

# Ermittlung von Biozidemissionen aus alcoholhaltigen Holzwerkstoffplatten

**T 3028**

**T 3028**

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Liegen dem Fraunhofer IRB Verlag die Originalabbildungen vor, können gegen Berechnung Farbkopien angefertigt werden. Richten Sie Ihre Anfrage bitte an die untenstehende Adresse.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2004, ISBN 3-8167-6532-7

Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69  
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00  
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.IRBbuch.de](http://www.IRBbuch.de)

# ERMITTLUNG VON BIOZIDEMISSIONEN AUS ALTHOLZHALTIGEN HOLZWERKSTOFFPLATTEN

---

## ABSCHLUSSBERICHT

---

August 2003

Förderkennzeichen: P 3-5-20.33-988/09

Berichtersteller:

Dr. Wolfgang Horn

Dr. Oliver Jann



# INHALTSVERZEICHNIS

	Abbildungsverzeichnis.....	II
	Tabellenverzeichnis.....	IV
	Abkürzungsverzeichnis .....	V
	ZUSAMMENFASSUNG.....	VI
1	AUFGABENSTELLUNG .....	1
2	EINLEITUNG .....	2
	2.1 Altholz.....	2
	2.2 Biozidemissionen.....	5
	2.3 Biozidnachweis aus Holz.....	6
	2.4 Stoffinformationen.....	7
	2.4.1 Lindan .....	7
	2.4.2 PCP.....	8
	2.4.3 DDT.....	8
	2.4.4 Dichlofluanid .....	10
3	MATERIAL UND METHODEN.....	11
	3.1 Probenauswahl.....	11
	3.2 Platten-Herstellung.....	13
	3.3 Untersuchungsmethoden .....	16
	3.3.1 Luftuntersuchungen.....	16
	3.3.2 Holzuntersuchungen auf Biozidgehalte.....	22
	3.3.3 Instrumentelle Analytik.....	23
	3.3.4 Qualitätssicherung.....	28
4	ERGEBNISSE.....	31
	4.1 Materialuntersuchungen .....	31
	4.2 Emissionsuntersuchungen .....	34
	4.3 Vergleich Materialgehalte und Luftkonzentrationen.....	43
5	DISKUSSION.....	47
6	LITERATUR.....	52

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2 1: Altholzhaufen mit Material der Altholzkategorie IV. ....	2
Abbildung 2 2: Spanplattenverbrauchsdaten in Deutschland nach Angaben des Verbandes der deutschen Holzwerkstoffindustrie e.V. [3].....	4
Abbildung 2 3: Struktur von Lindan (g-Hexachlorcyclohexan).....	7
Abbildung 2 4: Struktur von PCP (Pentachlorphenol) .....	8
Abbildung 2 5: Struktur von p,p'-DDT (p,p'-Dichlordiphenyltrichlorethan), p,p'-DDE (p,p'-Dichlordiphenyldichlorethen) und p,p'-DDD (p,p'-Dichlordiphenyldichlorethan) .....	10
Abbildung 2 6: Struktur von Dichlofluamid.....	10
Abbildung 3 1: Spanfraktionen für die Mittelschicht, im kleinen Karton mit Bioziden behandelte Proben, in der großen Wanne unbehandelte Mittelschichtspäne. ....	14
Abbildung 3 2: Spanfraktionen der Mittelschichtspäne werden in der Beileimtrommel vor dem eigentlichen Beileimen durchmischt. ....	14
Abbildung 3 3: Einstreuen der fertig beileimeten Späne in einen Rahmen. Hier wird gerade die Deckschicht eingebracht. ....	14
Abbildung 3 4: Der fertige Spänekuchen vor dem eigentlichen Pressen in der Laborpresse .....	15
Abbildung 3 5: Die fertige Platte nach dem Pressen in der Laborpresse .....	15
Abbildung 3 6: 20-l-Kammer beladen mit Probenkörpern; oben ist der Ventilator mit Magnetkupplung zu erkennen, vorn die Luftzu- und Luftabführung, sowie mehrere Probenahmestutzen. ....	19
Abbildung 3 7: Prinzipdarstellung Kleinprüfkammer-Apparatur (0,02 m <sup>3</sup> -Kammern) hier in Verbindung mit 1 m <sup>3</sup> -Kammer in Klimakammer .....	20
Abbildung 3 8: Probenahme mit PU-Schäumen an einer 20-l-Kammer mit Probenkörpern.....	21
Abbildung 3 9: Chromatogramm einer Standard-Lösung. Chromatographiebedingungen siehe Text. ....	25
Abbildung 3 10: Lindan-Kalibriergrade im Konzentrationsbereich von 0,14 bis 5,5 ng/μl.....	25
Abbildung 3 11: Pentachlorphenol-Kalibriergrade im Konzentrationsbereich von 0,19 bis 7,7 ng/μl. ....	26
Abbildung 3 12: Dichlofluamid-Kalibriergrade im Konzentrationsbereich von 0,19 bis 7,5 ng/μl. ....	26
Abbildung 3 13: o,p'-DDT-Kalibriergrade im Konzentrationsbereich von 0,1 bis 3,8 ng/μl. ....	27
Abbildung 3 14: o,p'-DDT-Kalibriergrade im Konzentrationsbereich von 0,1 bis 3,8 ng/μl. ....	27
Abbildung 4 1: Nachweis von PCP in mg/kg aus Holzwerkstoff-Platten. BG = 0,1 mg/kg.....	31

Abbildung 4 2: Lindan und PCP aus der Platte P12 im Kammerversuch. Untersuchung mit offenen Schmalflächen. ....	36
Abbildung 4 3: Lindan und PCP aus der Platte P12 im Kammerversuch. Wiederholung mit versiegelten Schmalflächen. ....	36
Abbildung 4 4: Lindan und PCP aus der Platte P4 im Kammerversuch (mit versiegelten Schmalflächen).....	37
Abbildung 4 5: PCP aus der Platte B4 im Kammerversuch (mit versiegelten Schmalflächen).....	37
Abbildung 4 6: PCP aus der Platte P14 (mit versiegelten Schmalflächen) im Kammerversuch. (die hohen Anfangswerte waren der Blindwert aus dem Vorversuch mit der Platte P12 s. Abbildung 4 3).....	38
Abbildung 4 7: Konzentrationsverlauf von PCP aus den beiden Platten D2 und A2 untersucht in der 20l-Kammer. ....	40
Abbildung 4 8: Konzentrationsverlauf von PCP aus den drei Platten MA2, MB2 und MC2 untersucht in der 20l-Kammer. ....	40
Abbildung 4 9: Konzentrationsverlauf von Lindan aus den drei Platten MA2, MB2 und MC2 untersucht in der 20l-Kammer. ....	40
Abbildung 4 10 : Konzentrationsverlauf von Lindan aus den beiden Platten D2 und A2 untersucht in der 20l-Kammer. ....	41
Abbildung 4 11: Konzentrationsverlauf von Dichlofluanid aus den drei Platten MA2, MB2 und MC2 untersucht in der 20l-Kammer. ....	41
Abbildung 4 12: Konzentrationsverlauf von Dichlofluanid aus den beiden Platten D2 und A2 untersucht in der 20l-Kammer. ....	42
Abbildung 4 13: Konzentrationsverlauf von DDT aus den drei Platten MA2, MB2 und MC2 untersucht in der 20l-Kammer. ....	42
Abbildung 4 14: Konzentrationsverlauf von DDT aus den beiden Platten D2 und A2 untersucht in der 20l-Kammer. ....	43

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2 1: Physikalische Eigenschaften, Namen und Isomere von Lindan .....	7
Tabelle 2 2: Physikalische Eigenschaften und Namen von PCP .....	8
Tabelle 2 3: Physikalische Eigenschaften, Namen und Abbauprodukte von DDT .....	9
Tabelle 2 4: Physikalische Eigenschaften und Namen von Dichlofluanid.....	10
Tabelle 3 1: Kennzeichnung der im Vorhaben verwendeten Spanplatten .....	11
Tabelle 3 2: Einsatzmengen von Holz, Leim, Härter und Paraffin für die beiden verschiedenen Plattentypen. ....	13
Tabelle 3 3: Aufbau der Laborspanplatten. (Details siehe Text) .....	16
Tabelle 3 4: Selected Ion Mode (SIM) Massen und Einstellungen des MS für die unterschiedlichen Biozide (fett markiert sind die Massenspuren für die Auswertung): .....	24
Tabelle 3 5: Wiederfindung der untersuchten Biozide nach Beaufschlagung eines PU-Schaumes mit Standardlösung und anschließender Extraktion mit Aceton. ....	28
Tabelle 3 6: Durchbruchmessung mit 18,6 m <sup>3</sup> Probenahmevolumen, der erste Schaum war mit einer Standardlösung beaufschlagt worden. Angaben in %.....	29
Tabelle 3 7: Vergleichbarkeit von Wiederholungsmessungen von 5 gleich angesetzten Lösungen, jeweils fünffach bestimmt. ....	29
Tabelle 3 8: Vergleich PCP-Analyse mit der Methode AhV und der hier vorgestellten Methode. Die Werte sind in mg/kg angegeben.....	30
Tabelle 4 1: Biozidgehalte in den für die Plattenherstellung verwendeten zerspannten Holzproben.....	32
Tabelle 4 2 Laborspanplatten aus belasteten und unbelasteten Spänen hergestellt. Die Konzentrationen sind berechnet aus den Analysenergebnissen der Holzspäne, s. Tabelle 4 1. ....	33
Tabelle 4 3: Biozidkonzentrationen im Material der in der Emissionskammer untersuchten Spanplatten, angegeben in mg/kg. ....	34
Tabelle 4 4: Luft-Konzentrationen der in der Emissionskammer untersuchten Spanplatten nach 30 Tagen, angegeben in ng/m <sup>3</sup> . ....	35
Tabelle 4 5: Lindan-Gehalte und -Luftkonzentrationen in den untersuchten Platten und Spänen.....	43
Tabelle 4 6: PCP-Gehalte und -Luftkonzentrationen in den untersuchten Platten und Spänen...	44
Tabelle 4 7: Dichlofluanid-Gehalte und -Luftkonzentrationen in den untersuchten Platten und Spänen.....	45
Tabelle 4 8: DDT-Gehalte und -Luftkonzentrationen in den untersuchten Platten und Spänen.	45

---

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

---

AhV:	Altholzverordnung
BG:	Bestimmungsgrenze
ChemVerbotsV:	Chemikalienverbotsverordnung
<sup>13</sup> C-PCP oder <sup>13</sup> C-Lindan:	Bei diesen Verbindungen sind die natürlicherweise in der Überzahl befindlichen <sup>12</sup> C Kohlenstoffatome (Massenzahl 12) komplett gegen <sup>13</sup> C Kohlenstoffatome ausgetauscht.
DDT:	Dichlordiphenyltrichlorethan
GC:	Gaschromatograph
L:	Beladungsfaktor [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]
MS:	Massenspektrometer
n:	Luftwechselrate [1/h]
PCP:	Pentachlorphenol
PU-Schaum:	Polyurethanschaum
q:	flächenspezifische Luftdurchflussrate [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h]
SIM:	Selected Ion Monitoring (Aufzeichnungsverfahren beim MS)
SVOC:	mittelflüchtige organische Verbindungen
VOC:	flüchtige organische Verbindungen
B1-7	Untersuchte Spanplatten aus dem Baumarkt
P1-14	Untersuchte Spanplatten von Prüfinstituten
A1,2, D1,2, BWA, B, MA1,2, MB1,2, MC1,2, O1,2:	Untersuchte selbsthergestellte Spanplatten

---

## ZUSAMMENFASSUNG

---

Die Wiederverwendung von Altholz ist aus vielerlei Sicht wünschenswert, so wird deutlich weniger CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre entlassen als bei der Verbrennung, die Betreiber von Altholzaufarbeitungen können einen relativ hochwertigen Rohstoff für die Holzwerkstoffproduktion anbieten, womit Recycling auch wirtschaftlich interessanter wird, usw. Heutzutage wird in Deutschland mindestens ein Anteil von 10 % der Rohspäne aus Gebrauchtholz hergestellt, dies entspricht ca. 500 000 t. In einigen europäischen Nachbarstaaten wird sogar ein noch höherer prozentualer Anteil eingesetzt. Im Rahmen dieses Vorhabens sollte nun untersucht werden, in wie weit ein möglicherweise mit Bioziden verunreinigter Altholzanteil zu Emissionen dieser Biozide aus Spanplatten in die Innenraumluft führen kann.

Von besonderem Interesse für das in Deutschland anfallende Gebrauchtholz sind zweifelsohne die beiden Biozide PCP und DDT, ersteres hat in den 70-er und 80-er Jahren eine hohe Verbreitung in den alten Bundesländern erfahren und inzwischen ist ein Maximalgehalt von 5 mg/kg in Produkten in der ChemVerbotsV geregelt. DDT ist in großen Mengen bis weit in die 80-er Jahre in den jetzigen neuen Bundesländern verwendet worden. Weitere wesentliche Verbindungen sind Lindan und Dichlofluanid. Ersteres wurde zumeist in Kombination mit DDT und PCP eingesetzt und Dichlofluanid ist ein Vertreter der neueren Generation von Bioziden aus dem Holzschutzbereich, welches seit den 80-er Jahren bis heute eingesetzt wird. Die Teeröle, die in der Vergangenheit auch eine wesentliche Rolle gespielt haben, sind bei der Sortierung der Altholzfraktionen an Ihrem Geruch zu identifizieren und können gut selektiert werden.

In diesem Vorhaben wurden fertige Spanplatten aus Prüfinstituten, von Herstellern oder aus dem Fachhandel sowie selbsthergestellte Platten untersucht. Überprüft wurden neben den hier vordringlich durchgeführten Emissionskammermessungen auch die Gehalte der Biozide in den Platten selbst. Dabei wurde in den fertigen Platten im Wesentlichen das Biozid PCP gefunden. In  $\frac{2}{3}$  der Proben wurde kein PCP gefunden und bis auf eine Platte enthielten die anderen weniger als 1 mg/kg. Eine Platte (P<sub>12</sub>) ragte mit knapp über 5 mg/kg PCP deutlich aus dem Spektrum der Platten heraus. Um auch den Einfluss der anderen Biozide in Emissionsmessungen untersuchen zu können, wurden 8 verschiedene Platten mit unterschiedlichen Biozidgehalten an DDT, PCP, Lindan und Dichlofluanid selbst hergestellt. Diese Platten enthielten bis zu maximal 4 mg/kg an biozidem Wirkstoff.

An den fertigen und den selbsthergestellten Platten wurden Emissionsmessungen mit einer flächenspezifischen Durchflussrate von 1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h in kleinen 20 bzw. 23 Liter fassenden Emissionsmesskammern durchgeführt. Dabei wurden PCP-Konzentrationen bis maximal 50 ng/m<sup>3</sup> festgestellt. Allerdings wurde diese Konzentration nur von einer Platte erreicht, die in der

Deckschicht noch 5 mg/kg PCP enthielt, Platten die weniger PCP enthielten und dies bevorzugt in der Mittelschicht, emittierten weniger als 10 ng/m<sup>3</sup> in die Kammerluft.

Dichlofluamid und Lindan zeigen bei ihren Emissionen ein sehr ähnliches Verhalten, so dass sie beide leicht erhöhte Startkonzentrationen aufweisen, die rasch abklingen. Die Konzentrationen aus Platten mit ca. 2 mg/kg Lindan oder Dichlofluamid verlaufen nach mehr als 20 Tagen unterhalb von 20 ng/m<sup>3</sup> mit weiterhin abnehmender Tendenz.

DDT hat zu Beginn der Messungen Probleme mit einem hohen Hintergrundwert bereitet, nach längerer Versuchsdauer waren die Werte aber zuverlässig und selbst bei Gehalten in den Platten von 4 mg/kg zeigten sich nur geringe Konzentrationen von ca. 5 ng/m<sup>3</sup>. Diese schwerer flüchtige Verbindung emittiert also deutlich geringer in die Kammerluft als die anderen Verbindungen, wie es allerdings auch zu erwarten war.

Es ist davon auszugehen, dass Holzwerkstoffplatten, die Biozidgehalte von 5 oder erst recht von 3 mg/kg bzw. darunter aufweisen, keine Emissionen in die Luft oberhalb von 50 ng/m<sup>3</sup> zeigen sollten. Somit ist z.B. auch der Richtwert II des PCP-Innenraumrichtwertes von 100 ng/m<sup>3</sup> unterschritten. Die Untersuchungen sind alle mit idealisierten Messeinrichtungen durchgeführt worden, die letztlich eine zuverlässige Bestimmung von zu erwartenden Emissionsraten ermöglichen. Welche Konzentrationen jedoch in realen Innenräumen auftreten, lässt sich gerade bei diesen mittelflüchtigen organischen Verbindungen (SVOC) leider nur bedingt abschätzen. Üblicherweise liegen die real gemessenen Werte deutlich unter den theoretischen Konzentrationen.



---

## 1 AUFGABENSTELLUNG

---

Die Verwendung von Altholz bei der Herstellung von Holzwerkstoffen ist sowohl aus wirtschaftlicher Sicht, wie auch aus Sicht des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW/AbfG) [1] von Interesse, wenn gewährleistet ist, dass durch so hergestellte Holzwerkstoffe keine Gesundheitsgefährdung zu erwarten ist. Dies sollte gewährleistet sein, wenn durch geeignete Maßnahmen sichergestellt ist, dass kontaminierte Altholzsortimente nicht zu einer stofflichen Verwertung gelangen, sondern vorher aus Verwertungskreisläufen ausgeschleust werden. Es besteht jedoch auch dann die Frage, ob infolge von Restverunreinigungen auch bei Konzentrationen von  $< 5$  mg/kg (wie für PCP nach ChemVerbotsV gefordert) bzw. von  $< 3$  mg/kg (wie für PCP in der Altholzverordnung [2] gefordert) beim fertigen Erzeugnis Biozidmissionen auftreten können. In diesem Vorhaben wurde untersucht, zu welchen Biozidmissionen altholzhaltige Holzwerkstoffplatten führen können. Schwerpunktmäßig wurden für die Untersuchungen die organischen Wirkstoffe Pentachlorphenol (PCP),  $\gamma$ -Hexachlorcyclohexan (Lindan), Dichlordiphenyltrichlorethan (DDT) u. N,N-Dimethyl-N'-flourdichlormethylthio-N'-phenyl-sulfamid (Dichlofluamid) ausgewählt.

