchgeführt. Die Rührgeschwindigkeit wurde für den Versuchsansatz ohne Proben so eingestellt, dass die Höhe des entstehenden Strudels die Hälfte der Gesamthöhe des gerührten Wassers beträgt. Die ermittelte Rührgeschwindigkeit (ca. 650 - 700 rpm) wurde vermerkt und für die Versuche eingestellt.

Die Eluate wurden in separate Gefäße überführt und in Abhängigkeit von den enthaltenen Wirkstoffen analysiert.

3.2 Mess- und Analyseverfahren

3.2.1 Bestimmung von Kupfer und Chrom

a) Atomabsorptionsspektrometrie zur Kupferbestimmung (DIN 52 161 Teil 7, DIN 38 406 Teil 7) Die Wasserproben wurden mit einigen Tropfen verdünnter HNO₃ angesäuert und am Atomabsorptionsspektrometer (UNICAM 969 AA spectrometer) analysiert.

Bestimmungsgrenze: 0,5 mg/L für Kupfer

b) Atomemissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES) (DIN EN ISO 11 885) Die Wasserproben wurden nach dem jeweiligen Auswaschvorgang sofort in Glasgefäße abgefüllt und bis zur analytischen Bestimmung von

Chrom und Kupfer bei etwa 4 °C gelagert. Die Elementbestimmungen erfolgten dann am ICP-OES (SPECTROFLAME Modula).

Bestimmungsgrenze: 0,01 mg/L für Kupfer und Chrom

3.2.2 Bor-Bestimmung

Die Wasserproben wurden nach dem jeweiligen Auswaschvorgang sofort in Glasgefäße abgefüllt und bis zur analytischen Bestimmung von Bor bei etwa 4 °C gelagert. Die Elementbestimmung erfolgte durch Atomemissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma am ICP-OES (SPECTROFLAME Modula) gemäß DIN EN ISO 11885.

Bestimmungsgrenze: 0,01 mg/L für Bor

3.2.3 Bestimmung von quartären Ammoniumverbindungen

Die quartären Ammoniumverbindungen wurden nach Komplexbildung mit Bromphenolblau photometrisch bestimmt (Shimadzu UV-2101 PC bzw. Beckman DU 640 spectrophotometer).

Bestimmungsgrenze: 1 mg/L für Benzalkoniumchlorid und 2 mg/L für DDAC

3.2.4 Bestimmung von Kupfer-HDO

Die Probenanreicherung erfolgte durch Festphasenextraktion, die analytische Bestimmung mittels HPLC-Verfahren.

Probenvorbereitung (Festphasenextraktion)

Kartuschen:	Strata X 33 µm Polymeric Sorbent 60 mg/3 mL (Phenomenex)
Konditionieren:	2 mL Methanol, danach 2 mL entionisiertes Wasser
Probenvolumen:	20 mL
Spülen:	2 mL entionisiertes Wasser und 5 % Methanol
Trockensaugen:	1 min
Elution:	2 mL Methanol

Die Proben wurden mit Methanol auf 2 mL aufgefüllt und in Bördelgläser überführt.

HPLC-Verfahren

HPLC-Anlage:	modulares System, Knauer
Säule:	Luna 5 µm C 18(2) 4,6 x150 mm
Injektion:	10 µL
Temperatur:	40 °C
Eluent:	55 % 0,05 M KH ₂ PO ₄ + 45 % Methanol (pH 2,5 mit konz. H ₃ PO ₄ eingestellt)
Flussrate:	1,0 mL/min
Detektion:	UV-Detektor bei 229 nm

Retentionszeit: 5,63 min

Bestimmungsgrenze: 0,4 mg CuHDO/L

3.2.5 Bestimmung von Propiconazol

Die Probenanreicherung erfolgte entweder durch Festphasenextraktion und analytische Bestimmung mittels GC/FID oder durch GC/MS-Messung im Anschluss an eine Flüssig-Flüssig-Extraktion.

Probenvorbereitung

a) Festphasenextraktion

Kartuschen: Strata X 33 µm Polymeric Sorbent 60 mg/3 mL
(Phenomenex)
Konditionieren: 2 mL Methanol, danach 2 mL entionisiertes Wasser
Probenvolumen: 20 mL
Spülen: 2 mL entionisiertes Wasser und 5 % Methanol
Trockensaugen: 3 min
Elution: 2 mL Aceton

Die Proben wurden mit Aceton auf 2 mL aufgefüllt und in Bördelgläser überführt.

b) Flüssig-Flüssig-Extraktion

Probenvolumen: 50 mL
Extraktion: 2x mit 20 mL n-Hexan jeweils 5 min schütteln
Endvolumen: 50 mL
Konzentrierung: 5 bzw. 8 mL werden schonend unter einem Stickstoffstrom auf 1 mL eingengt

Die Proben wurden nach Zugaben eines internen Standards in Bördelgläser überführt.

Messverfahren

a) GC/FID-Methode

Gaschromatograph: HP 5890 Series II mit Flammenionisationsdetektor
Säule: HP-5 (crosslinked 5% Ph-Me-Siloxane; Filmdicke: 0,25 µm; Länge: 15 m; Ø (innen): 0,25 mm)
Injektion: 1 µL, splitless, 250 °C
Temperaturprogramm: 100 °C (0,5 min) 20 °/min bis 200 °C, 10 °/min bis 280 °C (3 min)
Trärgas: Helium (1 mL/min)
Retentionszeit: 8,89 und 8,99 min
Bestimmungsgrenze: 0,04 mg/L

b) GC/MS-Methode

Gaschromatograph: HP 5890 Series II mit massenselektivem Detektor
Säule: HP-5 (crosslinked 5% Ph-Me-Siloxane; Filmdicke: 0,25 µm; Länge: 30 m; Ø (innen): 0,25 mm) und Vorsäule

Injektion:	1 µL, splitless, 250 °C
Detektor:	MSD (280°C)
Temperaturprogramm:	100 °C (1 min) 12 °/min bis 260 °C (5 min)
Trägergas:	(0,9 mL/min)
Retentionszeit:	ca. 15,00 min
Bestimmungsgrenze:	0,2 mg/L

3.3 Datenverarbeitung und Darstellung der Ergebnisse

Die Daten aus den Auswaschversuchen wurden mit dem Programm „Microsoft Excel 97“ bearbeitet. Aus den Analysenwerten wurden prozentuale Wirkstoffverluste ermittelt. Die Differenz zur eingesetzten Menge ergibt den Restgehalt bzw. den Fixierungsgrad. Der Fixierungsindex wurde als Quotient aus dem Fixierungsgrad zum Zeitpunkt x und dem maximalen Fixierungsgrad berechnet. In den graphischen Darstellungen wurden die Daten in Abhängigkeit von der Fixierdauer extrapoliert.

4 Ergebnisse

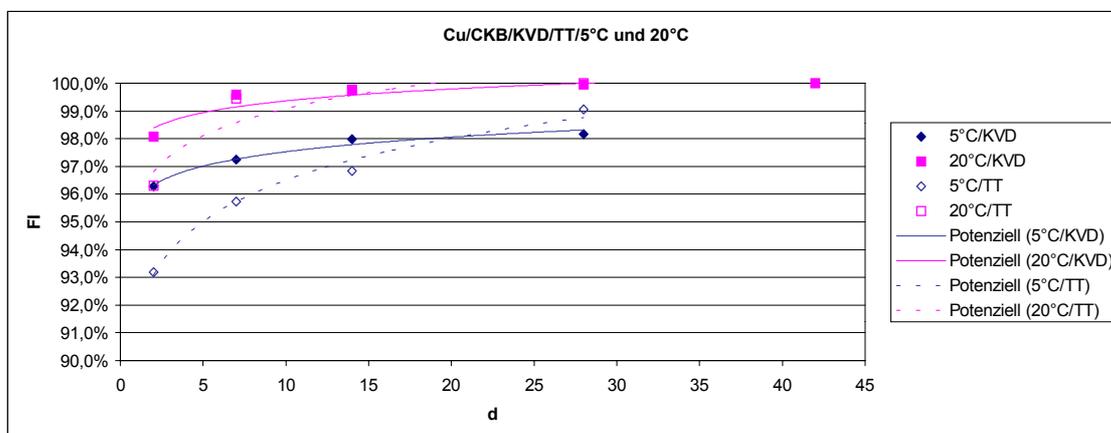
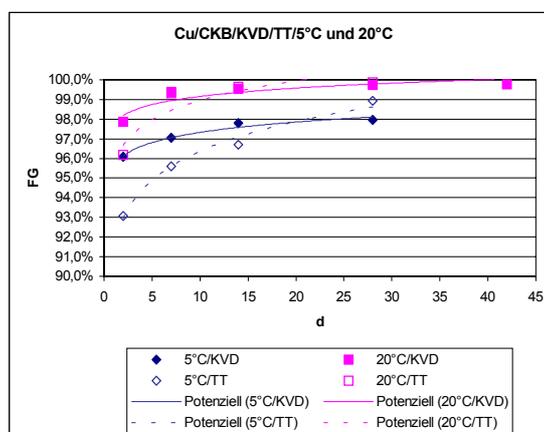
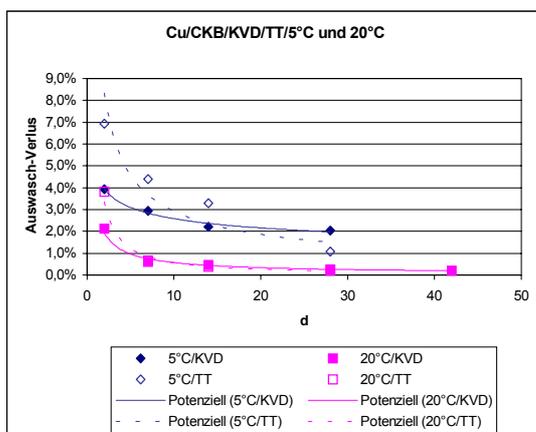
Die Ergebnisse der Laborversuche zum Fixierungsverlauf der einzelnen Produkte sind unter 4.1 bis 4.5 dargestellt. Weitere Daten sind den Anhängen 1 bis 5 zu entnehmen.

4.1 Fixierung eines CKB-Salzes nach Vakuum- und Trogrückung

4.1.1 Kupfer

Holzschutzmittel: CKB
 Wirkstoff: Cu
 Verfahren: KVD/TT
 Temperatur: 5°C/20°C
 FG_{max} (20°C): 99,8% KVD
 99,9% TT

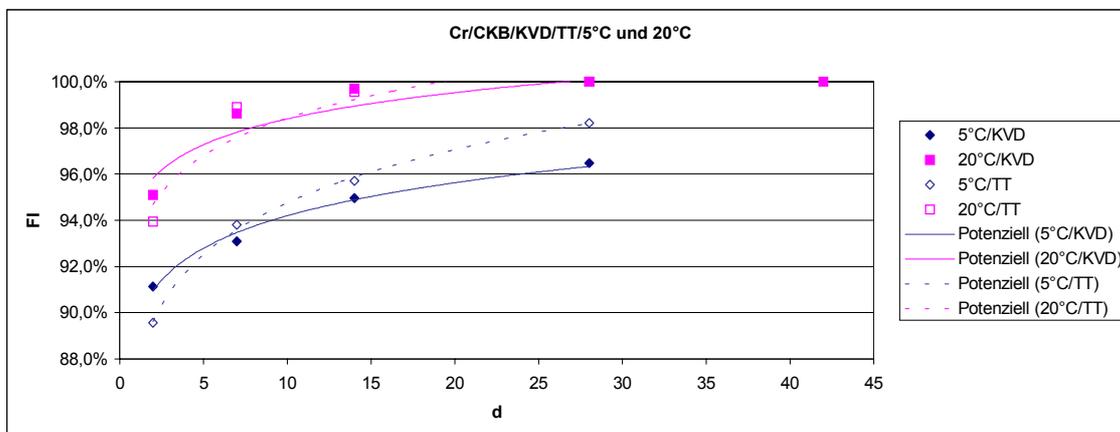
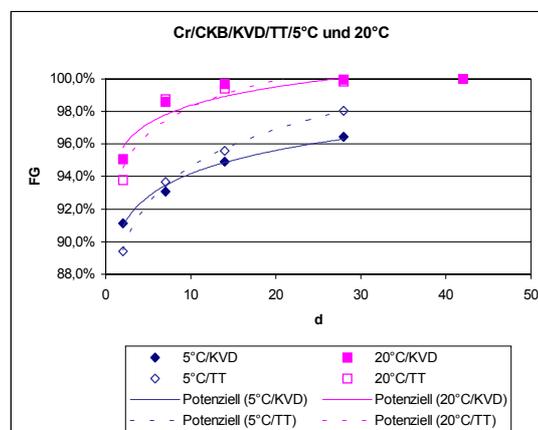
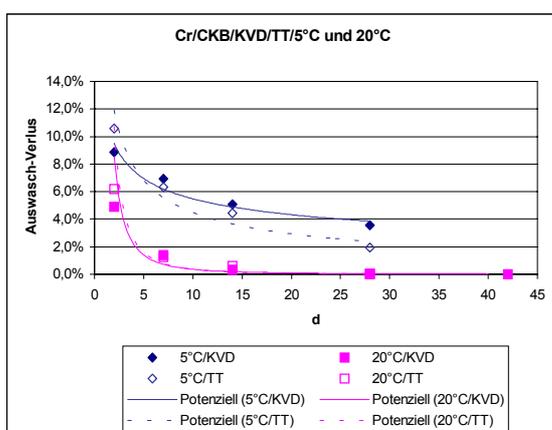
Fixierzeit d	Behandlung	Fixiertemperatur °C	Fixierung von Cu (n=3)					
			FG	FI	Verlust			
					mg/L (Eluat)	mg/Prüfkörper	mg/m ²	
2	KVD	5	96,1%	96,3%	10,6	1,04	219	3,9%
		20	97,9%	98,1%	5,8	0,57	120	2,1%
	TT	5	93,1%	93,2%	24,1	2,38	595	6,9%
		20	96,2%	96,3%	12,3	1,22	304	3,8%
7	KVD	5	97,1%	97,3%	8,0	0,79	166	2,9%
		20	99,4%	99,6%	1,7	0,17	35	0,6%
	TT	5	95,6%	95,7%	14,1	1,40	350	4,4%
		20	99,3%	99,5%	2,4	0,24	59	0,7%
14	KVD	5	97,8%	98,0%	6,1	0,59	125	2,2%
		20	99,5%	99,7%	1,3	0,12	26	0,5%
	TT	5	96,7%	96,8%	10,2	1,01	252	3,3%
		20	99,6%	99,8%	1,2	0,12	29	0,4%
28	KVD	5	98,0%	98,2%	5,7	0,55	116	2,0%
		20	99,7%	99,9%	0,7	0,07	15	0,3%
	TT	5	98,9%	99,1%	3,7	0,36	91	1,1%
		20	99,9%	100,0%	0,4	0,04	11	0,1%
42	KVD	20	99,8%	100,0%	0,6	0,06	12	0,2%



4.1.2. Chrom

Holzschutzmittel: CKB
 Wirkstoff: Cr
 Verfahren: KVD/TT
 Temperatur: 5°C/20°C
 FG_{max} (20°C): 99,98% KVD
 99,8% TT

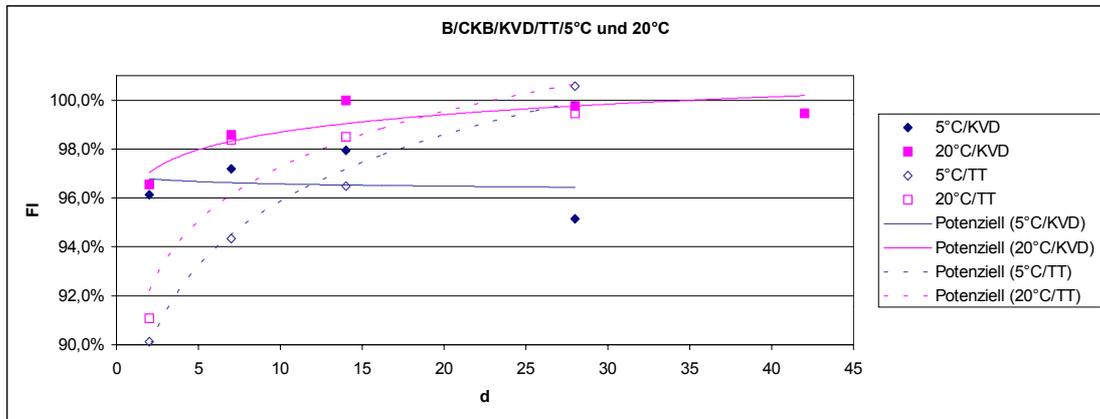
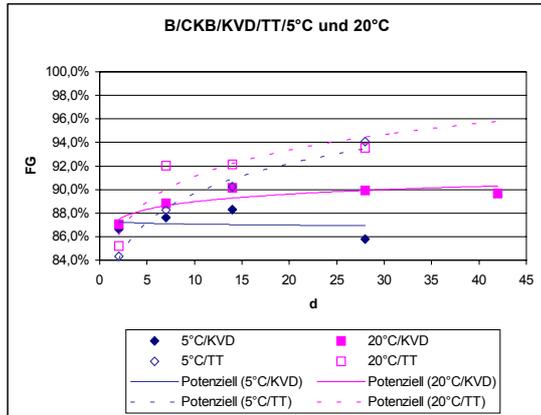
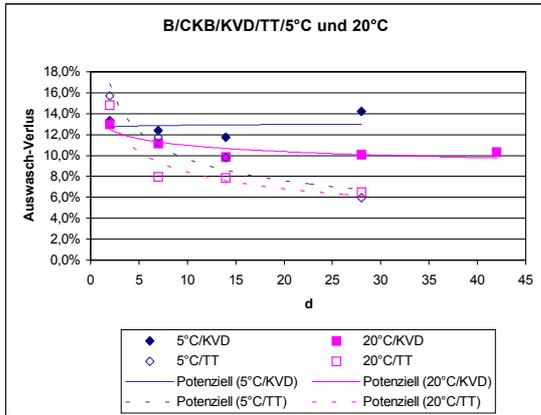
Fixierzeit d	Behandlung	Fixiertemperatur °C	Fixierung von Cr (n=3)					
			FG	FI	Verlust			
					mg/L (Eluat)	mg/Prüfkörper	mg/m ²	
2	KVD	5	91,1%	91,1%	36,5	3,59	755	8,9%
		20	95,1%	95,1%	20,5	2,02	425	4,9%
	TT	5	89,4%	89,6%	55,5	5,50	1374	10,6%
		20	93,8%	93,9%	30,3	3,00	750	6,2%
7	KVD	5	93,1%	93,1%	28,8	2,83	597	6,9%
		20	98,6%	98,6%	5,8	0,58	121	1,4%
	TT	5	93,7%	93,8%	31,3	3,10	775	6,3%
		20	98,7%	98,9%	6,6	0,65	164	1,3%
14	KVD	5	94,9%	95,0%	21,2	2,08	438	5,1%
		20	99,7%	99,7%	1,4	0,13	28	0,3%
	TT	5	95,6%	95,7%	21,2	2,09	523	4,4%
		20	99,4%	99,6%	3,0	0,29	73	0,6%
28	KVD	5	96,4%	96,5%	15,1	1,46	308	3,6%
		20	100,0%	100,0%	0,13	0,01	3	0,0%
	TT	5	98,1%	98,2%	10,3	1,00	251	1,9%
		20	99,8%	100,0%	0,82	0,08	20	0,2%
42	KVD	20	100,0%	100,0%	0,06	0,01	1	0,0%



4.1.3 Bor

Holzschutzmittel: CKB
 Wirkstoff: B
 Verfahren: KVD/TT
 Temperatur: 5°C/20°C
 FG_{max} (20°C): 90,1% KVD
 93,5% TT

Fixierzeit d	Behandlung	Fixiertemperatur °C	Fixierung von B (n=3)						
			FG	FI	Verlust			mg/m ²	%
					mg/L (Eluat)	mg/Prüfkörper			
2	KVD	5	86,6%	96,1%	18,1	1,78	376	13,4%	
		20	87,0%	96,6%	17,9	1,76	370	13,0%	
	TT	5	84,3%	90,1%	27,3	2,70	675	15,7%	
		20	85,2%	91,1%	23,7	2,35	587	14,8%	
7	KVD	5	87,6%	97,2%	17,0	1,67	352	12,4%	
		20	88,8%	98,6%	15,3	1,51	318	11,2%	
	TT	5	88,2%	94,3%	19,2	1,90	476	11,8%	
		20	92,0%	98,4%	13,8	1,37	342	8,0%	
14	KVD	5	88,3%	97,9%	16,2	1,59	335	11,7%	
		20	90,1%	100,0%	13,8	1,34	283	9,9%	
	TT	5	90,2%	96,5%	15,4	1,53	381	9,8%	
		20	92,1%	98,5%	13,1	1,28	320	7,9%	
28	KVD	5	85,8%	95,1%	20,0	1,94	408	14,2%	
		20	89,9%	99,8%	14,1	1,38	290	10,1%	
	TT	5	94,1%	100,6%	10,4	1,01	254	5,9%	
		20	93,5%	100,0%	10,9	1,05	263	6,5%	
42	KVD	20	89,7%	99,5%	14,7	1,42	299	10,3%	

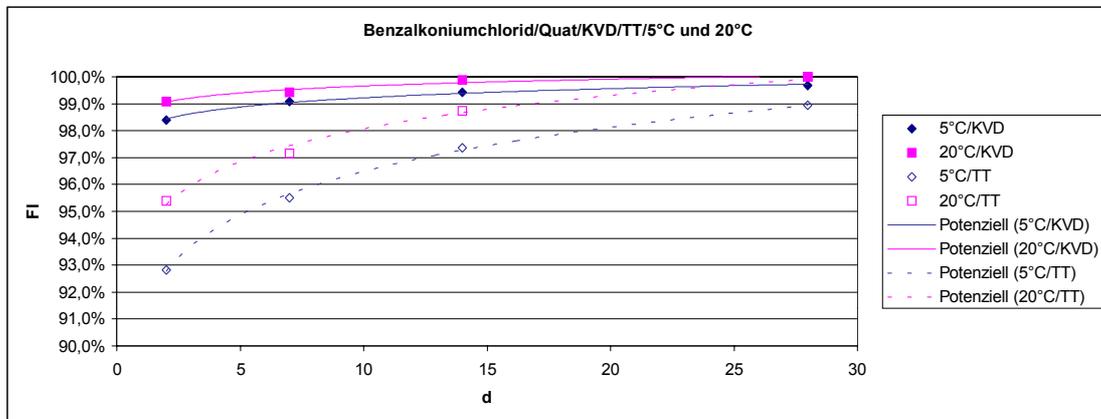
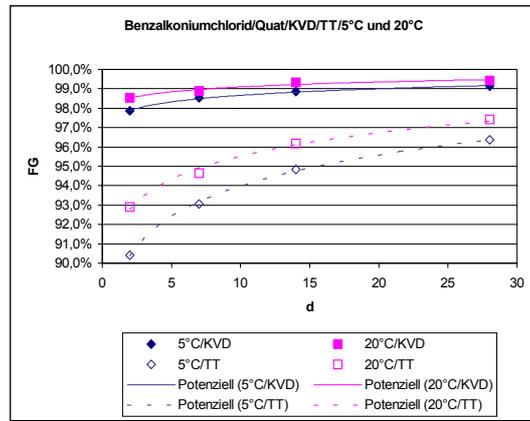
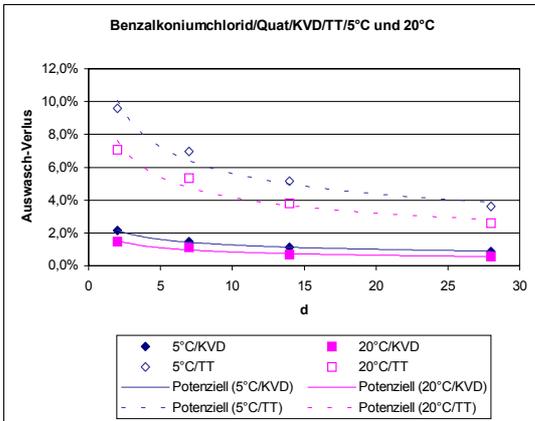


4.2 Fixierung eines Quat-Präparates nach Vakuum- und Trogrückung

4.2.1 Benzalkoniumchlorid

Holzschutzmittel: Quat
 Wirkstoff: Benzalkoniumchlorid
 Verfahren: KVD/TT
 Temperatur: 5°C/20°C
 FG_{max} (20°C): 99,4% KVD
 97,4% TT

Fixierzeit d	Behandlung	Fixiertemperatur °C	Fixierung von Benzalkoniumchlorid (n=3)					
			FG	FI	Verlust			
					mg/L (Eluat)	mg/Prüfkörper	mg/m ²	
2	KVD	5	97,9%	98,4%	28,68	2,84	598	2,1%
		20	98,5%	99,1%	19,70	1,95	411	1,5%
	TT	5	90,4%	92,8%	138,32	13,69	3423	9,6%
		20	92,9%	95,4%	104,08	10,30	2576	7,1%
7	KVD	5	98,5%	99,1%	19,76	1,96	412	1,5%
		20	98,9%	99,4%	15,10	1,49	315	1,1%
	TT	5	93,0%	95,5%	101,13	9,98	2494	7,0%
		20	94,6%	97,2%	80,45	7,94	1985	5,4%
14	KVD	5	98,9%	99,4%	15,06	1,49	313	1,1%
		20	99,3%	99,9%	9,08	0,88	186	0,7%
	TT	5	94,8%	97,4%	72,49	7,13	1782	5,2%
		20	96,2%	98,7%	56,32	5,56	1389	3,8%
28	KVD	5	99,1%	99,7%	11,89	1,16	244	0,9%
		20	99,4%	100,0%	7,56	0,74	155	0,6%
	TT	5	96,4%	98,9%	53,31	5,21	1301	3,6%
		20	97,4%	100,0%	40,04	3,94	984	2,6%

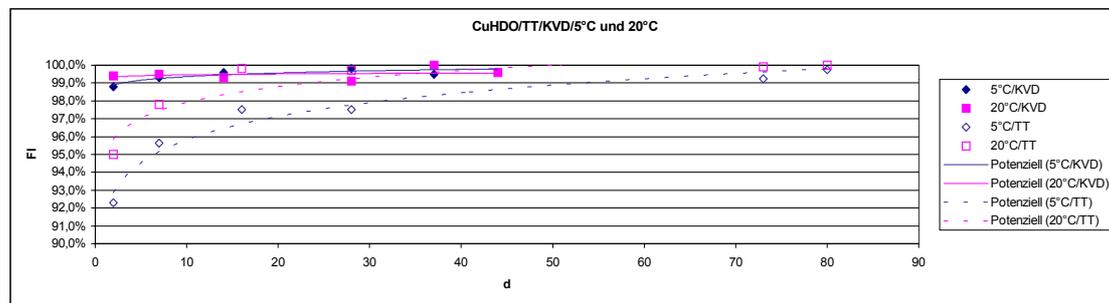
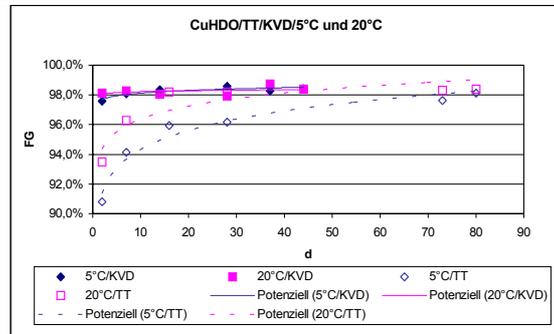
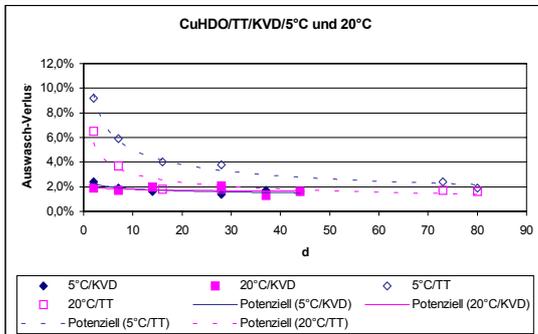


4.3 Fixierung von CuHDO-Präparaten nach Vakuum- bzw. Trogtränkung

4.3.1 Kupfer-HDO

Holzschutzmittel: Cu/CuHDO/B für TT bzw. Cu/CuHDO für KVD
 Wirkstoff: CuHDO
 Verfahren: KVD/TT
 Temperatur: 5°C/20°C
 FG_{max} (20°C): 98,7% KVD
 98,4% TT

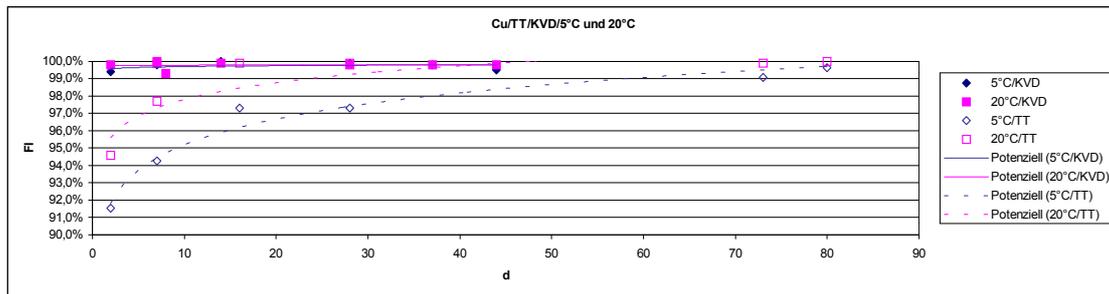
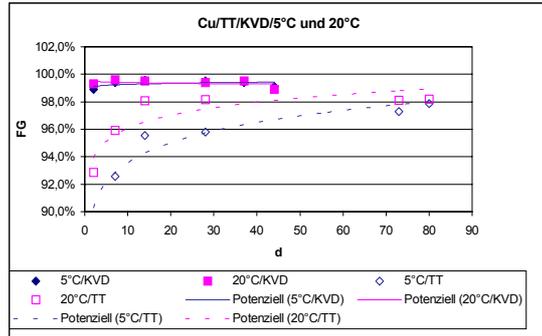
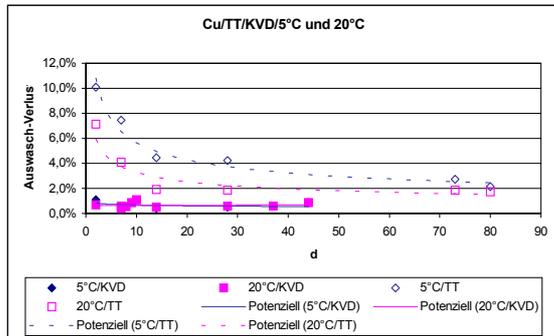
Fixierzeit d	Behandlung	Fixiertemperatur °C	Fixierung von CuHDO (n=4)					
			FG	FI	Verlust			
					mg/L (Eluat)	mg/Prüfkörper	mg/m ²	
2	KVD	5	97,6%	98,8%	1,69	0,17	36	2,4%
		20	98,1%	99,4%	1,32	0,13	28	1,9%
	TT	5	90,8%	92,3%	9,2	0,92	231	9,2%
		20	93,5%	95,0%	6,5	0,65	162	6,5%
7	KVD	5	98,1%	99,3%	1,36	0,14	29	1,9%
		20	98,3%	99,5%	1,21	0,12	25	1,7%
	TT	5	94,1%	95,7%	6,0	0,60	149	5,9%
		20	96,3%	97,8%	3,7	0,37	93	3,7%
14	KVD	5	98,4%	99,6%	1,15	0,12	24	1,6%
		20	98,0%	99,3%	1,40	0,14	29	2,0%
16	TT	5	96,0%	97,5%	4,2	0,42	104	4,0%
		20	98,2%	99,8%	1,8	0,18	45	1,8%
28	KVD	5	98,6%	99,8%	1,00	0,10	21	1,4%
		20	97,9%	99,1%	1,45	0,14	30	2,1%
	TT	5	96,2%	97,5%	3,9	0,39	98	3,8%
		20	98,2%	99,7%	1,7	0,17	43	1,8%
37	KVD	5	98,3%	99,5%	1,24	0,12	26	1,7%
		20	98,7%	100,0%	0,88	0,09	19	1,3%
73	TT	5	97,6%	99,2%	2,3	0,23	58	2,4%
		20	98,3%	99,9%	1,5	0,15	38	1,7%
44	KVD	5	98,4%	99,7%	1,10	0,11	23	1,6%
		20	98,4%	99,6%	1,10	0,11	24	1,6%
80	TT	5	98,1%	99,7%	2,0	0,20	50	1,9%
		20	98,4%	100,0%	1,7	0,17	42	1,6%



4.3.2 Kupfer

Holzschutzmittel: Cu/CuHDO/B für TT bzw. Cu/CuHDO für KVD
 Wirkstoff: Cu
 Verfahren: KVD/TT
 Temperatur: 5°C/20°C
 FG_{max} (20°C): 99,6% KVD
 98,2% TT

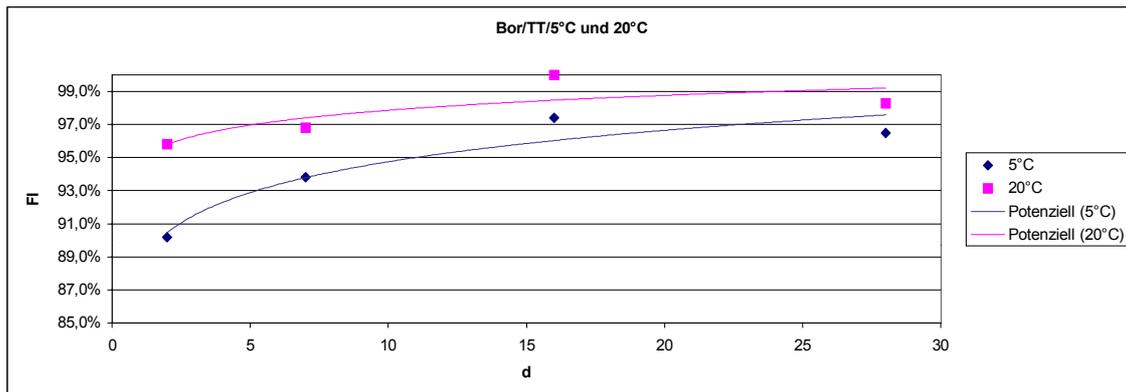
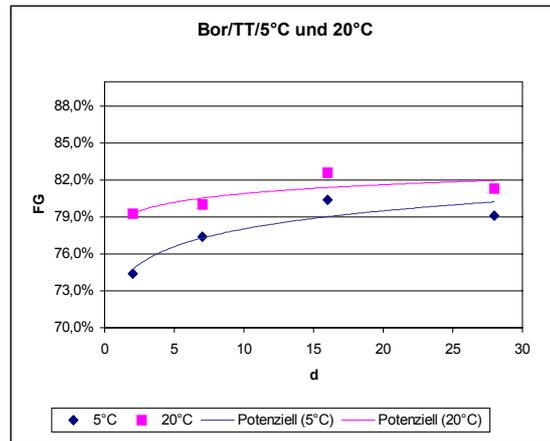
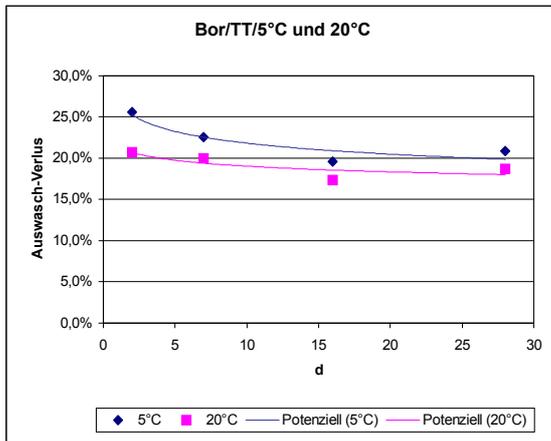
Fixierzeit d	Behandlung	Fixiertemperatur °C	FG	FI	Fixierung von Cu (n=4)			
					Verlust			
					mg/L (Eluat)	mg/Prüfkörper	mg/m ²	
2	KVD	5	98,9%	99,4%	0,75	0,08	16	1,1%
		20	99,3%	99,8%	0,46	0,05	10	0,7%
	TT	5	89,9%	91,5%	10,2	1,02	254	10,1%
		20	92,9%	94,6%	7,1	0,71	178	7,2%
7	KVD	5	99,4%	99,8%	0,41	0,04	9	0,6%
		20	99,6%	100,0%	0,26	0,03	5	0,4%
	TT	5	92,6%	94,3%	7,4	0,74	184	7,4%
		20	95,9%	97,7%	4,1	0,41	102	4,1%
14	KVD	5	99,6%	100,0%	0,29	0,03	6	0,4%
		20	99,5%	99,9%	0,31	0,03	6	0,5%
16	TT	5	95,6%	97,3%	4,6	0,46	114	4,5%
		20	98,1%	99,9%	2,0	0,20	50	1,9%
28	KVD	5	99,5%	99,9%	0,30	0,03	6	0,5%
		20	99,4%	99,8%	0,41	0,04	9	0,6%
	TT	5	95,8%	97,3%	4,3	0,43	108	4,2%
		20	98,1%	99,9%	1,9	0,19	47	1,9%
37	KVD	5	99,4%	99,8%	0,43	0,04	9	0,6%
		20	99,5%	99,9%	0,36	0,04	8	0,5%
73	TT	5	97,3%	99,1%	2,7	0,27	67	2,7%
		20	98,1%	99,9%	1,7	0,17	42	1,9%
	KVD	5	99,1%	99,5%	0,61	0,06	13	0,9%
		20	98,9%	99,3%	0,73	0,07	15	1,1%
80	TT	5	97,9%	99,7%	2,3	0,23	57	2,1%
		20	98,2%	100,0%	1,8	0,18	46	1,8%



4.3.3 Bor

Holzschutzmittel: Cu/CuHDO/B
 Wirkstoff: Bor
 Verfahren: TT
 Temperatur: 5°C/20°C
 FG_{max} (20°C): 82,6%

Fixierung von Bor (n=4)							
Fixierzeit d	Fixiertemperatur °C	FG	FI	Verlust			
				mg/L (Eluat)	mg/Prüfkörper	mg/m ²	
2	5	74,4%	90,2%	28,9	2,89	721	25,6%
	20	79,3%	95,8%	23,3	2,33	582	20,7%
7	5	77,4%	93,8%	25,5	2,55	638	22,6%
	20	80,0%	96,8%	22,7	2,27	560	20,0%
16	5	80,4%	97,4%	22,7	2,27	567	19,6%
	20	82,6%	100,0%	19,5	1,95	487	17,4%
28	5	79,1%	96,5%	24,1	2,41	602	20,9%
	20	81,3%	98,3%	21,0	2,10	526	18,7%

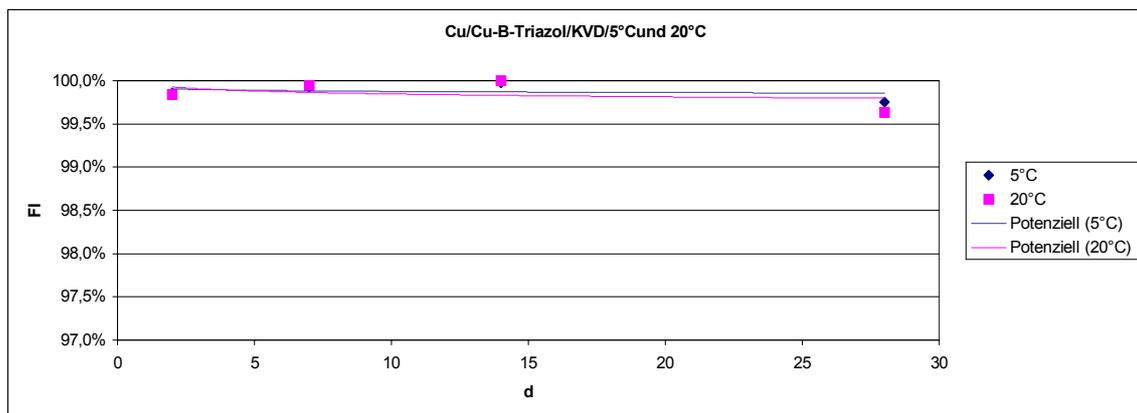
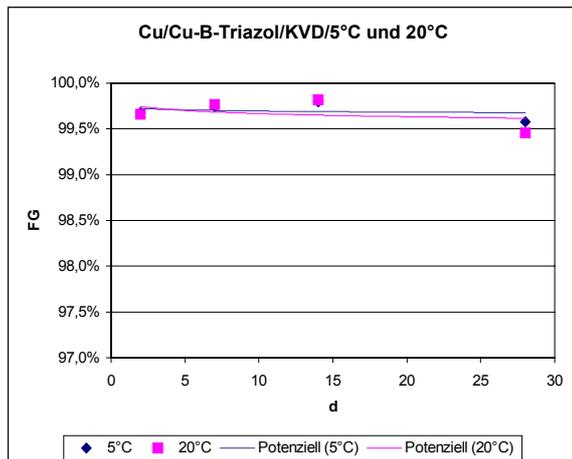
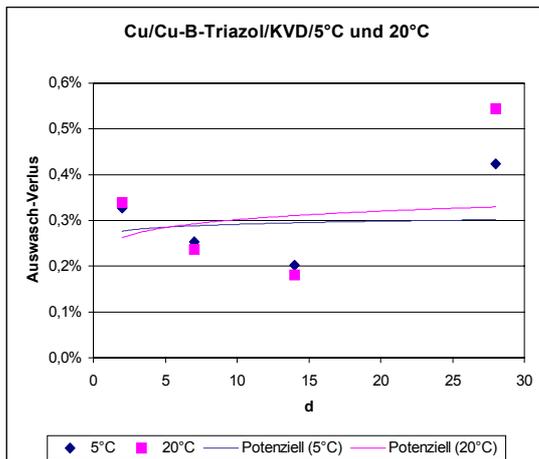


4.4 Fixierung eines Kupfer/Triazol/Bor-Präparates nach Vakuumtränkung

4.4.1 Kupfer

Holzschutzmittel: Cu-B-Triazol
 Wirkstoff: Cu
 Verfahren: KVD
 Temperatur: 5°C/20°C
 FG_{max} (20°C): 99,8% (28 d: 99,5%)

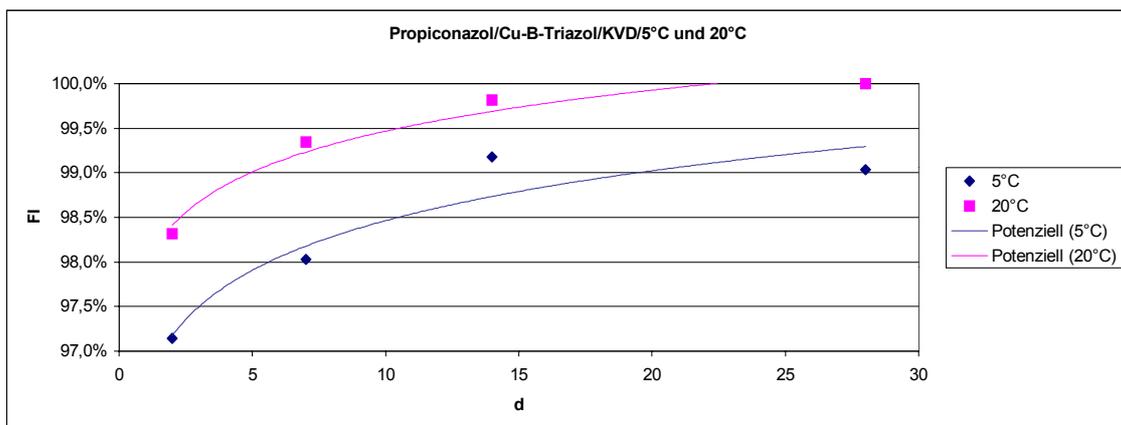
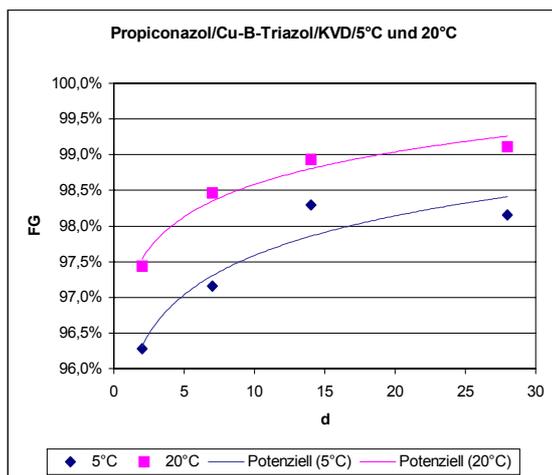
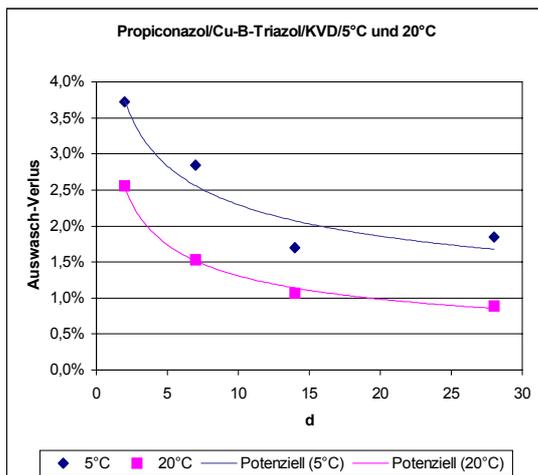
Fixierzeit d	Fixiertemperatur °C	Fixierung von Cu (n=3)					
		FG	FI	Verlust			
				mg/L (Eluat)	mg/Prüfkörper	mg/m ²	
2	5	99,7%	99,9%	0,39	0,04	8	0,33%
	20	99,7%	99,8%	0,41	0,04	9	0,34%
7	5	99,7%	99,9%	0,31	0,03	6	0,25%
	20	99,8%	99,9%	0,29	0,03	6	0,24%
14	5	99,8%	100,0%	0,25	0,02	5	0,20%
	20	99,8%	100,0%	0,22	0,02	5	0,18%
28	5	99,6%	99,8%	0,53	0,05	11	0,42%
	20	99,5%	99,6%	0,69	0,07	14	0,54%



4.4.2 Propiconazol

Holzschutzmittel: Cu-B-Triazol
 Wirkstoff: Propiconazol
 Verfahren: KVD
 Temperatur: 5°C/20°C
 FG_{max} (20°C): 99,1%

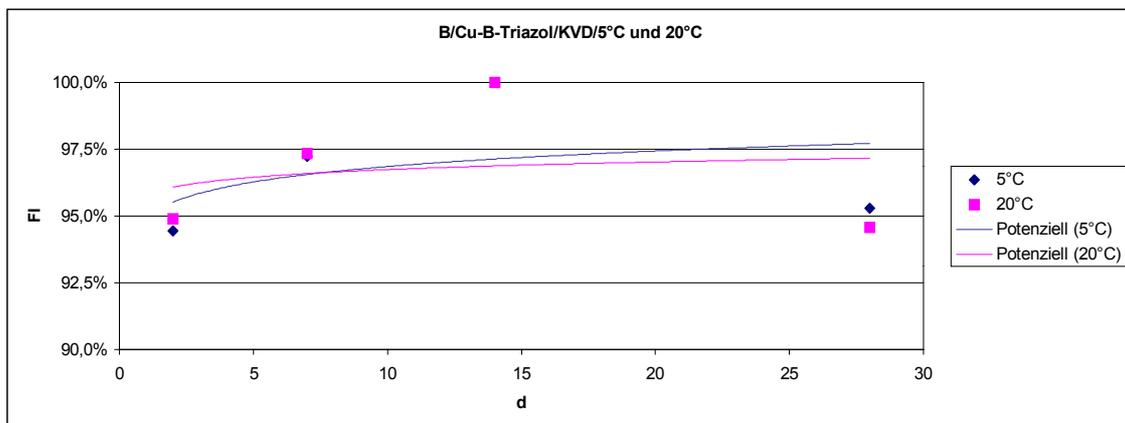
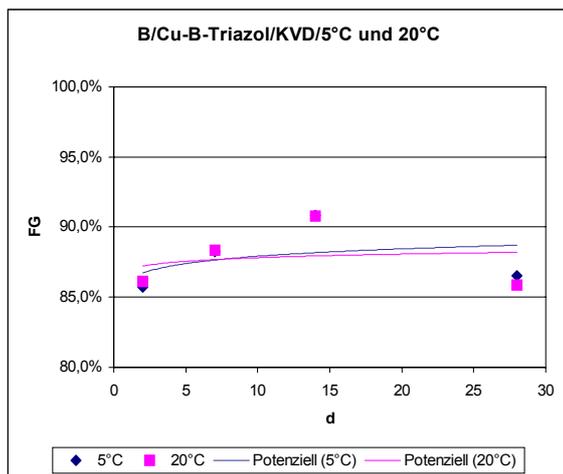
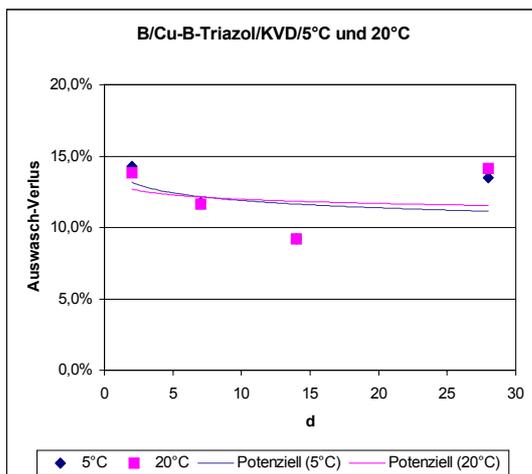
		Fixierung von Propiconazol (n=3)					
Fixierzeit d	Fixiertemperatur °C	FG	FI	Verlust			
				mg/L (Eluat)	mg/Prüfkörper	mg/m ²	
2	5	96,3%	97,1%	0,80	0,08	17	3,7%
	20	97,4%	98,3%	0,56	0,06	12	2,6%
7	5	97,2%	98,0%	0,63	0,06	13	2,8%
	20	98,5%	99,3%	0,33	0,03	7	1,5%
14	5	98,3%	99,2%	0,37	0,04	8	1,7%
	20	98,9%	99,8%	0,23	0,02	5	1,1%
28	5	98,2%	99,0%	0,41	0,04	8	1,8%
	20	99,1%	100,0%	0,20	0,02	4	0,9%



4.4.3 Bor

Holzschutzmittel: Cu-B-Triazol
 Wirkstoff: B
 Verfahren: KVD
 Temperatur: 5°C/20°C
 FG_{max} (20°C): 90,8% (28 d: 85,8%)

Fixierzeit d	Fixiertemperatur °C	Fixierung von B (n=3)					
		FG	FI	Verlust			
				mg/L (Eluat)	mg/Prüfkörper	mg/m ²	
2	5	85,7%	94,4%	1,49	0,15	31	14,3%
	20	86,1%	94,9%	1,47	0,15	31	13,9%
7	5	88,3%	97,2%	1,24	0,12	26	11,7%
	20	88,4%	97,3%	1,23	0,12	26	11,6%
14	5	90,8%	100,0%	0,97	0,10	20	9,2%
	20	90,8%	100,0%	0,97	0,10	20	9,2%
28	5	86,5%	95,3%	1,47	0,14	30	13,5%
	20	85,9%	94,6%	1,57	0,15	31	14,1%

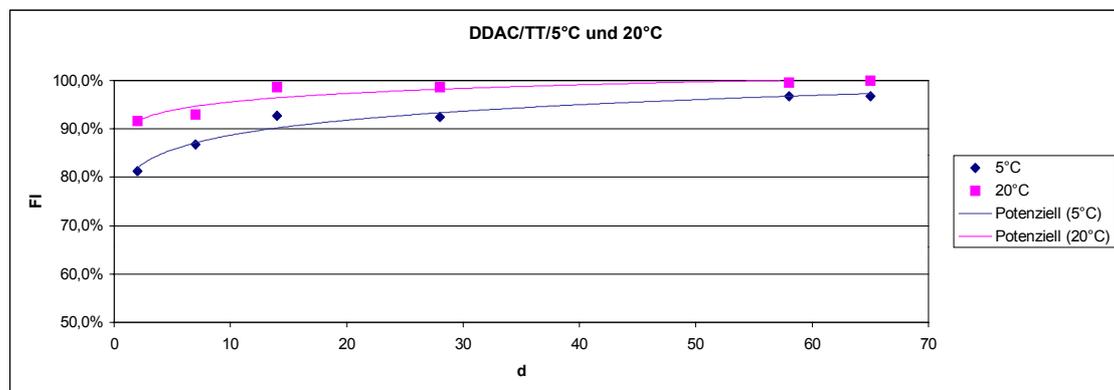
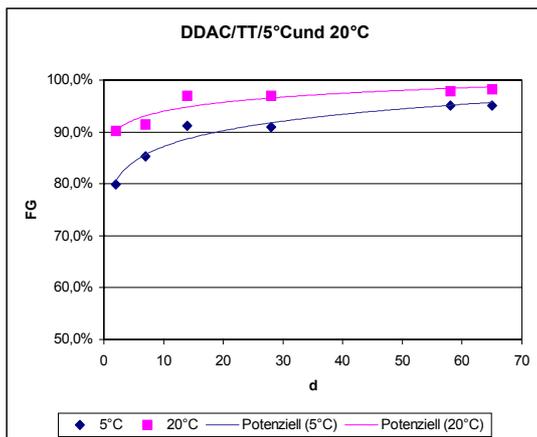
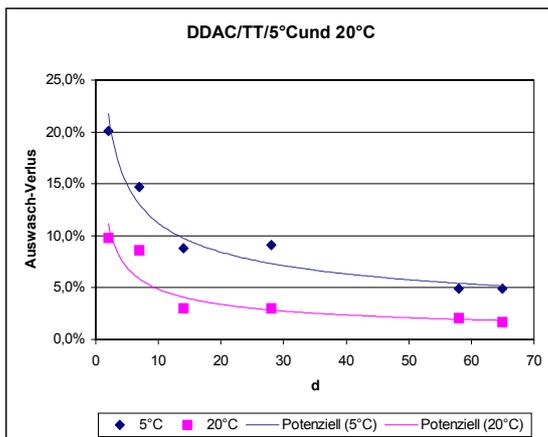


4.5 Fixierung eines Quat/Triazol-Präparates nach Trogrückung

4.5.1 DDAC

Holzschutzmittel: Quat/Triazol
 Wirkstoff: Didecyl-dimethyl-ammoniumchlorid (DDAC)
 Verfahren: TT
 Temperatur: 5°C/20°C
 FG_{max} (20°C): 98,3%

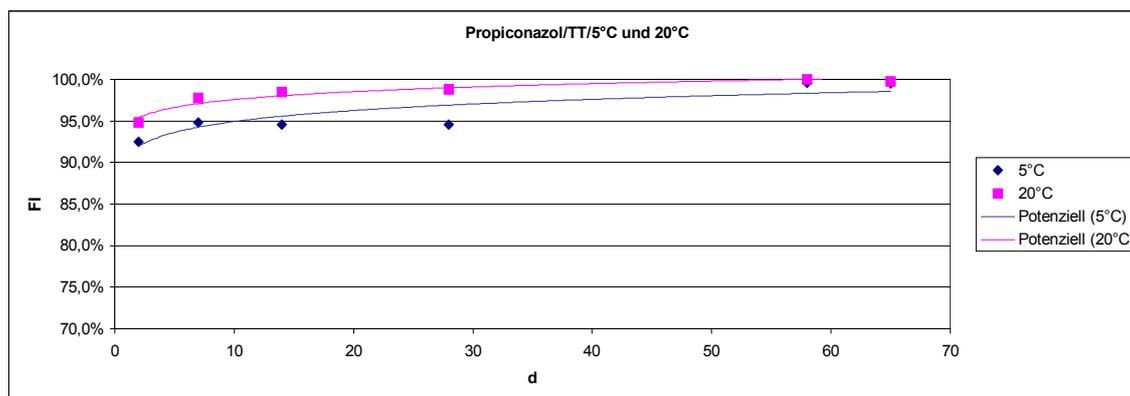
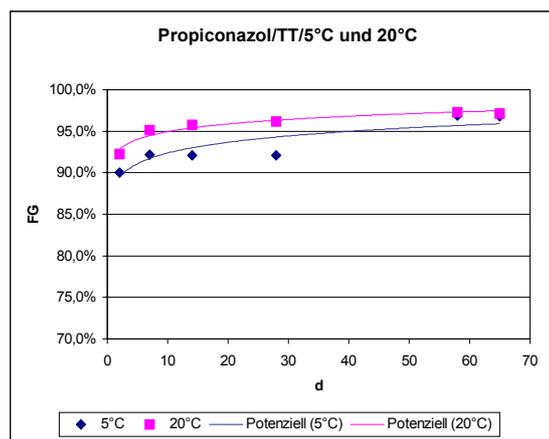
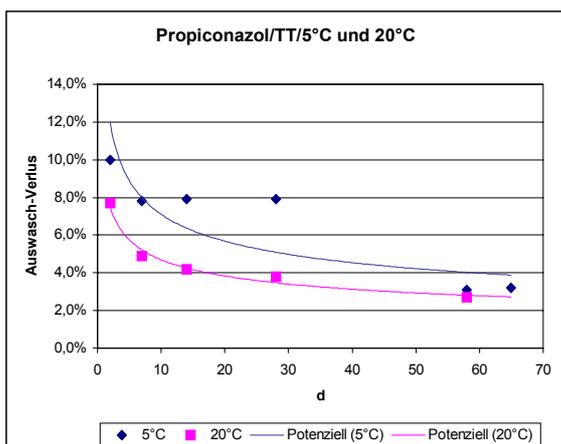
		Fixierung von DDAC (n=3)					
Fixierzeit d	Fixiertemperatur °C	FG	FI	Verlust			
				mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	5	79,9%	81,3%	67,7	6,77	1692	20,1%
	20	90,2%	91,7%	37,3	3,73	933	9,8%
7	5	85,3%	86,8%	52,3	5,23	1308	14,7%
	20	91,4%	93,0%	27,9	2,79	697	8,6%
14	5	91,2%	92,7%	29,4	2,94	735	8,8%
	20	97,0%	98,6%	9,6	0,96	241	3,0%
28	5	90,9%	92,5%	30,4	3,04	759	9,1%
	20	97,0%	98,6%	9,9	0,99	248	3,0%
58	5	95,1%	96,7%	16,4	1,64	410	4,9%
	20	97,9%	99,6%	6,8	0,68	169	2,1%
65	5	95,1%	96,7%	16,9	1,69	422	4,9%
	20	98,3%	100,0%	5,4	0,54	136	1,7%



4.5.2 Propiconazol

Holzschutzmittel: Quat/Triazol
 Wirkstoff: Propiconazol
 Verfahren: TT
 Temperatur: 5°C/20°C
 FG_{max} (20°C): 97,3%

		Fixierung von Propiconazol (n=3)					
Fixierzeit d	Fixiertemperatur °C	FG	FI	Verlust			
				mg/L (Eluat)	mg/Prüfkörper	mg/m ²	
2	5	90,0%	92,5%	3,5	0,35	86	10,0%
	20	92,3%	94,8%	2,9	0,29	73	7,7%
7	5	92,2%	94,8%	2,8	0,28	71	7,8%
	20	95,1%	97,8%	1,6	0,16	40	4,9%
14	5	92,1%	94,6%	2,6	0,26	66	7,9%
	20	95,8%	98,5%	1,4	0,14	35	4,2%
28	5	92,1%	94,6%	2,7	0,27	66	7,9%
	20	96,2%	98,8%	1,3	0,13	33	3,8%
58	5	96,9%	99,6%	1,0	0,10	26	3,1%
	20	97,3%	100,0%	0,9	0,09	23	2,7%
65	5	96,8%	99,5%	1,1	0,11	28	3,2%
	20	97,1%	99,8%	1,0	0,10	24	2,9%



4.6 Zusammenfassung der Ergebnisse

Für die untersuchten Holzschutzmittel konnte der Fixierungsverlauf mit dem vorgeschlagenen Verfahren beschrieben werden. Innerhalb eines Zeitraumes von 2 bis 28 Tagen nach der Applikation des Holzschutzmittels nahmen die Auswaschverluste in den Laborversuchen ab und erreichten ein bestimmtes, für die einzelnen Produkte, Wirkstoffe und Einbringverfahren typisches Niveau. Für die meisten Wirkstoffe wurde innerhalb des Versuchszeitraumes von 28 Tagen ein gleichbleibendes Niveau der Verluste erreicht. Lediglich bei einer Fixiertemperatur von 5 °C nahmen für das CKB-Produkt die Kupferverluste nach Trogränkung und die Chromverluste nach beiden Behandlungsverfahren bis zum Versuchsende ab.

Für die untersuchten Holzschutzmittel (CKB-, Quat-, CuHDO-Präparat) wurden in den ersten Tagen nach dem 24stündigen Tauchen üblicherweise höhere Wirkstoffverluste festgestellt als nach Vakuumtränkung. Ausnahme ist Chrom aus dem CKB-Präparat mit ähnlichem Fixierungsverlauf für beide Behandlungsverfahren. Die maximalen Fixierungsgrade sind für Kupfer und Chrom aus dem CKB-Präparat sowie CuHDO und Kupfer aus dem CuHDO-Präparat für beide Imprägnierverfahren vergleichbar. Für Benzalkoniumchlorid aus dem Quat-Präparat liegt der maximale Fixierungsgrad nach Vakuumtränkung ca. 2 % höher als nach 24stündigem Tauchen. Bei einer Lagertemperatur von 20 °C lagen die maximalen Fixierungsgrade für alle untersuchten Wirkstoffe (mit Ausnahme von Bor) nach Vakuumtränkung im Bereich von 98,7 % bis 99,98 % und nach 24stündigem Tauchen im Bereich von 97,3 % bis 99,9 %. Die entsprechenden

Tabelle 3: Wirkstoffverluste und maximale Fixierungsgrade in Laborversuchen bei unterschiedlicher Fixierungstemperatur

Holzschutzmittel	Wirkstoff	Verluste nach 2 Tagen Fixierdauer in %				maximaler Fixierungsgrad			
		KVD		TT		KVD		TT	
		Fixiertemperatur							
		5°C	20°C	5°C	20°C	5 °C	20 °C	5 °C	20°C
CKB	Kupfer	3,9	2,1	6,9	3,8	98,0	99,8	98,9	99,9
	Chrom	8,9	4,9	10,6	6,2	96,4	99,98	98,1	99,8
	Bor	13,4	13	15,7	14,8	85,8	90,1	94,1	93,5
QAV	Benzalkoniumchlorid	2,1	1,5	9,6	7,1	99,1	99,4	96,4	97,4
CX	CuHDO	2,4	1,9	9,2	6,5	98,6	98,7	98,1	98,4
	Kupfer	1,1	0,7	10,1	7,2	99,6	99,6	97,9	98,2
	Bor			25,6	20,7			80,4	82,6
Cu/Triazol/B	Kupfer	0,33	0,34			99,8	99,8		
	Propiconazol	3,7	2,6			98,3	99,1		
	Bor	14,3	13,9			90,8	90,8		
QAV/Triazol	DDAC			20,1	9,8			95,1	98,3
	Propiconazol			10,0	7,7			96,9	97,3

Daten sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Die Ergebnisse zu Bor werden dargestellt, aber unter dem Aspekt der Fixierung nicht betrachtet, da Bor im Holz nicht fixiert.

Fixierung bei 20 °C bewirkte im Vergleich zu 5 °C üblicherweise schnellere Fixierungsverläufe und auch höhere Fixierungsgrade. Ausnahmen sind CuHDO und Kupfer aus dem CuHDO-Präparat nach Vakuumtränkung sowie Kupfer aus dem Kupfer/Triazol/-Bor-Präparat, bei denen die Fixierungsverläufe bei beiden Fixiertemperaturen ähnlich sind.

In Tabelle 4 ist dargestellt, wann in den einzelnen Versuchen Fixierungsindizes von 90 bzw. 95 % erreicht waren. Auch aus diesen Daten wird deutlich, dass die anfänglichen Auswaschverluste nach Vakuumtränkung oft geringer waren als nach Trogränkung und der maximale Fixierungsgrad in vielen Fällen nach Vakuumtränkung schneller erreicht war als nach 24stündigem Tauchen. Ein Fixierungsindex von mindestens 90 % war in den meisten Fällen bereits nach 2 Tagen erreicht. Vergleicht man die erforderliche Zeit, um einen Fixierungsindex von 95 % zu erreichen, lassen sich die verschiedenen Wirkstoffe, Präparate, Behandlungsverfahren und Fixierungsbedingungen differenzieren.

Tabelle 4: Lagerungsdauer bis zum Erreichen bestimmter Fixierungsindizes für die untersuchten Holzschutzmittel

Pro- dukt	Wirkstoff	Einbring- verfahren	FI \geq 90,0 %		FI \geq 95,0 %	
			erreicht nach x Tagen		erreicht nach x Tagen	
			5 ° C	20 ° C	5 ° C	20°C
1	Kupfer	KVD	2	2	2	2
		TT	2	2	7	2
	Chrom	KVD	2	2	14	2
		TT	7	2	14	7
2	Quat	KVD	2	2	2	2
		TT	2	2	7	2
4	Cu-HDO	KVD	2	2	2	2
	Kupfer		2	2	2	2
3	Cu-HDO	TT	2	2	7	2
	Kupfer		2	2	14	7
5	Kupfer	KVD	2	2	2	2
	Propiconazol		2	2	2	2
6	DDAC	TT	14*	7*	58*	14*
	Propiconazol		2	2	58*	7*

*vermutlich wegen zu hoher Luftfeuchtigkeit bei der Konditionierung verzögert

Durch die Zusammenstellung der Prüfkörper, die zu den jeweiligen Auswaschzeitpunkten untersucht wurden, war es möglich, den Fixierungsverlauf für Prüfkörper, die aus derselben Holzleiste stammen - also untereinander sehr ähnlich sind -, zu verfolgen. Dabei ist zu beobachten, dass die Ergebnisse für die zusammengehörigen Prüfkörper im Vergleich zu den übrigen Prüfkörpern eine ähnliche Tendenz aufweisen, wobei sich die Daten mit fortschreitendem Fixierungsprozess untereinander annähern (siehe Diagramme in den Anhängen 1 bis 5).

Tabelle 5 zeigt die Streuung der Daten für die einzelnen Prüfkörper zu dem Zeitpunkt, an dem erstmals ein Fixierungsindex von mindestens 95 % erreicht ist. Die Fixierungsgrade der einzelnen Prüfkörper differieren um bis zu 6 %, in vielen Fällen nur um 1 % und weniger.

Für das CKB-Präparat wurden die Auswaschversuche bei einer Fixierungstemperatur von 20 °C für 2 und 7 Tage Fixierungsdauer nicht nur mit 1 Prüfkörper je Testgefäß, sondern auch mit 5 Prüfkörpern je Testgefäß durchgeführt. Dabei stammten die 5 Prüfkörper für die einzelnen Ansätze jeweils aus derselben Holzleiste. Das bedeutet, dass die Unterschiede zwischen den einzelnen Leisten deutlicher werden. Die Werte in Tabelle 5 differieren entsprechend bei Kupfer um 1,4 % (5 Prüfkörper je Ansatz) im Vergleich zu 0,8 % (1 Prüfkörper je Ansatz) bzw. bei Chrom um 2,9 % (5 Prüfkörper je Ansatz) im Vergleich zu 0,7 % (1 Prüfkörper je Ansatz).