---

## 2 EINLEITUNG

---

### 2.1 ALTHOLZ

Altholz ist keinesfalls eine definierte Holzfraktion, sondern kann aus den unterschiedlichsten Bestandteilen zusammengesetzt sein, wie z.B. naturbelassenes Vollholz, Transportkisten, Türen, Kabeltrommeln, Dielen, Paneele, Fenster, Konstruktionshölzer, Holzwerkstoffe, Leitungsmasten, Möbel usw.[2] Die Abbildung 2-1 zeigt einen Altholzhaufen, der Holz enthält, welches jedoch für die Holzwerkstoffherstellung nicht vorgesehen ist, da es in die Altholzkategorie IV (s.u.) eingestuft wurde und für die thermische Verwertung vorbereitet wird.



**Abbildung 2-1: Altholzhaufen mit Material der Altholzkategorie IV.**

Die im Sommer 2002 verabschiedete Altholzverordnung [2] (AhV) definiert den Begriff Altholz und teilt das Holz in verschiedene Kategorien ein, diese Definitionen werden im vorliegenden Bericht verwendet und sind hier noch einmal angegeben:

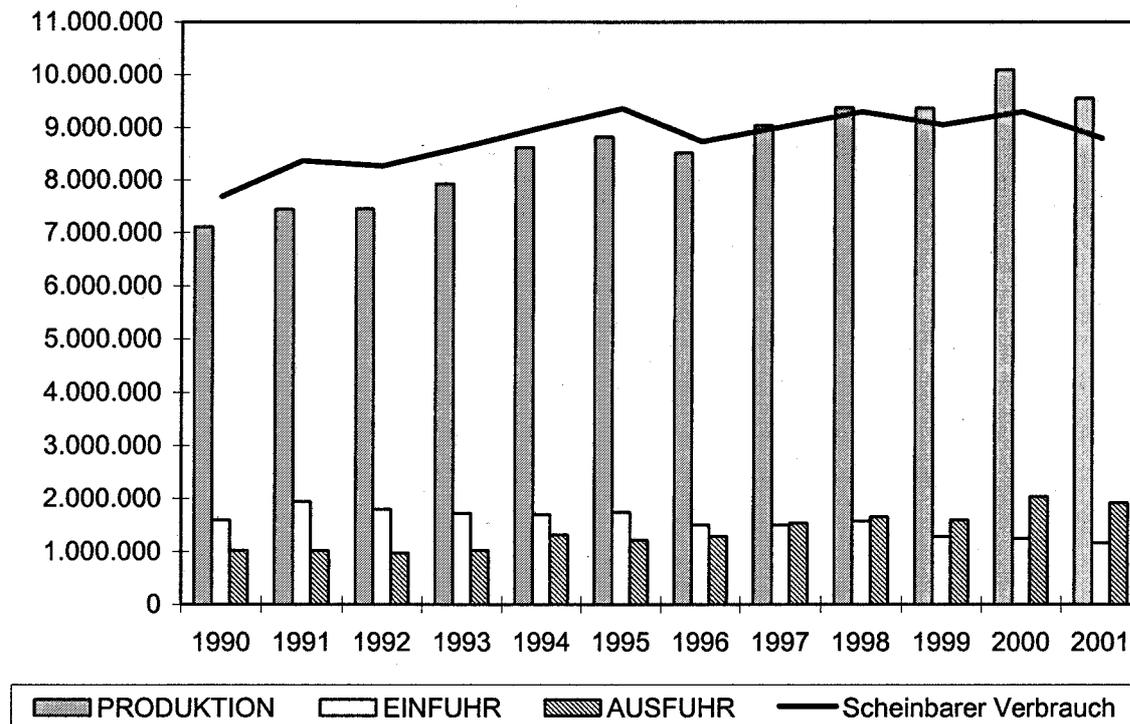
**Altholz:** Industrierestholz und Gebrauchtholz, soweit diese Abfall im Sinne des § 3 Abs. 1 des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes sind;

**Industrierestholz:** die in Betrieben der Holzbe- oder -verarbeitung anfallenden Holzreste einschließlich der in Betrieben der Holzwerkstoffindustrie anfallenden Holzwerkstoffreste sowie anfallende Verbundstoffe mit überwiegendem Holzanteil (mehr als 50 Masseprozent);

**Gebrauchtholz:** gebrauchte Erzeugnisse aus Massivholz, Holzwerkstoffen oder aus Verbundstoffen mit überwiegendem Holzanteil (mehr als 50 Masseprozent);

Altholzkategorien:

- a) **Altholzkategorie A I:** naturbelassenes oder lediglich mechanisch bearbeitetes Altholz, das bei seiner Verwendung nicht mehr als unerheblich mit holzfremden Stoffen verunreinigt wurde,
- b) **Altholzkategorie A II:** verleimtes, gestrichenes, beschichtetes, lackiertes oder anderweitig behandeltes Altholz ohne halogenorganische Verbindungen in der Beschichtung und ohne Holzschutzmittel,
- c) **Altholzkategorie A III:** Altholz mit halogenorganischen Verbindungen in der Beschichtung ohne Holzschutzmittel,
- d) **Altholzkategorie A IV (höchste Altholzkategorie):** mit Holzschutzmitteln behandeltes Altholz, wie Bahnschwellen, Leitungsmasten, Hopfenstangen, Rebpfähle, sowie sonstiges Altholz, das aufgrund seiner Schadstoffbelastung nicht den Altholzkategorien A I, A II oder A III zugeordnet werden kann, ausgenommen PCBAltholz (welches gesondert definiert ist).



**Abbildung 2-2: Spanplattenverbrauchsdaten in Deutschland nach Angaben des Verbandes der deutschen Holzwerkstoffindustrie e.V. [3].**

In Deutschland werden ca. 9 Mio. m<sup>3</sup> Spanplatten jährlich hergestellt (s. Abbildung 2-2). Diese Menge entspricht bei einer angenommenen Dichte von 660 kg/m<sup>3</sup> ca. 5 Mio. t Holz (ca. 10 % Leimanteil sind abgezogen). Das Rohmaterial für Spanplatten besteht zu 10 % aus Gebrauchtholz, zu 19 % aus Industrieholz und zu 71 % aus Industrierestholz wobei die beiden letzteren als potentiell unbelastet angesehen werden können [4]. Ungefähr 10 % der 5 Mio. t (500 000 t) Holz bestehen demnach aus Gebrauchtholz die in der Spanplattenproduktion verwendet werden.

Die neu verabschiedete Altholzverordnung [2] regelt genauestens wohin welche Stoffströme fließen dürfen, um eine Kontamination von Produkten aus Altholz weitgehend zu vermeiden. Die Prüfung auf die Zuordnung der Altholzfraktionen hat der Betreiber sicherzustellen, wobei die Fraktionen einer Sichtprüfung unterzogen werden und bei unsicherer Zuordnung in die nächst höhere Kategorie eingeordnet wird. Zur Herstellung von Holzwerkstoffen sind nur die Altholzfraktionen I und II sowie nach Vorbehandlung auch III zugelassen. Von den Altholzspänen sind vom Betreiber der Anlage regelmäßig Proben zu ziehen (spätestens alle 500 t) und auf Schadstoffe (gemäß Anhang II der AhV) zu untersuchen. Vierteljährlich muss auch eine Kontrolle dieser Parameter durch die zuständige Landesoberbehörde (oder durch eine andere zuständige Behörde) erfolgen.

## 2.2 BIOZIDEMISSIONEN

Die Emissionen von holzfremden aber auch holzeigenen chemischen Verbindungen aus Holzwerkstoffen sind teilweise gut bis sehr gut untersucht [z.B. 5]. Allen voran ist dabei sicherlich der Formaldehyd zu nennen, der aus den Bindemitteln dieser Werkstoffe emittieren kann. Weiterhin sind auch Emissionen von flüchtigen oder mittelflüchtigen organischen Komponenten beschrieben worden. Seit Mitte der 90-iger Jahre kommt es zunehmend zu einer Verwendung von Altholzspänen bei der Herstellung von Spanplatten. Damit wird eine Emission von Bioziden aus diesen Platten möglich, wenn derartige Wirkstoffkomponenten durch kontaminiertes Altholz eingebracht worden sind.

Bei der Vielzahl von Literatur zum Gesamtthema organische Holzschutzmittelwirkstoffe ist festzuhalten, dass Veröffentlichungen zur Bestimmung von Emissionsraten in die Luft aus dem Holz selten sind. Jedoch sind eine Reihe von Arbeiten veröffentlicht worden, die Meßmethoden zum Emissionsverhalten von bioziden Wirkstoffen aus der Matrix Holz beschreiben und auch zuverlässige Daten zu Emissionsraten unter nachvollziehbaren Emissionsbedingungen liefern [6 - 15]. Für das Vorliegen von Biozidspuren in Holzwerkstoffen, wie sie bei gut funktionierenden Verwertungssystemen, mit einer gezielten Ausschleusung kontaminierten Materials zu erwarten sind, liegen kaum Erfahrungen oder Messdaten über mögliche Emissionen vor. Lediglich zwei Untersuchungen zur Emission von PCP aus definiert hergestellten Platten wurden durchgeführt [16,17].

Die Untersuchungen sind mit Hilfe von speziell für Emissionen schwerflüchtiger Verbindungen ausgelegten Emissionsmesskammern durchzuführen. Diese Kammern wurden bereits in mehreren Projekten für die Untersuchung der Emission extrem schwerflüchtiger Biozide, wie z. B. Permethrin und Tebuconazol aus behandeltem Holz eingesetzt [11 - 15]. Wichtig bei der Untersuchung derartiger Verbindungen in Emissionsmesskammern ist die Berücksichtigung von Senkeneffekten, die zu einem stark verzögerten Konzentrationsaufbau der Komponenten in die Luft führen, da zuerst die Kammeroberflächen belegt werden und sich erst dann die Gleichgewichtskonzentration in der Kammer einstellt. Für die im Rahmen des vorliegenden Projektes zu untersuchenden Wirkstoffe Pentachlorphenol, Lindan und Dichlofluorid spielen diese Effekte jedoch eine eher untergeordnete Rolle, da diese flüchtigere Komponenten als Permethrin oder Tebuconazol sind. Für den Fall von DDT-Emissionen sollte allerdings ein solcher Senkeneffekt feststellbar sein. Als Probenahmeverfahren hat sich die PU-Schaum-Probenahme mit gaschromatographischer Auftrennung und Detektion mit unterschiedlichen Detektoren bewährt (Massenspektrometer, Flammenionisationsdetektor, Stickstoff-Phosphor-selektiver Detektor, Elektroneneinfangdetektor). Zur Bestimmung der PCP-Emission ist hierzu eine Derivatisierung durchzuführen. [18 - 23]

Die Beschaffung von Spanplatten-Proben, die außer mit PCP mit weiteren Bioziden im interessierenden Konzentrationsbereich belastet sind, konnte nicht realisiert werden. Deshalb wurde als einzig gangbarer Weg, um Platten mit definierten Biozidgehalten untersuchen zu können, die Herstellung dotierter Platten durchgeführt. Dabei sollte sowohl frisch dotiertes Spanmaterial, als auch bereits vor einigen Jahren geschütztes Altholz eingesetzt werden. Der Einsatz geschützten Holzes für die anderen Verbindungen, wie Dichlofluanid, DDT und Lindan scheint eine erfolgversprechende Methode zu sein, da in Altholzmischungen für die Spanplatten solche Biozide bislang nur in Spuren gefunden worden sind. Deshalb wurde nach Quellen von belastetem Altholz gesucht und parallel dazu definiert behandelte Späne selbst hergestellt, wie im Teil Material und Methoden beschrieben.

Um möglichst realistische Altholzproben zu erhalten, sollte die Schutzmittelbehandlung schon länger zurückliegen, so dass die Wirkstoffe gut mit der Holzstruktur verbunden sind und mögliche Alterungseffekte bereits aufgetreten sind. Zu diesem Zweck wurde bei anderen Messinstituten, Sachverständigen oder Baugutachtern nach solch belastetem Material nachgefragt. Über diesen Weg konnte ein mit DDT/Lindan belasteter Balken beschafft werden. Weiterhin standen vor längerer Zeit (ca. 10 Jahre) behandelte Proben aus anderen Forschungsvorhaben zur Verfügung [11, 12, 17].

Eine weitere Quelle von Altholzspänen war ein paralleles DIBt-Vorhaben, in dem Biozidgehalte in Altholzspänen bestimmt wurden, die für die Mittelschicht in Spanplatten gedacht sind. Die höchsten dort gefundenen Gehalte betrafen das Pentachlorphenol, aber selbst diese Fraktionen wiesen nur Konzentrationen bis maximal 1,7 mg PCP pro kg Holz auf. In Spuren von 0,03 und 0,11 mg/kg wurde auch noch Lindan nachgewiesen, Dichlofluanid und DDT wurden oberhalb der Bestimmungsgrenze (BG) von 0,1 mg/kg nicht bestimmt. Zwei verschiedene Fraktionen aus den dort gewonnenen Proben wurden im Rahmen dieses Vorhabens in Versuchsspanplatten eingesetzt (Einschichtplatten siehe 3.1 und 3.2).

### **2.3 BIOZIDNACHWEIS AUS HOLZ**

Ein wesentlicher Bestandteil der Altholzüberwachung im Rahmen der AhV stellt die Kontrolle der Biozidkonzentrationen im Holz dar. Zu diesem Zweck müssen die Wirkstoffe mit einem geeigneten Lösemittel extrahiert und analysiert werden [24, 25]. Der Wirkstoff, zu dem die meisten Informationen vorliegen, ist zweifelsohne PCP [26 - 29]. Im Rahmen eines groß angelegten Ringversuches wurde eine Analysenvorschrift für PCP entwickelt, die weitgehend in der AhV im Anhang IV übernommen wurde. Dabei wird gemahlenes Holz mit Methanol extrahiert, derivatisiert und mit ECD analysiert [30].

## 2.4 STOFFINFORMATIONEN

### 2.4.1 LINDAN

Lindan (Tabelle 2-1) war als Insektizid zu etwa 0,5 % in Holzschutzmittelformulierungen enthalten, zumeist in Kombination mit PCP oder DDT. Das technische Gemisch Hexachlorcyclohexan (HCH) wurde erstmals im frühen 19. Jahrhundert synthetisiert; seine insektizide Wirkung wurde 1933 erkannt. Erst in den 40er Jahren wurde als eigentlich wirksames Isomer das  $\gamma$ -HCH (Lindan) identifiziert, welches in den 50er Jahren das technische HCH-Gemisch verdrängte. Seit Mitte der 80er Jahre wurde von der Industrie im Holzschutz auf den Einsatz von Lindan nach und nach verzichtet.

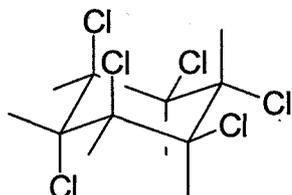


Abbildung 2-3: Struktur von Lindan ( $\gamma$ -Hexachlorcyclohexan)

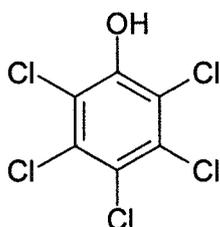
Tabelle 2-1: Physikalische Eigenschaften, Namen und Isomere von Lindan

Namen	Lindan, $\gamma$ -HCH = $\gamma$ -1,2,3,4,5,6-Hexachlorcyclohexan
Summenformel	$C_6H_6Cl_6$
CAS-RN	58-89-9
Molmasse	290,8 g/mol
Schmelzpunkt	113 °C
Dampfdruck	$1,2 \times 10^{-3}$ Pa (20 °C)
Isomere	$\alpha$ -HCH, $\beta$ -HCH, $\delta$ -HCH, $\epsilon$ -HCH, $\eta$ -HCH, $\phi$ -HCH

### 2.4.2 PCP

Pentachlorphenol (Tabelle 2-2) wurde seit 1930 in der Industrie und Landwirtschaft wegen seiner fungiziden und herbiziden Wirkung eingesetzt. In den 60er und 70er Jahren waren weltweit bis zu 50 000 t produziert worden, deren Hauptanwendung der Holzschutz war [31]. In den 80er Jahren ging in der Bundesrepublik der Einsatz nach und nach zurück und 1989 wurde der Handel mit Produkten, die mehr als 5 mg/kg PCP enthalten, verboten [32]. Die Altholzverordnung schreibt seit 2002 einen maximalen Gehalt von 3 mg/kg PCP vor [2].

PCP war häufig mit 5 % in zahlreichen Holzschutzmitteln enthalten. Dieses bevorzugt fungizid wirkende Schutzmittel wurde in den 70-iger Jahren auch im Innenraum eingesetzt. In anderen Ländern wird es nach wie vor für die Kesseldruckimprägnierung von Holz für den Außenbereich verwendet.



**Abbildung 2-4: Struktur von PCP (Pentachlorphenol)**

**Tabelle 2-2: Physikalische Eigenschaften und Namen von PCP**

Namen	PCP, Pentachlorphenol
Summenformel	$C_6HCl_5O$
CAS-RN	87-86-5
Molmasse	266,35 g/mol
Schmelzpunkt	190 °C
Dampfdruck	$2,3 \times 10^{-3}$ Pa (20 °C)

### 2.4.3 DDT

DDT wurde 1874 erstmals synthetisiert, jedoch wurde erst 1939 die insektizide Wirksamkeit entdeckt. In den folgenden Jahren wurde DDT wegen seiner hohen Insekten- und geringen Warmblütertoxizität zu dem am meisten eingesetzten Insektizid weltweit. Wegen der hohen

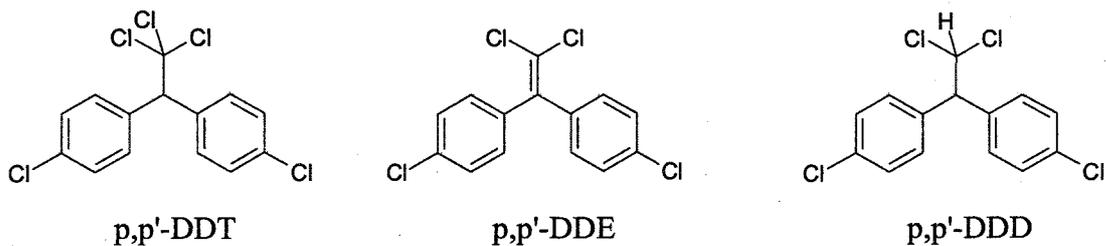
Persistenz konnte sich DDT in der Nahrungskette anreichern und auch über die Einsatzgebiete hinaus weit verbreiten. Es wurde damit zu einer weltweiten ökotoxikologischen Belastung.