Es hat sich gezeigt, dass das Verfahren sehr sensibel gegenüber einer Änderung der Lagerungsbedingungen sein kann. Anders als in der Methodenvorschrift vorgesehen, waren die Prüfkörper der Versuche mit CuHDO- und Quat/Triazol-Präparaten im Zeitraum von 2 bis 4 Wochen einer erhöhten Luftfeuchtigkeit ausgesetzt und die verbliebenen Prüfkörper wurden erst zu einem späteren Zeitpunkt wieder bei 65 % rF aufbewahrt. Für CuHDO und Kupfer nach Trogtränkung und Lagerung bei 5 °C wurde dadurch ein weiterer Anstieg des Fixierungsgrades um ca. 1,5 bis 2 % erreicht. Bei den übrigen Versuchsvarianten mit CuHDO-Präparaten waren die Fixierungsgrade unbeeinflusst. Für Prüfkörper, die mit dem Quat/Triazol-Präparat getaucht worden sind, stiegen die Fixierungsgrade bei 5 °C-Lagerung für DDAC von 91 auf 95 % und für Propiconazol von 92 auf 97 %. Bei einer Fixierungstemperatur von 20 °C waren die Fixierungsgrade für beide Wirkstoffe nur um ca. 1 % erhöht.

Tabelle 5: Variabilität der Versuchsergebnisse in Parallelversuchen

Holzschutzmittel	Wirkstoff	Behandlungsverfahren	Fixierungsgrad der Prüfkörper zu dem Zeitpunkt, an dem FI > 95 % erstmals erreicht ist [%] (n=5)									
			5 °C					20 °C				
			d	min.	Mittel	max.	Differenz (max - min)	d	min.	Mittel	max.	Differenz (max - min)
CKB	Kupfer Chrom Bor	KVD	2	95,6	96,1	96,4	0,8	2	97,5	97,9	98,3	0,8
			14	94,6	94,9	95,5	0,9	2	94,8	95,1	95,5	0,7
			2	85,9	86,6	87,8	1,9	2	85,8	87,0	89,3	3,5
	Kupfer Chrom Bor	KVD*						2	96,7	97,4	98,1	1,4
								2	92,6	94,1	95,5	2,9
								2	83,7	86,5	89,0	5,3
	Kupfer Chrom Bor	TT	7	94,6	95,6	96,2	1,6	2	95,2	96,2	97,0	1,8
			14	94,6	95,6	96,4	1,8	7	98,6	98,7	98,8	0,2
			14	88,3	90,2	91,8	3,5	7	91,9	92,0	92,4	0,5
Quat	BAC	KVD	2	97,7	97,9	98,0	0,3	2	98,4	98,5	98,7	0,3
	BAC	TT	7	92,2	93,0	93,9	1,7	2	92,2	92,9	93,9	1,7
CX	CuHDO Kupfer	KVD	2	97,3	97,6	97,8	0,5	2	97,9	98,1	98,4	0,5
			2	98,8	98,9	99,1	0,3	2	99,3	99,3	99,5	0,2
	CuHDO Kupfer Bor	TT	7	92,1	94,1	95,1	3,0	2	90,5	93,5	95,2	4,7
			14	94,4	95,5	96,8	2,4	7	93,9	95,9	96,9	3,0
			14	76,8	80,4	84	7,2	2	73,6	79,3	82,6	9,0
Cu/Triazol/B	Kupfer Propiconazol Bor	KVD	2	99,6	99,7	99,7	0,1	2	99,6	99,7	99,7	0,1
			2	94,9	96,3	97,5	2,6	2	96,8	97,4	97,7	0,9
			7	87,9	88,3	88,4	0,5	7	85,6	86,2	86,3	0,7
Quat/Triazol	DDAC Propiconazol	TT	58	93,7	95,1	96,5	2,8	14	95,3	97	98,6	3,3
			7	88,7	92,2	94,5	5,8	7	93,8	95,1	97,0	3,2

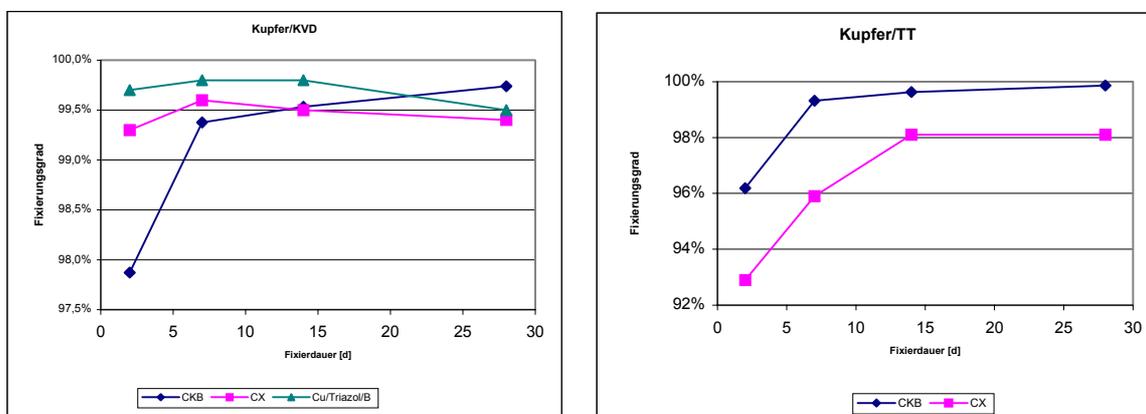
KVD*: im Auswaschversuch waren 5 Prüfkörper in jedem Testgefäß (alle übrigen Versuche: 1 Prüfkörper je Testgefäß)

Bitte beachten: Bor wird im Holz nicht fixiert, d.h. es kann kein Fixierungsindex erreicht werden. Die Werte zur Variabilität der Versuchsergebnisse sollten trotzdem dargestellt werden.

Kupfer

Die Fixierung von Kupfer verlief bei einer Fixierungstemperatur von 20 °C für das CKB-Präparat nach beiden Imprägnierverfahren sowie für das Kupfer-HDO-Präparat zur Trogrränkung schneller als bei 5 °C. Für das Kupfer-HDO-Präparat zur Kesseldrucktränkung und das Kupfer/Triazol/Bor-Präparat (ebenfalls nach Kesseldrucktränkung) ließ sich der Fixierungsverlauf für beide Temperaturen nicht unterscheiden. Während nach beiden Imprägnierverfahren für das CKB-Präparat und nach Trogrränkung mit dem Kupfer-HDO-Präparat im Verlauf der Fixierung ein Anstieg der Fixierungsgrade beobachtet wurde, war nach Vakuumtränkung mit dem Kupfer-HDO- und dem Kupfer/Triazol/Bor-Präparat bereits 2 Tage nach der Behandlung ein hohes Fixierungsniveau (FG $\geq 99\%$) erreicht. In beiden Beispielen wurden zu späteren Zeitpunkten um maximal 0,5 % höhere Verluste beobachtet. Die Ergebnisse zum Fixierungsverlauf der kupferhaltigen Präparate sind in Abbildung 1 dargestellt. (siehe auch 4.11, 4.32, 4.4.1 und Anhänge 1, 3 und 4)

Abbildung 1: Fixierungsverlauf von Kupfer aus CKB-, Kupfer-HDO und Kupfer/Triazol/Bor-Präparaten nach Vakuum- bzw. Trogrränkung (Daten zur Fixierung bei 20 °C)



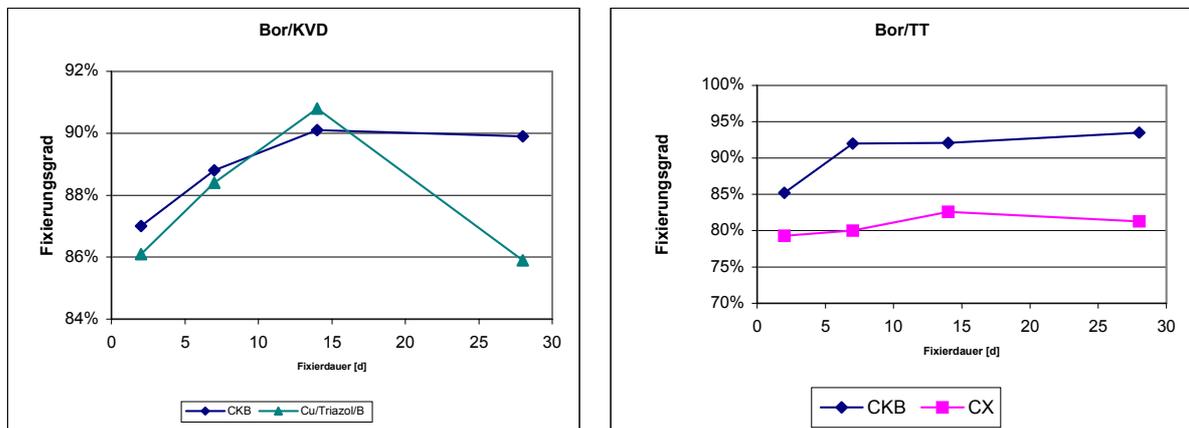
Chrom

Chrom ist nur in dem CKB-Präparat enthalten. Die Fixierung erfolgte bei 20 °C schneller als bei 5 °C. Bei einer Fixierungstemperatur von 5 °C wurden nach Trogrränkung ab 7 Tage Fixierdauer höhere Fixierungsgrade festgestellt als nach Vakuumtränkung. Die anfänglichen Chromverluste waren höher als die Verluste von Kupfer aus demselben Präparat, die Endwerte waren vergleichbar niedrig. (siehe auch 4.1.2 und Anhang 1)

Bor

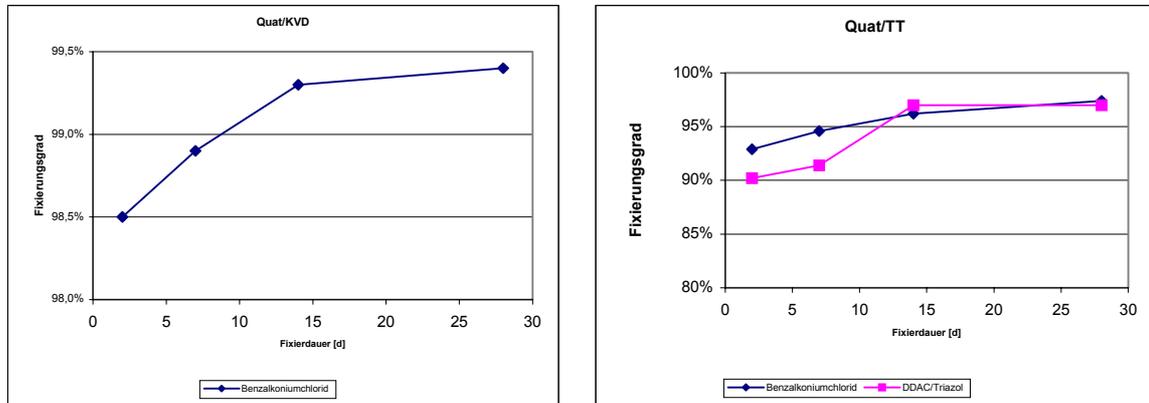
Die Verluste für Bor wurden erfasst, obwohl Bor im Holz nicht fixiert wird. Die Borverluste lagen im Bereich von 10 bis zu 25 % und mit Ausnahme vom Kupfer/Triazol/Bor-Präparat bei geringerer Fixierungstemperatur höher. Für das CKB-Präparat waren die Verluste nach Trogrtränkung geringer als nach Vakuumtränkung und sanken im Verlauf der Untersuchungen. Bei den übrigen Beispielen stiegen die Verluste zum Versuchsende wieder an. Der Vergleich der untersuchten Präparate ist in Abbildung 2 dargestellt. (siehe auch 4.1.3, 4.3.3, 4.4.3 und Anhänge 1, 3 und 4).

Abbildung 2: Fixierungsverlauf von Bor aus CKB-, Kupfer-HDO und Kupfer/Triazol/Bor-Präparaten nach Vakuum- bzw. Trogrtränkung (Daten zur Fixierung bei 20 °C)

Quartäre Ammoniumverbindungen

Sowohl für Benzalkoniumchlorid als auch für DDAC verlief die Fixierung nach Trogrtränkung bei einer Fixierungstemperatur von 20 °C schneller als bei 5 °C. Nach Vakuumtränkung mit dem Benzalkoniumchlorid-haltigen Präparat war der Temperatureinfluss geringer. Bei Vakuumtränkung war der Fixierungsgrad bereits nach 2 Tagen auf hohem Niveau, während für beide Wirkstoffe die Fixierung nach Trogrtränkung relativ langsam erfolgte. Besonders hoch waren die anfänglichen Verluste für DDAC. Sie betragen etwa 20 % bei einer Fixierungstemperatur von 5 °C und 10 % bei 20 °C. Auch für Benzalkoniumchlorid wurden 2 Tage nach Trogrtränkung mit ca. 10 bzw. 8 % relativ hohe Verluste ermittelt. Die maximalen Fixierungsgrade bei 20 °C sind mit 97,4 % (Benzalkoniumchlorid) bzw. 98,3 % (DDAC) mit den übrigen untersuchten Wirkstoffen vergleichbar. Die Daten zur Fixierung der beiden Quat-haltigen Produkte sind in Abbildung 3 vergleichend dargestellt. (siehe auch 4.2.1, 4.5.1 und Anhänge 1 und 5)

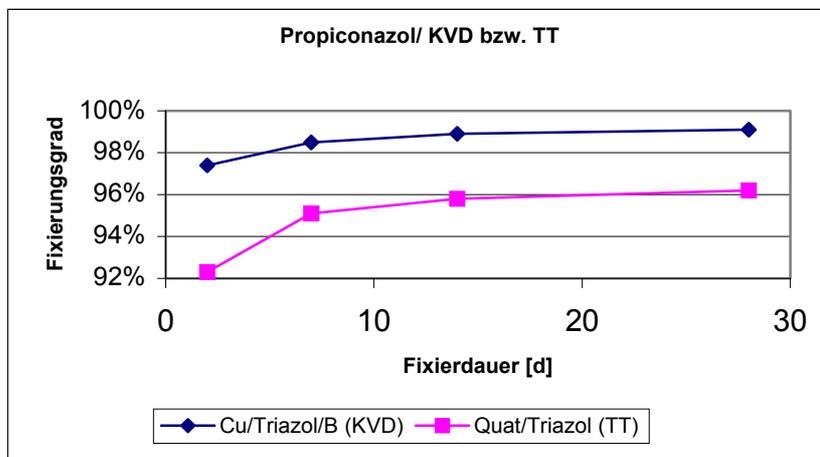
Abbildung 3: Fixierungsverlauf von quartären Ammoniumverbindungen aus einem Quat-Produkt und einem Quat/Triazol-Präparat nach Vakuum- bzw. Trogrückung (Daten zur Fixierung bei 20 °C)



Triazol

Propiconazol wurde sowohl aus dem Kupfer/Triazol/Bor- als auch aus dem Quat/Triazol-Präparat bei einer Fixierungstemperatur von 20 °C schneller gebunden als bei 5 °C. Für Propiconazol aus dem Quat/Triazol-Präparat verlief der Fixierungsprozess wie bei DDAC relativ langsam und begann bei Fixierungsgraden von 90 bzw. 92 % nach 2 Tagen Lagerung bei 5 bzw. 20 °C. (siehe auch 4.4.2, 4.5.2 sowie Anhänge 4 und 5)

Abbildung 4: Fixierungsverlauf von Propiconazol aus einem Kupfer/Triazol/Bor- und einem Quat/Triazol-Präparat nach Vakuum- bzw. Trogrückung (Daten zur Fixierung bei 20 °C)



CuHDO

Aus dem Präparat, das durch Vakuumtränkung eingebracht wurde, fixierte CuHDO sehr schnell, während aus dem Präparat, mit dem das Holz für 24 Stunden getaucht wurde, anfänglich Verluste von etwa 6 bzw. 9 % auftraten. Die maximalen Fixierungsgrade sind für beide Präparate bzw. Anwendungsverfahren vergleichbar. (siehe auch 4.3.1 und Anhang 3)

5 Diskussion

Das vorgeschlagene Verfahren ist grundsätzlich geeignet, den Fixierungsverlauf für verschiedene Holzschutzmittel zu beschreiben. Eine Einschränkung ist möglich für Produkte, die nur sehr geringe Wirkstoffgehalte aufweisen. In diesen Fällen ist die Anwendbarkeit des Verfahrens abhängig von der Nachweisgrenze, die bei der chemischen Analyse der Wirkstoffe erreichbar ist.

Die Versuche mit dem CKB-Präparat führten zu den zu erwartenden Resultaten. Kupfer und Chrom waren in dem Laborversuch nur zu einem geringen Prozentsatz auswaschbar, die Verluste nahmen im Laufe der Versuche ab. Bei einer Fixierungstemperatur von 5 °C erfolgte die Fixierung langsamer als bei 20 °C. Chrom fixierte langsamer als Kupfer (siehe auch Pasek, 2003). Auch die Borverluste waren wie erwartet hoch. Üblicherweise werden Untersuchungen zur Fixierung mit vakuumgetränkten Holz durchgeführt. Der Vergleich von Prüfkörpern nach Vakuum- bzw. Trogtränkung ergab nur für Kupfer bei einer Fixiertemperatur von 5 °C einen langsameren Fixierungsverlauf nach Trog- als nach Vakuumtränkung. Innerhalb des Versuchszeitraums wurde bei Trogtränkung aber sogar ein etwas höherer Fixierungsgrad erreicht.

Die Fixierungsgrade für Kupfer aus Prüfkörpern, die mit einem Kupfer/Triazol/Bor-Präparat getränkt waren, lagen bei beiden Fixiertemperaturen für den gesamten Versuchszeit sehr hoch (99,5 – 99,8 %). Auch in der von Pasek (2003) vorgestellten Studie wurden für ein Kupfer/Triazol/Bor- und ein Kupfer/Triazol-Präparat über den Versuchszeitraum etwa gleichbleibende Kupferverluste gefunden, deren Höhe von der eingebrachten Holzschutzmittelmenge abhängig war. Nur wenn größere Holzschutzmittelmengen eingebracht wurden, war zu Beginn der Fixierung ein leichter Rückgang der Kupferverluste zu erkennen.

Für Benzalkoniumchlorid nach Vakuumtränkung wurden bereits nach 2 Tagen Fixierdauer und bei beiden Fixierungstemperaturen hohe Fixierungsgrade erreicht (97,9 – 99,4 %). Das entspricht der Vorstellung, dass quartäre Ammoniumverbindungen schnell fixieren. Im Gegensatz dazu wurden nach Trogtränkung sowohl für Benzalkoniumchlorid als auch für DDAC aus einem Quat/Triazol-Präparat allmählich fortschreitende Fixierungsverläufe festgestellt. Bei geringerer Fixiertemperatur wurden geringere Fixierungsgrade erreicht. Ähnliche Charakteristika zeigten Kupfer-HDO (97,6 – 98,6 % Fixierungsgrad nach Vakuumtränkung) und Kupfer (98,9 – 99,6 % Fixierungs-

grad nach Vakuumtränkung) aus den CX-Präparaten, die nach Trogränkung ebenfalls langsamer fixierten als nach Vakuumtränkung.

Ursache für diese Beobachtung ist möglicherweise die hohe Verfügbarkeit der Wirkstoffe in oberflächennahen Bereichen unmittelbar nach der Trogränkung.

Propiconazol zeigte sowohl aus dem Kupfer/Triazol/Bor-Präparat nach Vakuumtränkung als auch aus dem Quat/Triazol-Präparat nach Trogränkung einen allmählichen Fixierungsverlauf mit geringeren Fixierungsgraden bei niedrigeren Temperaturen. Möglicherweise bestimmt hier das Verdunsten des Emulgators die Auswaschbarkeit des Propiconazols.

Fixierungsverläufe bei unterschiedlichen Einbringmengen wurden in der vorliegenden Studie nicht untersucht. Die eingebrachten Mengen waren an den für die höchste zugelassene Gefährdungsklasse erforderlichen Holzschutzmittelgehalten orientiert. Die AWWA-Studie (Pasek, 2003) hat gezeigt, dass die Fixierung bei geringeren Einbringmengen schneller verläuft. Deshalb kann man davon ausgehen, dass die hier ermittelten Werte den für die untersuchten Mittel maximal erforderlichen Zeiten unter den Bedingungen des Laborversuchs entsprechen.

Um eine gute Vergleichbarkeit der Daten für verschiedene Holzschutzmittel zu erreichen, muss das Testverfahren so gestaltet sein, dass mögliche Einflussfaktoren weitgehend konstant sind. Durch die Verwendung von Prüfkörpern aus Kiefernspiltholz werden zum Beispiel Holzeigenschaften wie Holzart, pH-Wert und extrahierbare Bestandteile vereinheitlicht. Auch die Prüfkörperdimensionen und die Holzfeuchte zur Behandlung sind festgelegt. Die Lagerbedingungen, insbesondere Temperatur und Luftfeuchte, sowie das Zeitregime für die Untersuchungen müssen ebenfalls definiert sein. Aus praktischen Erwägungen wurden 2, 7, 14 und 28 Tage als Zeitpunkte für die Probenahmen gewählt. Die Lagerung der behandelten Prüfkörper erfolgt nach den Vorgaben der EN 113. Dabei bleibt die Holzfeuchte der Prüfkörper innerhalb der ersten beiden Wochen hoch und danach trocknen die Prüfkörper langsam und gleichmäßig. Insbesondere für kupfer- und chromhaltige Präparate bedeutet dies eine Optimierung der Fixierung.

Bei der Übertragung der Versuchsergebnisse auf Praxissituationen muss man berücksichtigen, dass hier die klimatischen Bedingungen variabel sind und natürlich auch andere Holzarten, wie z.B. Fichte, imprägniert werden. Unterschiedliche Tempe-

raturen werden dadurch berücksichtigt, dass die Fixierungsuntersuchungen bei Lager-temperaturen von 5 und 20 ° C durchgeführt werden, so dass Empfehlungen zur Lagerdauer in Abhängigkeit von der Temperatur gegeben werden können. Die Notwendigkeit, Fixierungsgrade bei unterschiedlichen Temperaturen zu ermitteln, wird durch die vorliegenden Untersuchungen bestätigt.

Darüber hinaus wurde auch ein Einfluss der Luftfeuchte festgestellt. Die Untersuchungen von Habicht et al. (2003) haben gezeigt, dass die Fixierung von Kupfer aus verschiedenen Holzschutzmitteltypen optimal verläuft, wenn die Prüfkörper anfangs bei hoher Luftfeuchte gelagert und dann langsam getrocknet werden. Es ist anzunehmen, dass die 2wöchige Lagerung der Prüfkörper in geschlossenen Gefäßen den Praxisbedingungen insofern gerecht wird, als behandeltes Holz mit Praxisdimensionen langsamer trocknet als die Prüfkörper mit den Abmessungen von 5 cm * 2,5 cm * 1,5 cm, auch wenn in der Praxis unmittelbar nach der Behandlung ein Luftaustausch möglich ist.

Die Fixierung identischer Holzschutzmittel kann nach Vakuum- bzw. Trogränkung sehr unterschiedlich verlaufen. Deshalb ist es erforderlich, Fixierzeiten für die jeweils zugelassenen Einbringverfahren zu ermitteln.

Es kann erforderlich sein, die Versuche auch mit einer anderen Holzart als Kiefer durchzuführen.

Die vorliegenden Untersuchungen haben gezeigt, dass die Fixierung in Abhängigkeit von der Herkunft der Prüfkörper aus verschiedenen Holzstämmen unterschiedlich schnell verlaufen kann, wobei die erreichten Endwerte relativ einheitlich sind. Um diese möglichen Unterschiede zu berücksichtigen, sollten die Fixierungsversuche zu jedem Untersuchungszeitpunkt mit 3 Parallelansätzen durchgeführt werden. Je Testansatz ist 1 Prüfkörper zu verwenden. Die Prüfkörper müssen aus 3 verschiedenen Holzserien (Stämmen) ausgewählt werden. Die Herkunft der Prüfkörper muss zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten einheitlich sein.

Wenn das behandelte Holz während der Fixierung direktem Wasserkontakt ausgesetzt ist, hat die Wassermenge wesentlichen Einfluss auf die Höhe der Auswaschverluste. In Tabelle 6 sind Auswaschdaten, die in einer vorangegangenen Studie zu Biozidemissionen aus Materialien (Schoknecht et al., 2002 und 2003) gewonnen wurden, den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchungen gegenübergestellt. Die Daten zeigen, dass in Versuchen mit simuliertem Regen die Wirkstoffverluste bei ca. 50 L Regen/m² höher

Tabelle 6: Vergleich von Biozidemissionen aus behandeltem Holz in unterschiedlichen Laborversuchen (Daten zu Beregnungsversuchen und Versuchen nach ENV 1250-2 aus Schoknecht et al., 2002)

Holzschutzmittel	Wirkstoff	Behandlungsverfahren	Versuchsparameter	Verluste in mg/m ²							
				Beregnen*		ENV 1250-2*		Versuche zum Fixierungsverlauf (pH 5,6)			
			Versuchsvariante	20	20	20	20	5	5	20	20
			Fixierungstemperatur	> 28	> 28	> 28	> 28	2	28**	2	28**
			Wassermenge [L/m ²]	30	49	25	25	25	25	25	25
			pH-Wert des Wassers	5	5	7	5	5,6	5,6	5,6	5,6
			Versuchsdauer [h]			1	1	1	1	1	1
								Beginn	Minimum	Beginn	Minimum*
CKB	Kupfer Chrom Bor	KVD		6,6	10,6	6,7	10,2	219	116	120	12
						4,1	4,8	755	308	425	1
				93	137	106	110	376	335	370	283
QAV	Kupfer Chrom Bor	TT						595	91	304	11
								1374	251	750	20
								675	254	587	263
QAV	BAC	KVD		54	80	47	74	598	244	411	155
		TT					3423	1301	2576	984	
Triazol	Propiconazol	KVD		20	31	22	21				
QAV/Triazol	DDAC Propiconazol	TT						1692	410	933	136
								86	26	73	23
Cu/Triazol/B	Kupfer Propiconazol B	KVD						8	5	9	5
								17	8	12	4
								31	20	31	20
CX	CuHDO Kupfer B	KVD						36	21	28	19
								16	6	10	5
			TT						231	50	162
						254	57	178	38		
							721	567	582	487	

* Fixierung wird als abgeschlossen betrachtet

** in einigen Fällen wurden die minimalen Verluste zu einem früheren Zeitpunkt ermittelt

waren als bei 30 L Regen/m². Ein Vergleich der Biozidemissionen in verschiedenen Testverfahren zeigt, dass die Verluste in dem für die Fixierungsuntersuchungen vorgeschlagenen einstündigen Auswaschversuch nach abgeschlossener Fixierung in etwa denen durch 30 bis 50 L Regen/m² entsprechen. In den Versuchen zur Wirkstofffixierung können die Verluste vermutlich dadurch erhöht sein, dass die Hirnflächen im Gegensatz zu den ENV 1250-2-Versuchen nicht abgedeckt waren.

Das im Kapitel 6 vorgeschlagene Bewertungsschema zur Festlegung der erforderlichen Fixierdauer für Holzschutzmittel ist darauf ausgerichtet, sowohl die Wirksamkeit der Produkte zu sichern als auch Biozidemissionen zu minimieren.

Obwohl dieses Verfahren keine direkte Ermittlung der Biozidemissionen während der Lagerung von behandeltem Holz erlaubt, kann man abschätzen, ob unmittelbar nach der Behandlung ein höheres Auswaschrisiko besteht als nach einer bestimmten Fixierdauer.

Ein alternatives Verfahren wurde in einer von der AWPAs initiierten Studie erprobt und zur Standardisierung vorgeschlagen. Das Prinzip – die Auswaschbarkeit der Wirkstoffe aus behandeltem Holz zu verschiedenen definierten Zeitpunkten nach der Behandlung zu messen – entspricht dem hier vorgestellten Methodenvorschlag. Der Untersuchungszeitraum beträgt ebenfalls 28 Tage, jedoch sind insgesamt 7 Probenahmen vorgesehen. Die Auswaschversuche werden in dem AWPAs-Verfahren für 4 Stunden unter statischen Bedingungen, in dem hier vorgelegten Vorschlag für 1 Stunde unter Rühren des Auswaschwassers durchgeführt. Die Prüfkörper werden als Bohrkörper aus größeren behandelten Hölzern entnommen. Dadurch variieren sowohl die Schutzmittelaufnahme als auch der Splintholzanteil der untersuchten Teilproben. Bei der Lagerung der Prüfkörper nach dem AWPAs-Vorschlag herrscht durchgehend eine hohe Luftfeuchte, während in dem hier vorgestellten Verfahren die Prüfkörper nur für 2 Wochen bei hoher Luftfeuchte lagern und dann langsam trocknen. Da die Untersuchungen nach dem AWPAs-Vorschlag bei 3 Fixiertemperaturen durchgeführt werden, ist es möglich, aus den vorliegenden Daten die erforderliche Fixierdauer für beliebige Temperaturen innerhalb des untersuchten Bereichs abzuschätzen, während nach dem hier vorgestellten Verfahren lediglich Aussagen zur Mindestfixierdauer im Bereich von 5 bzw. 20 °C möglich sind. Diese Vorgehensweise entspricht der bisherigen Praxis.

6 Vorschlag zur Bewertung von Daten aus Fixierungsversuchen

Sowohl aus Umweltgesichtspunkten als auch zur Sicherung der Wirksamkeit sollte für fixierende Wirkstoffe eine Mindestfixierung gefordert werden, die erreicht werden muss, bevor behandeltes Holz der Witterung ausgesetzt werden darf. Die vorliegenden Ergebnisse legen nahe, für die Laborversuche (!) einen Fixierungsindex von mindestens 95 % anzusetzen (siehe FG_{\max} -Werte in Tabelle 3, Ergebnisse).

Forderung 1 $FG_{\max(20\text{ °C})} \geq 95\%$

Um die erforderliche Fixierungsdauer festzulegen, bietet sich die Einführung eines Fixierungsindex an:

$$FI = FG_m / FG_{\max} \times 100$$

FI = Fixierungsindex zum Zeitpunkt t_x

FG_m = mittlerer Fixierungsgrad zum Zeitpunkt t_x

$FG_{\max(20\text{ °C})}$ = maximaler Fixierungsgrad bei 20 °C

Die erforderliche Fixierdauer sollte mindestens den Zeitraum umfassen, bis bei der jeweiligen Lagertemperatur ein Fixierungsindex von 95 % erreicht ist.

Forderung 2 $FI \geq 95\%$

Bei Präparaten mit mehreren Wirkstoffen sollte die Festlegung der erforderlichen Lagerdauer unter Dach an dem am langsamsten fixierenden Bestandteil orientiert sein. Sind die Forderungen für FG_{\max} und FI nur geringfügig unterschritten, kann auch eine Einzelfallentscheidung sinnvoll sein, die die Fixierungsverläufe aller enthaltenen Wirkstoffe berücksichtigt.