**Tabelle 2-3 : Physikalische Eigenschaften, Namen und Abbauprodukte von DDT**

Namen	DDT, Dichlordiphenyltrichlorethan, 1,1,1-Trichlor-2,2-bis(4-chlorphenyl)ethan (p,p'-DDT)
CAS-RN	50-29-3 (p,p'-DDT); 789-02-6 (o,p'-DDT)
Summenformel	C <sub>14</sub> H <sub>9</sub> Cl <sub>5</sub>
Molmasse	354,5 g/mol
Schmelzpunkt	109 °C
Dampfdruck	2,53 x 10 <sup>-5</sup> Pa (20 °C)
Isomere	p,p'-DDT, o,p'-DDT
Abbauprodukte	o,p'-, p,p'-DDE = Dichlordiphenyldichlorethen (Lichteinfluß - thermische Belastung) o,p'-, p,p'-DDD = Dichlordiphenyldichlorethan (Stoffwechselprodukt)

Erst in den späten 60er Jahren kam es langsam zu einem Rückgang des Einsatzes. In der Bundesrepublik Deutschland wurde DDT 1972 verboten. In den Entwicklungsländern wird es jedoch nach wie vor als wirksames und preiswertes Mittel zur Malariaphylaxe eingesetzt. In der DDR wurde der Einsatz von DDT laut Ministerratsbeschuß vom 18.7.1970 ebenfalls prinzipiell verboten. DDT wurde aber mit Ausnahmegenehmigung - wie für die Forstwirtschaft - teilweise bis 1988 noch verwendet [33, 34].

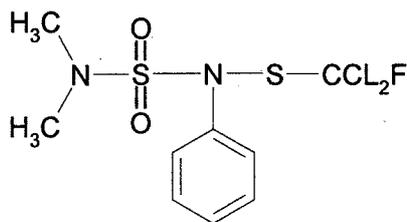
In der DDR wurde das insektizid wirksame DDT im Holzschutz eingesetzt und war mit bis zu 3,5 % Gehalt im Schutzmittel enthalten. Üblich war technisches DDT mit ca. 70% p,p'-DDT; dieses Isomer weist zugleich die höchste insektizide Wirkung auf. Technisches DDT enthält weiterhin o,p'-DDT sowie deutlich geringere Mengen von technischen Verunreinigungen, wie z.B. o,p'- + p,p'-DDE, welche durch abiotischen Abbau aus den entsprechenden DDT-Isomeren entstehen und keine insektizide Wirkung mehr haben. Als DDT-Stoffwechselprodukte in tierischen Organismen werden die entsprechenden DDD-Isomere nachgewiesen. In hohem Maße waren DDT-haltige Schutzmittel beim nachträglichem Schutz von Dachstühlen eingesetzt worden, so dass vor allem solches Abbruchholz hoch kontaminiert sein kann. [35, 36]



**Abbildung 2-5: Struktur von p,p'-DDT (p,p'-Dichlordiphenyltrichlorethan), p,p'-DDE (p,p'-Dichlordiphenyldichlorethen) und p,p'-DDD (p,p'-Dichlordiphenyldichlorethan)**

#### 2.4.4 DICHLOFLUANID

Dichlofluamid wurde 1964 als fungizider Wirkstoff eingeführt und hat seit den 80-iger Jahren eine weite Verbreitung als Bläuschutzmittel in Holzschutz- und Filmschutzformulierungen gefunden. Daher sollte sich dieses relativ aktuelle Schutzmittel nur in vergleichsweise jungem Altholz nachweisen lassen.



**Abbildung 2-6: Struktur von Dichlofluamid**

**Tabelle 2-4: Physikalische Eigenschaften und Namen von Dichlofluamid**

Namen	Preventol A4, Eurapen N,N-Dimethyl-N'-(2,2-dichloroethyl)thio-N'-phenyl-sulfamid
Summenformel	$\text{C}_9\text{H}_{11}\text{Cl}_2\text{FN}_3\text{O}_2\text{S}_2$
CAS-RN	1085-98-9
Molmasse	333,2 g/mol
Schmelzpunkt	105 - 106 °C
Dampfdruck	$1,4 \times 10^{-5}$ Pa (20 °C) [37]

---

### 3 MATERIAL UND METHODEN

---

#### 3.1 PROBENAUSWAHL

**Holzwerkstoffe:** Zu Beginn der Untersuchungen wurde überprüft, ob und welche Biozidkonzentrationen in Spanplatten nachweisbar sind. Dazu wurden 21 Holzwerkstoff-Platten zum einen aus dem Bestand des Institutes, von Herstellern oder von anderen Prüfinstituten ausgewählt (ca. 8 bis 10 Jahre alt) und zum anderen frisch aus dem Handel (Mai bis August 2001) beschafft. 20 dieser Platten wurden von einem externen Auftragnehmer auf die Gehalte an Bioziden analysiert. Dazu wurden aus ca. 30 g zu Spänen verarbeiteter Querschnittsproben aus den Platten je 1 g der Proben mit Lösemittel (Aceton / Ethylacetat sauer) extrahiert. Nach Acetylierung eines aliquoten Teils des Extraktes für den PCP-Nachweis erfolgte die Analyse mit GC/MS. Die Ergebnisse dieser Untersuchung finden sich im Kapitel 4.1. In der Tabelle 3-1 sind alle untersuchten Spanplatten aufgelistet, wobei aus der letzten Zeile (Selbsthergestellte Laborplatten) von jeder Sorte eine Platte untersucht wurde und von den anderen beiden Zeilen nur wenige ausgewählte Platten.

**Tabelle 3-1. Kennzeichnung der im Vorhaben verwendeten Spanplatten**

Herkunft der Spanplatten	Nummerierung im Vorhaben
Hersteller direkt oder vom Prüfinstitut	P <sub>1</sub> , P <sub>2</sub> , P <sub>3</sub> , P <sub>4</sub> , P <sub>5</sub> , P <sub>6</sub> , P <sub>7</sub> , P <sub>8</sub> , P <sub>9</sub> , P <sub>10</sub> , P <sub>11</sub> , P <sub>12</sub> , P <sub>13</sub> , P <sub>14</sub>
Aus dem Handel (Baumärkte)	B <sub>1</sub> , B <sub>2</sub> , B <sub>3</sub> , B <sub>4</sub> , B <sub>5</sub> , B <sub>6</sub> , B <sub>7</sub>
Selbsthergestellte Laborplatten	0 <sub>1</sub> , 0 <sub>2</sub> , MA <sub>1</sub> , MA <sub>2</sub> , MB <sub>1</sub> , MB <sub>2</sub> , MC <sub>1</sub> , MC <sub>2</sub> , A <sub>1</sub> , A <sub>2</sub> , D <sub>1</sub> , D <sub>2</sub> , BW <sub>A</sub> *, BW <sub>B</sub> *

\* Einschichtplatten

**Holzspäne für selbsthergestellte Holzwerkstoffe:** Für die vorliegende Untersuchungen wurde Spanmaterial (für die Deckschicht und für die Mittelschicht) aus waldfrischen Holz beschafft. Dieses Material diente dazu, Spanplatten selbst herzustellen. Es wurde einerseits mit belasteten Chargen vermischt, um daraus Probeplatten herzustellen und andererseits ohne Zumischung für Nullproben (Platten ohne zu erwartende Biozid-Emissionen) verwendet.

Für die Herstellung der Labor-Spanplatten (s. 3.2) wurden Hölzer gesucht, die bereits mit Schutzmitteln belastet waren. Aus einem früheren Vorhaben zu Emissionen von

Holzschutzmitteln aus behandeltem Holz waren beim Auftragnehmer Proben vorhanden, die für diese Untersuchungen lediglich noch zerspant werden mussten. Diese Proben enthielten jedoch sehr hohe Konzentrationen an Wirkstoffen, da diese mit den für den Holzschutz vorgeschriebenen Auftragsmengen versehen waren, bei einer Stärke der Holzproben von ca. 2 cm. Somit müssen die Späne, die zu Platten verarbeitet werden sollen z.T. stark mit den unbelasteten Spänen (s.o.) verdünnt werden, wenn in den resultierenden Platten die Konzentration von 5 mg/kg eingehalten sein soll.

Die aus früheren Vorhaben [11, 17, 38] vorhandenen Proben waren vor ca. 10 Jahren mit folgenden Bioziden behandelt worden (in Klammern die prozentualen Anteile im Schutzmittel): a) PCP (5 %), b) Lindan + Furmecycloxy (je 1 %) und c) Dichlofluanid (0,55 %), Permethrin (0,03 %) und Tebuconazol (0,6 %). Weiterhin konnte ein DDT-behandelter Balken aus einer Dachbodensanierung beschafft werden, dessen Randbereiche (ca. 2 cm) für die Zerspaltung verwendet wurden. Diese belasteten Holzproben wurden ohne spezielle Kühlung bei Raumtemperatur mit einer Schneidmühle (Retsch) auf Spangrößen von ca. 2 mm zerkleinert. Angesichts dieser Spangröße war bei der Zerspaltung keine Kühlung notwendig, da sich weder das Material noch die Schneidwerkzeuge nachweisbar erwärmten, so dass mit einem Biozidverlust durch Temperatursteigerung nicht gerechnet werden musste.

Zwei verschiedene Chargen Altholz aus einer laufenden Plattenproduktion (s. Seite 6), mit bekannten Biozidgehalten wurden ebenfalls für die Herstellung von Laborplatten, z. T. nach Mischung mit waldfrischen Spänen eingesetzt. Die Streckung mit Frischmaterial war nötig, da ansonsten nicht genug Material für eine Standard-Laborplatte vorhanden war.

Als weitere Vorgehensweise wurde eine Menge von 1 kg (Volumen ca. 8 Liter) der waldfrischen Späne (s.o.) mit in Aceton gelösten Bioziden getränkt. Die Lösung enthielt 104 mg reines PCP (technisch), 2 ml Lösung A (ca. 10 % DDT und 1 % Lindan), 52 mg reines Lindan (technisch) und 20 ml eines kommerziell erhältlichen Holzschutzmittels (Dichlofluanid 0,55 %, Tebuconazol 0,6 % und Permethrin 0,03 %) in 2,5 l Aceton. Es wurde gut die doppelte Menge eingesetzt, die rechnerisch nötig gewesen wäre, aber bei der Behandlung und Trocknung kann es zu Verlusten kommen, die kompensiert sein sollten. Die Späne wurden portionsweise in 1 Liter-Bechergläsern mit der Lösung überschichtet, nach einer Wartezeit von 10 min wurde die restliche, überstehende Lösung abgekippt und für das Tränken weiterer Späne verwendet. Auf diese Weise wurden mit 2,5 Litern Lösung alle 8 Liter Holzspäne getränkt. Im Anschluss an die Tränkung wurden die Späne zunächst 24 Stunden bei Raumtemperatur und anschließend noch 3 Stunden bei 70 °C im Trockenschrank getrocknet. Aus den so hergestellten belasteten Spänen wurden durch Vermischen mit den waldfrischen Spänen Material für Platten hergestellt.

### 3.2 PLATTEN-HERSTELLUNG

Aus den oben beschriebenen Span-Materialien wurden Laborspanplatten mit unterschiedlichen Biozidkonzentrationen in der Mittel- und auch Deckschicht hergestellt. Dazu wurden verschiedenste Mengen der belasteten Späne zu einer Fraktion unbelasteter waldfrischer Späne hinzugegeben (s. Tabelle 3-3). Das Vermischen der Späne erfolgte vor der Beileimung in der Beileimungstrommel durch portioniertes Zugabe des belasteten und unbelasteten Materials gefolgt von einem 15-minütigen Rotieren der trockenen Späne in der Trommel (s. Abbildung 3-2).

Für die Plattenherstellung werden pro Platte benötigt:

Holz ca. 3100 g, mit einem geschätztem Feuchtegehalt von 5-6% und Leim mit Festkörperanteil von 50 %, Härter  $\text{NH}_4\text{Cl}$ -Lsg (20 %ig) und in der Deckschicht noch Paraffin (30%ig Emulsion). Von obiger Holzmenge werden 40 % für die Deckschicht (DS) und 60 % für die Mittelschicht (MS) eingesetzt. Mit der Annahme von 50 % Festkörperanteil für den Leim ergeben sich für jeweils eine Musterplatte folgende Mengen (Tabelle 3-2)

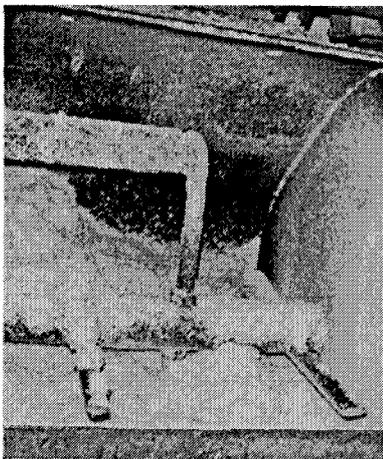
**Tabelle 3-2: Einsatzmengen von Holz, Leim, Härter und Paraffin für die beiden verschiedenen Plattentypen.**

Plattentyp	Schicht	Menge Späne	Leim	Härter	Paraffin
<b>Dreischicht</b>	Deckschicht	1300 g	340 g	3,5 g	14
	Mittelschicht	1800 g	330 g	13,5	-
<b>Einschicht</b>		3100	610	24	20

Es wurden bis auf zwei Fälle immer zwei gleiche Platten hergestellt. Die beiden Ausnahmen waren zwei Einschichtplatten aus Recycling-Spänen, für diese Platten wurde etwas mehr Härter zugesetzt, da diese Späne wesentlich grober waren. Der Herstellungsprozess der Laborplatten ist in den folgenden Abbildungen 3-1 - 3-5 dargestellt.



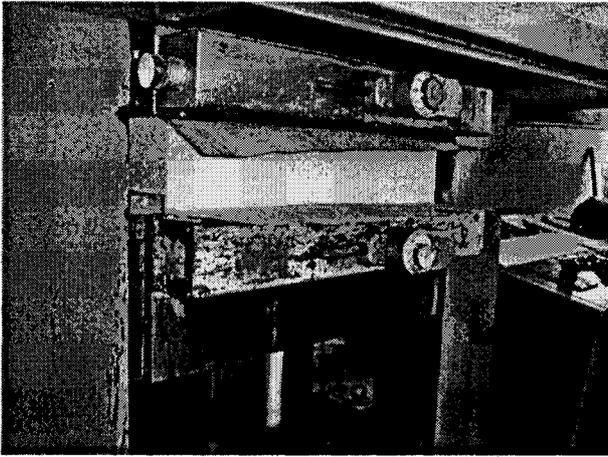
**Abbildung 3-1 : Spanfraktionen für die Mittelschicht, im kleinen Karton mit Bioziden behandelte Proben, in der großen Wanne unbehandelte Mittelschichtspäne.**



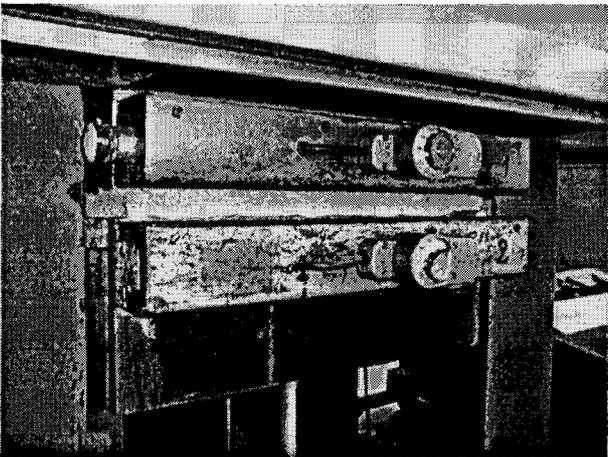
**Abbildung 3-2 : Spanfraktionen der Mittelschichtspäne werden in der Beleimtrommel vor dem eigentlichen Beleimen durchmischt.**



**Abbildung 3-3 : Einstreuen der fertig beleimeten Späne in einen Rahmen. Hier wird gerade die Deckschicht eingebracht.**



**Abbildung 3-4 : Der fertige Spänekuchen vor dem eigentlichen Pressen in der Laborpresse**



**Abbildung 3-5 : Die fertige Platte nach dem Pressen in der Laborpresse**

Die Pressbedingungen bei der Herstellung der Laborplatten waren: Anfangsdruck von 3 kN/mm<sup>2</sup>, dann halbieren des Druckes, bei 170°C. Der verwendete Leim hatte die Bezeichnung Kaurit 347. Die beiden Musterplatten des jeweiligen Plattentyps werden durch den Index 1 und 2 gekennzeichnet. Eine der beiden Platten wird später für die Emissionsmessungen verwendet, die andere ist ein Rückstellmuster. Die hergestellten Platten sowie die eingesetzten Spanmengen sind in der folgenden Tabelle 3-3 aufgelistet.