7 Literaturverzeichnis

- 1 Esser, P.M.; van der Sloot, H.A.; Suitela, W.L.D.: Harmonization of Leaching Tests: Leaching Behaviour of Wood. HERON 46/4 (2002) 15-29
- 2 Habicht, J.; Häntzschel, D.; Wittenzellner, J.: Influence of different fixation and ageing procedures on the leaching behaviour of copper from selected wood preservatives in laboratory trials. IRG/WP 03-20264 (2003) 1-20
- 3 Havermans, J.B.G.; Homan, W.J.; Boonstra, M.J.: The shower test method. A leaching test for assessing preservative losses from treated timber under simulated open storage conditions. IRG/WP 93-50001 (1993) 77-90
- 4 Kartal, S.N.; Lebow, S.: Effect of compression wood on leaching of chromium, copper, and arsenic from CCA-c treated red pine (*Pinus resinosa* Ait.). IRG/WP 00-30232 (2000) 1-9
- 5 Lebow, S: Leaching of Wood Preservative Components and Their Mobility in the Environment – Summary of Pertinent Literature. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-93 (1996), 1-36
- 6 Lucas, N.,; Ruddick J.N.R.: Determination of the amine to copper ratio remaining in wood after water leaching. IRG/WP 02-30285 (2002) 1-12
- 7 Mazela, B.: Changes of copper and chromium content after leaching in wood impregnated with the CCB and CB preservatives. IRG/WP 00-50147 (2000a) 1-15
- 8 Mazela, B.: Estimation of leachability of copper and chromium compounds from wood impregnated with the CCB and CB preservatives. Drevársky Výskum 45 (2000b) 1, S. 33-42
- 9 Müller, K.: Holzschutzpraxis – Ein Handbuch in Tabellen, Bauverlag 1993

- 10 Pasek, E.A.: Minimizing Preservative Losses: Fixation. A Report of the P4 Migration/Fixation/Depletion Task Force. 99th Annual Meeting of the American Wood-Preservers' Association, April 27-29, Boston (2003) 1-23
- 11 Peylo, A.; Willeitner, H.: Bewertung von Boraten als Holzschutzmittel. Holz als Roh- und Werkstoff 58/6 (2001) 476-482
- 12 Porandowski, J.; Cooper, P.A.; Kaldas, M.; Ung Y.T.: Evolution of CO₂ during the fixation of chromium containing wood preservatives on wood. Wood Science and Technology 32 (1998) 15-24
- 13 Schoknecht, U.; Wegner, R.; Horn, W.; Jann, O.: Biozidemissionen aus Materialien. BAM-Forschungsbericht (UFO-Plan 299 67 410), 2003
- 14 Schoknecht, U.; Wegner, R.; Horn, W.; Jann, O.: Emission of Biocides from Treated Materials – Test procedures for Water and Air. Environmental Science and Pollution Research 10/3 (2003) 154-161
- 15 Waldron, L.; Cooper, P.: A diffusion and reaction model for the leaching of Cr-VI from unfixed CCA-treated wood. IRG/WP 01-50169 (2001) 1-17
- 16 Waldron, L.; Cooper, P.: Testing of a diffusion and reaction model for the leaching of CCA components from unfixed CCA-treated wood. IRG/WP 02-50193 (2002) 1-16
- 17 Zujest, G.: Holzschutzleitfaden – Grundlagen, Maßnahmen, Sicherheit, Verlag Bauwesen, 2003

Normen für Probenvorbereitungen, Auswasch- und Analysenverfahren:

- 1 AWPA E11-97 (1997): Standard method of determining the leachability of wood preservatives
- 2 DIN EN 113, November 1996, Holzschutzmittel – Prüfverfahren zur Bestimmung der vorbeugenden Wirksamkeit gegen holzerstörende Basidiomyceten – Bestimmung der Grenze der Wirksamkeit; Deutsche Fassung EN 113:1996
- 3 DIN 52 161 Teil 7, September 1985, Prüfung von Holzschutzmitteln im Holz; Bestimmung des Gehaltes von kupfer- und chromhaltigen Holzschutzmitteln
- 4 DIN 38 406 Teil 7, September 1991, Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung: Kationen (Gruppe E); Bestimmung von Kupfer mittels Atomabsorptionsspektrometrie (AAS) (E 7)
- 5 DIN EN ISO 11 885, April 1998, Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von 33 Elementen durch induktiv gekoppelte Plasma-Atom-Emissionsspektrometrie (ISO 11 885:1996), Deutsche Fassung EN ISO 11885:1997
- 6 DIN EN 152-1, August 1989, Prüfverfahren für Holzschutzmittel, Laboratoriumsverfahren zur Bestimmung der vorbeugenden Wirksamkeit einer Schutzbehandlung von verarbeitetem Holz gegen Bläue, Teil 1: Anwendung im Streichverfahren, Deutsche Fassung EN 152-1:1998
- 7 DIN 68 800-3, April 1990, Holzschutz; Vorbeugender chemischer Holzschutz
- 8 DIN EN 84, Mai 1997, Holzschutzmittel; Beschleunigte Alterung von behandeltem Holz vor biologischen Prüfungen; Auswaschbeanspruchung, Deutsche Fassung EN 84:1997
- 9 DINV ENV 1250-2, April 1995, Verfahren zur Bestimmung der Abgabe von Wirkstoffen und anderen Schutzmittelbestandteilen aus behandeltem Holz – Teil 2: Laboratoriumsverfahren zur Gewinnung von Analysenproben zur Bestimmung der Abgabe durch Auswaschung in Wasser oder künstlichem Meerwasser, Deutsche Fassung ENV 1250-2:1994
- 10 JIS K 1571 (1998): Qualitative standards and testing methods of wood preservatives
- 11 DIN EN 599-1, Januar 1997, Anforderungen an Holzschutzmittel, wie sie durch biologische Prüfungen ermittelt werden, Deutsche Fassung EN 599-1:1996

Anhang 1 Fixierung eines CKB-Salzes nach Vakuum- und Trogtrankung

1.1 Daten fur Kupfer

1.1.1 KVD, Lagerung bei 5 °C

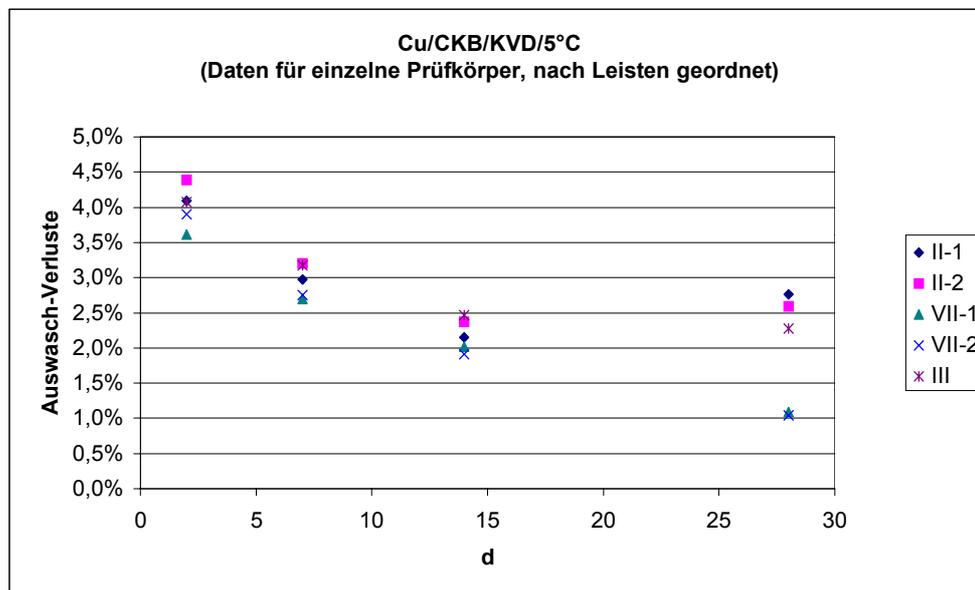
Holzschutzmittel: CKB
 Wirkstoff: Cu
 Verfahren: KVD
 Temperatur: 5°C
 FG_{max} (20°C): 99,8%

Cu/5°C

Leiste	Fixierzeit d	Verlust			FG	FI
		mg/L (Eluat)	mg	%		
II-1	2	11,1	1,09	4,1%	95,9%	96,1%
	7	8,0	0,80	3,0%	97,0%	97,2%
	14	5,9	0,57	2,2%	97,8%	98,1%
	28	7,8	0,75	2,8%	97,2%	97,4%
II-2	2	12,0	1,18	4,4%	95,6%	95,8%
	7	8,7	0,86	3,2%	96,8%	97,0%
	14	6,5	0,64	2,4%	97,6%	97,8%
	28	7,3	0,70	2,6%	97,4%	97,6%
VII-1	2	9,9	0,98	3,6%	96,4%	96,6%
	7	7,6	0,74	2,7%	97,3%	97,5%
	14	5,6	0,56	2,0%	98,0%	98,2%
	28	3,1	0,30	1,1%	98,9%	99,1%
VII-2	2	10,9	1,08	3,9%	96,1%	96,3%
	7	7,8	0,76	2,8%	97,2%	97,5%
	14	5,4	0,53	1,9%	98,1%	98,3%
	28	2,9	0,28	1,0%	99,0%	99,2%
III	2	10,7	1,04	4,1%	95,9%	96,1%
	7	8,4	0,82	3,2%	96,8%	97,0%
	14	6,6	0,65	2,5%	97,5%	97,7%
	28	6,1	0,60	2,3%	97,7%	97,9%

Cu/5°C

Fixierzeit d	Fixierung von Cu (n=3)					
	FG	FI	Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	96,1%	96,3%	10,6	1,04	219	3,9%
7	97,1%	97,3%	8,0	0,79	166	2,9%
14	97,8%	98,0%	6,1	0,59	125	2,2%
28	98,0%	98,2%	5,7	0,55	116	2,0%



1.1.2 KVD, Lagerung bei 20 °C

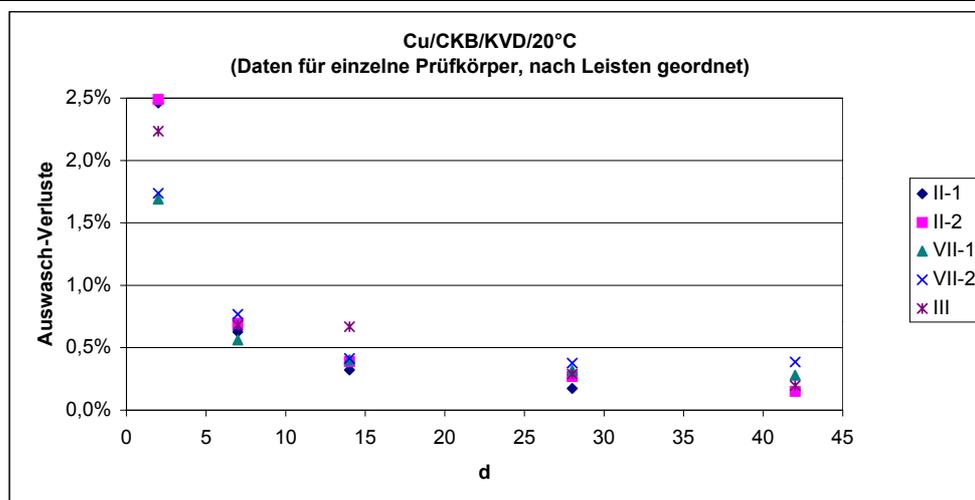
Holzschutzmittel: CKB
 Wirkstoff: Cu
 Verfahren: KVD
 Temperatur: 20°C
 FG_{max} (20°C): 99,8%

Cu/20°C

Leiste	Fixierzeit d	Verlust			FG	FI
		mg/L (Eluat)	mg			
II-1	2	6,72	0,66	2,5%	97,5%	97,7%
	7	1,74	0,17	0,6%	99,4%	99,6%
	14	0,91	0,09	0,3%	99,7%	99,9%
	28	0,49	0,05	0,2%	99,8%	100,0%
	42	0,44	0,04	0,2%	99,8%	100,1%
II-2	2	6,86	0,67	2,5%	97,5%	97,7%
	7	1,91	0,19	0,7%	99,3%	99,5%
	14	1,09	0,11	0,4%	99,6%	99,8%
	28	0,75	0,07	0,3%	99,7%	99,9%
	42	0,42	0,04	0,1%	99,9%	100,1%
VII-1	2	4,76	0,47	1,7%	98,3%	98,5%
	7	1,57	0,16	0,6%	99,4%	99,6%
	14	1,15	0,11	0,4%	99,6%	99,8%
	28	0,91	0,09	0,3%	99,7%	99,9%
	42	0,81	0,08	0,3%	99,7%	99,9%
VII-2	2	4,97	0,48	1,7%	98,3%	98,5%
	7	2,17	0,21	0,8%	99,2%	99,4%
	14	1,16	0,11	0,4%	99,6%	99,8%
	28	1,05	0,10	0,4%	99,6%	99,8%
	42	1,12	0,11	0,4%	99,6%	99,8%
III	2	5,94	0,58	2,2%	97,8%	98,0%
	7	1,78	0,18	0,7%	99,3%	99,5%
	14	1,79	0,17	0,7%	99,3%	99,5%
	28	0,78	0,08	0,3%	99,7%	99,9%
	42	0,53	0,05	0,2%	99,8%	100,0%

Cu/20°C

Fixierzeit d	FG	FI	Fixierung von Cu (n=3)			
			Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	97,9%	98,1%	5,81	0,57	120	2,1%
7	99,4%	99,6%	1,70	0,17	35	0,6%
14	99,5%	99,7%	1,28	0,12	26	0,5%
28	99,7%	99,9%	0,72	0,07	15	0,3%
42	99,8%	100,0%	0,60	0,06	12	0,2%



1.1.3 KVD, Auswaschversuche mit 5 Prüfkörpern je Ansatz, Lagerung bei 20 °C

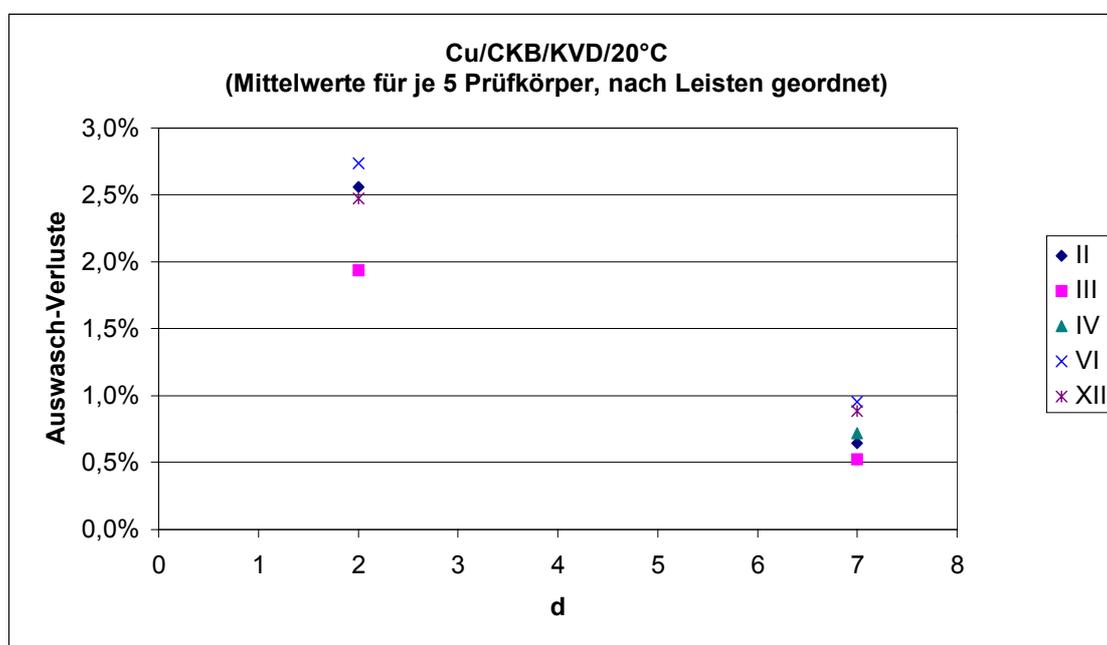
Holzschutzmittel: CKB
 Wirkstoff: Cu
 Verfahren: KVD
 Temperatur: 20°C
 FG_{max} (20°C): 99,8%
 Bemerkung: jeweils 5 Prüfkörper gemeinsam eluiert

Cu/20°C

Leiste	Fixierzeit d	Verlust			FG	FI
		mg/L (Eluat)	mg			
II	2	6,85	3,42	2,6%	97,4%	97,6%
	7	1,86	0,93	0,6%	99,4%	99,6%
III	2	5,19	2,59	1,9%	98,1%	98,3%
	7	1,51	0,76	0,5%	99,5%	99,7%
IV	2	8,52	4,25	3,3%	96,7%	96,9%
	7	2,06	1,03	0,7%	99,3%	99,5%
VI	2	7,03	3,51	2,7%	97,3%	97,5%
	7	2,67	1,33	1,0%	99,0%	99,3%
XII	2	7,13	3,56	2,5%	97,5%	97,7%
	7	2,48	1,24	0,9%	99,1%	99,3%

Cu/20°C

Fixierzeit d	Fixierung von Cu (n=5)					
	FG	FI	Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	97,4%	97,6%	6,94	3,46	146	2,6%
7	99,2%	99,5%	2,12	1,06	44	0,7%



1.1.4 TT, Lagerung bei 5 °C

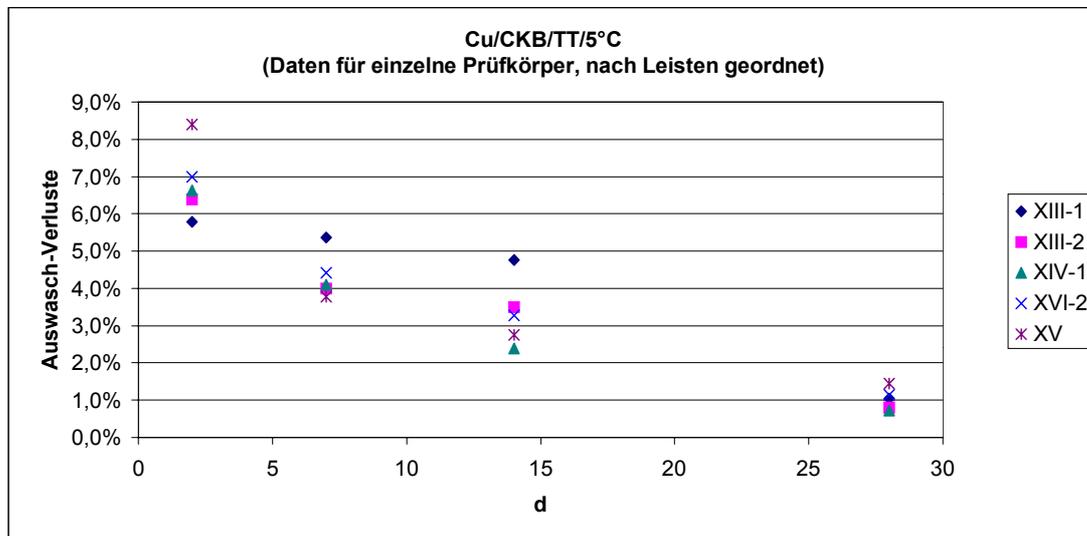
Holzschutzmittel: CKB
 Wirkstoff: Cu
 Verfahren: TT
 Temperatur: 5°C
 FG_{max} (20°C): 99,9%

Cu/5°C

Leiste	Fixierzeit d	Verlust			FG	FI
		mg/L	mg			
XIII-1	2	18,3	1,81	5,8%	94,2%	94,3%
	7	15,6	1,54	5,4%	94,6%	94,8%
	14	13,6	1,34	4,8%	95,2%	95,4%
	28	3,2	0,31	1,0%	99,0%	99,1%
XIII-2	2	17,5	1,73	6,4%	93,6%	93,7%
	7	11,9	1,18	4,0%	96,0%	96,1%
	14	10,9	1,07	3,5%	96,5%	96,6%
	28	2,7	0,26	0,8%	99,2%	99,3%
XIV-1	2	19,4	1,92	6,6%	93,4%	93,5%
	7	11,9	1,18	4,1%	95,9%	96,0%
	14	7,3	0,72	2,4%	97,6%	97,7%
	28	2,5	0,25	0,7%	99,3%	99,4%
XVI-2	2	19,1	1,89	7,0%	93,0%	93,1%
	7	12,6	1,25	4,4%	95,6%	95,7%
	14	8,9	0,88	3,3%	96,7%	96,9%
	28	3,1	0,31	1,1%	98,9%	99,0%
XV	2	34,5	3,41	8,4%	91,6%	91,7%
	7	15,0	1,48	3,8%	96,2%	96,3%
	14	9,6	0,95	2,7%	97,3%	97,4%
	28	5,4	0,53	1,5%	98,5%	98,7%

Cu/5°C

Fixierzeit d	Fixierung von Cu (n=3)					
	FG	FI	Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	93,1%	93,2%	24,1	2,38	595	6,9%
7	95,6%	95,7%	14,1	1,40	350	4,4%
14	96,7%	96,8%	10,2	1,01	252	3,3%
28	98,9%	99,1%	3,7	0,36	91	1,1%



1.1.5 TT, Lagerung bei 20 °C

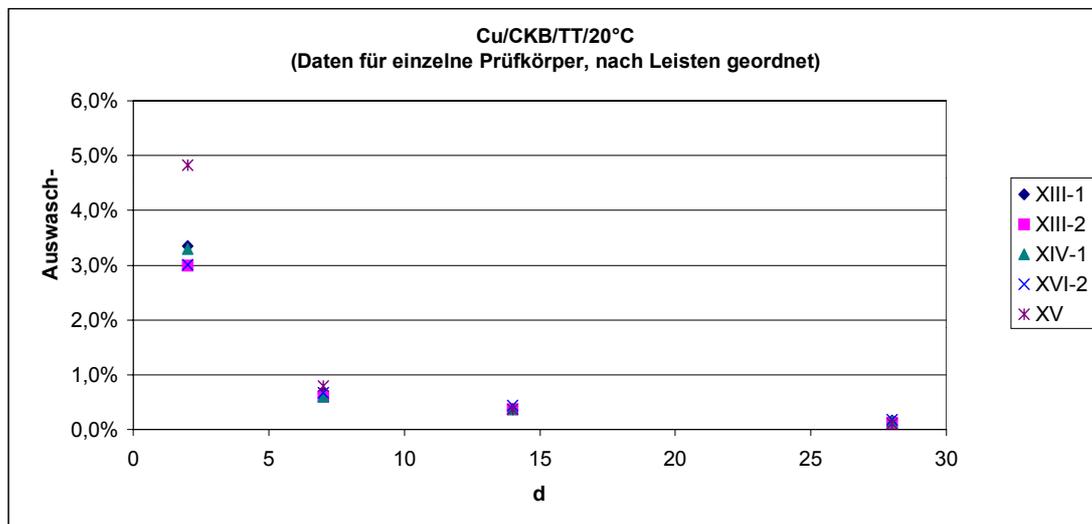
Holzschutzmittel: CKB
 Wirkstoff: Cu
 Verfahren: TT
 Temperatur: 20°C
 FG_{max} (20°C): 99,9%

Cu/20°C

Leiste	Fixierzeit d	Verlust			FG	FI
		mg/L	mg			
XIII-1	2	9,72	0,96	3,3%	96,7%	96,8%
	7	1,98	0,20	0,7%	99,3%	99,5%
	14	1,22	0,12	0,4%	99,6%	99,8%
	28	0,45	0,04	0,2%	99,8%	100,0%
XIII-2	2	8,61	0,85	3,0%	97,0%	97,1%
	7	1,74	0,17	0,6%	99,4%	99,5%
	14	1,06	0,10	0,4%	99,6%	99,8%
	28	0,40	0,04	0,1%	99,9%	100,0%
XIV-1	2	8,58	0,85	3,3%	96,7%	96,8%
	7	1,64	0,16	0,6%	99,4%	99,5%
	14	1,07	0,10	0,4%	99,6%	99,8%
	28	0,39	0,04	0,1%	99,9%	100,0%
XVI-2	2	8,15	0,81	3,0%	97,0%	97,1%
	7	1,86	0,18	0,7%	99,3%	99,5%
	14	1,04	0,10	0,4%	99,6%	99,7%
	28	0,45	0,04	0,2%	99,8%	100,0%
XV	2	18,57	1,84	4,8%	95,2%	95,3%
	7	3,55	0,35	0,8%	99,2%	99,3%
	14	1,32	0,13	0,4%	99,6%	99,8%
	28	0,48	0,05	0,1%	99,9%	100,0%

Cu/20°C

Fixierzeit d	Fixierung von Cu (n=3)					
	FG	FI	Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	96,2%	96,3%	12,29	1,22	304	3,8%
7	99,3%	99,5%	2,39	0,24	59	0,7%
14	99,6%	99,8%	1,20	0,12	29	0,4%
28	99,9%	100,0%	0,44	0,04	11	0,1%



1.2 Daten für Chrom

1.2.1 KVD, Lagerung bei 5 °C

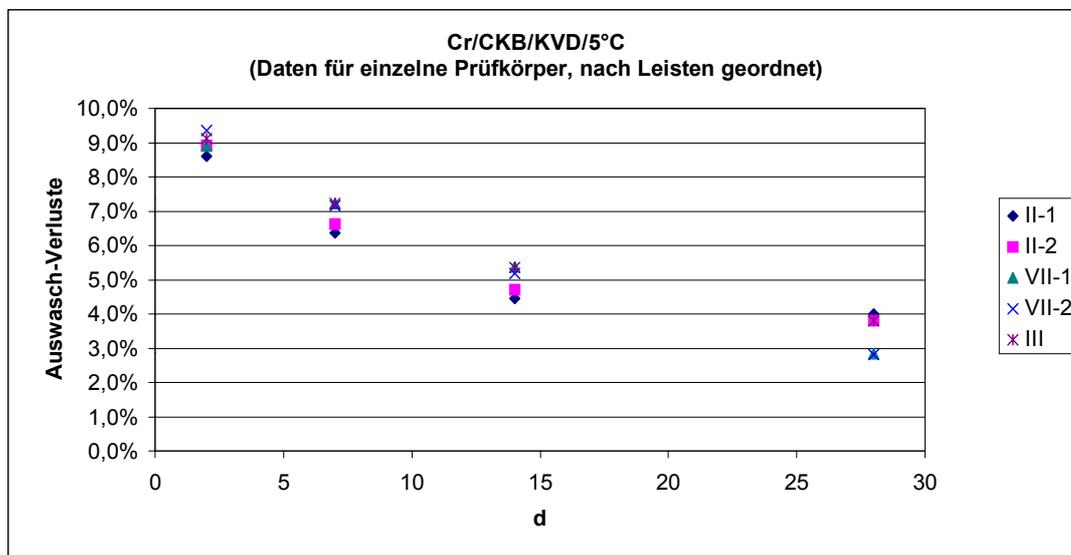
Holzschutzmittel:	CKB
Wirkstoff:	Cr
Verfahren:	KVD
Temperatur:	5°C
FG _{max} (20°C):	99,98%

Cr/5°C

Leiste	Fixierzeit d	Verlust			FG	FI
		mg/L (Eluat)	mg			
II-1	2	35,6	3,49	8,6%	91,4%	91,4%
	7	26,3	2,60	6,4%	93,6%	93,7%
	14	18,7	1,82	4,5%	95,5%	95,6%
	28	17,4	1,67	4,0%	96,0%	96,0%
II-2	2	37,5	3,67	8,9%	91,1%	91,1%
	7	27,6	2,73	6,6%	93,4%	93,4%
	14	19,8	1,96	4,7%	95,3%	95,3%
	28	16,5	1,58	3,8%	96,2%	96,2%
VII-1	2	37,4	3,70	8,9%	91,1%	91,1%
	7	31,0	3,03	7,2%	92,8%	92,8%
	14	22,9	2,27	5,4%	94,6%	94,6%
	28	12,4	1,20	2,8%	97,2%	97,2%
VII-2	2	39,9	3,95	9,4%	90,6%	90,7%
	7	31,0	3,04	7,2%	92,8%	92,8%
	14	22,5	2,20	5,2%	94,8%	94,8%
	28	12,0	1,18	2,8%	97,2%	97,2%
III	2	36,5	3,57	9,1%	90,9%	90,9%
	7	29,2	2,86	7,2%	92,8%	92,8%
	14	22,0	2,16	5,4%	94,6%	94,7%
	28	15,7	1,52	3,8%	96,2%	96,2%

Cr/5°C

Fixierzeit d	Fixierung von Cr (n=3)					
	FG	FI	Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	91,1%	91,1%	36,48	3,59	755	8,9%
7	93,1%	93,1%	28,83	2,83	597	6,9%
14	94,9%	95,0%	21,23	2,08	438	5,1%
28	96,4%	96,5%	15,15	1,46	308	3,6%



1.2.2 KVD, Lagerung bei 20 °C

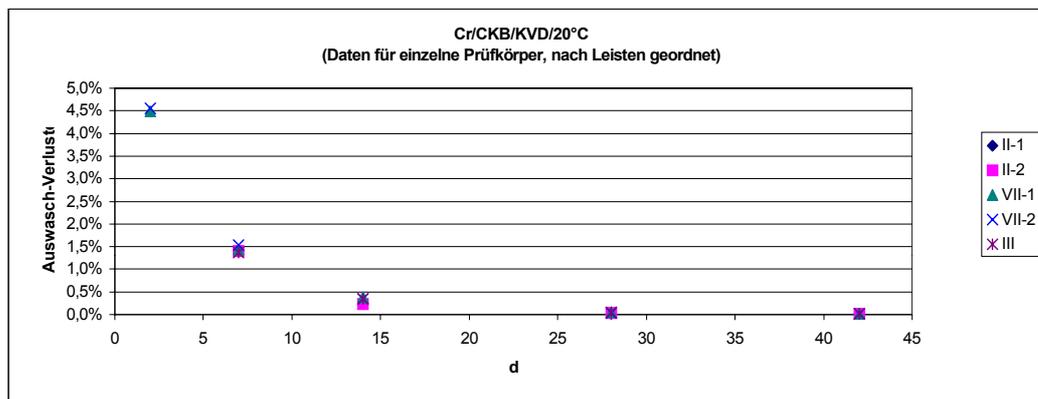
Holzschutzmittel: CKB
 Wirkstoff: Cr
 Verfahren: KVD
 Temperatur: 20°C
 FG_{max} (20°C): 99,98%

Cr/20°C

Leiste	Fixierzeit d	Verlust			FG	FI
		mg/L (Eluat)	mg			
II-1	2	21,73	2,15	5,21%	94,79%	94,81%
	7	5,91	0,58	1,40%	98,60%	98,62%
	14	1,03	0,10	0,24%	99,76%	99,78%
	28	0,05	0,00	0,01%	99,99%	100,01%
	42	0,07	0,01	0,02%	99,98%	100,00%
II-2	2	21,77	2,13	5,17%	94,83%	94,85%
	7	5,84	0,58	1,39%	98,61%	98,62%
	14	0,99	0,10	0,23%	99,77%	99,79%
	28	0,14	0,01	0,03%	99,97%	99,99%
	42	0,06	0,01	0,01%	99,99%	100,01%
VII-1	2	19,30	1,89	4,48%	95,52%	95,54%
	7	6,13	0,61	1,44%	98,56%	98,58%
	14	1,67	0,16	0,38%	99,62%	99,64%
	28	0,18	0,02	0,04%	99,96%	99,98%
	42	0,04	0,00	0,01%	99,99%	100,01%
VII-2	2	19,91	1,93	4,56%	95,44%	95,46%
	7	6,62	0,65	1,53%	98,47%	98,49%
	14	1,46	0,14	0,34%	99,66%	99,68%
	28	0,15	0,02	0,04%	99,96%	99,98%
	42	0,05	0,00	0,01%	99,99%	100,01%
III	2	20,58	2,02	5,07%	94,93%	94,95%
	7	5,47	0,54	1,37%	98,63%	98,65%
	14	1,41	0,14	0,34%	99,66%	99,68%
	28	0,17	0,02	0,04%	99,96%	99,98%
	42	0,08	0,01	0,02%	99,98%	100,00%

Cr/20°C

Fixierzeit d	Fixierung von Cu (n=3)					
	FG	FI	Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	95,08%	95,10%	20,54	2,02	425	4,92%
7	98,60%	98,62%	5,84	0,58	121	1,40%
14	99,68%	99,70%	1,37	0,13	28	0,32%
28	99,97%	99,99%	0,13	0,01	3	0,03%
42	99,98%	100,00%	0,06	0,01	1	0,02%



1.2.3 KVD, Auswaschversuche mit 5 Prüfkörpern je Ansatz, Lagerung bei 20 °C

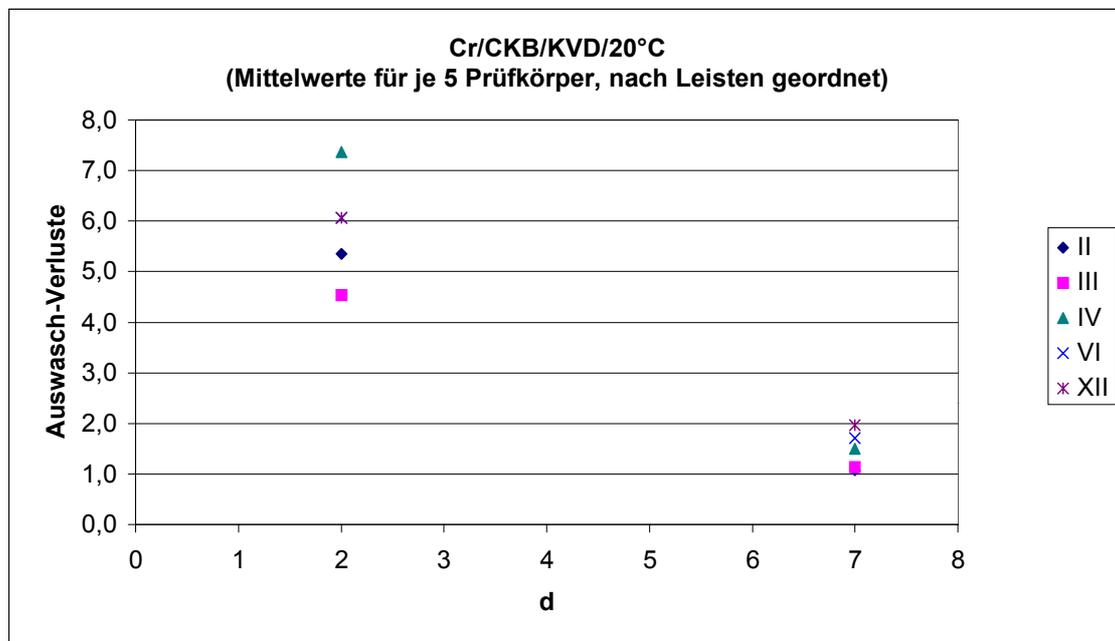
Holzschutzmittel: CKB
 Wirkstoff: Cr
 Verfahren: KVD
 Temperatur: 20°C
 FG_{max} (20°C): 99,98%
 Bemerkung: jeweils 5 Prüfkörper gemeinsam eluiert

Cu/20°C

Leiste	Fixierzeit d	Verlust			FG	FI
		mg/L (Eluat)	mg			
II	2	21,9	10,93	5,4%	94,6%	94,7%
	7	4,7	2,36	1,1%	98,9%	98,9%
III	2	18,6	9,28	4,5%	95,5%	95,5%
	7	5,0	2,47	1,1%	98,9%	98,9%
IV	2	29,0	14,49	7,4%	92,6%	92,7%
	7	6,5	3,26	1,5%	98,5%	98,5%
VI	2	23,8	11,89	6,1%	93,9%	94,0%
	7	7,3	3,64	1,7%	98,3%	98,3%
XII	2	26,7	13,31	6,1%	93,9%	94,0%
	7	8,4	4,17	2,0%	98,0%	98,1%

Cr/20°C

Fixierzeit d	Fixierung von Cr (n=5)					
	FG	FI	Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	94,1%	94,1%	24,00	11,98	504	5,9%
7	98,5%	98,5%	6,37	3,18	134	1,5%



1.2.4 TT, Lagerung bei 5 °C

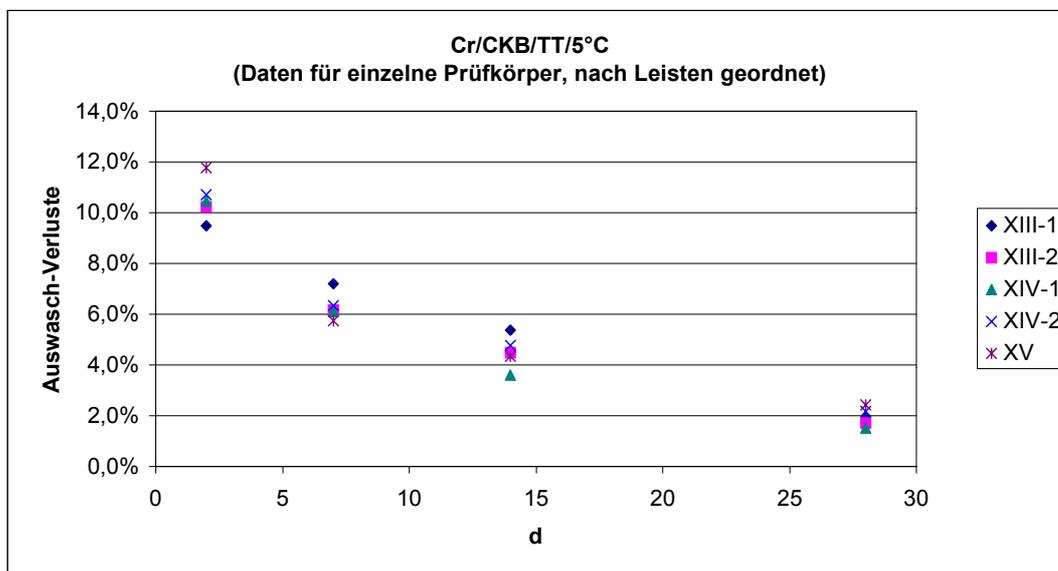
Holzschutzmittel: CKB
 Wirkstoff: Cr
 Verfahren: TT
 Temperatur: 5°C
 FG_{max} (20°C): 99,8%