**Tabelle 3-3: Aufbau der Laborspanplatten.** (Details siehe Text)

Platten	Mittelschicht		Deckschicht	
	waldfrisch	Biozid belastet	waldfrisch	Biozid belastet
<b>O<sub>1</sub>; O<sub>2</sub></b>	X		X	
<b>MA<sub>1</sub>; MA<sub>2</sub></b>	X	+ selbstgetränkt	X	
<b>MB<sub>1</sub>; MB<sub>2</sub></b>	X	+ selbstgetränkt	X	
<b>MC<sub>1</sub>; MC<sub>2</sub></b>	X	+ selbstgetränkt	X	
<b>A<sub>1</sub>; A<sub>2</sub></b>	X	+ Altholzmischung	X	
<b>D<sub>1</sub>; D<sub>2</sub></b>	X		X	+ selbstgetränkt
<b>BW<sub>A</sub>*</b>	X	+ Recyclingspäne	X	+ Recyclingspäne
<b>BW<sub>B</sub>*</b>	X	+ Recyclingspäne	X	+ Recyclingspäne

\* Einschichtplatten

Tabelle 3-3 zeigt den Aufbau der Laborspanplatten. Aus den meisten Mischungen wurden 2 Platten mit den Maßen 45 x 49 cm (nach dem Besäumen) hergestellt, dazu waren 3600 g für die Mittelschicht und 2600 g für die Deckschicht nötig, so dass die beiden fertigen Platten ca. 3 kg pro Stück wiegen. Die erste Spalte der Tabelle 3-3 gibt die Bezeichnungen der beiden Plattenmuster an, die folgenden Spalten zeigen den prinzipiellen Aufbau der Schichten. Die mit Bioziden belasteten Proben waren zum einen die selbstgetränkten Späne (siehe Kapitel 2.2) und zum anderen eine Mischung aus den Altholzspänen, die aus eigenen Mustern und aus dem DDT-behandelten Balken bestehen (siehe Kapitel 2.2), sowie Recyclingspäne aus einem Altholzverarbeitungsbetrieb, gezogen im Rahmen eines anderen DIBt-Vorhabens (siehe Kapitel 2.2). Die in den Platten BW<sub>A</sub> und BW<sub>B</sub> verwendeten Späne enthielten 1,7 mg/kg PCP und 0,11 mg/kg Lindan, bzw. 1,1 mg/kg PCP und 0,03 mg/kg Lindan. Aus diesen Spänen wurden zwei verschiedene einschichtige Platten hergestellt.

### 3.3 UNTERSUCHUNGSMETHODEN

#### 3.3.1 LUFTUNTERSUCHUNGEN

Die Untersuchungen der Biozidemissionen in die Luft werden mit Hilfe von speziell für Emissionen schwerflüchtiger Verbindungen ausgelegten Emissionsmesskammern durchgeführt. Diese Kammern bestehen aus Glas und haben ein Volumen von ca. 20 Liter. Sie wurden bereits in mehreren Projekten für die Untersuchung der Emission von Bioziden (auch schwerflüchtige wie z. B. Permethrin und Tebuconazol) aus behandeltem Holz eingesetzt. Wichtig für eine fundierte Aussage zu den Emissionen ist neben der verwendeten Kammer auch die zeitliche Dauer der Untersuchungen. Bei Komponenten aus dem Bereich der SVOC ist davon auszugehen, dass es verstärkt Wandeffekte gibt, die erst nach längerer Zeit (Wochen bis Monate)

zu einem Gleichgewichtszustand in der Kammer führen. So sollten derartige Komponenten mindestens 28 Tage, besser länger untersucht werden. Dies bedingt allerdings, dass die Proben sehr lange in ein und derselben Kammer verweilen müssen, was die Anzahl der möglichen zu untersuchenden Proben begrenzt.

#### **Emissionsmesskammerparameter:**

Wenn es um die Bestimmung des Emissionsverhaltens von schwerflüchtigen Substanzen in geringen Konzentrationen im  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - oder  $\text{ng}/\text{m}^3$ - Bereich geht, sind nicht nur die üblichen Parameter wie Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Luftwechsel und Luftströmungsgeschwindigkeit auf einem bestimmten Level konstant zu halten. Es sind darüber hinaus besondere, weitergehende Anforderungen an die Prüfkammern zu stellen:

- Inerte Kammerwände [Glas oder Edelstahl (poliert)] zur Minimierung von Wandeffekten
- Manteltemperierung zur Minimierung von zeitlichen und räumlichen Temperatur-Gradienten
- Minimierung von Dichtungsmaterialien, die Eigenemissionen sowie Adsorptions- und Desorptionseffekte verursachen können
- Reinstluftversorgung (VOC- und staubfrei)
- Reinstwasserversorgung (VOC- und partikelfrei)
- Möglichst großes Quellen-/Senkenverhältnis

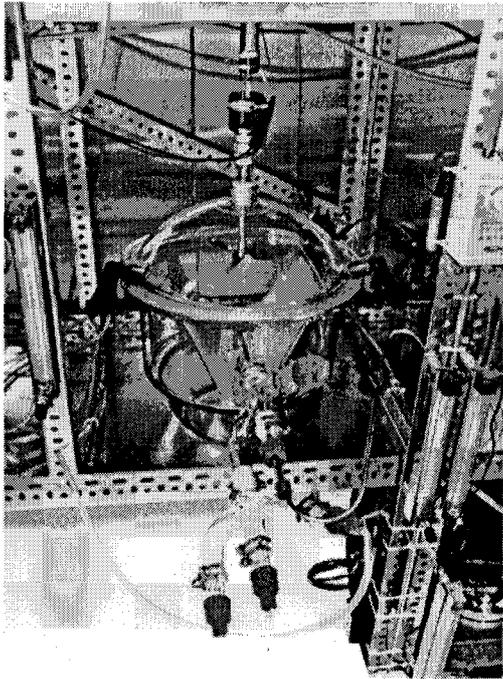
Für größere Kammern empfiehlt sich die Reinigung der Kammern durch Ausheizen bei hohen Temperaturen in Form einer thermischen Desorption. Kleine Prüfkammern können einer Reinigung mit Lösemitteln und/oder der kompletten Reinigung in einem Laborglaswäscher unterzogen werden.

Für die Untersuchungen wurden 20-l- oder 23 l-Emissionsmesskammern eingesetzt, die unter den Standard-Klimabedingungen von  $T = 23 \text{ }^\circ\text{C}$  und r.F. = 50 % betrieben wurden. Bei allen Kammern wurde auf Wärmetauscher zur Temperierung verzichtet, um die adsorptiven Oberflächen zu verringern, stattdessen wurde konsequent das Prinzip der Manteltemperierung eingesetzt.

Alle Kammern wurden mit der gleichen Luftströmungsgeschwindigkeit von 0,1 - 0,3 m/s, ermittelt an der Oberfläche der Emissionsproben, betrieben. Das Verhältnis von Raumbeladung (L) zu Luftwechsel (n) wurde für alle untersuchten Proben konstant auf  $q = n/L = 1 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  eingestellt, was bei einem Luftwechsel von  $1 \text{ h}^{-1}$  einer Beladung von  $1 \text{ m}^2/\text{m}^3$  entspricht. Des Weiteren waren die Kammern mit dem gleichen Reinstluftversorgungssystem ausgestattet. Die Reinstluftversorgung erfolgte über einen ölfreien Kompressor, dessen Druckluft über eine nachgeschaltete Reinigungseinheit von Feuchtigkeit, VOC und Staub gereinigt wird. Die Reinigungseinheit (Ultrafilter Oilfreepac) besteht aus Vorfilter (Staub- und Aerosolabscheidung), Lufttrocknung (Heatless Dryer - Kieselgel mit automatischer Regeneration), Aktivkohle-Patrone zur VOC-Absorption sowie Feinfilter und Nachfilter (Submikrofilter  $< 0,01 \mu\text{m}$ , Abscheidegrad 99,99999 %), um sowohl aus der Umgebungsluft zugeführten Feinstaub als auch Aktivkohleabrieb zurückzuhalten. Die anschließende Befeuchtung der Luft auf die erforderliche relative Luftfeuchtigkeit erfolgte durch eine Mischbefeuchtung aus trockenem und feuchtem Luftstrom. Für die Befeuchtung wird hochreines Wasser verwendet. Es wird aus entsalztem Wasser gewonnen, das zusätzlich über eine Nachreinigung (EASYPure UV D7402) zur weiteren Entsalzung und Entfernung von eventuell vorhandenen organischen Verbindungen geführt wird.

#### **20-1-Kammer / 23-1-Kammer:**

Die 20-1- und 23-1-Kleinprüfkammern (Abbildung 3-6) sind Teile einer Prüfkammerapparatur, die in Abbildung 3-7 schematisch dargestellt ist. Sie basieren auf 20-1- bzw. 23-1-Exsikkatoren in Anlehnung an DIN 55 666 und sind weiter optimiert worden. Sie sind mit Zu- und Abluftführung, sowie 1 - 3 Probenahmestutzen versehen. Die 23-1-Exsikkatoren mussten später ergänzt werden, da die ursprünglich eingeführten 20-1-Exsikkatoren nicht mehr verfügbar waren. Dem leichten Unterschied im Volumen wird durch einen veränderten Luftwechsel Rechnung getragen, so dass die gleichen Verhältnisse wie in den  $0,02 \text{ m}^3$ -Kammern herrschen. Die Innen-Wandfläche der  $0,02 \text{ m}^3$ -Kammer beträgt rund  $0,37 \text{ m}^2$ .



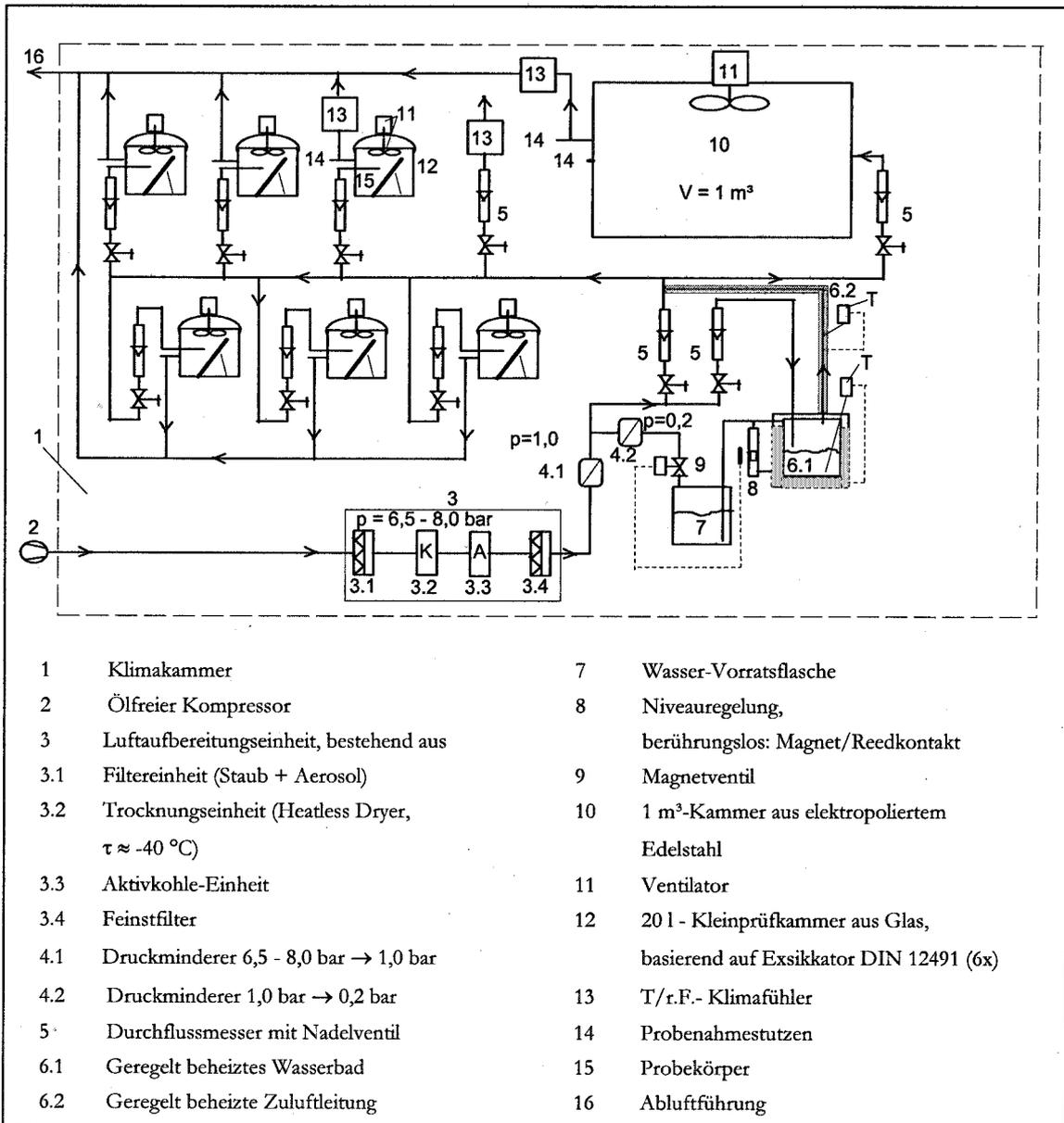
**Abbildung 3-6: 20-l-Kammer beladen mit Probenkörpern; oben ist der Ventilator mit Magnetkupplung zu erkennen, vorn die Luftzu- und Luftabführung, sowie mehrere Probenahmestutzen.**

Die Luftströmungsgeschwindigkeit wird eingestellt über einen Propeller, der über eine Magnetkupplung mit dem außenliegenden drehzahleregelten Motor verbunden ist. Für die Lagerung der Propellerwelle in der Magnetkupplung kommen kammerseitig spezielle gedichtete Kugellager zum Einsatz, die nach sorgfältiger Reinigung der Oberflächen keine nachweisbaren Emissionen zeigen. Die Einstellung des Luftwechsels wird über Nadelventil und Durchflussmesser vorgenommen. Die Abdichtung des Flansches zwischen Exsikkator und Tubusdeckel erfolgt mit einer 0,1 mm dicken Polyethylenabdichtung und variablen Spannzangen. Für die Luftprobenahme sind an den Probenahmestutzen die Voraussetzungen geschaffen, Probenahmerohre mit Außendurchmessern von 6 mm oder 14 mm anzuschließen.

#### **Probenvorbereitung:**

Vor der eigentlichen Untersuchung wurden die Platten klimatisiert (23°C, 50 % r.F.) gelagert. Die Platten aus den Baumärkten wurden zwischen 6 und 20 Wochen, die aus den Prüfinstituten waren bis zu 10 Jahre und die frisch hergestellten Platten 4 bis 12 Wochen unverpackt gelagert worden. Für die Emissionsuntersuchungen der Spanplatten wurden die Schmalflächen mit selbstklebender Aluminiumfolie abgeklebt, analog zum Schmalflächen/Oberflächenverhältnis wie es in DIN V ENV 717-1 für Bauspanplattenuntersuchungen auf Formaldehyd angegeben ist. Bei dem für unsere Untersuchungen üblichen Plattenmaß von 15 x 20,8 cm<sup>2</sup> (je zwei Platten) bleibt

lediglich eine Länge von je 9,6 cm offene Schmalfläche übrig und entspricht damit dem Schmalflächenanteil der üblichen Bauspanplatten von 100 x 200 cm<sup>2</sup>.

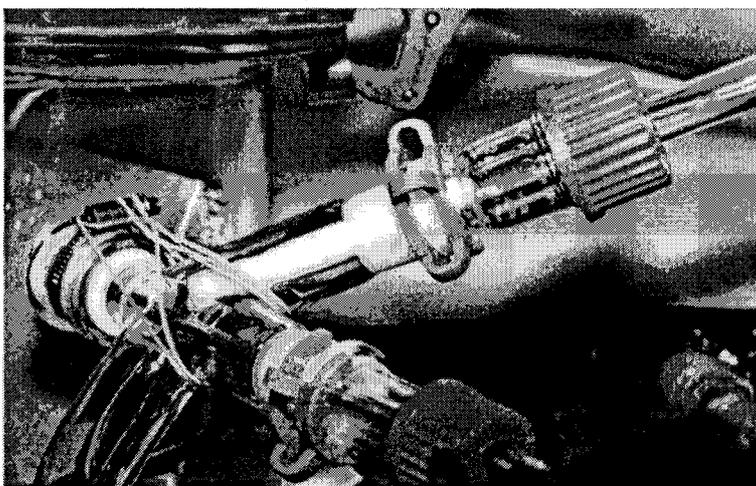


**Abbildung 3-7: Prinzipdarstellung Kleinprüfkammer-Apparatur (0,02 m<sup>3</sup>-Kammern) hier in Verbindung mit 1 m<sup>3</sup>-Kammer in Klimakammer**

**Luftprobenahme:**

Abbildung 3-8 zeigt die Probenahme für die Bioziduntersuchungen an den Emissionsmesskammern, die mit Polyurethanschäumen (PU-Schäume) als Adsorbens durchgeführt wird

[19, 20, 23]. In Glasrohren mit einem äußeren Durchmesser von 14 mm befinden sich üblicherweise zwei gut gereinigte Schäume hintereinander, durch die bis zu 20 m<sup>3</sup> Luft gesaugt werden, um die in der Kammerluft enthaltenen Wirkstoffkomponenten anzureichern. Bei einer durchschnittlichen Probenahmegeschwindigkeit von ca. 200 ml/min ergeben sich mit den obigen Volumina Probenahmezeiten von bis zu 7 Tagen. Im Anschluss an die Probenahme werden die beiden PU-Schäume in einen 100 ml Spitzkolben überführt, mit ca. 30 ml Aceton überschichtet und 30 µl der Internen Standardlösung hinzugegeben (<sup>13</sup>C-PCP und <sup>13</sup>C-Lindan mit einer Konzentration von jeweils 10 ng/µl in Hexan). Zur exakten Bestimmung der PCP-Emission muss in dieser Lösung noch eine Derivatisierung zum PCP-Acetat durchgeführt werden. Diese erfolgt durch Zugabe von 50 µl Derivatisierungsreagenz (Mischung aus 400 µl Essigsäureanhydrid und 400 µl Pyridin in 200 µl Hexan) zu den 30 ml Aceton. Nun wird der Schaum für 45 min. im Ultraschallbad extrahiert. Danach werden die Schäume entnommen, ausgequetscht und noch einmal mit Aceton nachgespült. Der gesammelte PU-Schaumextrakt wird zuerst mit einem Rotationsverdampfer, anschließend durch Abblasen mit Stickstoff eingengt, auf 1 ml aufgefüllt und ist danach bereit für die Analyse s. 3.3.3.



**Abbildung 3-8: Probe-  
nahme mit PU-Schäumen  
an einer 20-l-Kammer mit  
Probenkörpern.**

Eine Probenaufbereitung (clean up) mittels Säulenchromatographie war bei der Analyse des Prüfkammerextraktes nicht notwendig, da durch die Luftaufbereitung die Prüfkammerluft keine störenden Substanzen enthielt und auch der PU-Schaum nur geringe Blindwerte aufwies.

Die Quantifizierung erfolgt über die Vergleichsauswertung mit dem Internen Standard gemäß der Gleichung 3-1.

$$c_{\text{PCP}} = \left( \frac{A_{\text{PCP}}}{A_{^{13}\text{C-PCP}}} - b \right) * \frac{c_{^{13}\text{C-PCP}} * L}{s * V_{\text{S}}} \quad \text{Gleichung 3-1}$$

**Gleichung 3-1: Bestimmung der Konzentration von PCP in der Kammerluft mit**

$c_{\text{PCP}}$ :	Konzentration PCP in ng/m <sup>3</sup>
$c_{^{13}\text{C-PCP}}$ :	Konzentration <sup>13</sup> C-PCP in der Lösung in ng/ml
$A_{\text{PCP}}$ :	Fläche PCP im Chromatogramm (Massenspur 264)
$A_{^{13}\text{C-PCP}}$ :	Fläche <sup>13</sup> C-PCP im Chromatogramm (Massenspur 272)
$b$ :	Achsenabschnitt der Kalibriergerade
$s$ :	Steigung der Kalibriergerade
$L$ :	Volumen der Lösung (Extrakt) 1 ml
$V_{\text{S}}$ :	gesammeltes Volumen auf den PU-Schäumen in m <sup>3</sup> .

### 3.3.2 HOLZUNTERSUCHUNGEN AUF BIOZIDGEHALTE

Vor der Untersuchung der Holzproben muss das Material zerkleinert werden. Zu diesem Zweck wurde aus den Spanplatten mit einem Forstner-Bohrer (Durchmesser 35 mm), mit geringer Drehzahl zur Vermeidung möglicher Erwärmung des Bohrers, an mehreren Stellen Proben entnommen. Für die meisten Untersuchungen wurde dafür bis in Plattenmitte gebohrt für die Querschnittsbelastung des Holzes und in einigen Fällen nur die ersten 2 mm, um den Gehalt in der Deckschicht bestimmen zu können. Die gewonnenen Späne wurden in PE-Folie eingeschweißt und möglichst rasch analysiert.

Für die Analyse der Spanplattenproben und der anderen Holzspäne wurden verschiedene Lösemittel getestet. Als sehr praktikabel erwiesen sich das Lösemittel Methanol und Toluol, letzteres leicht angesäuert mit Schwefelsäure (0,5 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,1M)). 1 g Holz wurde in kleine verschließbare Erlenmeyerkolben eingewogen und mit 20 ml des Lösemittels überschichtet. Im Anschluss daran wurden die Kolben für 45 min im Ultraschall behandelt. Nach der Extraktion wurde das Lösemittel in 25 ml Maßkolben abfiltriert. Von dieser Lösung wurde zumeist eine Verdünnung von 1:10 (insg. 1 ml) für die GC-Analyse verwendet, in dieser Lösung waren noch 30 µl IS-Lösung (pro ml) enthalten. Für den Nachweis von PCP (unter obigen Bedingungen zeigte Toluol eine bessere Wiederfindung!) muss diese Probe, wie die Luftproben, noch derivatisiert werden. Analog wie bei der Herstellung der Standards werden 50 µl Derivatisierungsreagenz (Mischung aus 40 µl Essigsäureanhydrid und 40 µl Pyridin in 960 µl Hexan) hinzugegeben, gefolgt von einer 15-minütigen Ultraschallbehandlung. Die anderen

Wirkstoffe (DDT, Lindan und Dichlofluamid) können ohne Derivatisierung analysiert werden. Der Gehalt von PCP oder anderen Bioziden wird gemäß nachfolgender Gleichung 3-2 ermittelt, für die anderen Wirkstoffe gilt die Beziehung analog, nur dass für alle anderen Verbindungen  $^{13}\text{C}$ -Lindan als interner Standard verwendet wurde.

$$\text{Gehalt}_{\text{PCP}} = \left( \frac{A_{\text{PCP}}}{A_{^{13}\text{C-PCP}}} - b \right) * \frac{c_{^{13}\text{C-PCP}}}{s * m} * \frac{v}{1000} \quad \text{Gleichung 3-2}$$

**Gleichung 3-2: Bestimmung der Konzentration von PCP in den Holzproben mit**

Gehalt <sub>PCP</sub> :	Gehalt an PCP in mg/kg
c <sub><sup>13</sup>C-PCP</sub> :	Konzentration <sup>13</sup> C-PCP in der Lösung in ng/ml
A <sub>PCP</sub> :	Fläche PCP im Chromatogramm (Massenspur 264)
A <sub><sup>13</sup>C-PCP</sub> :	Fläche <sup>13</sup> C-PCP im Chromatogramm (Massenspur 272)
b:	Achsenabschnitt der Kalibriergerade
s:	Steigung der Kalibriergerade
m:	Masse des eingesetzten Holzes für die Extraktion
v:	Verhältnis von Extrakt zu Volumen der Messlösung bezogen auf 1 Milliliter

### 3.3.3 INSTRUMENTELLE ANALYTIK

Für die Auswertung der Prüfkammermessungen und Holzuntersuchungen wurde ein Gaschromatograph (GC) Agilent 6890 ausgestattet mit einem automatischen Probengeber (MPS) der Firma Gerstel, einem Kaltaufgabesystem KAS4 der Firma Gerstel und einem massenselektiven Detektor (MSD-5973) verwendet.

Ein Massenspektrometer ermöglicht eine gute Nachweisempfindlichkeit, da zur Quantifizierung einzelne Massenspuren (SIM-Modus) verwendet werden. Zudem gestattet die Aufnahme kompletter Massenspektren eine weitgehende Identifizierung auch unbekannter Substanzen durch Spektrenvergleiche mit einer großen Datenbank. Weiterhin ist die exakte Zuordnung von Substanzen aus einem bekannten Gemisch möglich, dies ist wichtig bei Retentionszeitüberlagerungen.

Die Quantifizierung erfolgte mit der Methode des internen Standards über relative Responsefaktoren. Hierzu kamen die beiden  $^{13}\text{C}$ -markierten Verbindungen PCP und Lindan zum Einsatz, analog zu der VDI-Richtlinie 4100 Blt 2 [19]. Derartige  $^{13}\text{C}$ -Standards eluieren zwar weitgehend zur gleichen Zeit von den chromatographischen Trennsäulen, können aber mit dem

Massenspektrometer aufgrund ihrer unterschiedlichen Massenfragmente gut voneinander unterschieden werden.

**Chromatographiebedingungen:**

*Injektor:* KAS mit 40°C Injektionstemperatur, aufheizen mit 10 °C/s auf 280°C isotherm für 3 min, bei einer splitlos-Zeit von 1 min. Ein elektronisch geregeltes Drucksystem (EPS) gewährleistet einen konstanten Durchfluss (constant flow) von 1,1 ml/min durch die Säule. Injektionsvolumen: 2 µl, Injektionsablauf: 2 Spritzenspülungen, 2 Probespülungen, 2 mal Spritze aufziehen, Injektion, 2 Spritzenspülungen, Spüllösung: Hexan.

*Säule:* HP 5 MS (Diphenyl(5 %)-Dimethyl-Polysiloxan), Länge 30 m, Durchmesser 0,25 mm, Schichtdicke 0,25 µm

*GC-Ofen:* 70° C isotherm für 1 min, aufheizen mit 20 °C/min auf 150 °C ohne Übergang weiter mit 5 °C/min auf 240 °C und weiter mit 20 °C/min auf 280 °C mit einer isothermen Phase von 4 min (Laufzeit 28,5 min).

*Detektor:* MSD 5973 (Quadrupol), Temperatur Zone 1 (150°C/Quadrupol), Zone 2 (230°C/Quelle), Solvent-Delay: 4 min, Transferline: 290°C

**Tabelle 3-4: Selected Ion Mode (SIM) Massen und Einstellungen des MS für die unterschiedlichen Biozide (fett markiert sind die Massenspuren für die Auswertung):**

Komponente	Startzeit	m/z	dwell time
Lindan (incl. <sup>13</sup> C):	04 min	181/ <b>183</b> /187/ <b>189</b> /219/225/230/232	50
PCP (incl. <sup>13</sup> C):	14 min.	<b>264</b> /266/272/ <b>274</b>	50
Dichlofluamid:	15,50 min.	<b>123</b> /167/224	100
DDT	20 min	224/ <b>235</b> /237	50

Die Abbildung 3-9 zeigt ein unter obigen Bedingungen aufgenommenes Chromatogramm einer Standardlösung. Die Peaks entsprechen 1,54 ng PCP, 1,104 ng Lindan, 1,516 ng Dichlofluamid und je 0,762 ng o,p'-DDT und p,p'-DDT.

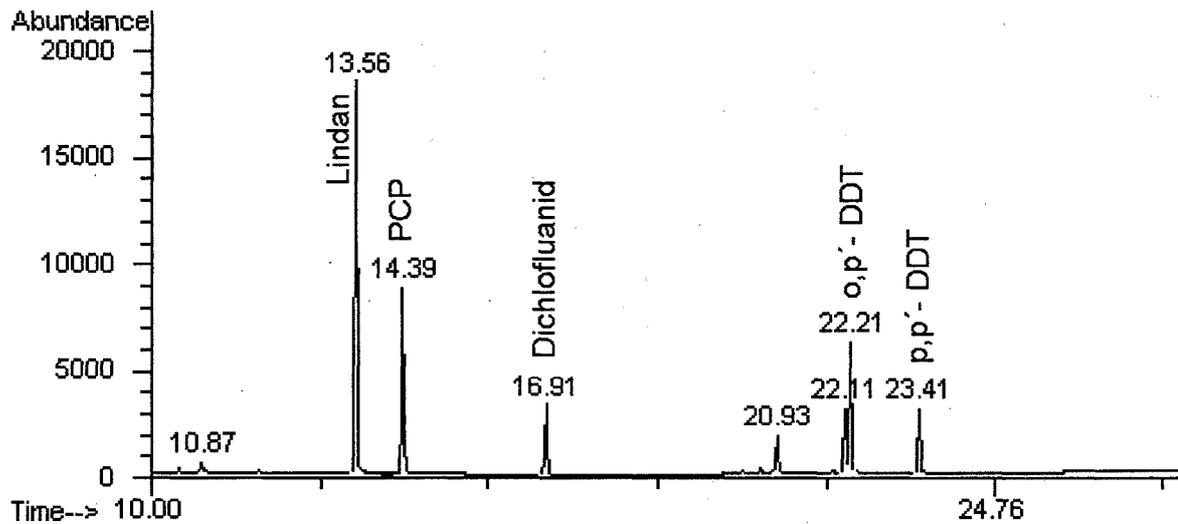


Abbildung 3-9: Chromatogramm einer Standard-Lösung. Chromatographiebedingungen siehe Text.

Die Kalibriergraden der 4 Verbindungen sind in den folgenden Abbildungen dargestellt, vom DDT die beiden der o,p' bzw. der p,p' Isomere (s. 2.4.3).

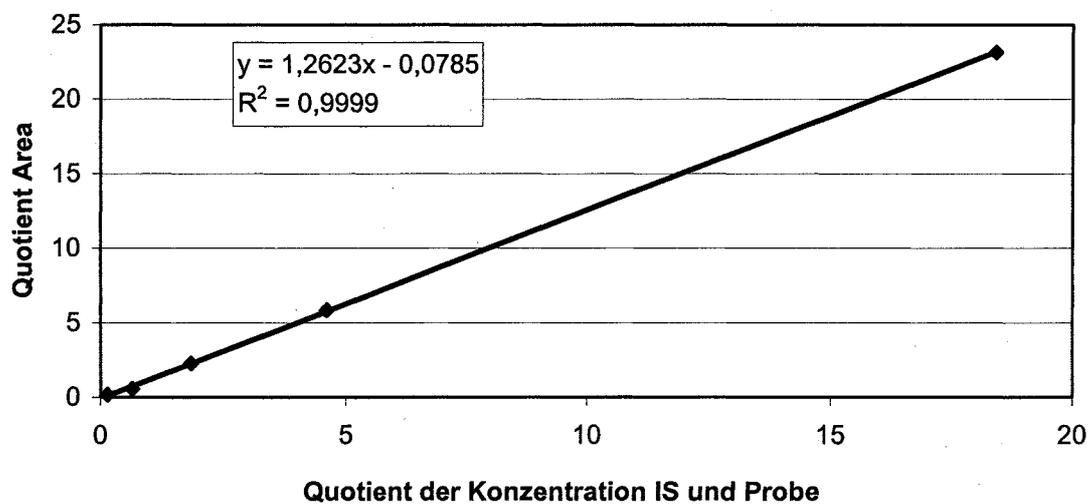


Abbildung 3-10: Lindan-Kalibriergrade im Konzentrationsbereich von 0,14 bis 5,5 ng/ $\mu$ l.

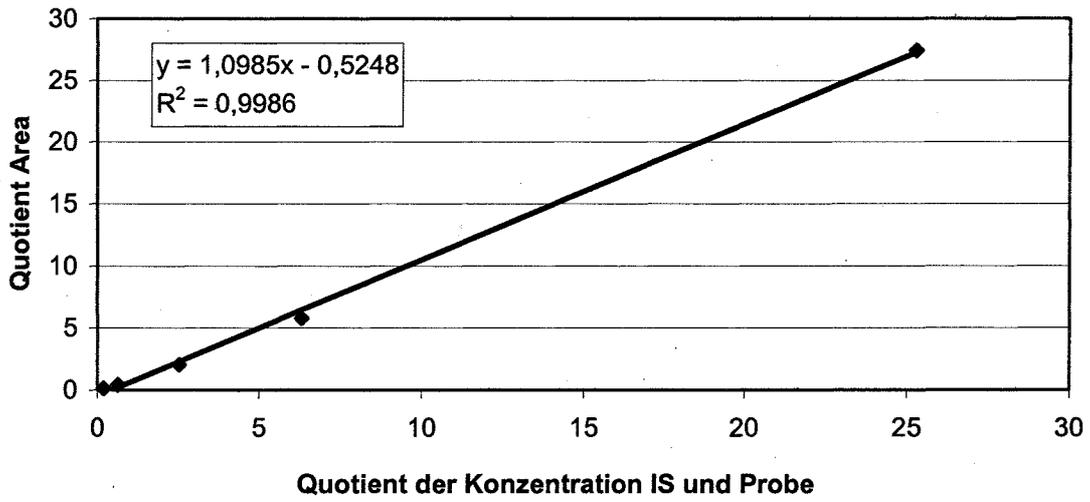


Abbildung 3-12: Dichlofluamid-Kalibriergrade im Konzentrationsbereich von 0,19 bis 7,5 ng/ $\mu$ l.

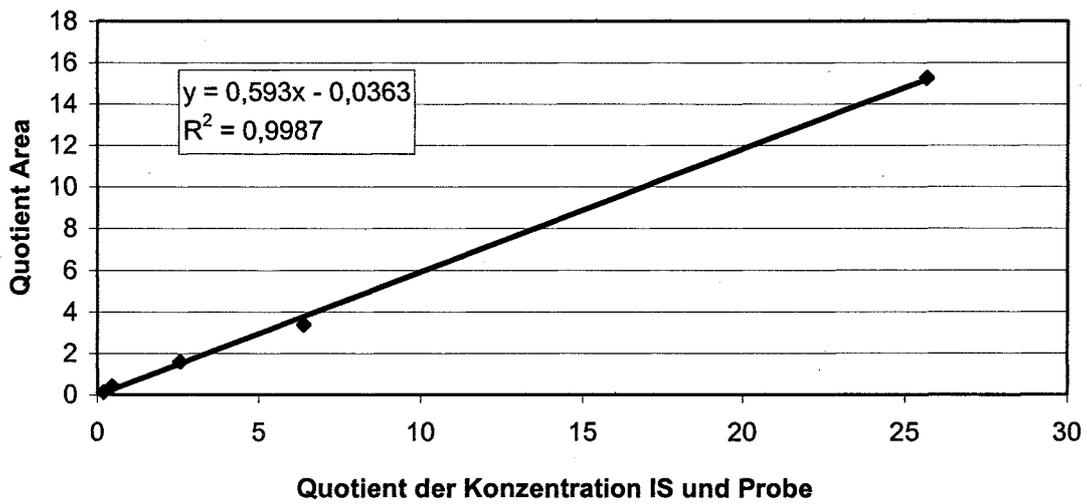


Abbildung 3-11: Pentachlorphenol-Kalibriergrade im Konzentrationsbereich von 0,19 bis 7,7 ng/ $\mu$ l.

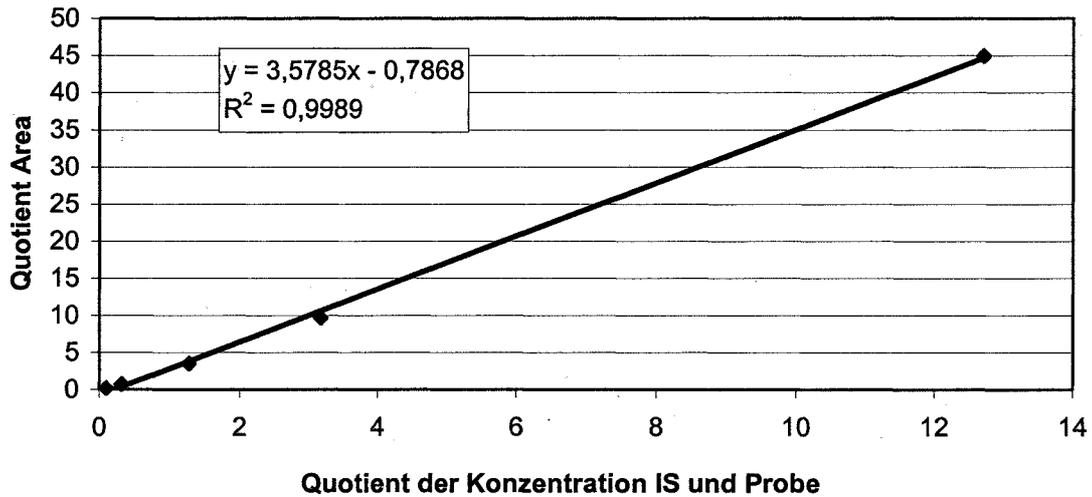


Abbildung 3-13: o,p'-DDT-Kalibriergrade im Konzentrationsbereich von 0,1 bis 3,8 ng/ $\mu$ l.