Cr/5°C

Leiste	Fixierzeit d	Verlust			FG	FI
		mg/L (Eluat)	mg			
XIII-1	2	45,7	4,52	9,5%	90,5%	90,7%
	7	32,0	3,17	7,2%	92,8%	93,0%
	14	23,3	2,31	5,4%	94,6%	94,8%
	28	9,0	0,88	1,9%	98,1%	98,2%
XIII-2	2	42,8	4,24	10,2%	89,8%	89,9%
	7	28,2	2,79	6,2%	93,8%	94,0%
	14	21,4	2,10	4,5%	95,5%	95,7%
	28	8,6	0,83	1,7%	98,3%	98,4%
XIV-1	2	47,0	4,65	10,5%	89,5%	89,7%
	7	27,1	2,68	6,1%	93,9%	94,0%
	14	16,8	1,66	3,6%	96,4%	96,6%
	28	8,0	0,79	1,5%	98,5%	98,7%
XIV-2	2	44,8	4,43	10,7%	89,3%	89,4%
	7	27,7	2,74	6,4%	93,6%	93,8%
	14	19,7	1,95	4,8%	95,2%	95,4%
	28	9,0	0,89	2,2%	97,8%	98,0%
XV	2	73,9	7,32	11,8%	88,2%	88,4%
	7	34,8	3,44	5,8%	94,2%	94,4%
	14	23,3	2,31	4,3%	95,7%	95,8%
	28	13,7	1,34	2,4%	97,6%	97,7%

Cr/5°C

Fixierzeit d	Fixierung von Cr (n=3)					
	FG	FI	Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	89,4%	89,6%	55,5	5,50	1374	10,6%
7	93,7%	93,8%	31,3	3,10	775	6,3%
14	95,6%	95,7%	21,2	2,09	523	4,4%
28	98,1%	98,2%	10,3	1,00	251	1,9%



1.2.5 TT, Lagerung bei 20 °C

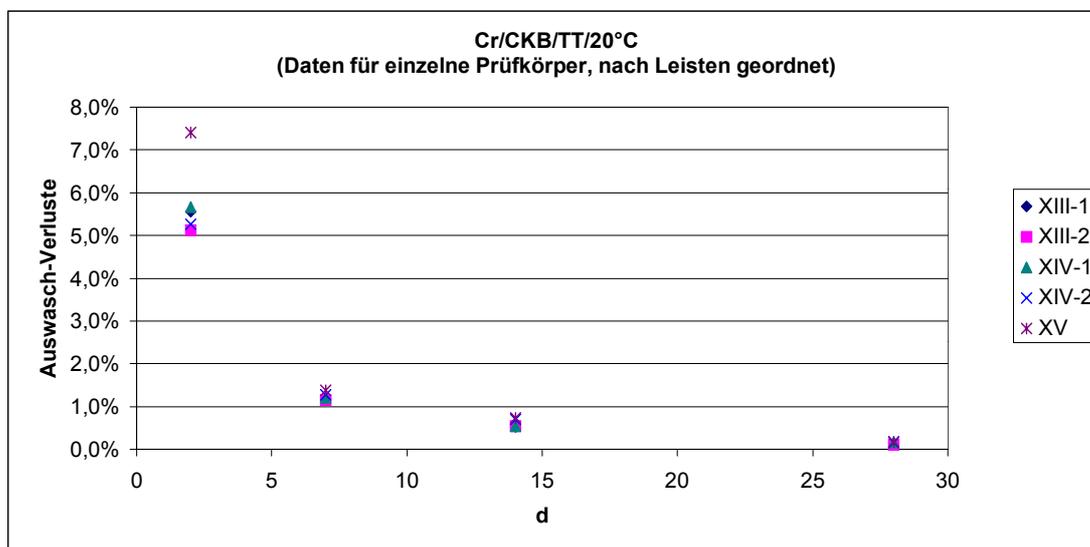
Holzschutzmittel: CKB
 Wirkstoff: Cr
 Verfahren: TT
 Temperatur: 20°C
 FG_{max} (20°C): 99,8%

Cr/20°C

Leiste	Fixierzeit d	Verlust			FG	FI
		mg/L (Eluat)	mg			
XIII-1	2	24,7	2,45	5,6%	94,4%	94,6%
	7	5,4	0,54	1,2%	98,8%	99,0%
	14	2,6	0,25	0,5%	99,5%	99,6%
	28	0,6	0,06	0,1%	99,9%	100,0%
XIII-2	2	22,6	2,23	5,1%	94,9%	95,0%
	7	5,0	0,50	1,1%	98,9%	99,0%
	14	2,4	0,23	0,5%	99,5%	99,6%
	28	0,5	0,05	0,1%	99,9%	100,1%
XIV-1	2	22,6	2,24	5,7%	94,3%	94,5%
	7	5,0	0,50	1,2%	98,8%	99,0%
	14	2,4	0,23	0,5%	99,5%	99,6%
	28	0,6	0,06	0,2%	99,8%	100,0%
XIV-2	2	21,9	2,17	5,3%	94,7%	94,9%
	7	5,4	0,53	1,3%	98,7%	98,9%
	14	2,5	0,25	0,7%	99,3%	99,5%
	28	0,6	0,06	0,2%	99,8%	100,0%
XV	2	43,6	4,32	7,4%	92,6%	92,7%
	7	9,4	0,93	1,4%	98,6%	98,8%
	14	4,0	0,40	0,7%	99,3%	99,4%
	28	1,2	0,11	0,2%	99,8%	100,0%

Cr/20°C

Fixierzeit d	Fixierung von Cr (n=3)					
	FG	FI	Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	93,8%	93,9%	30,3	3,00	750	6,2%
7	98,7%	98,9%	6,6	0,65	164	1,3%
14	99,4%	99,6%	3,0	0,29	73	0,6%
28	99,8%	100,0%	0,8	0,08	20	0,2%



1.3 Daten für Bor

1.3.1 KVD, Lagerung bei 5 °C

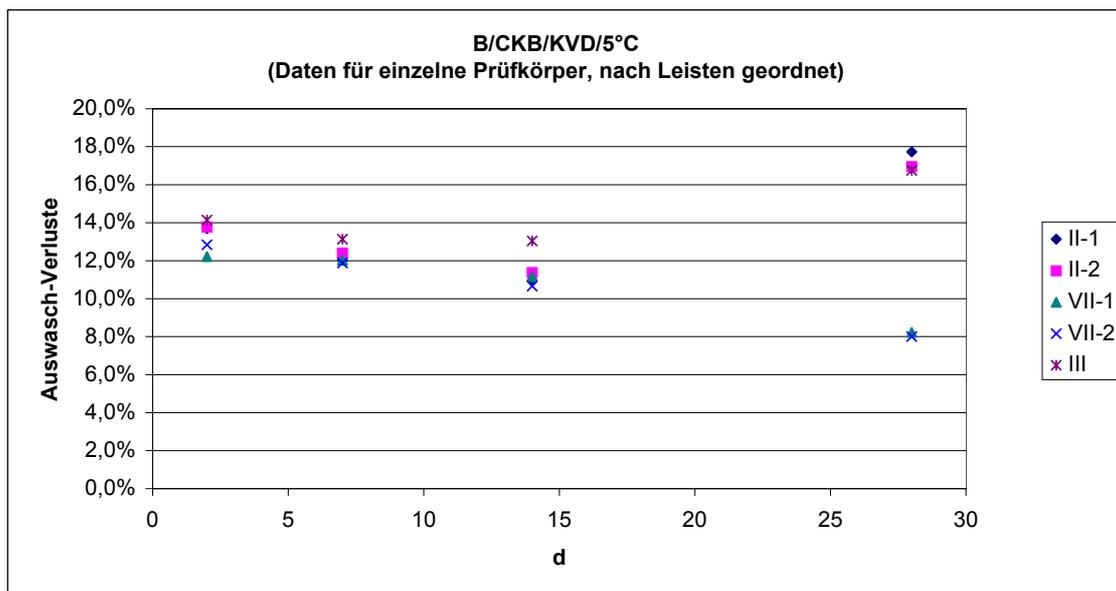
Holzschutzmittel: CKB
 Wirkstoff: B
 Verfahren: KVD
 Temperatur: 5°C
 FG_{max} (20°C): 90,1%

B/5°C

Leiste	Fixierzeit d	Verlust			FG	FI
		mg/L (Eluat)	mg	%		
II-1	2	18,7	1,84	13,7%	86,3%	95,8%
	7	16,4	1,63	12,0%	88,0%	97,6%
	14	15,3	1,48	11,0%	89,0%	98,8%
	28	25,4	2,44	17,7%	82,3%	91,3%
II-2	2	19,1	1,87	13,8%	86,2%	95,7%
	7	17,1	1,69	12,4%	87,6%	97,2%
	14	15,8	1,56	11,4%	88,6%	98,3%
	28	24,3	2,33	17,0%	83,0%	92,1%
VII-1	2	17,0	1,68	12,2%	87,8%	97,4%
	7	17,0	1,67	12,0%	88,0%	97,6%
	14	15,7	1,56	11,2%	88,8%	98,6%
	28	11,8	1,15	8,2%	91,8%	101,8%
VII-2	2	18,1	1,79	12,8%	87,2%	96,7%
	7	17,0	1,67	11,9%	88,1%	97,8%
	14	15,3	1,50	10,7%	89,3%	99,1%
	28	11,3	1,11	8,0%	92,0%	102,1%
III	2	18,7	1,83	14,1%	85,9%	95,2%
	7	17,6	1,72	13,1%	86,9%	96,4%
	14	17,7	1,74	13,0%	87,0%	96,5%
	28	22,9	2,22	16,7%	83,3%	92,4%

B/5°C

Fixierung von B (n=3)						
Fixierzeit d	FG	FI	Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	%
2	86,6%	96,1%	18,1	1,78	376	13,4%
7	87,6%	97,2%	17,0	1,67	352	12,4%
14	88,3%	97,9%	16,2	1,59	335	11,7%
28	85,8%	95,1%	20,0	1,94	408	14,2%



1.3.2 KVD, Lagerung bei 20 °C

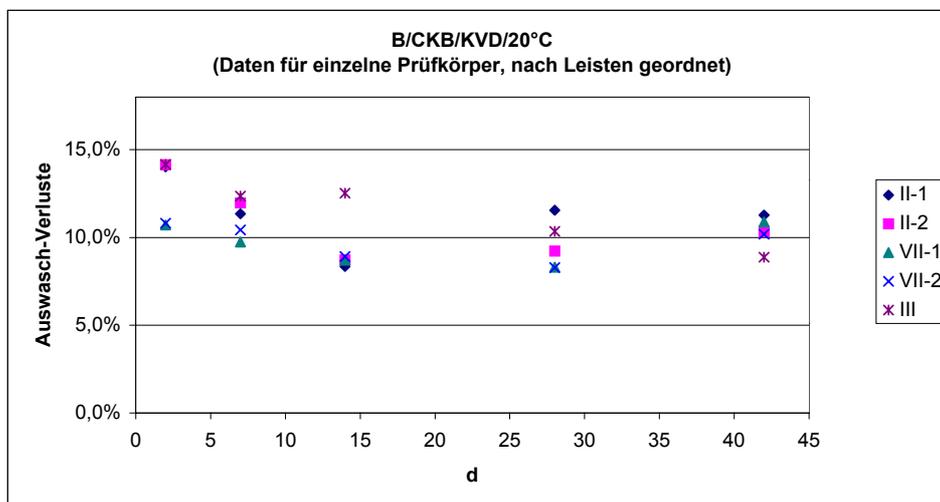
Holzschutzmittel: CKB
 Wirkstoff: B
 Verfahren: KVD
 Temperatur: 20°C
 FG_{max} (20°C): 90,1%

B/20°C

Leiste	Fixierzeit d	Verlust			FG	FI
		mg/L (Eluat)	mg			
II-1	2	19,4	1,92	14,0%	86,0%	95,4%
	7	15,9	1,56	11,4%	88,6%	98,3%
	14	11,9	1,15	8,3%	91,7%	101,7%
	28	16,4	1,59	11,6%	88,4%	98,1%
	42	16,1	1,55	11,3%	88,7%	98,4%
II-2	2	19,7	1,93	14,1%	85,9%	95,2%
	7	16,6	1,64	12,0%	88,0%	97,7%
	14	12,4	1,20	8,7%	91,3%	101,3%
	28	13,1	1,27	9,2%	90,8%	100,7%
	42	14,8	1,42	10,3%	89,7%	99,5%
VII-1	2	15,3	1,49	10,7%	89,3%	99,1%
	7	13,8	1,36	9,7%	90,3%	100,1%
	14	12,5	1,23	8,7%	91,3%	101,3%
	28	12,0	1,17	8,3%	91,7%	101,7%
	42	15,9	1,53	10,9%	89,1%	98,9%
VII-2	2	15,6	1,52	10,8%	89,2%	98,9%
	7	14,9	1,46	10,4%	89,6%	99,4%
	14	12,6	1,23	8,9%	91,1%	101,0%
	28	11,7	1,14	8,3%	91,7%	101,8%
	42	14,9	1,42	10,2%	89,8%	99,6%
III	2	19,0	1,86	14,2%	85,8%	95,2%
	7	16,4	1,62	12,4%	87,6%	97,2%
	14	17,0	1,65	12,5%	87,5%	97,0%
	28	14,1	1,37	10,3%	89,7%	99,5%
	42	12,1	1,18	8,9%	91,1%	101,1%

B/20°C

Fixierzeit d	Fixierung von B (n=3)					
	FG	FI	Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	87,0%	96,6%	17,9	1,76	370	13,0%
7	88,8%	98,6%	15,3	1,51	318	11,2%
14	90,1%	100,0%	13,8	1,34	283	9,9%
28	89,9%	99,8%	14,1	1,38	290	10,1%
42	89,7%	99,5%	14,7	1,42	299	10,3%



1.3.3 KVD, Auswaschversuche mit 5 Prüfkörpern je Ansatz, Lagerung bei 20 °C

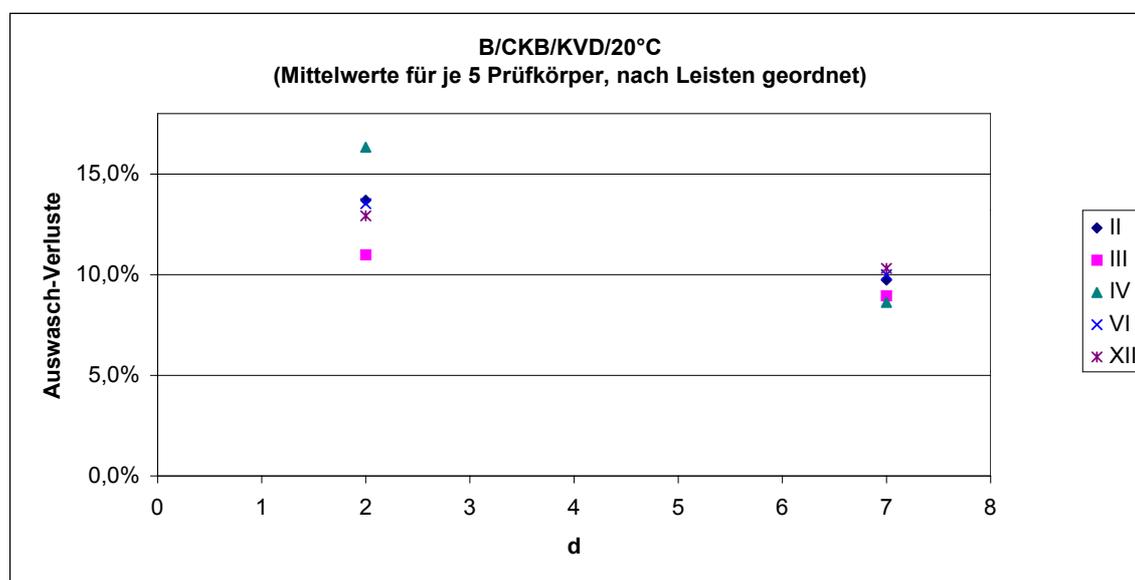
Holzschutzmittel: CKB
 Wirkstoff: B
 Verfahren: KVD
 Temperatur: 20°C
 FG_{max} (20°C): 90,1%
 Bemerkung: jeweils 5 Prüfkörper gemeinsam eluiert

B/20°C

Leiste	Fixierzeit d	Verlust			FG	FI
		mg/L (Eluat)	mg			
II	2	18,5	9,25	13,7%	86,3%	95,7%
	7	14,1	7,06	9,7%	90,3%	100,1%
III	2	14,9	7,43	11,0%	89,0%	98,8%
	7	13,0	6,47	9,0%	91,0%	101,0%
IV	2	21,3	10,63	16,3%	83,7%	92,8%
	7	12,5	6,23	8,6%	91,4%	101,4%
VI	2	17,6	8,77	13,5%	86,5%	95,9%
	7	14,1	7,06	10,0%	90,0%	99,8%
XII	2	18,8	9,39	12,9%	87,1%	96,6%
	7	14,6	7,28	10,3%	89,7%	99,5%

B/20°C

Fixierung von B (n=5)						
Fixierzeit d	FG	FI	Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	86,5%	96,0%	18,2	9,09	455	13,5%
7	90,4%	100,3%	13,7	6,82	341	9,5%



1.3.4 TT, Lagerung bei 5 °C

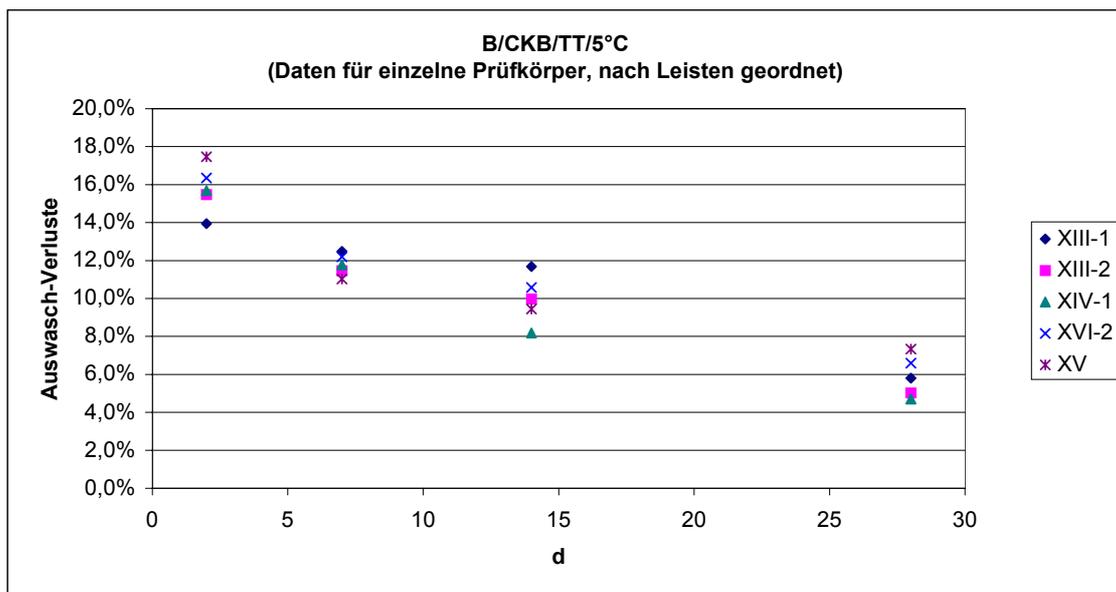
Holzschutzmittel: CKB
 Wirkstoff: B
 Verfahren: TT
 Temperatur: 5°C
 FG_{max} (20°C): 93,5%

B/5°C

Leiste	Fixierzeit d	Verlust			FG	FI
		mg/L (Eluat)	mg	%		
XIII-1	2	22,2	2,20	13,9%	86,1%	92,0%
	7	18,4	1,82	12,5%	87,5%	93,6%
	14	16,8	1,66	11,7%	88,3%	94,4%
	28	9,0	0,88	5,8%	94,2%	100,7%
XIII-2	2	21,4	2,12	15,5%	84,5%	90,4%
	7	17,3	1,71	11,5%	88,5%	94,7%
	14	15,7	1,54	10,0%	90,0%	96,2%
	28	8,4	0,81	5,0%	95,0%	101,5%
XIV-1	2	23,3	2,30	15,7%	84,3%	90,1%
	7	17,3	1,71	11,8%	88,2%	94,3%
	14	12,6	1,25	8,2%	91,8%	98,2%
	28	8,3	0,82	4,7%	95,3%	101,9%
XVI-2	2	22,6	2,24	16,3%	83,7%	89,4%
	7	17,6	1,74	12,2%	87,8%	93,9%
	14	14,5	1,43	10,6%	89,4%	95,6%
	28	9,1	0,90	6,6%	93,4%	99,9%
XV	2	36,3	3,59	17,5%	82,5%	88,2%
	7	22,0	2,18	11,0%	89,0%	95,1%
	14	16,8	1,66	9,4%	90,6%	96,8%
	28	13,8	1,35	7,3%	92,7%	99,1%

B/5°C

Fixierzeit d	Fixierung von B (n=3)					
	FG	FI	Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	84,3%	90,1%	27,3	2,70	675	15,7%
7	88,2%	94,3%	19,2	1,90	476	11,8%
14	90,2%	96,5%	15,4	1,53	381	9,8%
28	94,1%	100,6%	10,4	1,01	254	5,9%



1.3.5 TT, Lagerung bei 20 °C

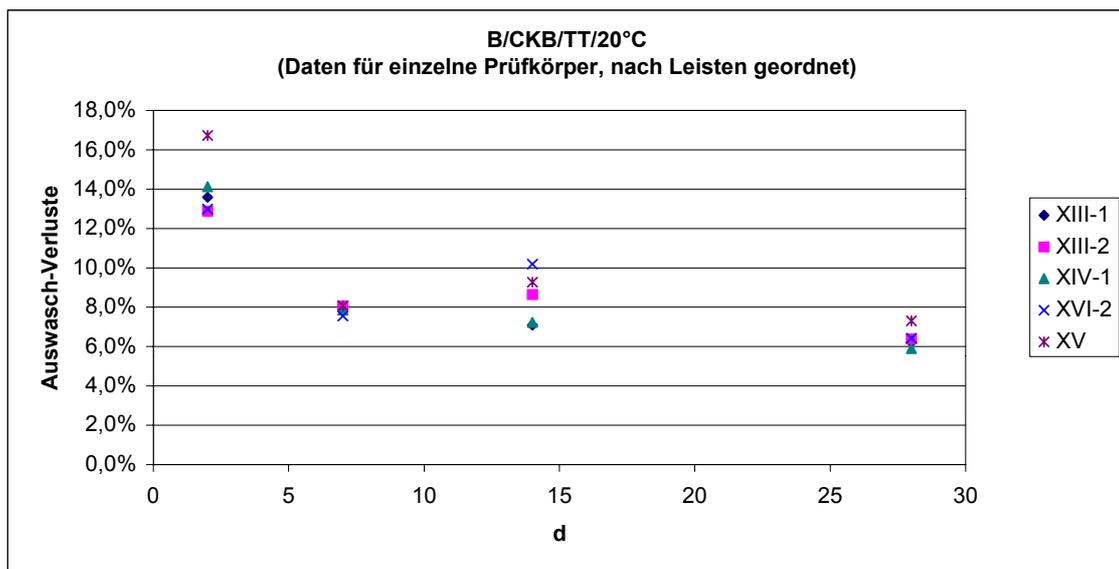
Holzschutzmittel: CKB
 Wirkstoff: B
 Verfahren: TT
 Temperatur: 20°C
 FG_{max} (20°C): 93,5%

B/20°C

Leiste	Fixierzeit d	Verlust			FG	FI
		mg/L (Eluat)	mg			
XIII-1	2	20,0	1,98	13,6%	86,4%	92,4%
	7	12,2	1,20	8,1%	91,9%	98,3%
	14	11,7	1,14	7,1%	92,9%	99,3%
	28	8,9	0,87	6,2%	93,8%	100,3%
XIII-2	2	18,7	1,86	12,9%	87,1%	93,1%
	7	11,7	1,16	8,1%	91,9%	98,3%
	14	12,6	1,23	8,6%	91,4%	97,7%
	28	11,0	1,06	6,4%	93,6%	100,1%
XIV-1	2	18,7	1,85	14,1%	85,9%	91,8%
	7	11,0	1,09	7,9%	92,1%	98,5%
	14	10,5	1,03	7,2%	92,8%	99,2%
	28	8,0	0,79	5,9%	94,1%	100,6%
XVI-2	2	17,8	1,77	13,0%	87,0%	93,0%
	7	10,5	1,04	7,6%	92,4%	98,8%
	14	12,3	1,20	10,2%	89,8%	96,0%
	28	8,5	0,82	6,4%	93,6%	100,0%
XV	2	32,6	3,22	16,7%	83,3%	89,0%
	7	18,3	1,81	8,1%	91,9%	98,3%
	14	17,0	1,67	9,3%	90,7%	97,0%
	28	15,6	1,50	7,3%	92,7%	99,1%

B/20°C

Fixierzeit d	Fixierung von B (n=3)					
	FG	FI	Verlust			
			mg/l (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	85,2%	91,1%	23,7	2,35	587	14,8%
7	92,0%	98,4%	13,8	1,37	342	8,0%
14	92,1%	98,5%	13,1	1,28	320	7,9%
28	93,5%	100,0%	10,9	1,05	263	6,5%



Anhang 2 Fixierung eines Quat-Präparates nach Vakuum- und Trogrückung

2.1 Daten für Benzalkoniumchlorid

2.1.1 KVD, Lagerung bei 5 °C

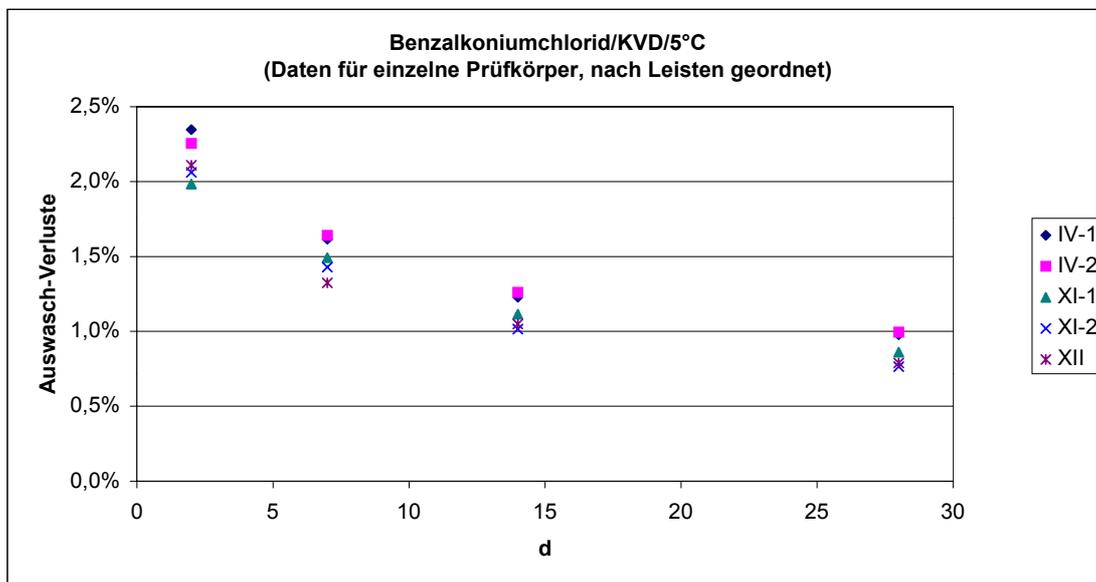
Holzschutzmittel: Quat
 Wirkstoff: Benzalkoniumchlorid
 Verfahren: KVD
 Temperatur: 5°C
 FG_{max} (20°C): 99,4%

Quat/5°C

Leiste	Fixierzeit d	Holzfeuchte	Verlust			FG	FI
			mg/L (Eluat)	mg			
IV-1	2	189%	32,1	3,18	2,3%	97,7%	98,2%
	7	178%	22,3	2,20	1,6%	98,4%	98,9%
	14	174%	16,8	1,66	1,2%	98,8%	99,3%
	28	79%	13,7	1,33	1,0%	99,0%	99,6%
IV-2	2	188%	31,2	3,09	2,3%	97,7%	98,3%
	7	181%	22,8	2,26	1,6%	98,4%	98,9%
	14	178%	17,5	1,72	1,3%	98,7%	99,3%
	28	65%	13,9	1,35	1,0%	99,0%	99,6%
XI-1	2	156%	25,4	2,52	2,0%	98,0%	98,6%
	7	147%	19,0	1,89	1,5%	98,5%	99,1%
	14	138%	14,2	1,40	1,1%	98,9%	99,4%
	28	58%	11,2	1,09	0,9%	99,1%	99,7%
XI-2	2	149%	26,1	2,58	2,1%	97,9%	98,5%
	7	146%	18,2	1,80	1,4%	98,6%	99,1%
	14	146%	13,0	1,28	1,0%	99,0%	99,5%
	28	115%	9,8	0,96	0,8%	99,2%	99,8%
XII	2	187%	28,5	2,82	2,1%	97,9%	98,4%
	7	185%	18,0	1,78	1,3%	98,7%	99,2%
	14	188%	14,3	1,40	1,0%	99,0%	99,5%
	28	127%	10,8	1,05	0,8%	99,2%	99,8%

Quat/5°C

Fixierzeit d	Fixierung von Benzalkoniumchlorid (n=3)					
	FG	FI	Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	97,9%	98,4%	28,68	2,84	598	2,1%
7	98,5%	99,1%	19,76	1,96	412	1,5%
14	98,9%	99,4%	15,06	1,49	313	1,1%
28	99,1%	99,7%	11,89	1,16	244	0,9%



2.1.2 KVD, Lagerung bei 20 °C

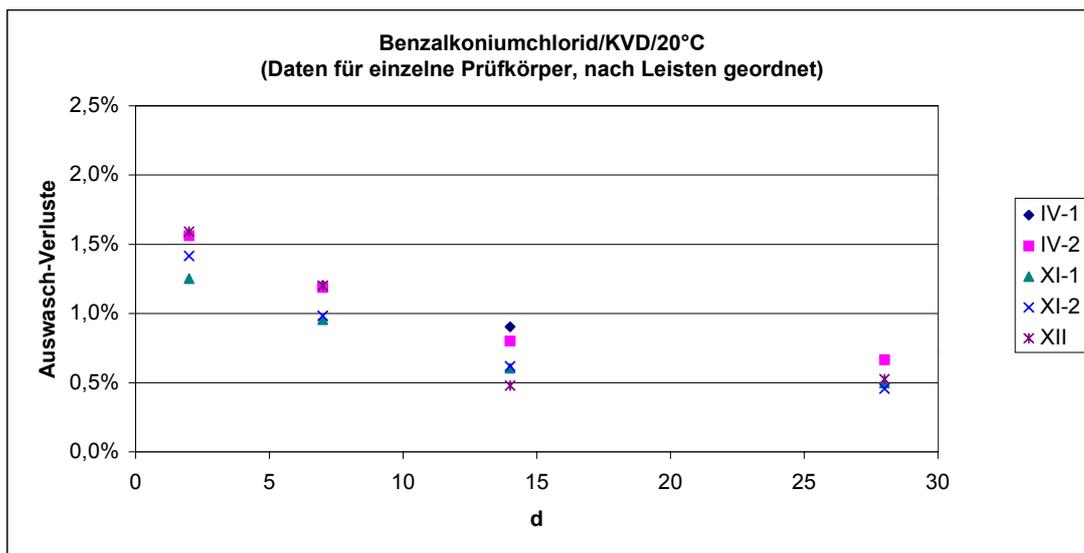
Holzschutzmittel: Quat
 Wirkstoff: Benzalkoniumchlorid
 Verfahren: KVD
 Temperatur: 20°C
 FG_{max} (20°C): 99,4%

Quat/20°C

Leiste	Fixierzeit d	Holzfeuchte	Verlust			FG	FI
			mg/L (Eluat)	mg			
IV-1	2	189%	21,86	2,16	1,6%	98,4%	99,0%
	7	190%	16,83	1,67	1,2%	98,8%	99,4%
	14	186%	12,87	1,25	0,9%	99,1%	99,7%
	28	26%	9,07	0,89	0,7%	99,3%	99,9%
IV-2	2	180%	21,26	2,11	1,6%	98,4%	99,0%
	7	185%	16,52	1,64	1,2%	98,8%	99,4%
	14	182%	11,12	1,09	0,8%	99,2%	99,8%
	28	55%	9,27	0,91	0,7%	99,3%	99,9%
XI-1	2	149%	15,70	1,55	1,3%	98,7%	99,3%
	7	150%	12,09	1,20	1,0%	99,0%	99,6%
	14	147%	7,72	0,76	0,6%	99,4%	100,0%
	28	59%	6,40	0,62	0,5%	99,5%	100,1%
XI-2	2	144%	17,66	1,75	1,4%	98,6%	99,1%
	7	147%	12,40	1,23	1,0%	99,0%	99,6%
	14	142%	7,90	0,77	0,6%	99,4%	99,9%
	28	25%	5,80	0,56	0,5%	99,5%	100,1%
XII	2	196%	21,55	2,13	1,6%	98,4%	99,0%
	7	196%	16,38	1,62	1,2%	98,8%	99,4%
	14	190%	6,66	0,65	0,5%	99,5%	100,1%
	28	20%	7,20	0,71	0,5%	99,5%	100,0%