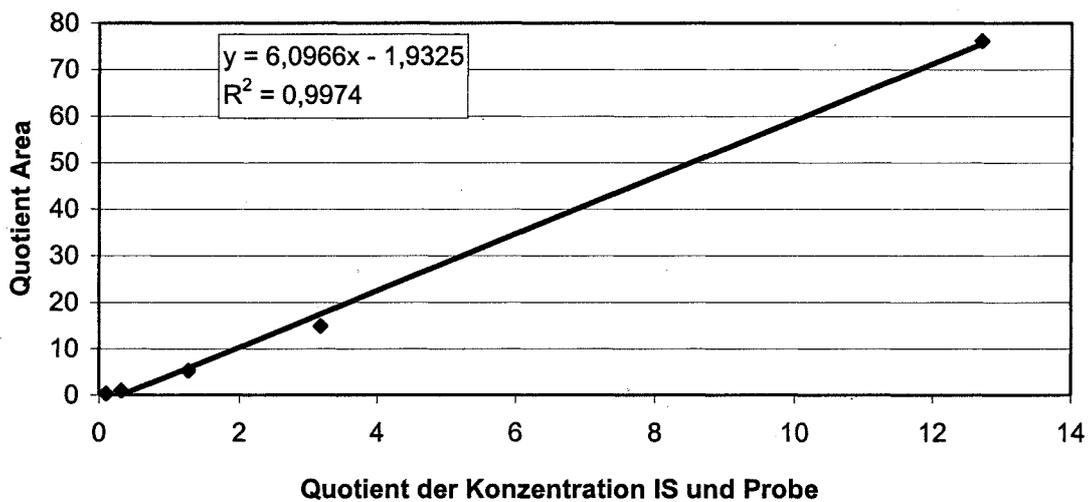


Abbildung 3-14: o,p'-DDT-Kalibriergrade im Konzentrationsbereich von 0,1 bis 3,8 ng/ $\mu$ l.

Üblicherweise wird ein Volumen von 20 m<sup>3</sup> auf den Schaum gesammelt, mit dieser Vorgabe und den analytischen Ergebnissen lässt sich für PCP, Dichlofluanid und DDT eine Bestimmungsgrenze (BG) von unter 1 ng/m<sup>3</sup> und für Lindan eine von 4 ng/m<sup>3</sup> ermitteln. Damit sollten sichere Aussagen über die Belastung mit Bioziden aus Holzwerkstoffen möglich sein.

### 3.3.4 QUALITÄTSSICHERUNG

Die Analytik von Bioziden an den kleinen Prüfkammern ist schon weitgehend bekannt und erprobt [11, 13], jedoch müssen für einzelne, neu zu untersuchende Verbindungen die Versuchsparameter noch bestimmt werden. So sind z. B. die Komponenten PCP und DDT in dieser Form noch nicht in diesen Kammern untersucht worden. Von den vier im Forschungsvorhaben interessierenden Komponenten Lindan, PCP, Dichlofluanid und DDT wurden die Wiederfindungsraten, Nachweisgrenzen und Durchbruchsvolumina ermittelt.

In Anlehnung an vorangegangene Untersuchungen [11, 14] wurde die Ultraschallextraktion der PU-Schäume mit Aceton favorisiert, untersucht wurden in der vorliegenden Studie allerdings auch Methanol, Toluol und Hexan sowie Mischungen von jeweils 2 verschiedenen der genannten Lösemittel mit unterschiedlichen Extraktionsmethoden. Vor allem für die Wirkstoffe PCP und DDT musste die Methode noch überprüft werden. Dazu wurden die Wiederfindungen, der Durchbruch und die Reproduzierbarkeit der Komponenten in Verbindung mit dem PU-Schaum untersucht. Die Wiederfindung der Komponenten vom PU-Schaum wurde mit verschiedenen Extraktionsmitteln und -methoden bestimmt. Dazu wurde eine definierte Menge der Standards in einem Lösemittel auf den Schaum aufgebracht und nach einer Wartezeit von ca. 30 min die Schäume dann mit der unter 3.3.1 angegebenen Methode untersucht. Dabei wurden die nachfolgenden Wiederfindungen in Prozent ermittelt (Tabelle 3-5).

**Tabelle 3-5: Wiederfindung der untersuchten Biozide nach Beaufschlagung eines PU-Schaumes mit Standardlösung und anschließender Extraktion mit Aceton.**

	Lindan	PCP	Dichlofluanid	o,p'-DDT	p,p'-DDT
% Angaben	90	88	105	119	161

Die Ursache für die deutlich überhöhte Wiederfindung für die beiden DDT Isomere ist z. Z. nicht geklärt, dieser Effekt war aber bei allen getesteten Methoden der gleiche. Für die Bestimmung des Durchbruchverhaltens wurde ein Glasrohr mit zwei PU-Schäumen bestückt und beide wurden mit 30 µl der Internem Standard Lösung beaufschlagt. Auf den vorderen der beiden Schäume wurde noch eine definierte Menge einer Standardlösung aufgegeben. Nun wurde ein Volumen von 18,6 m<sup>3</sup> aus einer leeren Kammer über den Schaum gesaugt. Die beiden Schäume wurden getrennt aufgearbeitet und zeigten das in Tabelle 3-6 gezeigte Durchbruchverhalten.

**Tabelle 3-6: Durchbruchmessung mit 18,6 m<sup>3</sup> Probenahmevolumen, der erste Schaum war mit einer Standardlösung beaufschlagt worden. Angaben in %.**

Schaum	Lindan	PCP	Dichlo	o,p DDT	p,p-DDT
hinterer	79,2	0,4	0,5	0,3	0,4
vorderer	20,8	99,6	99,5	99,7	99,6

Angegeben ist jeweils die Prozentuale Verteilung auf den vorderen oder hinteren Schaum.

Bis auf die Komponente Lindan reicht also ein PU-Schaum aus, die Komponenten zurückzuhalten. Diese Versuche wurden jedoch mit einem recht hoch konzentrierten Standard durchgeführt, so dass bei Konzentrationen, die üblicherweise gefunden werden, mit einem noch besseren Durchbruchverhalten gerechnet werden kann. Die Reproduzierbarkeit der Methode wurde durch das jeweils 5-fache Vermessen einer 5 mal angesetzten Standardverdünnung kontrolliert. Die jeweiligen Standardabweichungen der 5-fach Messung einer Lösung waren kleiner 3%. (Tabelle 3-7)

**Tabelle 3-7: Vergleichbarkeit von Wiederholungsmessungen von 5 gleich angesetzten Lösungen, jeweils fünffach bestimmt.**

Standardlösung	Lindan	PCP	Dichlo	o,p DDT	p,p-DDT
1	100	100	100	100	100
2	98,2	99,5	87,2	90,3	84,5
3	95,4	96,5	79,0	83,8	74,8
4	93,9	95,4	72,7	77,8	69,4
5	93,7	94,9	68,9	73,4	64,1
<i>MW</i>	<b>96,2</b>	<b>97,3</b>	<b>81,6</b>	<b>85,1</b>	<b>78,6</b>
<i>% StAbw</i>	<b>2,87</b>	<b>2,42</b>	<b>15,23</b>	<b>12,33</b>	<b>18,01</b>

Die Werte wurde mit den Internen Standards korrigiert. Für PCP und Lindan ergeben sich sehr gute Reproduzierbarkeiten, für Dichlofluanid und DDT ist diese mit 12 - 18 % Abweichung deutlich schlechter, aber noch akzeptabel.

Für die Bestimmung des PCP-Gehaltes im Holz wurde die hier vorgestellte Methode und diejenige aus der AhV [2] (s. Tabelle 3-8) verglichen. Bei der Methode nach der AhV wird das

fein gemahlene Holz mit Methanol extrahiert, mit  $K_2CO_3$ -Lsg derivatisiert und anschließend direkt vermessen. Als Interner Standard wird bei der AhV Trichlorbromphenol und PCB52 verwendet.

Eine Charge mit definiert PCP behandeltem Holz, welches in kleinen Spänen vorlag (maximale Dimension von  $1 \times 1 \times 5 \text{ mm}^3$ ), wurde ausgewählt und von diesem wurden jeweils 3 verschiedene Einwaagen (Messung 1-3 in Tabelle 3-8) jeweils doppelt bestimmt (Messwert 1 und 2 je Spalte). Untersucht wurde mit der hier vorgestellten Hausmethode und der in der AhV vorgeschriebenen Methode. Da kein PCB 52 vorrätig war, wurde DDD als zweiter Interner Standard verwendet. Dieser Standard wird allerdings auch nur eingesetzt, um den eigentlichen Analysenschritt zu kontrollieren, das Tribromphenol ist für die Richtigkeit des PCP-Wertes entscheidender. Die Ergebnisse, die mit den beiden Methoden gewonnen wurden zeigen eine hohe Übereinstimmung, so dass die weiteren Holzanalysen mit der Hausmethode vorgenommen wurden (s. 3.3.2).

**Tabelle 3-8: Vergleich PCP-Analyse mit der Methode AhV und der hier vorgestellten Methode. Die Werte sind in mg/kg angegeben.**

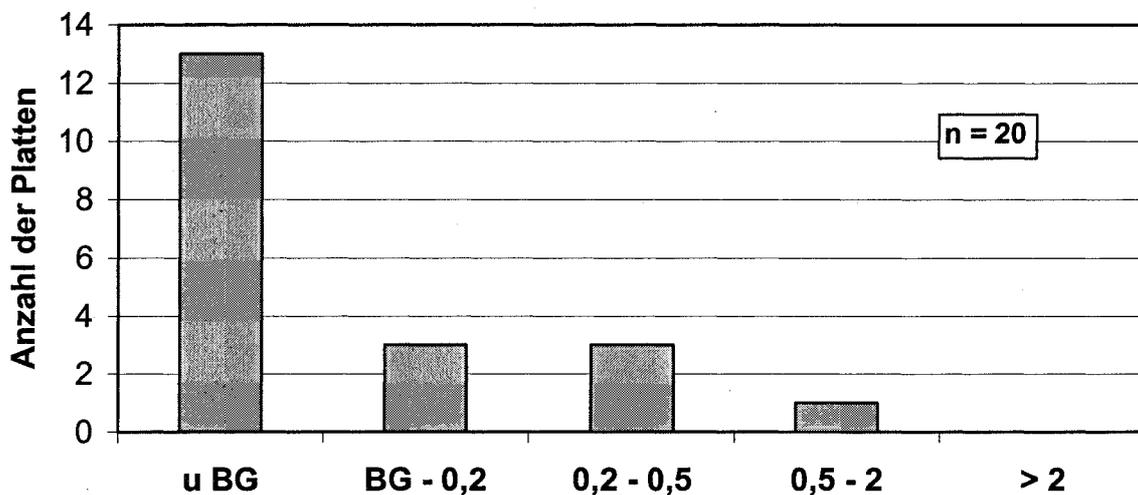
Messwert	PCP Altholzverordnung		PCP Hausmethode	
	1	2	1	2
Messung 1	27,8	28,2	30,5	29,6
Messung 2	21,3	21,4	26,4	27,0
Messung 3	26,8	26,7	23,7	30,2
<b>Mittelwert</b>	<b>25,4</b>		<b>27,9</b>	
Stabw %	12,37		9,59	

## 4 ERGEBNISSE

### 4.1 MATERIALUNTERSUCHUNGEN

Bevor die zeitlich wesentlich aufwändigeren Emissionsmessungen an einzelnen Platten erfolgten, wurden 20 verschiedene Platten von einem Unterauftragnehmer auf Ihren Gehalt an Bioziden untersucht (s. 3.1). Dabei wurden nur in wenigen Fällen (7 von 20) für PCP Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze (0,1 mg/kg) gefunden, wie dies in Abbildung 4-1 zu erkennen ist. Die anderen interessierenden Komponenten wurden nicht oberhalb der Bestimmungsgrenze (zwischen 0,1 und 0,5 mg/kg) gefunden, wie überhaupt keine Verbindungen außer PCP und die Gruppe der PAK oberhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenze gefunden wurden. Neben diesen beiden Verbindungen wurden die Proben auch auf Lindan, DDT, Monochlornaphthaline, Dichlornaphthaline, Endosulfan, Chlorthalonil, PCB, TCEP, Dichlofluamid, Tolyfluamid, Tebuconazol, Propiconazol, Permethrin, Flufenoxuron und Furmecyclox untersucht. Mit den Ergebnissen aus diesen Voruntersuchungen wurden die ersten Platten ausgewählt und in den Emissionskammern vermessen (s. 4.2).

Abbildung 4-1: Nachweis von PCP in mg/kg aus Holzwerkstoff-Platten. BG = 0,1 mg/kg



Neben den Plattenproben wurde die Reinheit einer waldfrischen Spancharge (Kieferholz) und einer altholzenthaltenden Charge eines Spanplattenwerkes kontrolliert. Beide Spanchargen enthielten keine Biozidkonzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze. Aus allen in den

Kammern untersuchten Platten wurden nach Ihrem Einsatz in der Kammer Spanproben entnommen und analysiert.

Die Bestimmung der Biozidgehalte erbrachte deutlich geringere Konzentrationen als theoretisch aus den aufgetragenen Mengen zu erwarten waren, trotz guter Reproduzierbarkeit von Wiederholungsmessungen. Dafür mag es verschiedenste Gründe geben, wie z.B. der Verlust an Bioziden in der Gebrauchsphase, verminderte Befunde durch zu geringe Extraktion aus dem Holz, Fehler in der Probenahme (Repräsentativität), usw. Die nachgewiesenen Konzentrationen sind in der Tabelle 4-1 aufgeführt. In der ersten Spalte der Tabelle 4-1 sind die verschiedenen biozidhaltigen Späne aufgelistet und in der Kopfzeile die untersuchten Biozide angegeben. Eine Mischung aus diesen ersten vier Spansorten wurde verwendet, um eine der Laborplatten (Altholzmischung) herzustellen.

**Tabelle 4-1: Biozidgehalte in den für die Plattenherstellung verwendeten zerspannten Holzproben.**

<b>Biozide in den Spänen / Späne bezeichnet nach dem verwendeten Biozid</b>	<b>Lindan</b> mg/kg	<b>PCP</b> mg/kg	<b>Dichlofluanid</b> mg/kg	<b>o,p'-DDT</b> mg/kg	<b>p,p'-DDT</b> mg/kg
<b>Lindan-haltig<sup>#</sup></b>	95	-	-	-	-
<b>Dichlofluanid-haltig*</b>	-	-	110	-	-
<b>DDT, Lindan-haltig</b>	3	-	-	40	120
<b>PCP-haltig</b>	-	400	-	-	-
<b>selbstgetränkt</b>	25	45	100	15	25

<sup>#</sup> enthält auch Fumecyclohexin

\* weiterhin enthalten Permethrin und Tebuconazol

Die Tabelle 4-1 zeigt in der letzten Zeile die Analysenergebnisse der selbstbehandelten Späne. Nach der für die Herstellung eingesetzten Biozidmenge sollten Lindan, PCP und Dichlofluanid mit ca. 100 mg/kg enthalten sein, wenn der komplette Wirkstoff noch vorhanden wäre und für DDT müsste die Summe aus beiden Isomeren 200 mg/kg ergeben. Die hohe Übereinstimmung der Dichlofluanidkonzentrationen ist auffällig, da im Gegensatz zu den anderen Bioziden ca. die theoretisch maximal mögliche Konzentration erreicht wurde, obwohl Dichlofluanid relativ flüchtig ist und die anderen Biozide weniger als die Hälfte der zu erwartenden Materialkonzentrationen aufwiesen.

**Tabelle 4-2 Laborspanplatten aus belasteten und unbelasteten Spänen hergestellt. Die Konzentrationen sind berechnet aus den Analyseergebnissen der Holzspäne, s. Tabelle 4-1.**

Musterplatten Menge	Spananteile Mittel- und/oder Deckschicht		resultierende theoretische Biozidgehalte in der gesamten Platte			
	belastet g	waldfrisch g	Lindan mg/kg	PCP mg/kg	Dichlofluanid mg/kg	DDT mg/kg
0 <sub>1</sub> ; 0 <sub>2</sub>	-	3600	-	-	-	-
MA <sub>1</sub> ; MA <sub>2</sub>	98,5	3600	0,40	0,72	1,59	0,64
MB <sub>1</sub> ; MB <sub>2</sub>	284	3300	1,15	2,07	4,59	1,84
MC <sub>1</sub> ; MC <sub>2</sub>	548	3050	2,21	3,98	8,84	3,51
A <sub>1</sub> ; A <sub>2</sub>	454*	3150	1,90	3,61	3,26	2,33
D <sub>1</sub> ; D <sub>2</sub>	94 <sup>#</sup>	2500	0,38	0,69	1,52	0,61
BW <sub>A</sub>	2300	800	0,08	1,26	-	-
BW <sub>B</sub>	2900	200	0,03	1,03	-	-

\* entspricht 56g PCP-Späne; 124 g Lindan-Späne; 183 g Dichlofluanid-Späne; 90 g DDT-Späne

<sup>#</sup> in der Deckschicht

Die Tabelle 4-2 listet die konkret verwendeten Spanmengen und die daraus theoretisch resultierenden Konzentrationen der jeweiligen Biozide in den hergestellten Spanplatten auf. Die Angabe DDT gilt im folgenden; wie auch schon in der Tabelle 4-2; für die Summe von o,p'-DDT und p,p'-DDT. Die Spalten 2 und 3 enthalten die Spanmengen für die Mittel- oder Deckschicht, zunächst die der belasteten Späne (bei der Platte A<sub>1</sub> und A<sub>2</sub> ist der Summenwert für das Spangewicht von vier verschiedenen Fraktionen angegeben) und danach die Menge der Späne aus waldfrischem Holz. Die angegebenen Werte entsprechen immer der Menge für 2 Platten, bis auf die letzten beiden Zeilen, dort wurde jeweils nur eine Platte hergestellt. Die letzten vier Spalten geben die Konzentrationen der Biozide in der kompletten Platte an, dabei wurden die in Tabelle 4-1 erhaltenen Konzentrationen für die Holzspäne zugrundegelegt. Diese Werte resultierten aus einer Mittelschicht, für deren Herstellung eine Spanfraktion mit ca. 5 mg/kg Biozid angenommen wurde, folglich führt die unbelastete Deckschicht zu einer Verdünnung des Biozids in der Platte. Im wesentlichen wurde dabei der Gehalt von PCP berücksichtigt, so dass es für die anderen Biozide zu Abweichungen kommt.