Quat/20°C

Fixierzeit d	Fixierung von Benzalkoniumchlorid (n=3)					
	FG	FI	Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	98,5%	99,1%	19,70	1,95	411	1,5%
7	98,9%	99,4%	15,10	1,49	315	1,1%
14	99,3%	99,9%	9,08	0,88	186	0,7%
28	99,4%	100,0%	7,56	0,74	155	0,6%



2.1.3 TT, Lagerung bei 5 °C

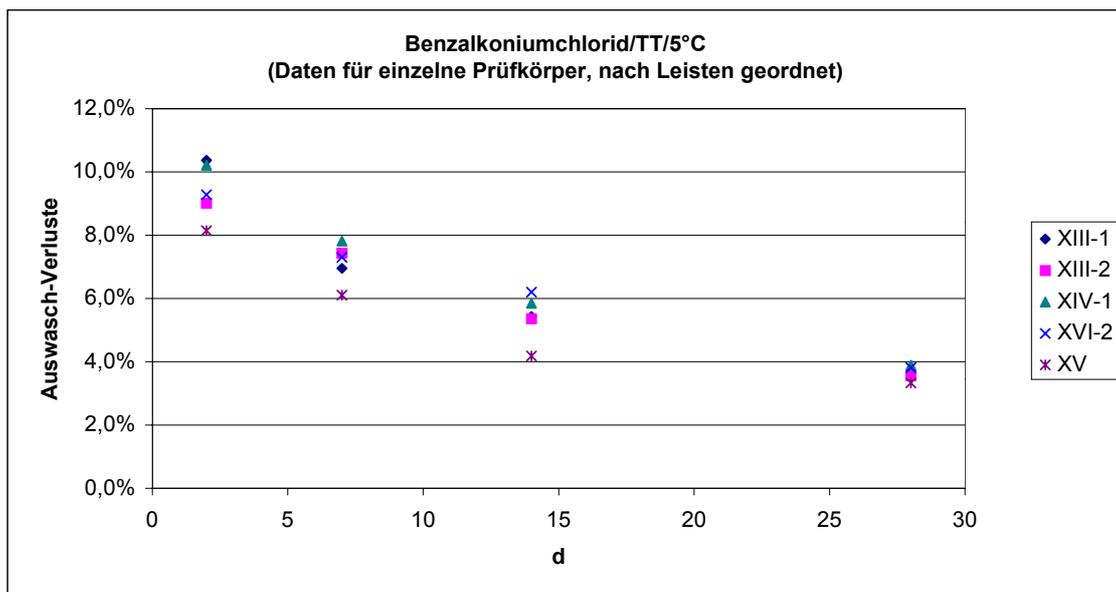
Holzschutzmittel: Quat
 Wirkstoff: Benzalkoniumchlorid
 Verfahren: TT
 Temperatur: 5°C
 FG_{max} (20°C): 97,4%

Quat/5°C

Leiste	Fixierzeit d	Verlust			FG	FI
		mg/L	mg	%		
XIII-1	2	145,9	14,45	10,4%	89,6%	92,0%
	7	95,9	9,49	7,0%	93,0%	95,5%
	14	74,9	7,41	5,4%	94,6%	97,1%
	28	50,6	4,96	3,7%	96,3%	98,9%
XIII-2	2	124,0	12,27	9,0%	91,0%	93,4%
	7	103,8	10,27	7,4%	92,6%	95,0%
	14	75,2	7,44	5,4%	94,6%	97,2%
	28	50,7	4,97	3,6%	96,4%	99,0%
XIV-1	2	140,1	13,87	10,2%	89,8%	92,2%
	7	105,0	10,39	7,8%	92,2%	94,6%
	14	78,0	7,64	5,8%	94,2%	96,7%
	28	52,5	5,14	3,9%	96,1%	98,7%
XVI-2	2	125,3	12,41	9,3%	90,7%	93,1%
	7	98,6	9,76	7,3%	92,7%	95,2%
	14	80,7	7,99	6,2%	93,8%	96,3%
	28	51,0	5,00	3,8%	96,2%	98,7%
XV	2	128,9	12,76	8,1%	91,9%	94,3%
	7	102,6	10,05	6,1%	93,9%	96,4%
	14	64,6	6,33	4,2%	95,8%	98,4%
	28	56,8	5,51	3,3%	96,7%	99,2%

Quat/5°C

Fixierung von Benzalkoniumchlorid (n=3)						
Fixierzeit d	FG	FI	Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	%
2	90,4%	92,8%	138,32	13,69	3423	9,6%
7	93,0%	95,5%	101,13	9,98	2494	7,0%
14	94,8%	97,4%	72,49	7,13	1782	5,2%
28	96,4%	98,9%	53,31	5,21	1301	3,6%



2.1.4 TT, Lagerung bei 20 °C

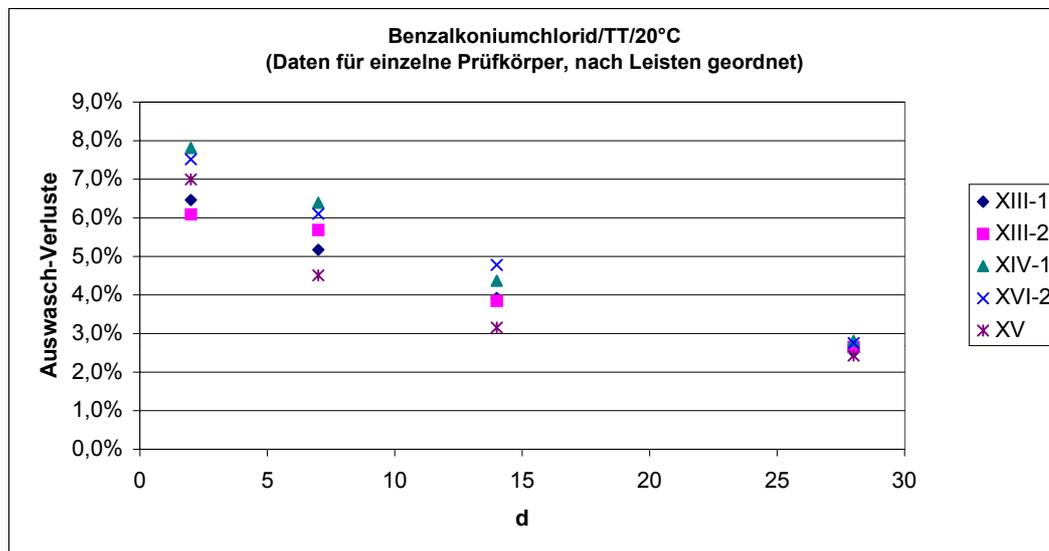
Holzschutzmittel:	Quat
Wirkstoff:	Benzalkoniumchlorid
Verfahren:	TT
Temperatur:	20°C
FG _{max} (20°C):	97,4%

Quat/20°C

Leiste	Fixierzeit d	Verlust			FG	FI
		mg/L (Eluat)	mg			
XIII-1	2	86,2	8,53	6,5%	93,5%	96,0%
	7	77,6	7,68	5,2%	94,8%	97,3%
	14	55,6	5,50	3,9%	96,1%	98,6%
	28	37,4	3,70	2,5%	97,5%	100,1%
XIII-2	2	89,1	8,82	6,1%	93,9%	96,4%
	7	80,2	7,94	5,7%	94,3%	96,8%
	14	52,4	5,19	3,8%	96,2%	98,7%
	28	36,6	3,58	2,7%	97,3%	99,9%
XIV-1	2	106,0	10,49	7,8%	92,2%	94,6%
	7	86,0	8,52	6,4%	93,6%	96,1%
	14	59,0	5,84	4,4%	95,6%	98,2%
	28	38,2	3,75	2,8%	97,2%	99,8%
XVI-2	2	103,2	10,21	7,5%	92,5%	94,9%
	7	84,8	8,39	6,1%	93,9%	96,4%
	14	65,2	6,46	4,8%	95,2%	97,8%
	28	38,5	3,78	2,8%	97,2%	99,8%
XV	2	120,1	11,89	7,0%	93,0%	95,5%
	7	77,7	7,62	4,5%	95,5%	98,0%
	14	54,3	5,32	3,2%	96,8%	99,4%
	28	44,5	4,36	2,4%	97,6%	100,2%

Quat/20°C

Fixierzeit d	Fixierung von Benzalkoniumchlorid (n=3)					
	FG	FI	Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	92,9%	95,4%	104,1	10,30	2576	7,1%
7	94,6%	97,2%	80,5	7,94	1985	5,4%
14	96,2%	98,7%	56,3	5,56	1389	3,8%
28	97,4%	100,0%	40,0	3,94	984	2,6%



Anhang 3 Fixierung von Cu-HDO-Präparaten nach Vakuum- bzw. Trogtränkung

3.1 Daten für Kupfer-HDO

3.1.1 KVD, Lagerung bei 5 °C

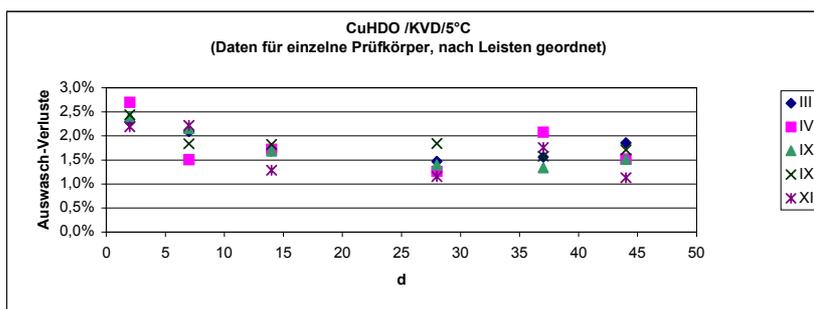
Holzschutzmittel: Cu/CuHDO
 Wirkstoff: CuHDO
 Verfahren: KVD
 Temperatur: 5°C
 FGmax (20°C): 98,7%

CuHDO/5°C

Leiste	Fixierzeit d	Verlust			FG	FI
		mg/L (Eluat)	mg			
III	2	1,61	0,16	2,29%	97,7%	99,0%
	7	1,52	0,15	2,09%	97,9%	99,2%
	14	1,20	0,12	1,68%	98,3%	99,6%
	28	1,03	0,10	1,47%	98,5%	99,8%
	37	1,14	0,11	1,56%	98,4%	99,7%
	44	1,33	0,13	1,86%	98,1%	99,4%
IV	2	1,89	0,19	2,70%	97,3%	98,5%
	7	1,06	0,11	1,51%	98,5%	99,8%
	14	1,21	0,12	1,72%	98,3%	99,5%
	28	0,87	0,09	1,26%	98,7%	100,0%
	37	1,45	0,15	2,08%	97,9%	99,2%
	44	1,08	0,11	1,52%	98,5%	99,7%
IX	2	1,68	0,17	2,40%	97,6%	98,8%
	7	1,49	0,15	2,15%	97,8%	99,1%
	14	1,18	0,12	1,69%	98,3%	99,6%
	28	0,97	0,10	1,40%	98,6%	99,9%
	37	0,93	0,09	1,34%	98,7%	99,9%
	44	1,07	0,11	1,51%	98,5%	99,7%
IX	2	1,70	0,17	2,44%	97,6%	98,8%
	7	1,28	0,13	1,84%	98,2%	99,4%
	14	1,27	0,13	1,82%	98,2%	99,4%
	28	1,29	0,13	1,84%	98,2%	99,4%
	37	1,10	0,11	1,58%	98,4%	99,7%
	44	1,17	0,12	1,71%	98,3%	99,5%
XII	2	1,57	0,16	2,19%	97,8%	99,1%
	7	1,59	0,16	2,22%	97,8%	99,0%
	14	0,93	0,09	1,29%	98,7%	100,0%
	28	0,83	0,08	1,15%	98,8%	100,1%
	37	1,27	0,13	1,76%	98,2%	99,5%
	44	0,81	0,08	1,13%	98,9%	100,1%

CuHDO/5°C

Fixierzeit d	FG	FI	Fixierung von CuHDO (n=4)			
			Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	97,6%	98,8%	1,69	0,17	36	2,4%
7	98,1%	99,3%	1,36	0,14	29	1,9%
14	98,4%	99,6%	1,15	0,12	24	1,6%
28	98,6%	99,8%	1,00	0,10	21	1,4%
37	98,3%	99,5%	1,24	0,12	26	1,7%
44	98,4%	99,7%	1,10	0,11	23	1,6%



3.1.2 KVD, Lagerung bei 20 °C

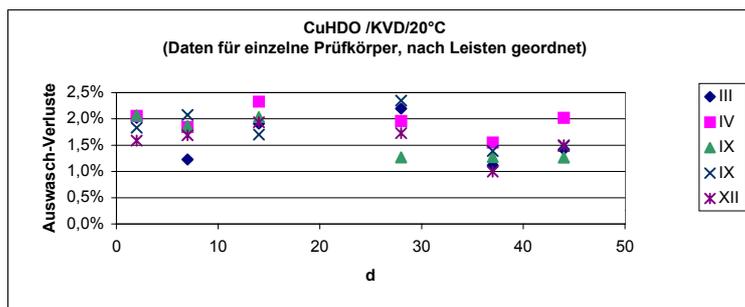
Holzschutzmittel: Cu/CuHDO
 Wirkstoff: CuHDO
 Verfahren: KVD
 Temperatur: 20°C
 FGmax (20°C): 98,7%

CuHDO/20°C

Leiste	Fixierzeit d	Verlust			FG	FI
		mg/L (Eluat)	mg			
III	2	1,42	0,14	2,0%	98,0%	99,2%
	7	0,89	0,09	1,2%	98,8%	100,0%
	14	1,36	0,14	1,9%	98,1%	99,3%
	28	1,54	0,15	2,2%	97,8%	99,1%
	37	0,79	0,08	1,1%	98,9%	100,1%
	44	0,99	0,10	1,4%	98,6%	99,8%
IV	2	1,44	0,14	2,1%	97,9%	99,2%
	7	1,30	0,13	1,8%	98,2%	99,4%
	14	1,64	0,16	2,3%	97,7%	98,9%
	28	1,36	0,14	2,0%	98,0%	99,3%
	37	1,08	0,11	1,5%	98,5%	99,7%
	44	1,43	0,14	2,0%	98,0%	99,2%
IX	2	1,45	0,14	2,1%	97,9%	99,2%
	7	1,29	0,13	1,9%	98,1%	99,4%
	14	1,43	0,14	2,0%	98,0%	99,2%
	28	0,88	0,09	1,3%	98,7%	100,0%
	37	0,89	0,09	1,3%	98,7%	100,0%
	44	0,89	0,09	1,3%	98,7%	100,0%
IX	2	1,27	0,13	1,8%	98,2%	99,4%
	7	1,45	0,14	2,1%	97,9%	99,2%
	14	1,19	0,12	1,7%	98,3%	99,6%
	28	1,65	0,16	2,3%	97,7%	98,9%
	37	0,95	0,09	1,4%	98,6%	99,9%
	44	1,03	0,10	1,5%	98,5%	99,8%
XII	2	1,14	0,11	1,6%	98,4%	99,7%
	7	1,21	0,12	1,7%	98,3%	99,6%
	14	1,40	0,14	1,9%	98,1%	99,3%
	28	1,24	0,12	1,7%	98,3%	99,5%
	37	0,72	0,07	1,0%	99,0%	100,3%
	44	1,07	0,11	1,5%	98,5%	99,8%

CuHDO/20°C

Fixierzeit d	Fixierung von CuHDO (n=4)					
	FG	FI	Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	98,1%	99,4%	1,32	0,13	28	1,9%
7	98,3%	99,5%	1,21	0,12	25	1,7%
14	98,0%	99,3%	1,40	0,14	29	2,0%
28	97,9%	99,1%	1,45	0,14	30	2,1%
37	98,7%	100,0%	0,88	0,09	19	1,3%
44	98,4%	99,6%	1,13	0,11	24	1,6%



3.1.3 TT, Lagerung bei 5 °C

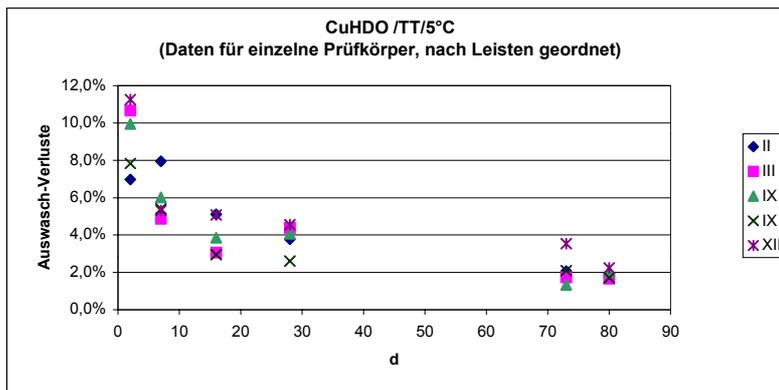
Holzschutzmittel: Cu/CuHDO/B
 Wirkstoff: CuHDO
 Verfahren: TT
 Temperatur: 5°C
 FGmax (20°C): 98,4%

CuHDO/5°C

Leiste	Fixierzeit d	Verlust			FG	FI
		mg/L (Eluat)	mg			
II	2	6,8	0,68	7,0%	93,0%	94,5%
	7	7,9	0,79	7,9%	92,1%	93,6%
	16	5,4	0,54	5,1%	94,9%	96,4%
	28	3,8	0,38	3,8%	96,2%	97,8%
	73	2,0	0,20	2,1%	97,9%	99,5%
	80	2,1	0,21	1,8%	98,2%	99,7%
III	2	12,3	1,23	10,7%	89,3%	90,8%
	7	6,0	0,60	4,9%	95,1%	96,7%
	16	3,9	0,39	3,1%	96,9%	98,5%
	28	5,1	0,51	4,4%	95,6%	97,2%
	73	2,3	0,23	1,7%	98,3%	99,9%
	80	1,8	0,18	1,7%	98,3%	99,9%
IX	2	10,9	1,09	9,9%	90,1%	91,5%
	7	6,3	0,63	6,0%	94,0%	95,5%
	16	4,2	0,42	3,9%	96,1%	97,7%
	28	4,5	0,45	4,1%	95,9%	97,5%
	73	1,4	0,14	1,3%	98,7%	100,3%
	80	2,0	0,20	2,1%	97,9%	99,5%
IX	2	8,8	0,88	7,8%	92,2%	93,7%
	7	5,6	0,56	5,4%	94,6%	96,1%
	16	3,2	0,32	2,9%	97,1%	98,6%
	28	3,2	0,32	2,6%	97,4%	99,0%
	73	2,3	0,23	2,1%	97,9%	99,5%
	80	2,1	0,21	1,7%	98,3%	99,9%
XII	2	9,0	0,90	11,3%	88,7%	90,2%
	7	4,3	0,43	5,3%	94,7%	96,2%
	16	4,1	0,41	5,1%	94,9%	96,5%
	28	3,6	0,36	4,6%	95,4%	97,0%
	73	2,7	0,27	3,5%	96,5%	98,0%
	80	1,9	0,19	2,2%	97,8%	99,4%

CuHDO/5°C

Fixierzeit d	FG	FI	Fixierung von Cu (n=4)			
			Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	90,8%	92,3%	9,2	0,92	231	9,2%
7	94,1%	95,6%	6,0	0,60	149	5,9%
16	96,0%	97,5%	4,2	0,42	104	4,0%
28	96,2%	97,5%	3,9	0,39	98	3,8%
73	97,6%	99,2%	2,3	0,23	58	2,4%
80	98,1%	99,7%	2,0	0,20	50	1,9%



3.1.4 TT, Lagerung bei 20 °C

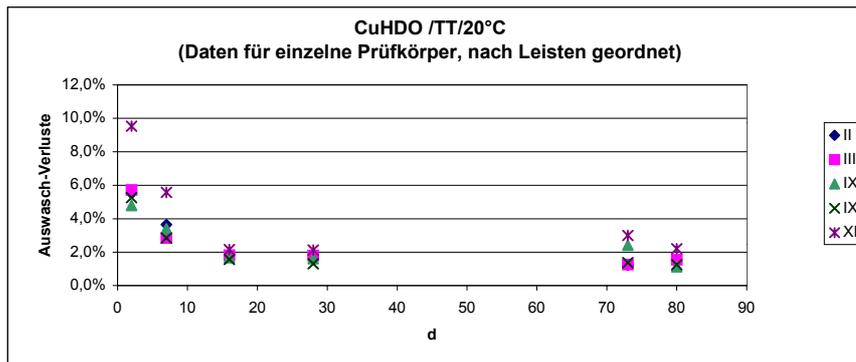
Holzschutzmittel: Cu/CuHDO/B
 Wirkstoff: CuHDO
 Verfahren: TT
 Temperatur: 20°C
 FGmax (20°C): 98,4%

CuHDO/20°C

Leiste	Fixierzeit [d]	Verlust			FG	FI
		mg/L (Eluat)	mg	%		
II	2	5,4	0,54	5,5%	94,5%	96,0%
	7	3,7	0,37	3,7%	96,3%	97,9%
	16	1,9	0,19	1,8%	98,2%	99,8%
	28	1,8	0,18	1,8%	98,2%	99,8%
	73	1,3	0,13	1,2%	98,8%	100,4%
	80	1,5	0,15	1,4%	98,6%	100,2%
III	2	6,6	0,66	5,7%	94,3%	95,8%
	7	3,6	0,36	2,8%	97,2%	98,7%
	16	1,9	0,19	1,8%	98,2%	99,8%
	28	1,8	0,18	1,8%	98,2%	99,8%
	73	1,6	0,16	1,3%	98,7%	100,3%
	80	2,2	0,22	1,5%	98,5%	100,1%
IX	2	5,3	0,53	4,8%	95,2%	96,8%
	7	3,6	0,36	3,4%	96,6%	98,2%
	16	1,9	0,19	1,7%	98,3%	99,9%
	28	1,8	0,18	1,6%	98,4%	100,0%
	73	2,6	0,26	2,4%	97,6%	99,2%
	80	1,4	0,14	1,1%	98,9%	100,5%
IX	2	6,0	0,60	5,3%	94,7%	96,3%
	7	2,9	0,29	2,8%	97,2%	98,7%
	16	1,7	0,17	1,6%	98,4%	100,0%
	28	1,6	0,16	1,3%	98,7%	100,3%
	73	1,4	0,14	1,4%	98,6%	100,2%
	80	1,2	0,12	1,2%	98,8%	100,4%
XII	2	7,9	0,79	9,5%	90,5%	91,9%
	7	4,6	0,46	5,6%	94,4%	96,0%
	16	1,7	0,17	2,2%	97,8%	99,4%
	28	1,7	0,17	2,1%	97,9%	99,5%
	73	1,9	0,19	3,0%	97,0%	98,6%
	80	1,8	0,18	2,2%	97,8%	99,4%

CuHDO/20°C

Fixierzeit d	Fixierung von Cu (n=4)					
	FG	FI	Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	93,5%	95,0%	6,5	0,65	162	6,5%
7	96,3%	97,8%	3,7	0,37	93	3,7%
16	98,2%	99,8%	1,8	0,18	45	1,8%
28	98,2%	99,7%	1,7	0,17	43	1,8%
73	98,3%	99,9%	1,5	0,15	38	1,7%
80	98,4%	100,0%	1,7	0,17	42	1,6%



3.2 Daten für Kupfer

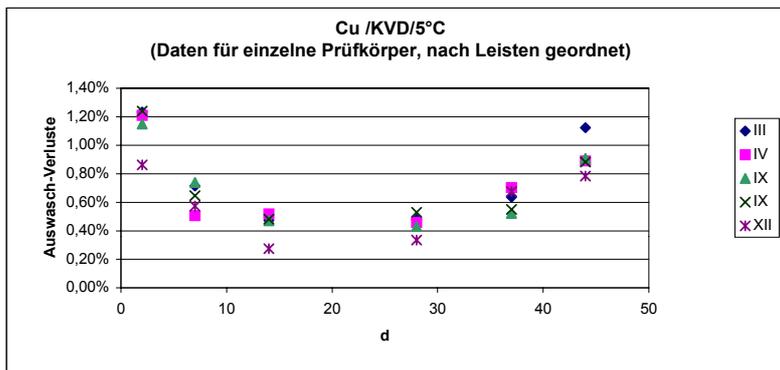
3.2.1 KVD, Lagerung bei 5 °C

Holzschutzmittel: Cu/CuHDO
 Wirkstoff: Cu
 Verfahren: KVD
 Temperatur: 5°C
 FGmax (20°C): 99,6%
 Cu/5°C

Leiste	Fixierzeit d	Verlust			FG	FI
		mg/L (Eluat)	mg			
III	2	0,82	0,082	1,23%	98,8%	99,2%
	7	0,49	0,049	0,71%	99,3%	99,7%
	14	0,32	0,032	0,47%	99,5%	99,9%
	28	0,32	0,032	0,48%	99,5%	99,9%
	37	0,44	0,044	0,64%	99,4%	99,8%
	44	0,76	0,076	1,12%	98,9%	99,3%
IV	2	0,80	0,080	1,21%	98,8%	99,2%
	7	0,34	0,034	0,51%	99,5%	99,9%
	14	0,34	0,034	0,52%	99,5%	99,9%
	28	0,30	0,030	0,46%	99,5%	99,9%
	37	0,46	0,046	0,70%	99,3%	99,7%
	44	0,60	0,060	0,89%	99,1%	99,5%
IX	2	0,76	0,076	1,15%	98,8%	99,2%
	7	0,48	0,048	0,74%	99,3%	99,7%
	14	0,31	0,031	0,47%	99,5%	99,9%
	28	0,28	0,028	0,43%	99,6%	100,0%
	37	0,34	0,034	0,52%	99,5%	99,9%
	44	0,61	0,061	0,91%	99,1%	99,5%
IX	2	0,82	0,082	1,24%	98,8%	99,2%
	7	0,43	0,043	0,65%	99,4%	99,8%
	14	0,32	0,032	0,48%	99,5%	99,9%
	28	0,35	0,035	0,53%	99,5%	99,9%
	37	0,36	0,036	0,55%	99,4%	99,8%
	44	0,57	0,057	0,88%	99,1%	99,5%
XII	2	0,58	0,058	0,86%	99,1%	99,5%
	7	0,39	0,039	0,57%	99,4%	99,8%
	14	0,19	0,019	0,28%	99,7%	100,1%
	28	0,23	0,023	0,33%	99,7%	100,1%
	37	0,46	0,046	0,68%	99,3%	99,7%
	44	0,53	0,053	0,78%	99,2%	99,6%

Cu/5°C

Fixierung von Cu (n=4)						
Fixierzeit d	FG	FI	Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	98,9%	99,4%	0,75	0,08	16	1,1%
7	99,4%	99,8%	0,41	0,04	9	0,6%
14	99,6%	100,0%	0,29	0,03	6	0,4%
28	99,5%	99,9%	0,30	0,03	6	0,5%
37	99,4%	99,8%	0,43	0,04	9	0,6%
44	99,1%	99,5%	0,61	0,06	13	0,9%



3.2.2 KVD, Lagerung bei 20 °C

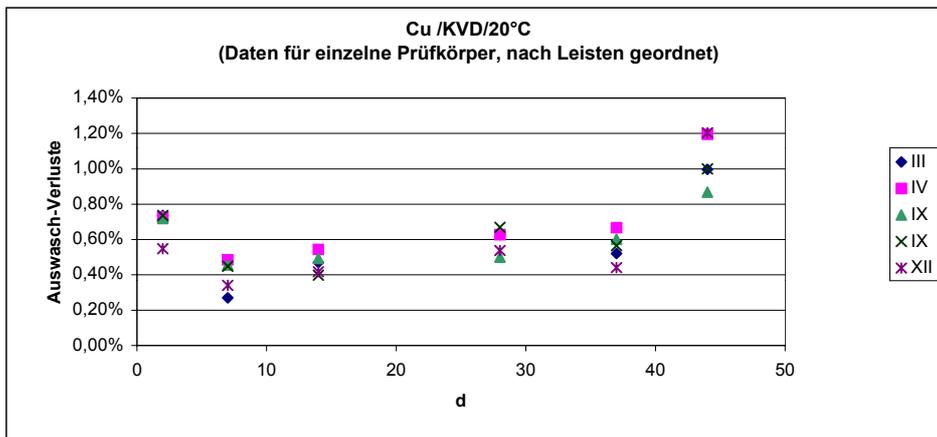
Holzschutzmittel: Cu/CuHDO
 Wirkstoff: Cu
 Verfahren: KVD
 Temperatur: 20°C
 FGmax (20°C): 99,6%

Cu/20°C

Leiste	Fixierzeit d	Verlust			FG	FI
		mg/L	mg			
III	2	0,488	0,05	0,74%	99,3%	99,7%
	7	0,184	0,02	0,27%	99,7%	100,1%
	14	0,315	0,03	0,47%	99,5%	99,9%
	28	0,414	0,04	0,63%	99,4%	99,8%
	37	0,348	0,03	0,52%	99,5%	99,9%
	44	0,656	0,07	1,00%	99,0%	99,4%
IV	2	0,480	0,05	0,73%	99,3%	99,7%
	7	0,321	0,03	0,49%	99,5%	99,9%
	14	0,361	0,04	0,54%	99,5%	99,9%
	28	0,410	0,04	0,63%	99,4%	99,8%
	37	0,437	0,04	0,67%	99,3%	99,7%
	44	0,796	0,08	1,19%	98,8%	99,2%
IX	2	0,474	0,05	0,72%	99,3%	99,7%
	7	0,296	0,03	0,45%	99,5%	99,9%
	14	0,327	0,03	0,49%	99,5%	99,9%
	28	0,326	0,03	0,50%	99,5%	99,9%
	37	0,396	0,04	0,60%	99,4%	99,8%
	44	0,576	0,06	0,87%	99,1%	99,5%
IX	2	0,483	0,05	0,74%	99,3%	99,7%
	7	0,295	0,03	0,45%	99,6%	100,0%
	14	0,262	0,03	0,40%	99,6%	100,0%
	28	0,442	0,04	0,67%	99,3%	99,7%
	37	0,364	0,04	0,56%	99,4%	99,8%
	44	0,653	0,07	1,00%	99,0%	99,4%
XII	2	0,370	0,04	0,55%	99,5%	99,9%
	7	0,230	0,02	0,34%	99,7%	100,1%
	14	0,284	0,03	0,42%	99,6%	100,0%
	28	0,363	0,04	0,54%	99,5%	99,9%
	37	0,298	0,03	0,44%	99,6%	100,0%
	44	0,819	0,08	1,20%	98,8%	99,2%

Cu/20°C

Fixierung von Cu (n=4)						
Fixierzeit d	FG	FI	Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	99,3%	99,8%	0,46	0,05	10	0,7%
7	99,6%	100,0%	0,26	0,03	5	0,4%
14	99,5%	99,9%	0,31	0,03	6	0,5%
28	99,4%	99,8%	0,41	0,04	9	0,6%
37	99,5%	99,9%	0,36	0,04	8	0,5%
44	98,9%	99,3%	0,73	0,07	15	1,1%



3.2.3 TT, Lagerung bei 5 °C

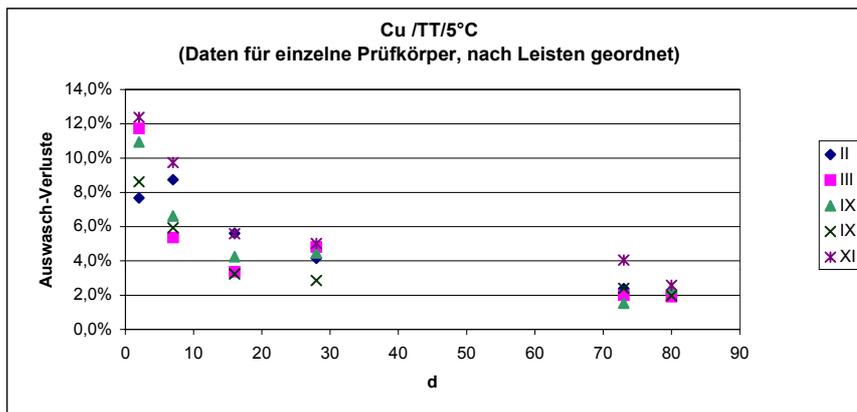
Holzschutzmittel: Cu/CuHDO/B
 Wirkstoff: Cu
 Verfahren: TT
 Temperatur: 5°C
 FGmax (20°C): 98,2%

Cu/5°C

Leiste	Fixierzeit d	Verlust			FG	FI
		mg/L (Eluat)	mg			
II	2	7,52	0,75	7,7%	92,3%	94,0%
	7	8,72	0,87	8,7%	91,3%	92,9%
	16	5,92	0,59	5,6%	94,4%	96,1%
	28	4,22	0,42	4,1%	95,9%	97,6%
	73	2,34	0,23	2,4%	97,6%	99,4%
	80	2,38	0,24	2,1%	97,9%	99,7%
III	2	13,51	1,35	11,7%	88,3%	89,9%
	7	6,64	0,66	5,4%	94,6%	96,4%
	16	4,33	0,43	3,4%	96,6%	98,4%
	28	5,60	0,56	4,8%	95,2%	96,9%
	73	2,69	0,27	2,0%	98,0%	99,8%
	80	2,11	0,21	1,9%	98,1%	99,9%
IX	2	11,94	1,19	10,9%	89,1%	90,7%
	7	6,95	0,70	6,6%	93,4%	95,1%
	16	4,62	0,46	4,2%	95,8%	97,5%
	28	4,98	0,50	4,5%	95,5%	97,3%
	73	1,58	0,16	1,5%	98,5%	100,3%
	80	2,35	0,24	2,4%	97,6%	99,4%
IX	2	9,69	0,97	8,6%	91,4%	93,1%
	7	6,17	0,62	5,9%	94,1%	95,8%
	16	3,53	0,35	3,2%	96,8%	98,5%
	28	3,49	0,35	2,9%	97,1%	98,9%
	73	2,61	0,26	2,4%	97,6%	99,4%
	80	2,47	0,25	2,0%	98,0%	99,8%
XII	2	9,89	0,99	12,4%	87,6%	89,2%
	7	7,96	0,80	9,7%	90,3%	91,9%
	16	4,50	0,45	5,6%	94,4%	96,2%
	28	3,93	0,39	5,0%	95,0%	96,7%
	73	3,06	0,31	4,0%	96,0%	97,7%
	80	2,15	0,21	2,6%	97,4%	99,2%

Cu/5°C

Fixierung von Cu (n=4)						
Fixierzeit d	FG	FI	Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	89,9%	91,5%	10,2	1,02	254	10,1%
7	92,6%	94,3%	7,4	0,74	184	7,4%
16	95,5%	97,3%	4,6	0,46	114	4,5%
28	95,8%	97,3%	4,3	0,43	108	4,2%
73	97,3%	99,1%	2,7	0,27	67	2,7%
80	97,9%	99,6%	2,3	0,23	57	2,1%



3.2.4 TT, Lagerung bei 20 °C

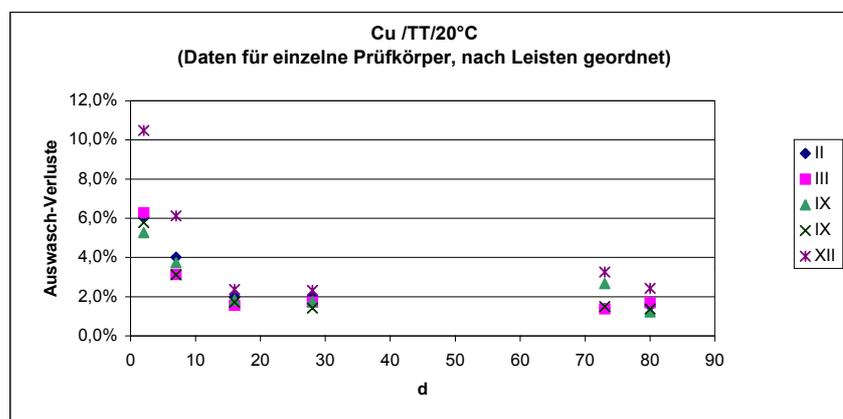
Holzschutzmittel: Cu/CuHDO/B
 Wirkstoff: Cu
 Verfahren: TT
 Temperatur: 20°C
 FGmax (20°C): 98,2%

Cu/20°C

Leiste	Fixierzeit d	Verlust			FG	FI
		mg/L (Eluat)	mg			
II	2	5,93	0,59	6,1%	93,9%	95,7%
	7	4,04	0,40	4,0%	96,0%	97,7%
	16	2,11	0,21	2,0%	98,0%	99,8%
	28	2,02	0,20	2,0%	98,0%	99,8%
	73	1,51	0,15	1,4%	98,6%	100,4%
	80	1,63	0,16	1,5%	98,5%	100,3%
III	2	7,28	0,73	6,3%	93,7%	95,4%
	7	3,98	0,40	3,1%	96,9%	98,6%
	16	2,03	0,20	1,6%	98,4%	100,2%
	28	1,97	0,20	1,7%	98,3%	100,1%
	73	1,72	0,17	1,4%	98,6%	100,4%
	80	2,40	0,24	1,7%	98,3%	100,1%
IX	2	5,79	0,58	5,3%	94,7%	96,5%
	7	3,91	0,39	3,7%	96,3%	98,0%
	16	2,06	0,21	1,8%	98,2%	100,0%
	28	2,01	0,20	1,7%	98,3%	100,1%
	73	2,82	0,28	2,7%	97,3%	99,1%
	80	1,51	0,15	1,2%	98,8%	100,6%
IX	2	6,61	0,66	5,8%	94,2%	95,9%
	7	3,23	0,32	3,1%	96,9%	98,7%
	16	1,88	0,19	1,7%	98,3%	100,1%
	28	1,71	0,17	1,4%	98,6%	100,4%
	73	1,53	0,15	1,5%	98,5%	100,3%
	80	1,34	0,13	1,4%	98,6%	100,4%
XII	2	8,69	0,87	10,5%	89,5%	91,2%
	7	5,04	0,50	6,1%	93,9%	95,6%
	16	1,90	0,19	2,4%	97,6%	99,4%
	28	1,83	0,18	2,3%	97,7%	99,5%
	73	2,02	0,20	3,3%	96,7%	98,5%
	80	2,00	0,20	2,4%	97,6%	99,4%

Cu/20°C

Fixierzeit d	Fixierung von Cu (n=4)					
	FG	FI	Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	92,9%	94,6%	7,1	0,71	178	7,1%
7	95,9%	97,7%	4,1	0,41	102	4,1%
16	98,1%	99,9%	2,0	0,20	50	1,9%
28	98,1%	99,9%	1,9	0,19	47	1,9%
73	98,1%	99,9%	1,7	0,17	42	1,9%
80	98,2%	100,0%	1,8	0,18	46	1,8%



3.3 Daten für Bor

3.3.1 TT, Lagerung bei 5 °C

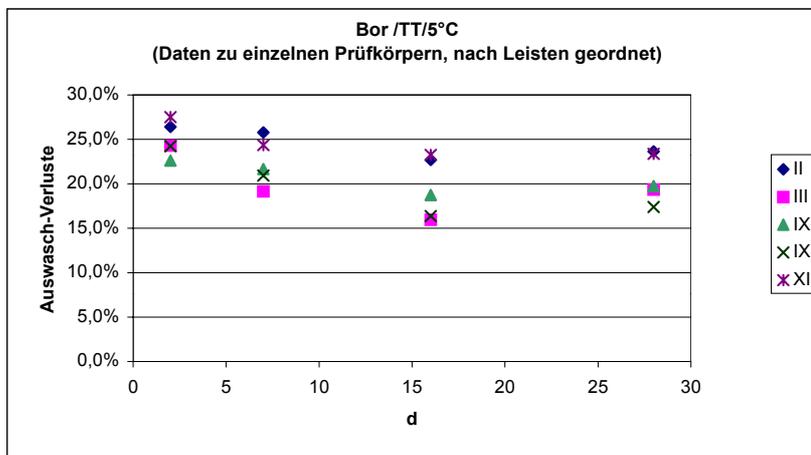
Holzschutzmittel: Cu/CuHDO/B
 Wirkstoff: Bor
 Verfahren: TT
 Temperatur: 5°C
 FG_{max} (20°C): 82,6%

Cu/5°C

Leiste	Fixierzeit d	Verlust			FG	FI
		mg/L (Eluat)	mg			
II	2	28,9	2,89	26,4%	73,6%	89,1%
	7	28,8	2,88	25,8%	74,2%	89,9%
	16	26,8	2,68	22,7%	77,3%	93,6%
	28	26,9	2,69	23,7%	76,3%	92,4%
III	2	31,3	3,13	24,3%	75,7%	91,6%
	7	26,6	2,66	19,2%	80,8%	97,9%
	16	23,0	2,30	16,0%	84,0%	101,8%
	28	25,2	2,52	19,3%	80,7%	97,6%
IX	2	27,6	2,76	22,6%	77,4%	93,7%
	7	25,5	2,55	21,7%	78,3%	94,8%
	16	22,8	2,28	18,7%	81,3%	98,4%
	28	24,6	2,46	19,8%	80,2%	97,2%
IX	2	30,6	3,06	24,2%	75,8%	91,7%
	7	24,4	2,44	20,9%	79,1%	95,7%
	16	20,0	2,00	16,4%	83,6%	101,2%
	28	23,7	2,37	17,4%	82,6%	100,0%
XII	2	24,6	2,46	27,5%	72,5%	87,8%
	7	22,3	2,23	24,4%	75,6%	91,6%
	16	21,0	2,10	23,2%	76,8%	92,9%
	28	20,5	2,05	23,4%	76,6%	92,8%

Bor/5°C

Fixierzeit d	Fixierung von Bor (n=4)					
	FG	FI	Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	74,4%	90,2%	28,9	2,89	721	25,6%
7	77,4%	93,8%	25,5	2,55	638	22,6%
16	80,4%	97,4%	22,7	2,27	567	19,6%
28	79,1%	96,5%	24,1	2,41	602	20,9%



3.3.2 TT, Lagerung bei 20 °C

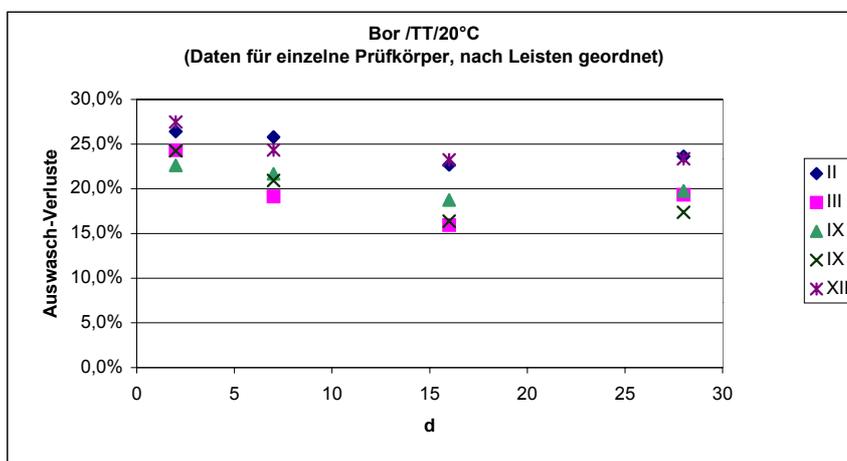
Holzschutzmittel: Cu/CuHDO/B
 Wirkstoff: Bor
 Verfahren: TT
 Temperatur: 20°C
 FG_{max} (20°C): 82,6%

Bor 20°C

Leiste	Fixierzeit d	Verlust			FG	FI
		mg/L (Eluat)	mg			
II	2	23,5	2,35	21,4%	78,6%	95,1%
	7	24,7	2,47	22,0%	78,0%	94,5%
	16	20,7	2,07	17,6%	82,4%	99,8%
	28	23,0	2,30	20,1%	79,9%	96,7%
III	2	23,0	2,30	17,7%	82,3%	99,6%
	7	22,3	2,23	15,7%	84,3%	102,1%
	16	20,7	2,07	17,6%	82,4%	99,8%
	28	23,0	2,30	20,1%	79,9%	96,7%
IX	2	22,3	2,23	18,2%	81,8%	99,1%
	7	23,6	2,36	20,1%	79,9%	96,7%
	16	21,2	2,12	16,9%	83,1%	100,7%
	28	22,2	2,22	17,3%	82,7%	100,1%
IX	2	22,2	2,22	17,4%	82,6%	100,1%
	7	21,9	2,19	18,9%	81,1%	98,2%
	16	19,9	1,99	16,2%	83,8%	101,4%
	28	21,7	2,17	16,1%	83,9%	101,5%
XII	2	24,5	2,45	26,4%	73,6%	89,1%
	7	21,7	2,17	23,6%	76,4%	92,5%
	16	16,5	1,65	18,4%	81,6%	98,8%
	28	16,4	1,64	18,6%	81,4%	98,6%

Bor/20°C

Fixierung von Bor (n=4)						
Fixierzeit d	FG	FI	Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	79,3%	95,8%	23,3	2,33	582	20,7%
7	80,0%	96,8%	22,7	2,27	567	20,0%
16	82,6%	100,0%	19,5	1,95	487	17,4%
28	81,3%	98,3%	21,0	2,10	526	18,7%



Anhang 4 Fixierung eines Cu/Triazol/B-Präparates nach Vakuumtränkung

4.1. Daten für Kupfer

4.1.1 KVD, Lagerung bei 5° C

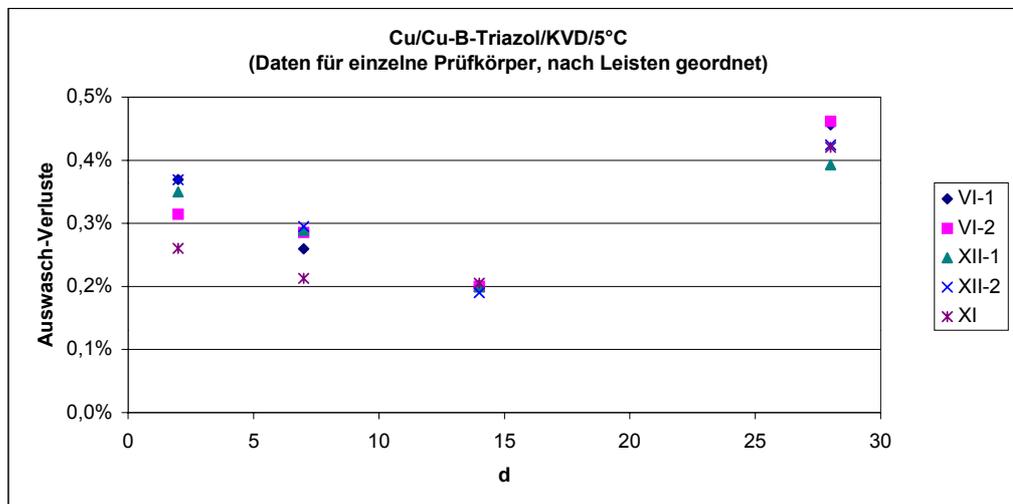
Holzschutzmittel: Cu-B-Triazol
 Wirkstoff: Cu
 Verfahren: KVD
 Temperatur: 5°C
 FG_{max} (20°C): 99,8%

Cu/5°C

Leiste	Fixierzeit d	Verlust			FG	FI
		mg/L (Eluat)	mg			
VI-1	2	0,45	0,05	0,37%	99,6%	99,8%
	7	0,33	0,03	0,26%	99,7%	99,9%
	14	0,25	0,03	0,20%	99,8%	100,0%
	28	0,59	0,06	0,46%	99,5%	99,7%
VI-2	2	0,39	0,04	0,31%	99,7%	99,9%
	7	0,36	0,04	0,29%	99,7%	99,9%
	14	0,25	0,03	0,20%	99,8%	100,0%
	28	0,60	0,06	0,46%	99,5%	99,7%
XII-1	2	0,43	0,04	0,35%	99,6%	99,8%
	7	0,36	0,04	0,29%	99,7%	99,9%
	14	0,24	0,02	0,20%	99,8%	100,0%
	28	0,50	0,05	0,39%	99,6%	99,8%
XII-2	2	0,45	0,04	0,37%	99,6%	99,8%
	7	0,36	0,04	0,29%	99,7%	99,9%
	14	0,23	0,02	0,19%	99,8%	100,0%
	28	0,55	0,05	0,42%	99,6%	99,8%
XI	2	0,30	0,03	0,26%	99,7%	99,9%
	7	0,25	0,02	0,21%	99,8%	100,0%
	14	0,24	0,02	0,21%	99,8%	100,0%
	28	0,50	0,05	0,42%	99,6%	99,8%

Cu/5°C

Fixierzeit d	Fixierung von Cu (n=3)					
	FG	FI	Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	99,7%	99,9%	0,39	0,04	8	0,33%
7	99,7%	99,9%	0,31	0,03	6	0,25%
14	99,8%	100,0%	0,25	0,02	5	0,20%
28	99,6%	99,8%	0,53	0,05	11	0,42%



4.1.2 KVD, Lagerung bei 20 °C

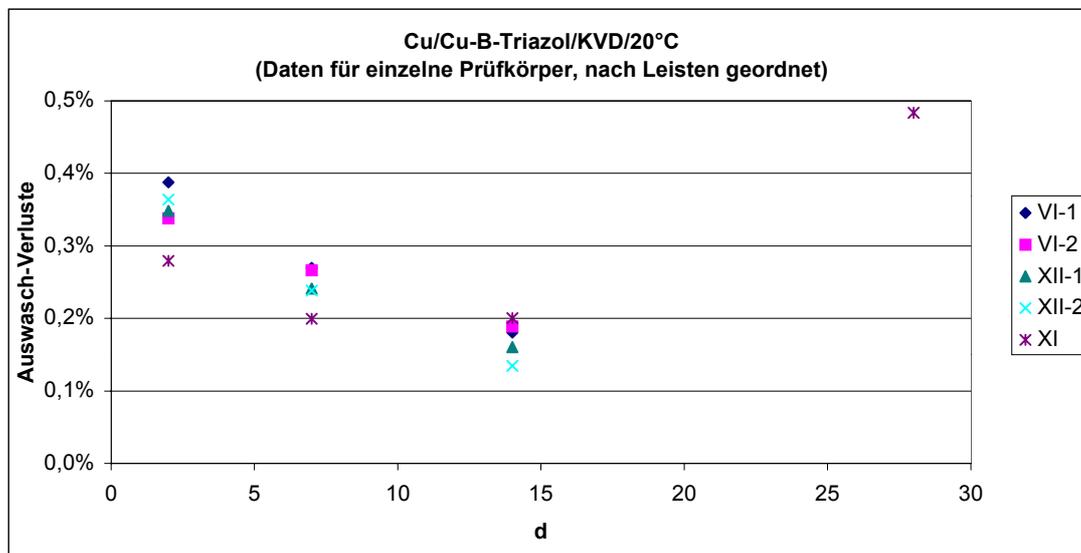
Holzschutzmittel: Cu-B-Triazol
 Wirkstoff: Cu
 Verfahren: KVD
 Temperatur: 20°C
 FG_{max} (20°C): 99,8%

Cu/20°C

Leiste	Fixierzeit d	Verlust			FG	FI
		mg/L (Eluat)	mg			
VI-1	2	0,49	0,05	0,39%	99,6%	99,8%
	7	0,34	0,03	0,27%	99,7%	99,9%
	14	0,23	0,02	0,18%	99,8%	100,0%
	28	0,75	0,07	0,58%	99,4%	99,6%
VI-2	2	0,42	0,04	0,34%	99,7%	99,8%
	7	0,34	0,03	0,27%	99,7%	99,9%
	14	0,24	0,02	0,19%	99,8%	100,0%
	28	0,91	0,09	0,70%	99,3%	99,5%
XII-1	2	0,43	0,04	0,35%	99,7%	99,8%
	7	0,30	0,03	0,24%	99,8%	99,9%
	14	0,20	0,02	0,16%	99,8%	100,0%
	28	0,74	0,07	0,57%	99,4%	99,6%
XII-2	2	0,44	0,04	0,36%	99,6%	99,8%
	7	0,29	0,03	0,24%	99,8%	99,9%
	14	0,17	0,02	0,13%	99,9%	100,0%
	28	0,66	0,06	0,52%	99,5%	99,7%
XI	2	0,32	0,03	0,28%	99,7%	99,9%
	7	0,23	0,02	0,20%	99,8%	100,0%
	14	0,23	0,02	0,20%	99,8%	100,0%
	28	0,58	0,05	0,48%	99,5%	99,7%

Cu/20°C

Fixierzeit d	Fixierung von Cu (n=3)					
	FG	FI	Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	99,7%	99,8%	0,41	0,04	9	0,34%
7	99,8%	99,9%	0,29	0,03	6	0,24%
14	99,8%	100,0%	0,22	0,02	5	0,18%
28	99,5%	99,6%	0,69	0,07	14	0,54%



4.2. Daten für Propiconazol

4.2.1 KVD, Lagerung bei 5 °C

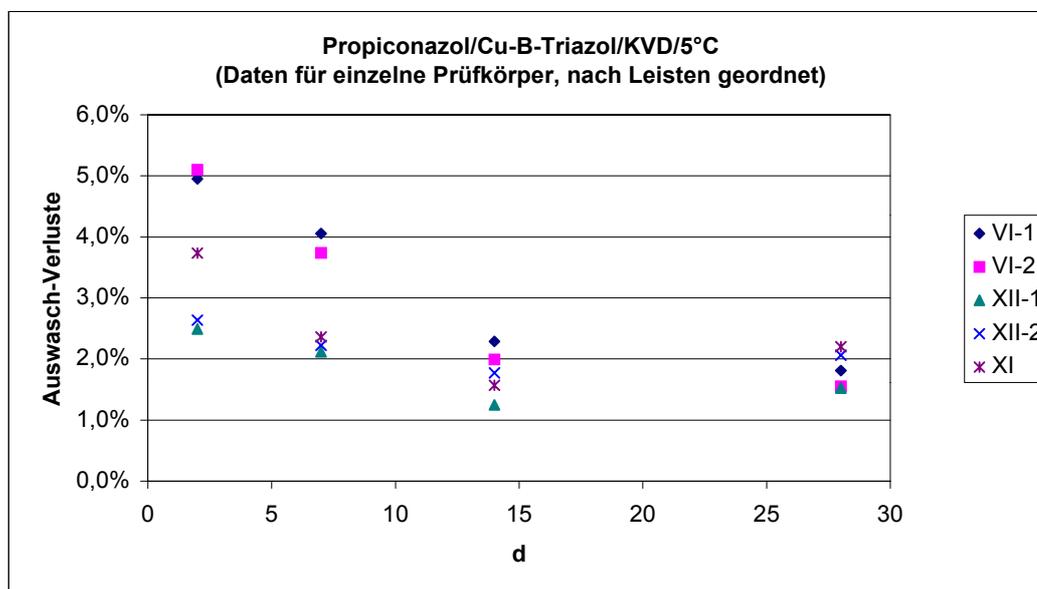
Holzschutzmittel: Cu-B-Triazol
 Wirkstoff: Propiconazol
 Verfahren: KVD
 Temperatur: 5°C
 FG_{max} (20°C): 99,1%

Propiconazol/5°C

Leiste	Fixierzeit d	Verlust			FG	FI
		mg/L (Eluat)	mg			
VI-1	2	1,09	0,11	5,0%	95,0%	95,9%
	7	0,92	0,09	4,1%	95,9%	96,8%
	14	0,52	0,05	2,3%	97,7%	98,6%
	28	0,42	0,04	1,8%	98,2%	99,1%
VI-2	2	1,15	0,11	5,1%	94,9%	95,8%
	7	0,85	0,08	3,7%	96,3%	97,1%
	14	0,45	0,04	2,0%	98,0%	98,9%
	28	0,36	0,03	1,6%	98,4%	99,3%
XII-1	2	0,55	0,05	2,5%	97,5%	98,4%
	7	0,47	0,05	2,1%	97,9%	98,8%
	14	0,28	0,03	1,2%	98,8%	99,6%
	28	0,35	0,03	1,5%	98,5%	99,4%
XII-2	2	0,58	0,06	2,6%	97,4%	98,2%
	7	0,49	0,05	2,2%	97,8%	98,7%
	14	0,39	0,04	1,8%	98,2%	99,1%
	28	0,48	0,05	2,1%	97,9%	98,8%
XI	2	0,78	0,08	3,7%	96,3%	97,1%
	7	0,50	0,05	2,4%	97,6%	98,5%
	14	0,33	0,03	1,6%	98,4%	99,3%
	28	0,47	0,05	2,2%	97,8%	98,7%

Propiconazol/5°C

Fixierzeit d	Fixierung von Propiconazol (n=3)					
	FG	FI	Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	96,3%	97,1%	0,80	0,08	17	3,7%
7	97,2%	98,0%	0,63	0,06	13	2,8%
14	98,3%	99,2%	0,37	0,04	8	1,7%
28	98,2%	99,0%	0,41	0,04	8	1,8%



4.2.2 KVD, Lagerung bei 20 °C

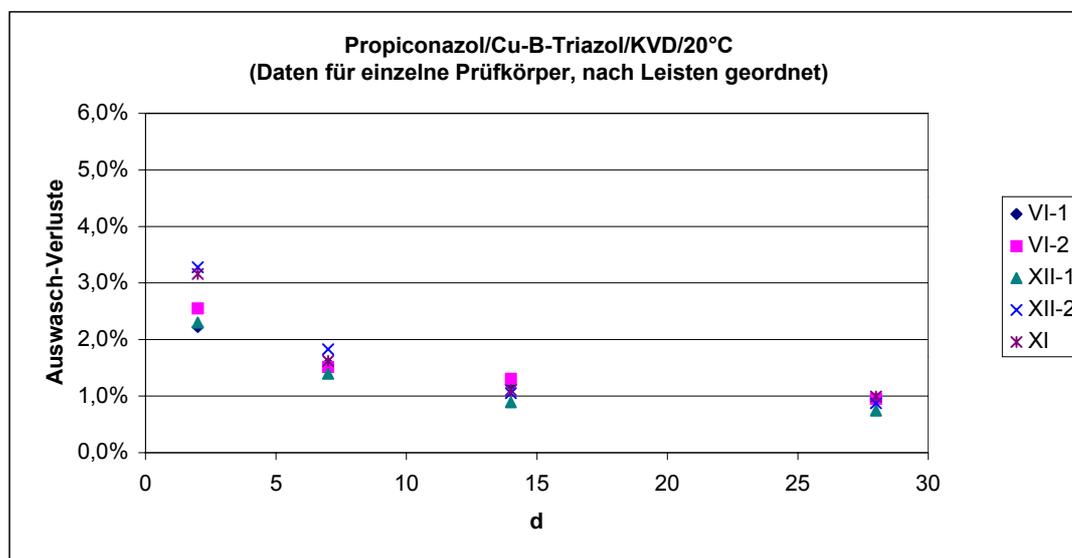
Holzschutzmittel: Cu-B-Triazol
 Wirkstoff: Propiconazol
 Verfahren: KVD
 Temperatur: 20°C
 FG_{max} (20°C): 99,1%

Propiconazol/20°C

Leiste	Fixierzeit d	Verlust			FG	FI
		mg/L (Eluat)	mg			
VI-1	2	0,50	0,05	2,2%	97,8%	98,7%
	7	0,36	0,04	1,6%	98,4%	99,3%
	14	0,27	0,03	1,2%	98,8%	99,7%
	28	0,22	0,02	0,9%	99,1%	100,0%
VI-2	2	0,58	0,06	2,6%	97,4%	98,3%
	7	0,35	0,03	1,5%	98,5%	99,4%
	14	0,29	0,03	1,3%	98,7%	99,6%
	28	0,23	0,02	1,0%	99,0%	99,9%
XII-1	2	0,51	0,05	2,3%	97,7%	98,6%
	7	0,31	0,03	1,4%	98,6%	99,5%
	14	0,20	0,02	0,9%	99,1%	100,0%
	28	0,17	0,02	0,7%	99,3%	100,1%
XII-2	2	0,72	0,07	3,3%	96,7%	97,6%
	7	0,40	0,04	1,8%	98,2%	99,1%
	14	0,23	0,02	1,1%	98,9%	99,8%
	28	0,20	0,02	0,9%	99,1%	100,0%
XI	2	0,66	0,07	3,2%	96,8%	97,7%
	7	0,34	0,03	1,6%	98,4%	99,3%
	14	0,23	0,02	1,1%	98,9%	99,8%
	28	0,21	0,02	1,0%	99,0%	99,9%

Propiconazol/20°C

Fixierzeit d	Fixierung von Propiconazol (n=3)					
	FG	FI	Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	97,4%	98,3%	0,56	0,06	12	2,56%
7	98,5%	99,3%	0,33	0,03	7	1,53%
14	98,9%	99,8%	0,23	0,02	5	1,07%
28	99,1%	100,0%	0,20	0,02	4	0,89%



4.3 Daten für Bor

4.3.1 KVD, Lagerung bei 5 °C

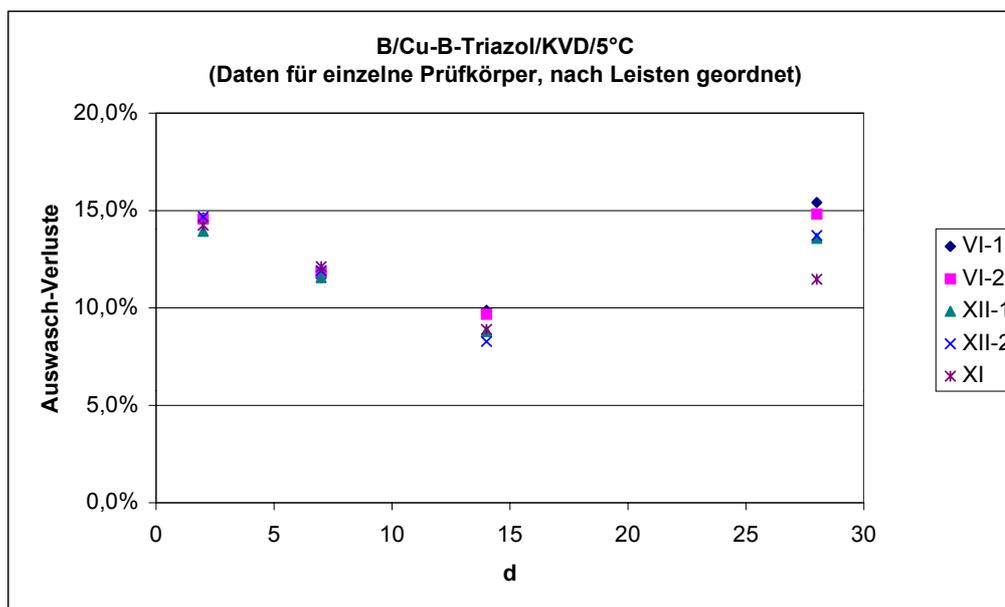
Holzschutzmittel: Cu-B-Triazol
 Wirkstoff: B
 Verfahren: KVD
 Temperatur: 5°C
 FG_{max} (20°C): 90,8%

B/5°C

Leiste	Fixierzeit d	Verlust			FG	FI
		mg/L (Eluat)	mg			
VI-1	2	1,55	0,16	14,6%	85,4%	94,0%
	7	1,26	0,12	11,6%	88,4%	97,4%
	14	1,08	0,11	9,9%	90,1%	99,3%
	28	1,73	0,17	15,4%	84,6%	93,2%
VI-2	2	1,59	0,16	14,6%	85,4%	94,1%
	7	1,30	0,13	11,8%	88,2%	97,1%
	14	1,06	0,11	9,7%	90,3%	99,5%
	28	1,68	0,16	14,8%	85,2%	93,8%
XII-1	2	1,48	0,15	13,9%	86,1%	94,8%
	7	1,24	0,12	11,6%	88,4%	97,4%
	14	0,94	0,09	8,8%	91,2%	100,5%
	28	1,50	0,14	13,6%	86,4%	95,2%
XII-2	2	1,56	0,15	14,7%	85,3%	94,0%
	7	1,27	0,13	11,9%	88,1%	97,0%
	14	0,89	0,09	8,3%	91,7%	101,0%
	28	1,53	0,15	13,7%	86,3%	95,1%
XI	2	1,43	0,14	14,2%	85,8%	94,5%
	7	1,23	0,12	12,1%	87,9%	96,8%
	14	0,90	0,09	8,9%	91,1%	100,4%
	28	1,19	0,11	11,5%	88,5%	97,5%

B/5°C

Fixierzeit d	Fixierung von B (n=3)					
	FG	FI	Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	85,7%	94,4%	1,49	0,15	31	14,3%
7	88,3%	97,2%	1,24	0,12	26	11,7%
14	90,8%	100,0%	0,97	0,10	20	9,2%
28	86,5%	95,3%	1,47	0,14	30	13,5%



4.3.2 KVD, Lagerung bei 20 °C

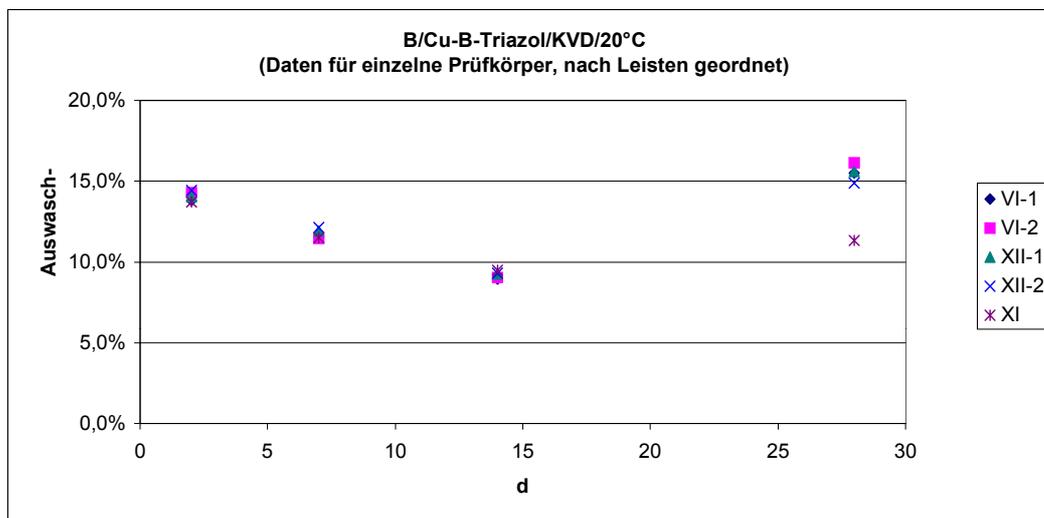
Holzschutzmittel: Cu-B-Triazol
 Wirkstoff: B
 Verfahren: KVD
 Temperatur: 20°C
 FG_{max} (20°C): 90,8%

B/20°C

Leiste	Fixierzeit d	Verlust			FG	FI
		mg/L (Eluat)	mg			
VI-1	2	1,51	0,15	13,8%	86,2%	94,9%
	7	1,25	0,12	11,5%	88,5%	97,5%
	14	0,97	0,10	8,9%	91,1%	100,3%
	28	1,76	0,17	15,5%	84,5%	93,1%
VI-2	2	1,56	0,15	14,3%	85,7%	94,4%
	7	1,26	0,12	11,5%	88,5%	97,5%
	14	0,98	0,10	9,0%	91,0%	100,2%
	28	1,84	0,18	16,1%	83,9%	92,4%
XII-1	2	1,51	0,15	14,0%	86,0%	94,7%
	7	1,28	0,13	11,9%	88,1%	97,0%
	14	1,00	0,10	9,2%	90,8%	100,0%
	28	1,76	0,17	15,6%	84,4%	93,0%
XII-2	2	1,53	0,15	14,4%	85,6%	94,3%
	7	1,30	0,13	12,1%	87,9%	96,8%
	14	1,00	0,10	9,3%	90,7%	99,9%
	28	1,65	0,16	14,9%	85,1%	93,8%
XI	2	1,38	0,14	13,7%	86,3%	95,0%
	7	1,15	0,11	11,5%	88,5%	97,5%
	14	0,93	0,09	9,5%	90,5%	99,7%
	28	1,17	0,11	11,3%	88,7%	97,7%