Die Biozidgehalte der Platten, an denen auch Kammermessungen vorgenommen wurden, zeigt die Tabelle 4-3. Die Gehaltsbestimmung dafür erfolgte nach der in 3.3.2 beschriebenen Methode, dabei wurde von jedem Material 3 mal ca. 1 g eingewogen und analysiert. Die Auswertung erfolgte durch die Mittelwertbildung aus einer doppelten Injektion mit GC/MS Quantifizierung. Die Konzentrationen liegen um einen Faktor von ca. 2 - 3 unter den Werten, die

theoretisch nach der Holzspananalyse vorliegen müssten (s. Tabelle 4-2) und noch deutlicher unter den theoretischen Werten aus dem Tränkverfahren. Bis auf die Platte MB<sub>2</sub> hat die Trennung von Deckschicht und der Komplettanalyse zu keinem definitiv unterschiedlichem Ergebnis geführt, beide Gehalte stimmten weitgehend überein.

**Tabelle 4-3: Biozidkonzentrationen im Material der in der Emissionskammer untersuchten Spanplatten, angegeben in mg/kg.**

Probe\Biozid	Lindan	PCP	Dichlofluanid	DDT
O <sub>2</sub>	-	-	-	-
MA <sub>2</sub> -Kompl	0,5	0,2	0,1	0,9
MB <sub>2</sub> -Kompl	0,7	0,7	1,0	1,8
MB <sub>2</sub> -deck	-	-	-	-
MC <sub>2</sub> -Kompl	1,5	1,4	2,3	2,9
MC <sub>2</sub> -Deck	0,3	0,5	1,0	0,4
A <sub>2</sub>	1,9	0,3	1,3	4,1
D <sub>2</sub> -Deck	0,9	0,7	0,7	1,8
D <sub>2</sub> -Kompl	0,9	0,7	0,7	1,6
BW <sub>B</sub>	-	0,4	-	-
P <sub>4</sub>	-	2,1	-	-
P <sub>12</sub> -Deck	-	5,8	-	-
P <sub>12</sub> -Kompl	0,1	6,6	-	-
P <sub>14</sub>	0,4	0,7	-	-
B <sub>4</sub>	0,1	0,7	-	-

Kompl: Komplette Platte Probenahmetiefe bis Plattenmitte an verschiedenen Stellen

Deck: Deckschicht, Probenahmetiefe ca. 2 mm tief an mehreren Stellen.

## 4.2 EMISSIONSUNTERSUCHUNGEN

Die im vorangegangenen Abschnitt besprochenen Untersuchungen von Biozidgehalten in Holzwerkstoffplatten (s. Abbildung 4-1) haben zu einer kleinen Auswahl an Platten geführt, die in den Emissionskammern untersucht wurden. Damit sollte geklärt werden, mit welchen Konzentrationen bei industriell hergestellten Platten in den Kammern zu rechnen ist, wenn die Platten die 5 mg/kg Schwelle der ChemVerbotsV noch unterschreiten. Die Platten B<sub>4</sub>, P<sub>4</sub> und P<sub>12</sub> wurden dazu in Emissionskammern eingebracht und beprobt. P<sub>12</sub> wurde mit und ohne Schmalflächenversiegelung untersucht, um den Einfluss der Schmalflächen herauszufinden, der bei anderen Emissionen, wie z. B. beim Formaldehyd, von hoher Bedeutung ist. Die folgende Tabelle 4-4 gibt einen Überblick über die Konzentrationen der Biozide nach 30 Tagen in der

Emissionskammer und die Abbildungen 4-2 - 4-14 zeigen die Emissionsverläufe einiger Biozide aus diesen Platten im Kammerversuch.

**Tabelle 4-4: Luft-Konzentrationen der in der Emissionskammer untersuchten Spanplatten nach 30 Tagen, angegeben in ng/m<sup>3</sup>.**

Probe\Biozide	Lindan	PCP	Dichlofluanid	DDT
O <sub>2</sub>	-	-	-	-
MA <sub>2</sub>	6	0,7	3	4
MB <sub>2</sub>	9	1	7	5
MC <sub>2</sub>	15	3	13	7
A <sub>2</sub>	20	1,5	13	7
D <sub>2</sub>	16	4	20	9
BW <sub>B</sub>	-	2	-	-
P <sub>4</sub>	6	3	-	-
P <sub>12</sub> *	6	50	-	-
P <sub>12</sub> *	5	30	-	-
P <sub>14</sub>	6	8	-	-
B <sub>4</sub>	-	2	-	-
BG	4	0,7	1	1

\* zwei verschiedene Untersuchungen mit und ohne Schmalflächenversiegelung (s. Text)

BG: Bestimmungsgrenze (20m<sup>3</sup> Probenahme, 1 ml Extrakt)

Wie aus Tabelle 4-4 ersichtlich trat bis auf die selbsthergestellten Platten von MA<sub>2</sub> bis D<sub>2</sub> bei keiner Probe eine Dichlofluanid oder DDT-Emission auf. Auch für Lindan zeigten nur diese Laborplatten deutliche Emissionen oberhalb von der Bestimmungsgrenze von 4 ng/m<sup>3</sup>. In den kommerziellen Platten war im wesentlichen nur PCP bei der Platte P<sub>12</sub> auffällig mit dem höchsten gemessenen Wert von bis zu 50 bzw. 30 ng/m<sup>3</sup>. Aus den anderen Platten emittierte jedoch weniger als 10 ng/m<sup>3</sup> und in allen Fällen nur geringe Mengen an Lindan.

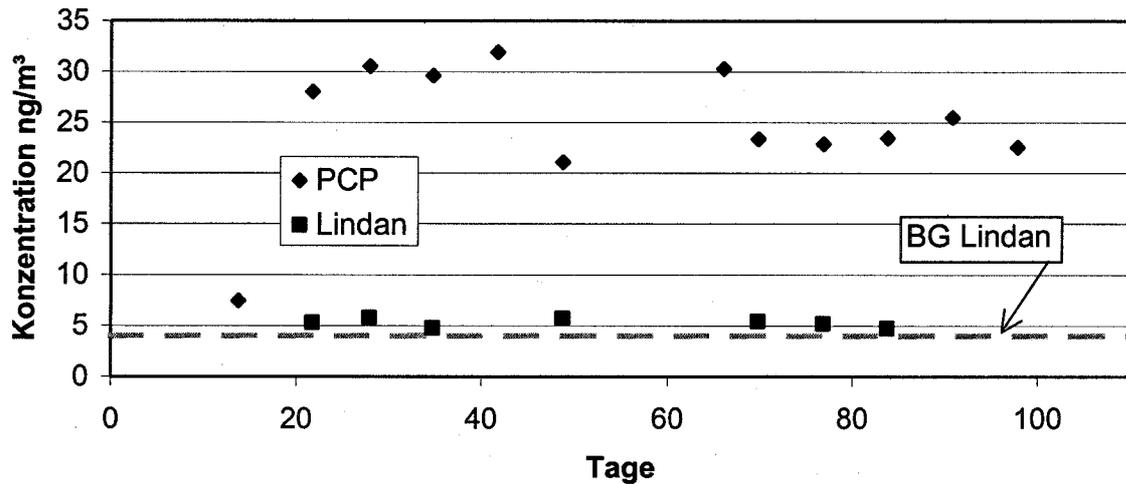


Abbildung 4-2: Lindan und PCP aus der Platte P<sub>12</sub> im Kammerversuch. Untersuchung mit offenen Schmalflächen.

Abbildungen 4-2 und 4-3 zeigen die Konzentrationsverläufe der Platte P<sub>12</sub>. Dabei ist in Abbildung 4-3 die Platte mit versiegelten Kanten dargestellt. In beiden Untersuchungen sind deutliche Konzentrationen an PCP und geringe Mengen Lindan erkennbar. Weitere Biozide waren nicht nachweisbar. Im ersten Fall schwanken die PCP-Konzentrationen zwischen 20 und ca. 30 ng/m<sup>3</sup> und im zweiten zwischen 40 und 55 ng/m<sup>3</sup>. Auf diesem Level verbleiben die Konzentrationen über den gesamten Untersuchungszeitraum, allerdings scheinen die Werte gegen Ende der Untersuchungen leicht nach unten zu tendieren. Die Konzentration an Lindan hingegen schwankt bei beiden Untersuchungen schon nach ca. 20 Tagen um die Bestimmungsgrenze.

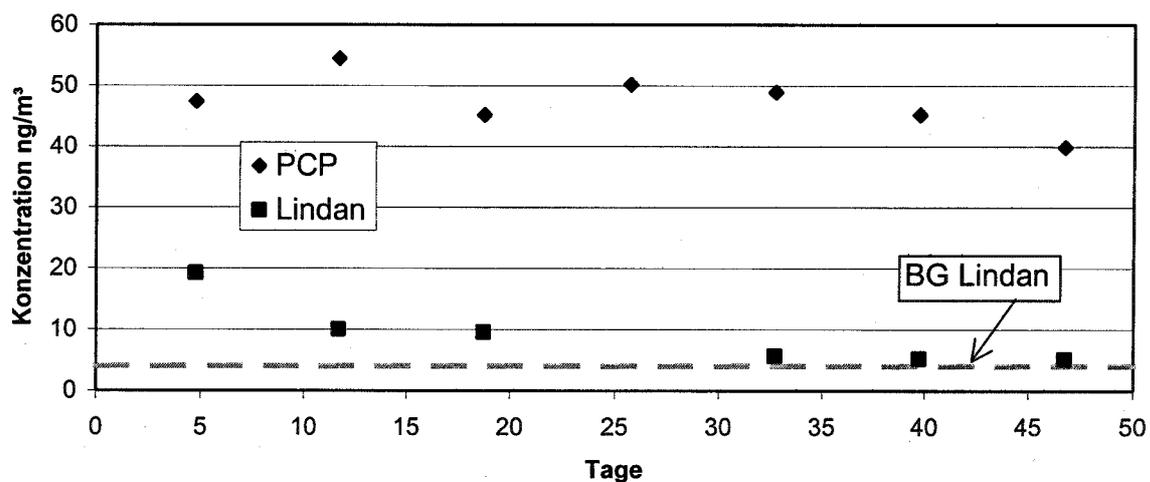


Abbildung 4-3: Lindan und PCP aus der Platte P<sub>12</sub> im Kammerversuch. Wiederholung mit versiegelten Schmalflächen.

Alle folgenden Platten wurden mit der Schmalflächenversiegelung untersucht.

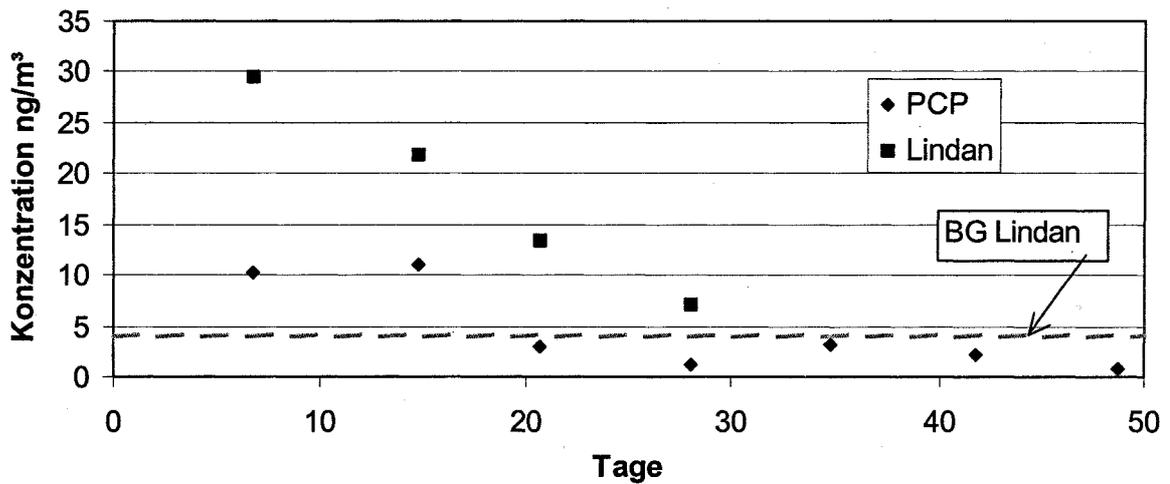


Abbildung 4-4 zeigt das Ergebnis dieser Untersuchungen an der Platte P<sub>4</sub>, nach kurzer Zeit ist die Konzentration von Lindan auf Werte unter 4 ng/m<sup>3</sup> (BG) gefallen. Für PCP gilt ähnliches, nur dass die Werte leicht oberhalb der BG (0,7 ng/m<sup>3</sup>) verbleiben.

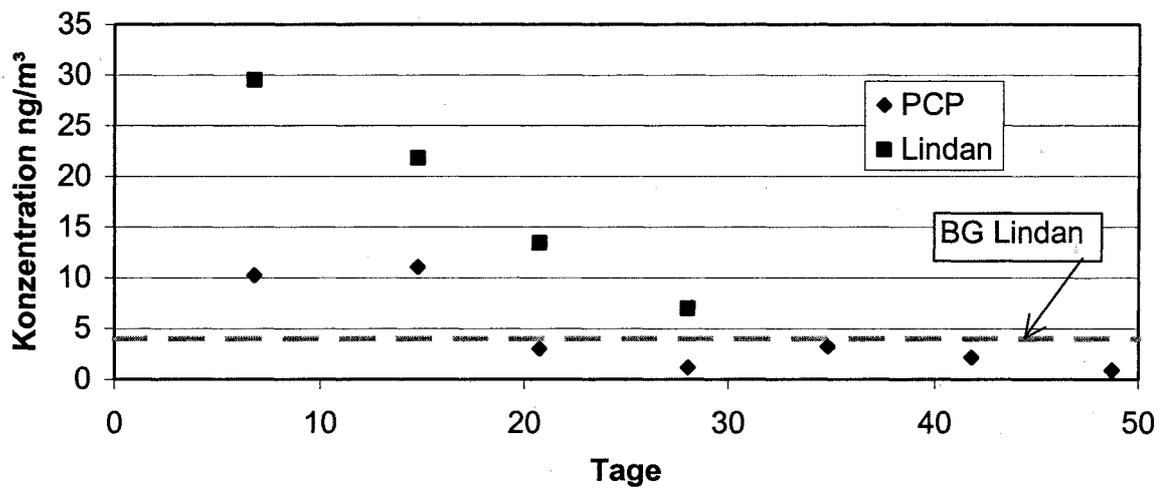


Abbildung 4-4: Lindan und PCP aus der Platte P<sub>4</sub> im Kammerversuch (mit versiegelten Schmalflächen).

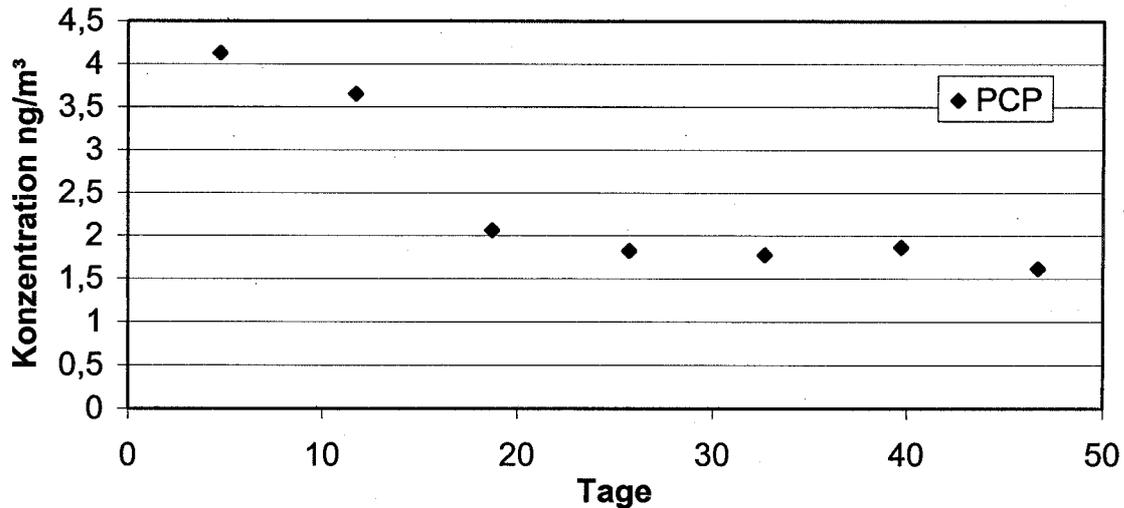


Abbildung 4-5: PCP aus der Platte B<sub>4</sub> im Kammerversuch (mit versiegelten Schmalflächen).

Die Platte B<sub>4</sub> (s. Abbildung 4-5) zeigt ähnlich wie P<sub>4</sub> nur sehr niedrige Konzentrationen des Biozids PCP in der Kammerluft, Lindan lag gänzlich unterhalb der BG. Die Platte P<sub>14</sub> in Abbildung 4-6 weist erhöhte PCP und Lindanstartwerte auf, die jeweils bei ca. 40 ng/m<sup>3</sup> liegen. Vor allem für PCP sind diese Werte auf einen hohen Kammerblindwert zurückzuführen. Vor dieser Probe ist die Untersuchung der Platte P<sub>12</sub> (s. Abbildung 4-3) in der Kammer erfolgt. Diese Kammer wurde nach Beendigung des Versuches mit P<sub>12</sub> nicht gereinigt, um das Abklingen von PCP nach dem Versuch zu beobachten (es war kein so starker Wandeffekt erwartet worden). Der Kammerblindwert lag sogar noch über den Startwerten des Versuches. Der Lindanwert hingegen kommt direkt aus der Platte, da der Blindwert unter der BG lag.