B/20°C

Fixierzeit d	Fixierung von B (n=3)					
	FG	FI	Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	86,1%	94,9%	1,47	0,15	31	13,9%
7	88,4%	97,3%	1,23	0,12	26	11,6%
14	90,8%	100,0%	0,97	0,10	20	9,2%
28	85,9%	94,6%	1,57	0,15	31	14,1%



Anhang 5 Fixierung eines Quat/Triazol-Präparates nach Trogränkung

5.1 Daten für DDAC

5.1.1 TT, Lagerung bei 5 °C

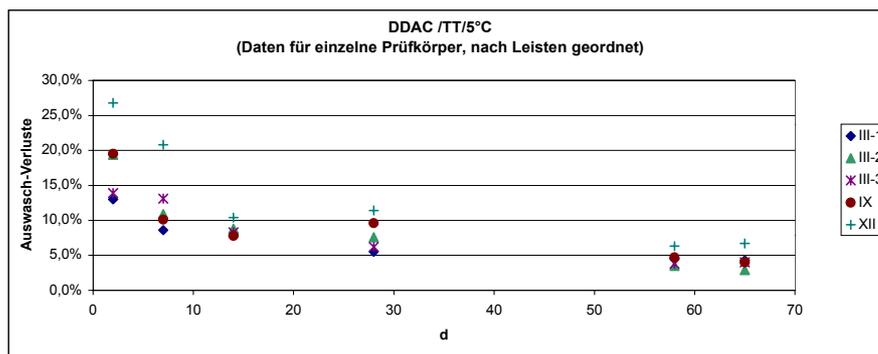
Holzschutzmittel:	Quat/Triazol
Wirkstoff:	Didecyl-dimethyl-ammoniumchlorid (DDAC)
Verfahren:	TT
Temperatur:	5°C
FG _{max} (20°C):	98,3%

DDAC/5°C

Leiste	Fixierzeit d	Verlust			FG	FI
		mg/L (Eluat)	mg			
III-1	2	56,7	5,7	13,0%	87,0%	88,5%
	7	37,9	3,8	8,6%	91,4%	93,0%
	14	36,8	3,7	8,1%	91,9%	93,4%
	28	25,0	2,5	5,5%	94,5%	96,0%
	58	22,5	2,3	4,6%	95,4%	97,0%
III-2	2	89,8	9,0	19,4%	80,6%	82,0%
	7	50,8	5,1	10,9%	89,1%	90,6%
	14	41,1	4,1	8,8%	91,2%	92,7%
	28	34,1	3,4	7,6%	92,4%	94,0%
	58	16,6	1,7	3,5%	96,5%	98,1%
III-3	2	59,8	6,0	13,9%	86,1%	87,6%
	7	50,6	5,1	13,1%	86,9%	88,4%
	14	32,5	3,3	8,3%	91,7%	93,2%
	28	25,7	2,6	6,2%	93,8%	95,4%
	58	14,9	1,5	3,8%	96,2%	97,9%
IX	2	68,2	6,8	19,5%	80,5%	81,9%
	7	50,1	5,0	10,1%	89,9%	91,4%
	14	27,1	2,7	7,8%	92,2%	93,7%
	28	34,5	3,5	9,6%	90,4%	91,9%
	58	17,1	1,7	4,7%	95,3%	96,9%
XII	2	75,1	7,5	26,8%	73,2%	74,4%
	7	56,3	5,6	20,8%	79,2%	80,6%
	14	28,6	2,9	10,4%	89,6%	91,1%
	28	30,9	3,1	11,4%	88,6%	90,1%
	58	17,3	1,7	6,3%	93,7%	95,3%
65	17,7	1,8	6,7%	93,3%	94,9%	

DDAC/5°C

Fixierzeit d	Fixierung von DDAC (n=3)					
	FG	FI	Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	79,9%	81,3%	67,7	6,77	1692	20,1%
7	85,3%	86,8%	52,3	5,23	1308	14,7%
14	91,2%	92,7%	29,4	2,94	735	8,8%
28	90,9%	92,5%	30,4	3,04	759	9,1%
58	95,1%	96,7%	16,4	1,64	410	4,9%
65	95,1%	96,7%	16,9	1,69	422	4,9%



5.1.2 TT, Lagerung bei 20 °C

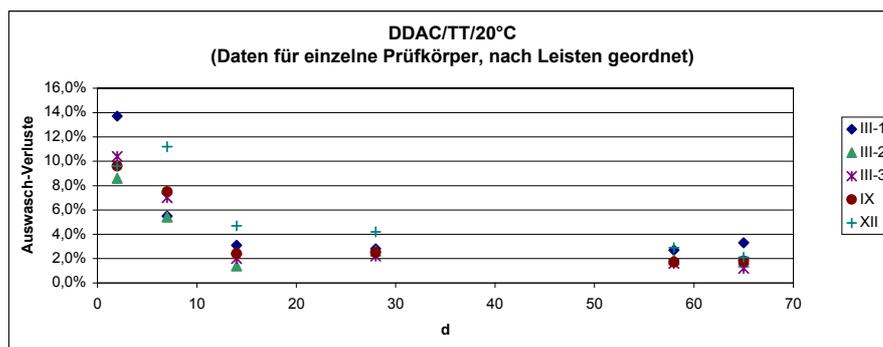
Holzschutzmittel: Quat/Triazol
 Wirkstoff: Didecyl-dimethyl-ammoniumchlorid (DDAC)
 Verfahren: TT
 Temperatur: 20°C
 FG_{max} (20°C): 98,3%

DDAC/20°C

Leiste	Fixierzeit d	Verlust			FG	FI
		mg/L (Eluat)	mg			
III-1	2	60,3	6,0	13,7%	86,3%	87,7%
	7	24,4	2,4	5,5%	94,5%	96,1%
	14	14,4	1,4	3,1%	96,9%	98,5%
	28	12,4	1,2	2,8%	97,2%	98,9%
	58	11,3	1,1	2,7%	97,3%	98,9%
III-2	2	39,7	4,0	8,6%	91,4%	93,0%
	7	25,0	2,5	5,4%	94,6%	96,2%
	14	6,4	0,6	1,4%	98,6%	100,3%
	28	11,7	1,2	2,6%	97,4%	99,1%
	58	8,9	0,9	1,9%	98,1%	99,7%
III-3	2	44,3	4,4	10,4%	89,6%	91,2%
	7	27,3	2,7	7,0%	93,0%	94,5%
	14	7,8	0,8	2,0%	98,0%	99,7%
	28	9,3	0,9	2,2%	97,8%	99,4%
	58	6,1	0,6	1,6%	98,4%	100,0%
IX	2	33,8	3,4	9,6%	90,4%	92,0%
	7	25,9	2,6	7,5%	92,5%	94,1%
	14	8,2	0,8	2,4%	97,6%	99,3%
	28	9,1	0,9	2,5%	97,5%	99,1%
	58	6,5	0,6	1,7%	98,3%	100,0%
XII	2	33,8	3,4	9,6%	90,4%	92,0%
	7	30,4	3,0	11,2%	88,8%	90,3%
	14	13,0	1,3	4,7%	95,3%	96,9%
	28	11,5	1,2	4,2%	95,8%	97,4%
	58	7,7	0,8	2,9%	97,1%	98,8%
65	5,7	0,6	2,1%	97,9%	99,5%	

DDAC/20°C

Fixierzeit d	Fixierung von DDAC(n=3)					
	FG	FI	Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	90,2%	91,7%	37,3	3,73	933	9,8%
7	91,4%	93,0%	27,9	2,79	697	8,6%
14	97,0%	98,6%	9,6	0,96	241	3,0%
28	97,0%	98,6%	9,9	0,99	248	3,0%
58	97,9%	99,6%	6,8	0,68	169	2,1%
65	98,3%	100,0%	5,4	0,54	136	1,7%



5.2 Daten für Propiconazol

5.2.1 TT, Lagerung bei 5 °C

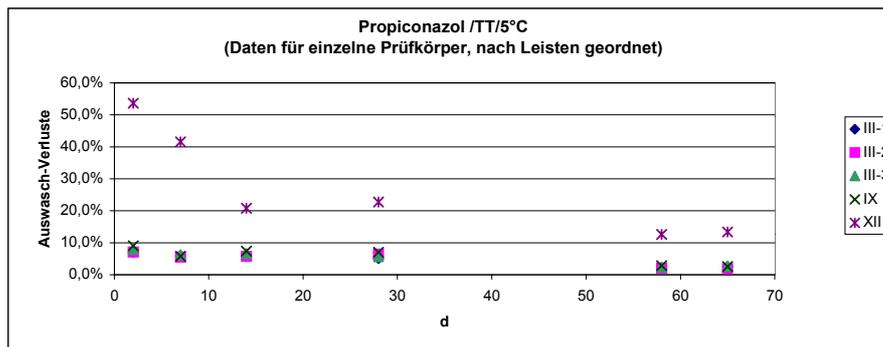
Holzschutzmittel: Quat/Triazol
 Wirkstoff: Propiconazol
 Verfahren: TT
 Temperatur: 5°C
 FG_{max} (20°C): 97,3%

Propiconazol/5°C

Leiste	Fixierzeit d	Verlust			FG	FI
		mg/L (Eluat)	mg			
III-1	2	3,1	0,31	7,0%	93,1%	95,6%
	7	2,7	0,27	6,0%	94,1%	96,7%
	14	2,6	0,26	5,7%	94,3%	96,9%
	28	2,3	0,23	5,1%	94,9%	97,5%
	58	1,0	0,10	2,1%	98,0%	100,7%
	65	1,2	0,12	2,6%	97,4%	100,1%
III-2	2	3,3	0,33	7,1%	92,9%	95,4%
	7	2,6	0,26	5,5%	94,5%	97,1%
	14	2,7	0,27	5,8%	94,2%	96,8%
	28	3,0	0,30	6,5%	93,5%	96,1%
	58	1,0	0,10	2,1%	97,9%	100,6%
	65	0,9	0,09	1,9%	98,1%	100,8%
III-3	2	3,5	0,35	7,9%	92,1%	94,6%
	7	2,4	0,24	6,3%	93,7%	96,3%
	14	2,6	0,26	6,7%	93,3%	95,9%
	28	2,4	0,24	5,6%	94,4%	97,0%
	58	1,0	0,10	2,4%	97,6%	100,3%
	65	1,1	0,11	2,7%	97,3%	100,0%
IX	2	3,2	0,32	9,1%	91,0%	93,5%
	7	2,9	0,29	5,8%	94,2%	96,8%
	14	2,6	0,26	7,4%	92,6%	95,2%
	28	2,6	0,26	7,1%	92,9%	95,5%
	58	1,0	0,10	2,8%	97,2%	99,9%
	65	1,1	0,11	2,6%	97,4%	100,1%
XII	2	3,7	0,37	13,1%	86,9%	89,3%
	7	3,1	0,31	11,3%	88,7%	91,1%
	14	2,7	0,27	9,7%	90,3%	92,8%
	28	3,0	0,30	11,0%	89,0%	91,5%
	58	1,1	0,11	4,0%	96,0%	98,6%
	65	1,2	0,12	4,4%	95,6%	98,3%

Propiconazol/5°C

Fixierzeit d	Fixierung von Propiconazol (n=3)					
	FG	FI	Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	90,0%	92,5%	3,5	0,35	86	10,0%
7	92,2%	94,8%	2,8	0,28	71	7,8%
14	92,1%	94,6%	2,6	0,26	66	7,9%
28	92,1%	94,6%	2,7	0,27	66	7,9%
58	96,9%	99,6%	1,0	0,10	26	3,1%
65	96,8%	99,5%	1,1	0,11	28	3,2%



5.2.2 TT, Lagerung bei 20 °C

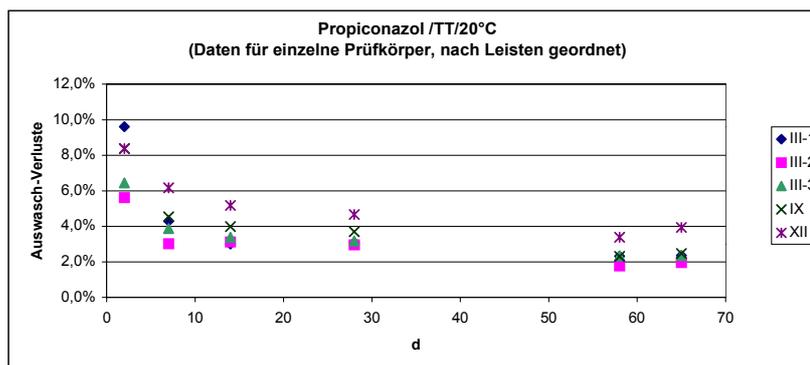
Holzschutzmittel: Quat/Triazol
 Wirkstoff: Propiconazol
 Verfahren: TT
 Temperatur: 20°C
 FG_{max} (20°C): 97,3%

Propiconazol/20°C

Leiste	Fixierzeit d	Verlust			FG	FI
		mg/L (Eluat)	mg			
III-1	2	4,3	0,43	9,6%	90,4%	92,9%
	7	1,9	0,19	4,3%	95,7%	98,4%
	14	1,4	0,14	3,0%	97,0%	99,7%
	28	1,4	0,14	3,1%	96,9%	99,6%
	58	1,0	0,10	2,3%	97,7%	100,4%
	65	1,0	0,10	2,4%	97,6%	100,3%
III-2	2	2,6	0,26	5,6%	94,4%	97,0%
	7	1,4	0,14	3,0%	97,0%	99,7%
	14	1,4	0,14	3,1%	96,9%	99,6%
	28	1,3	0,13	3,0%	97,0%	99,7%
	58	0,8	0,08	1,8%	98,2%	100,9%
	65	0,9	0,09	2,0%	98,0%	100,8%
III-3	2	2,8	0,28	6,5%	93,6%	96,1%
	7	1,5	0,15	3,9%	96,1%	98,8%
	14	1,3	0,13	3,4%	96,6%	99,3%
	28	1,3	0,13	3,2%	96,8%	99,5%
	58	0,9	0,09	2,3%	97,7%	100,4%
	65	0,9	0,09	2,4%	97,6%	100,3%
IX	2	3,0	0,30	8,4%	91,6%	94,2%
	7	1,6	0,16	4,5%	95,5%	98,1%
	14	1,4	0,14	4,0%	96,0%	98,7%
	28	1,3	0,13	3,7%	96,3%	99,0%
	58	0,9	0,09	2,3%	97,7%	100,4%
	65	0,9	0,09	2,5%	97,5%	100,2%
XII	2	3,0	0,30	8,4%	91,6%	94,2%
	7	1,7	0,17	6,2%	93,8%	96,4%
	14	1,4	0,14	5,2%	94,8%	97,5%
	28	1,3	0,13	4,7%	95,3%	98,0%
	58	0,9	0,09	3,4%	96,6%	99,3%
	65	1,1	0,11	3,9%	96,1%	98,7%

Propiconazol/20°C

Fixierzeit d	Fixierung von Propiconazol (n=3)					
	FG	FI	Verlust			
			mg/L (Eluat)	mg	mg/m ²	
2	92,3%	94,8%	2,92	0,29	73	7,7%
7	95,1%	97,8%	1,60	0,16	40	4,9%
14	95,8%	98,5%	1,39	0,14	35	4,2%
28	96,2%	98,8%	1,32	0,13	33	3,8%
58	97,3%	100,0%	0,90	0,09	23	2,7%
65	97,1%	99,8%	0,96	0,10	24	2,9%



Kurzfassung

Holzbauteile für konstruktive Anwendungen im Außenbereich werden in Deutschland vorwiegend in stationären Anlagen durch Kesseldruckimprägnierung und Trogränkung mit Holzschutzmitteln imprägniert. Im Anschluss an diese Behandlung muss das eingebrachte Holzschutzmittel fixieren, d.h. dauerhaft an Holzbestandteile binden. Während der Fixierung muss insbesondere das Risiko einer Auswaschung durch Niederschläge vermieden werden, sowohl um die Wirksamkeit der eingebrachten Holzschutzmittel zu gewährleisten als auch um Emissionen in die Umwelt zu minimieren. Angaben zur erforderlichen Fixierdauer sind jedoch nur teilweise verfügbar und beruhen auf unterschiedlich gewonnenen Erfahrungen.

Zielstellung der vorliegenden Untersuchungen war es, ein Prüfverfahren zur Ermittlung der erforderlichen Fixierdauer zu entwickeln und dessen Eignung für verschiedene Holzschutzmitteltypen und Imprägnierverfahren zu erproben. Die gewonnenen Daten sollen für die untersuchten Holzschutzmittel einen Überblick über den Fixierungsverlauf in Abhängigkeit vom Einbringverfahren und der Lagertemperatur vermitteln.

Es wird ein „Laborverfahren zur Ermittlung der Mindestfixierdauer für Holzschutzmittel mit DIBt-Zulassung für die Gefährdungsklassen 3 und 4“ vorgeschlagen. Bei diesem Verfahren werden Probehölzer gemäß der in der Praxis vorgesehenen Verfahren mit Schutzmittellösung behandelt. Nach einer festgelegten Lagerdauer bei vorgeschriebenen Bedingungen werden die behandelten Prüfkörper und unbehandelte Kontrollproben einer Auswaschbeanspruchung in Anlehnung an den ersten Auswaschschritt der ENV 1250-2 unterzogen und die Eluate auf ihre Wirkstoffgehalte untersucht. Aus den Analysenwerten der Wirkstoffe werden die Fixierungsgrade berechnet und Mindestfixierzeiten abgeleitet. Als Probehölzer werden Prüfkörper aus Kiefernspiltholz (*Pinus sylvestris* L.) verwendet. Die Auswahl und Konditionierung der Prüfkörper erfolgt nach EN 113. KVD-Produkte werden nach den Vorgaben der EN 113 getränkt, Mittel zur Trogränkung werden durch 24stündiges Tauchen eingebracht. Unmittelbar im Anschluss an die Behandlung werden die Prüfkörper für 2, 7, 14 und 28 Tage bei 5 °C bzw. 20 °C gelagert. Auch bei der Lagerung wird nach der EN 113 verfahren. Zu den festgelegten Versuchszeitpunkten werden Prüfkörper für 1 Stunde bei 20 ± 2 °C mit destilliertem/entionisiertem Wasser unter Rühren ausgewaschen und die in dem Eluat enthaltenen Mengen an Wirkstoffen analytisch bestimmt. Für jeden Prüfkörper wird der Fixierungsgrad berechnet:

$$\text{Gleichung 1: } FG = (E - A)/E \times 100 \text{ [\%]}$$

- E: Eingebachte Wirkstoffmenge [mg/Prüfkörper]
 A: Ausgewaschene Wirkstoffmenge [mg/Prüfkörper]
 FG: Fixierungsgrad [%]

Der Fixierungsindex zum Zeitpunkt t_x wird wie folgt berechnet:

$$\text{Gleichung 2: } FI = FG_m / FG_{max} \times 100$$

- FI: Fixierungsindex
 FG_m : mittlerer Fixierungsgrad für die zum Zeitpunkt t_x untersuchten Prüfkörper
 FG_{max} : maximaler Fixierungsgrad

Der maximale Fixierungsgrad entspricht dem höchsten im Versuchszeitraum ermittelten mittleren Fixierungsgrad bei einer Lagertemperatur von 20 °C.

Dieses Verfahren wurde mit einem CKB-Salz, einem Quat-Präparat, 2 CuHDO-Präparaten, einem Quat/Triazol-Präparat und einem Kupfer/Triazol/Bor-Präparat erprobt. Alle Produkte sind wasserbasierte Konzentrate, die durch Kesseldruck- bzw. Trogränkung ins Holz einzubringen sind. Sie enthalten Kupfer- und Borverbindungen, Benzalkoniumchlorid, Didecyldimethylammoniumchlorid, Propiconazol bzw. CuHDO als biozide Wirkstoffe. Behandlungsverfahren und Einbringmengen wurden anhand der bauaufsichtlichen Zulassungen für die Gefährdungsklasse 3 bzw. – wenn dafür vorgesehen – für die GK 4 festgelegt.

Für die untersuchten Holzschutzmittel konnte der Fixierungsverlauf mit dem vorgeschlagenen Verfahren beschrieben werden. Normalerweise nahmen die Auswaschverluste innerhalb eines Zeitraumes von 2 bis 28 Tagen nach der Applikation des Holzschutzmittels in den Laborversuchen ab und erreichten ein bestimmtes, für die einzelnen Produkte, Wirkstoffe und Einbringverfahren typisches Niveau. Für die meisten Wirkstoffe wurde innerhalb des Versuchszeitraumes von 28 Tagen ein gleichbleibendes Niveau der Verluste erreicht. Lediglich bei einer Fixiertemperatur von 5 °C nahmen für das CKB-Produkt die Kupferverluste nach Trogränkung und die Chromverluste nach beiden Behandlungsverfahren bis zum Versuchsende ab, ohne dass gleichbleibende Werte erreicht wurde. In einigen Fällen waren die Fixierungsgrade bereits nach 2 Tagen Lagerung so hoch, dass kaum noch Veränderungen festgestellt wurden.

Die mit dem CKB-Präparat nach Vakuumtränkung gewonnenen Daten entsprechen den Erfahrungen aus der Praxis. Auch die für alle borhaltigen Präparate gefunde-

nen relativ hohen Borverluste waren zu erwarten. Für die untersuchten Holzschutzmittel (CKB-, Quat-, CuHDO-Präparat) wurden in den ersten Tagen nach dem 24stündigen Tauchen üblicherweise höhere Wirkstoffverluste festgestellt als nach Vakuumtränkung. Die maximalen Fixierungsgrade sind für Kupfer und Chrom aus dem CKB-Präparat sowie CuHDO und Kupfer aus dem CuHDO-Präparat für beide Imprägnierverfahren vergleichbar. Für Benzalkoniumchlorid aus dem Quat-Präparat liegt der maximale Fixierungsgrad nach Vakuumtränkung ca. 2 % höher als nach 24stündigem Tauchen. Fixierung bei 20 °C bewirkte im Vergleich zu 5 °C üblicherweise schnellere Fixierungsverläufe und auch höhere Fixierungsgrade. Ausnahmen sind CuHDO und Kupfer aus dem CuHDO-Präparat nach Vakuumtränkung sowie Kupfer aus dem Kupfer/Triazol/Bor-Präparat, bei denen die Fixierungsverläufe bei beiden Fixiertemperaturen ähnlich sind. Propiconazol zeigte sowohl aus dem Kupfer/Triazol/Bor-Präparat nach Vakuumtränkung als auch aus dem Quat/Triazol-Präparat nach Trogränkung einen allmählichen Fixierungsverlauf mit geringeren Fixierungsgraden bei niedrigeren Temperaturen.

In Tabelle 1 ist dargestellt, welche maximalen Fixierungsgrade bei beiden Lagertemperaturen bestimmt wurden und wann in den einzelnen Versuchen Fixierungsindizes von 95 % erreicht waren. Vergleicht man die erforderliche Zeit, um einen Fixierungsindex von 95 % zu erreichen, lassen sich die verschiedenen Wirkstoffe, Präparate, Behandlungsverfahren und Fixierungsbedingungen differenzieren.

Um eine gute Vergleichbarkeit der Daten für verschiedene Holzschutzmittel zu erreichen, muss das Testverfahren so gestaltet sein, dass mögliche Einflussfaktoren weitgehend konstant sind. Das wird durch die Verwendung von Prüfkörpern aus Kiefernspiltholz mit festgelegten Dimensionen, die Definition der Lager- und Versuchsbedingungen und des Zeitregimes erreicht. Da die Fixierung identischer Holzschutzmittel nach Vakuum- bzw. Trogränkung sehr unterschiedlich verlaufen kann, ist es erforderlich, Fixierzeiten für die jeweils zugelassenen Einbringverfahren zu ermitteln.

Das vorgeschlagene Verfahren ist grundsätzlich geeignet, den Fixierungsverlauf für verschiedene Holzschutzmittel zu beschreiben. Allerdings ist es nur dann anwendbar, wenn Wirkstoffkonzentrationen oberhalb der Nachweisgrenze zu bestimmen sind.

Bei der Übertragung der Versuchsergebnisse auf Praxissituationen muss man berücksichtigen, dass hier die klimatischen Bedingungen variabel sind und natürlich auch andere Holzarten, wie z.B. Fichte, imprägniert werden.

Tabelle 1: Daten zur Charakterisierung der Fixierung von Wirkstoffen aus den untersuchten Holzschutzmitteln

Holzschutzmittel	Wirkstoff	FG _{max} [%]				Zeit bis FI > 95 % ist [d]			
		KVD		TT		KVD		TT	
		Fixiertemperatur [°C]							
		5	20	5	20	5	20	5	20
CKB	Kupfer	98,0	99,8	98,9	99,9	2	2	7	2
	Chrom	96,4	99,98	98,1	99,8	14	2	14	7
	Bor**	85,8	90,1	94,1	93,5				
Quat	Benzalkoniumchlorid	99,1	99,4	96,4	97,4	2	2	7	2
CX	CuHDO	98,6	98,7	98,1	98,4	2	2	7	2
	Kupfer	99,6	99,6	97,9	98,2	2	2	14	7
	Bor**			80,4	82,6				
Cu/Triazol/B	Kupfer	99,8	99,8			2	2		
	Propiconazol	98,3	99,1			2	2		
	Bor**	90,8	90,8						
Quat/Triazol	DDAC			95,1	98,3			58*	14*
	Propiconazol			96,9	97,3			58*	7*

* vermutlich wegen zu hoher Luftfeuchtigkeit bei der Konditionierung verzögert

** Daten zu Bor wurden angegeben, obwohl Bor kein fixierender Wirkstoff ist

Zur Bewertung von Daten aus Fixierungsversuchen ist ein Kriterium erforderlich, nach dem Wirkstoffe, Einbringverfahren und Lagerbedingungen differenziert werden können. Aufgrund der vorliegenden Daten scheinen die Forderung von 95 % Fixierung im Laborversuch und die Zeit, bis zu der ein Fixierungsindex von mindestens 95 % erreicht ist, geeignete Parameter zu sein, um die erforderliche Fixierdauer festzulegen. Bei Präparaten mit mehreren Wirkstoffen sollte die Festlegung der erforderlichen Lagerdauer unter Dach an dem am langsamsten fixierenden Bestandteil orientiert sein. Unter Umständen kann eine Einzelfallentscheidung sinnvoll sein, die die Fixierungsverläufe aller enthaltenen Wirkstoffe berücksichtigt.

Obwohl dieses Verfahren keine direkte Ermittlung der Biozidemissionen während der Lagerung von behandeltem Holz erlaubt, kann man abschätzen, ob unmittelbar nach der Behandlung ein höheres Auswaschrisiko besteht als nach einer bestimmten Fixierdauer.

Summary

Timber that is intended to be used for construction purposes is usually treated with wood preservatives by vacuum impregnation or dipping in Germany. In a certain period following the impregnation procedure the active ingredients of the wood preservatives have to react with the wood constituents to be fixed in the wood. During that period the risk of leaching by precipitation has to be minimised to ensure the efficacy of the preservation as well as to prevent emissions into the environment. However, data on the time that is necessary to ensure fixation are not always available. Furthermore they are based on different experiences.

The aim of the presented investigations was to develop and test a procedure that is suitable to estimate the fixation time for different types of wood preservatives and impregnation procedures. The data are intended to give an overview on the fixation characteristics depending on the impregnation technique and the fixation temperature.

A laboratory test procedure is proposed that allows the estimation of the minimum fixation time for wood preservatives that are authorised by the DIBt (Deutsches Institut für Bautechnik) to be used for the hazard classes 3 and 4 (German GK 3 and 4). Specimens have to be treated with the preservatives according to the intended procedures. The specimens are stored for certain time intervals under defined conditions. Treated and untreated specimens are leached in a procedure that is similar to the first step of ENV 1250-2 and the resulting leachates are analysed for the contained active ingredients. The degree of fixation is calculated from the analytical data and the minimum time for fixation is derived from the fixation degrees. The specimens are prepared, selected and conditioned according to the EN 113 procedure. The specimens are either treated as described in the EN 113 (if preservatives for vacuum impregnation have to be tested) or dipped into a solution of the preservative for 24 hours (if the preservative is intended for dipping). The specimens are stored for 2, 7, 14 and 28 days, respectively, after the impregnation at either 5 °C or 20 °C following the EN 113 procedure. A part of the specimens is leached with distilled/deionised water for 1 h at 20 +/- 2 °C at each of the defined time intervals. The water is stirred. The contents of the active ingredients are determined in the leachate. The degree of fixation is calculated for each specimen according to equation 1.

$$\text{equation 1: } FG = (E - A)/E \times 100 [\%]$$

- E: amount of preservative that was brought into the specimen [mg/specimen]
 A : amount of active ingredient in the leachate [mg/specimen]
 FG: degree of fixation [%]

The fixation index at the time t_x is calculated according to equation 2:

$$\text{equation 2: } FI = FG_m / FG_{max} \times 100$$

- FI: fixation index
 FG_m : mean value of the fixation degrees of the specimens tested at the time t_x
 FG_{max} : maximum fixation degree

The maximum fixation degree is the highest value estimated at all times for specimens stored at a temperature of 20 °C.

The proposed procedure was tested with a preservative containing copper, chromium and boron (CCB), a preservative containing a quaternary ammonium compound (Quat), two preservatives based on CuHDO (copper bis-(N-cyclohexyldiazonium-dioxyde/CX), a preservative containing a quaternary ammonium compound and a triazole (Quat/triazole) and a preservative containing copper in combination with a triazole and boron (Quat/triazole/boron). All products are water-based and intended to be used for vacuum impregnation and/or dipping. The active ingredients were copper, boron, benzalkonium chloride, DDAC (didecyl dimethyl ammonium chloride), propiconazole and CuHDO. The treatment procedures and preservative retentions were chosen according to the data in the DIBt authorisation for either hazard class 3 or hazard class 4 (if the product was also intended to be used for hazard class 4).

The fixation of the investigated preservatives could be described by the proposed procedure. The leaching losses usually decreased between the 2nd and the 28th day in the laboratory trials and reached a certain level which was typical for the products, active ingredients and impregnation techniques. Most active ingredients exhibited a constant level of leaching losses during the investigation period of 28 days. Only the losses of copper after dipping and chromium after vacuum impregnation and dipping with the CCB product at a fixation temperature of 5 °C decreased until the end of the tests and did not reach a constant level. In a few cases the degree of fixation was already high after 2 days of fixation so that changes could not be observed during the investigation period. The data for the CCB-product agreed with the practical experiences. The relatively high losses of boron were also expected. The losses of active ingredients were usually higher after dipping than after vacuum impregnation during the

beginning of the fixation for the investigated preservatives (CCB, Quat and CX). The maximum degrees of fixation were similar for both impregnation techniques in case of copper and chromium from the CCB as well as copper and CuHDO from the CX-products. The maximum degree of fixation of benzalkonium chloride is about 2 % higher after vacuum impregnation than after 24 h dipping. Fixation at 20 °C caused accelerated fixation and higher degrees of fixation compared to fixation at 5 °C. The fixation was similar at both temperatures in case of CuHDO and copper from the CX-product after vacuum impregnation and copper from the copper/triazole/boron-product. Fixation of propiconazole was relatively slow both for propiconazole from the copper/triazole/boron-product after vacuum impregnation as well as from the quat/triazole-product after dipping. The degrees of fixation were lower at the lower fixation temperature.

The maximum degrees of fixation at both temperatures and the time that was necessary to reach a fixation index of 95 % are summarised for all products in table 1. A comparison of the time that is necessary to reach a fixation level of 95 % allows to differentiate between active ingredients, preservatives and impregnation procedures. It is necessary to keep the factors that can influence the fixation as constant as possible for the laboratory tests to ensure the comparability of the results for different preservatives. This is ensured by the use of specimens from pine sapwood with a defined shape, the definition of the storage and test conditions as well as the time table. It is necessary to investigate fixation depending on the impregnation procedure since the fixation of the same wood preservative may be different after either vacuum impregnation or dipping.

The proposed procedure is suitable to describe the fixation procedure of different types of wood preservatives. However, the sensitivity of the analytical method has to be sufficient to estimate the concentration of the active ingredient in the leachate. It has to be considered that the climate is quite variable under real storage conditions and that other species of wood, e.g. spruce, are impregnated if the results from the laboratory tests are transferred to the situation in the environment.

Parameters that are suitable to differentiate between active ingredients, impregnation procedures and storage conditions are necessary to evaluate data from the laboratory fixation tests. The test data suggest that a minimum degree of fixation of 95 % in the laboratory tests and the time to reach a fixation index of 95 % seem to be suitable to define the necessary fixation time. The definition of the minimum duration of storage without the influence of precipitation should be based on the active ingredient with

Table 1: Data that describe the fixation of active ingredients from the investigated wood preservatives

wood preservative	active ingredient	FG _{max} [%]				time until FI > 95 % [d]			
		KVD		TT		KVD		TT	
		fixation temperature [°C]							
		5	20	5	20	5	20	5	20
CCB	copper	98,0	99,8	98,9	99,9	2	2	7	2
	chromium	96,4	99,98	98,1	99,8	14	2	14	7
	boron**	85,8	90,1	94,1	93,5				
Quat***	benzalkonium chloride	99,1	99,4	96,4	97,4	2	2	7	2
CX	CuHDO	98,6	98,7	98,1	98,4	2	2	7	2
	copper	99,6	99,6	97,9	98,2	2	2	14	7
	boron**			80,4	82,6				
Cu/triazole/B	copper	99,8	99,8			2	2		
	propiconazole	98,3	99,1			2	2		
	boron**	90,8	90,8						
Quat/triazole	DDAC			95,1	98,3			58*	14*
	propiconazole			96,9	97,3			58*	7*

* a relatively high level of air humidity might have caused a delay

** data for boron are listed although boron is not fixed to the wood

*** quaternary ammonium compound

the slowest fixation reaction if the wood preservative contains several active ingredients. However, it might be recommended to decide on a case by case basis using all available fixation data.

Although this procedure does not allow a direct estimation of the biocide emissions from treated wood straight after the impregnation under storage conditions it indicates if there is an increased risk of leaching during the fixation of certain wood preservatives.