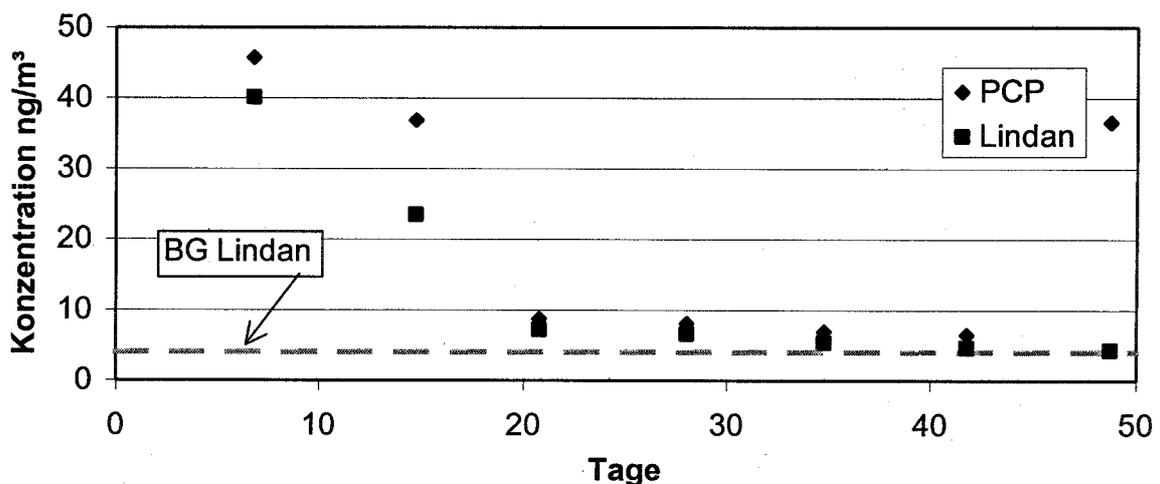


Abbildung 4-6: PCP aus der Platte P<sub>14</sub> (mit versiegelten Schmalflächen) im Kammerversuch. (die hohen Anfangswerte waren der Blindwert aus dem Vorversuch mit der Platte P<sub>12</sub> s. Abbildung 4-3)

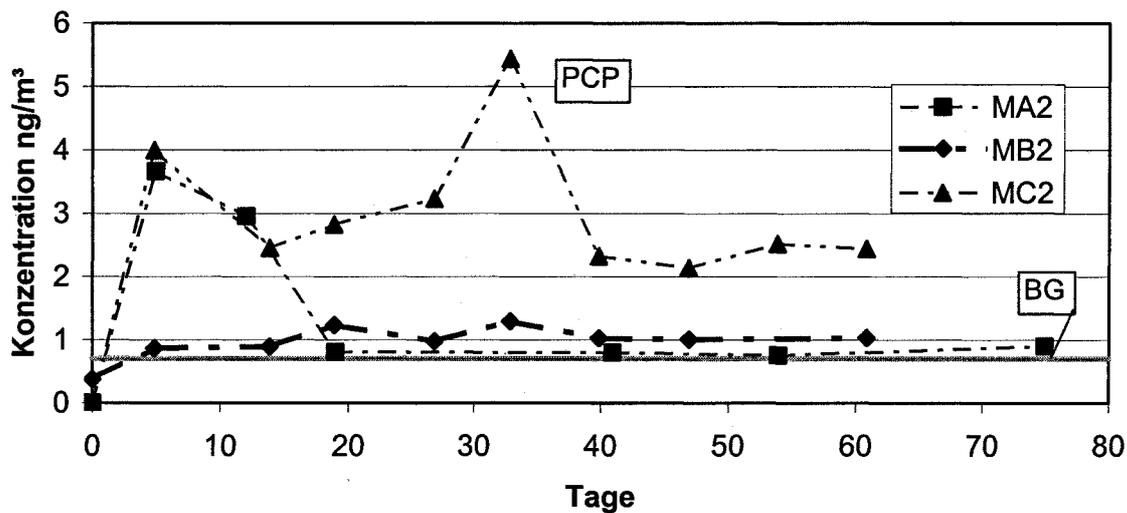


Abbildung 4-7: Konzentrationsverlauf von PCP aus den drei Platten MA<sub>2</sub>, MB<sub>2</sub> und MC<sub>2</sub> untersucht in der 20l-Kammer.

Da diese ersten Platten-Untersuchungen lediglich einen Hinweis auf das Verhalten von PCP und in Grenzen auch von Lindan zulassen, wurden dotierte Platten hergestellt, deren Ergebnisse in den Abbildungen 4-7 - 4-14 für PCP, Lindan, Dichlofluanid und DDT dargestellt sind. Aus O<sub>2</sub> konnten erwartungsgemäß keine Biozidkonzentrationen nachgewiesen werden und die Platte BW<sub>β</sub> wies lediglich Konzentrationswerte von ca. 1,5 ng/m<sup>3</sup> PCP und ca. 6 ng/m<sup>3</sup> Lindan nach 30 Tagen auf.

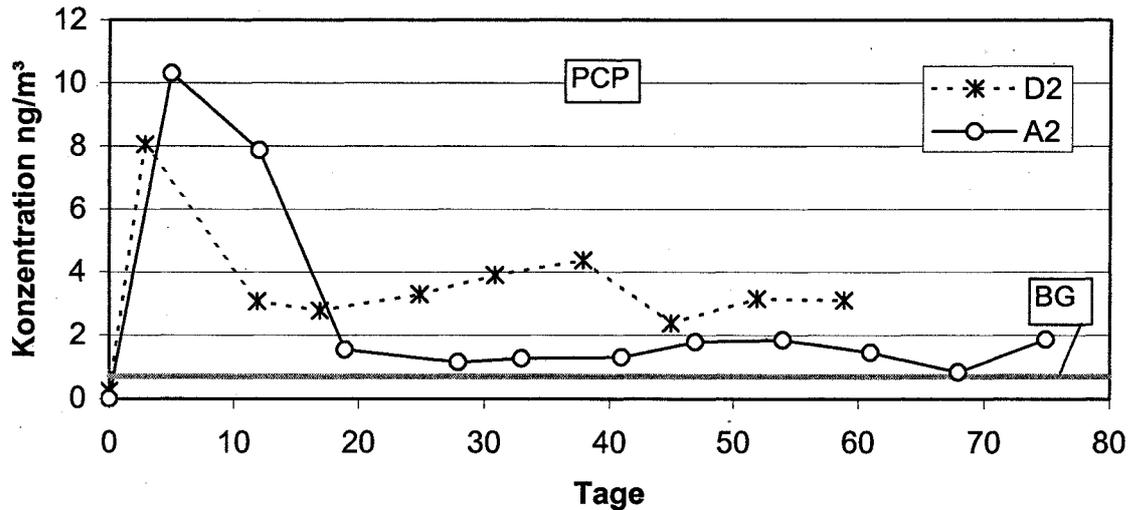


Abbildung 4-8: Konzentrationsverlauf von PCP aus den beiden Platten D<sub>2</sub> und A<sub>2</sub> untersucht in der 20l-Kammer.

Die drei Platten MA<sub>2</sub>, MB<sub>2</sub> und MC<sub>2</sub> unterscheiden sich vor allem durch die Gehalte an den Bioziden, wobei die Platte MA<sub>2</sub> die geringsten und die Platte MC<sub>2</sub> die höchsten Konzentrationen enthält. Diese Abstufungen sind in allen 4 Abbildungen, die diese Platten vergleichen, zu erkennen. Allerdings zeigt die Platte MA<sub>2</sub> häufig sehr geringe Luftkonzentrationen, die für Lindan und PCP sogar unter die Bestimmungsgrenze fallen. Allgemein ist festzustellen, dass die ermittelten Emissionskurven von einem hohen Anfangswert in den ersten Tagen rasch auf ein relativ konstantes, niedriges Niveau abfallen.

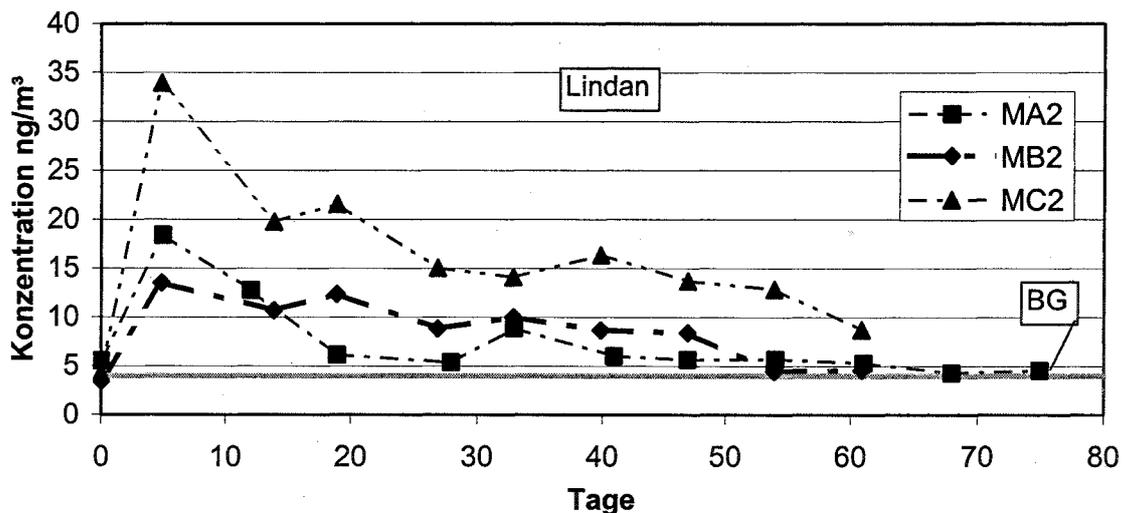


Abbildung 4-9: Konzentrationsverlauf von Lindan aus den drei Platten MA<sub>2</sub>, MB<sub>2</sub> und MC<sub>2</sub> untersucht in der 20l-Kammer.

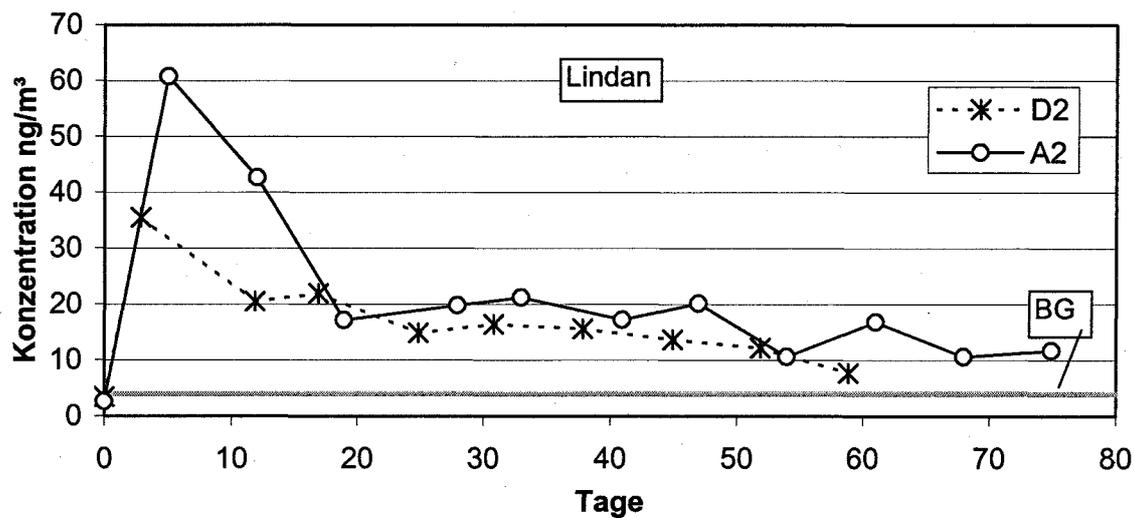


Abbildung 4-10 : Konzentrationsverlauf von Lindan aus den beiden Platten D<sub>2</sub> und A<sub>2</sub> untersucht in der 20l-Kammer.

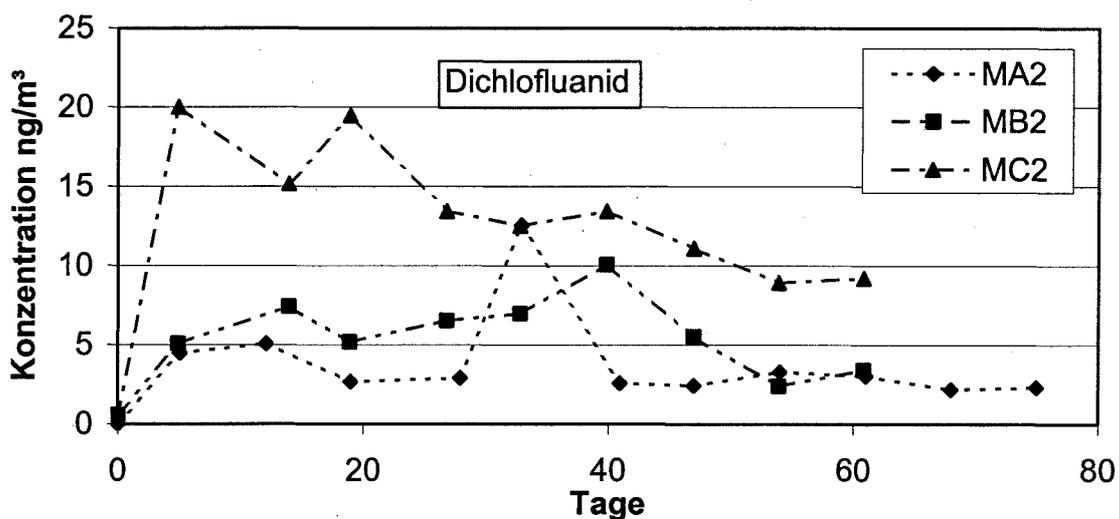


Abbildung 4-11: Konzentrationsverlauf von Dichlofluanid aus den drei Platten MA<sub>2</sub>, MB<sub>2</sub> und MC<sub>2</sub> untersucht in der 20l-Kammer.

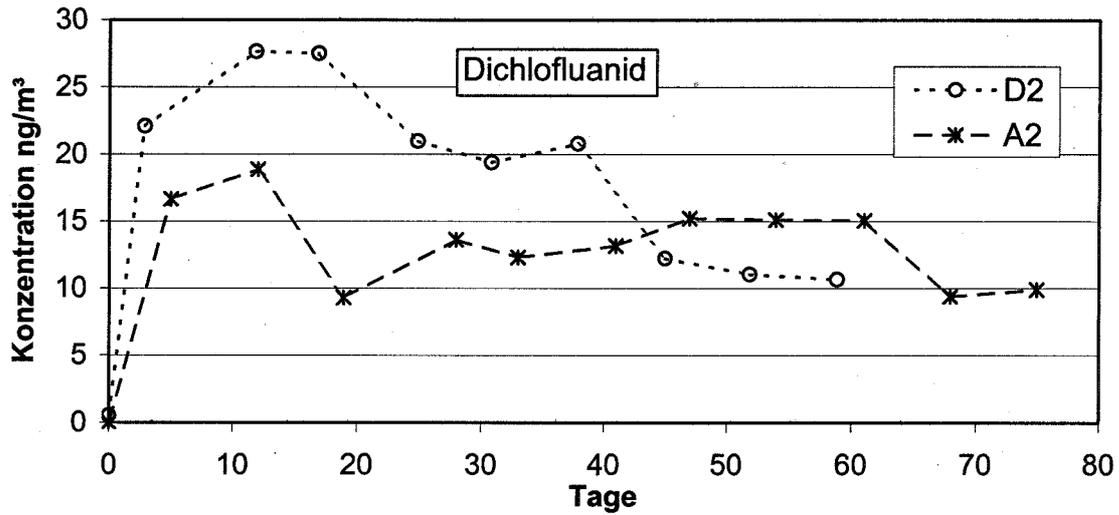


Abbildung 4-12: Konzentrationsverlauf von Dichlofluuanid aus den beiden Platten D<sub>2</sub> und A<sub>2</sub> untersucht in der 20l-Kammer.

Auch für Dichlofluuanid gilt das für PCP und Lindan festgestellte, was den Kurvenverlauf und die Abstufung der Platten MA<sub>2</sub>, MB<sub>2</sub> und MC<sub>2</sub> betrifft.

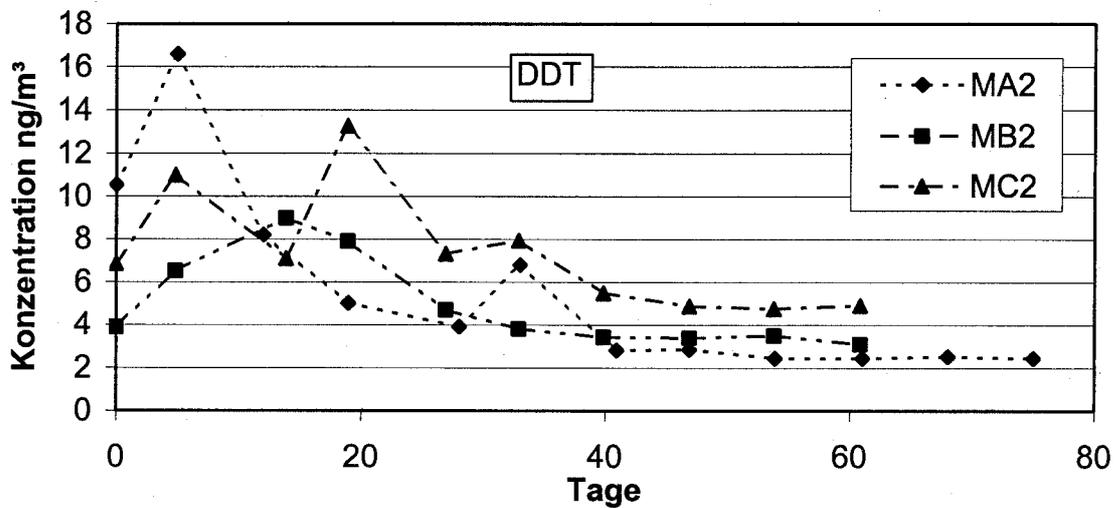


Abbildung 4-13: Konzentrationsverlauf von DDT aus den drei Platten MA<sub>2</sub>, MB<sub>2</sub> und MC<sub>2</sub> untersucht in der 20l-Kammer.

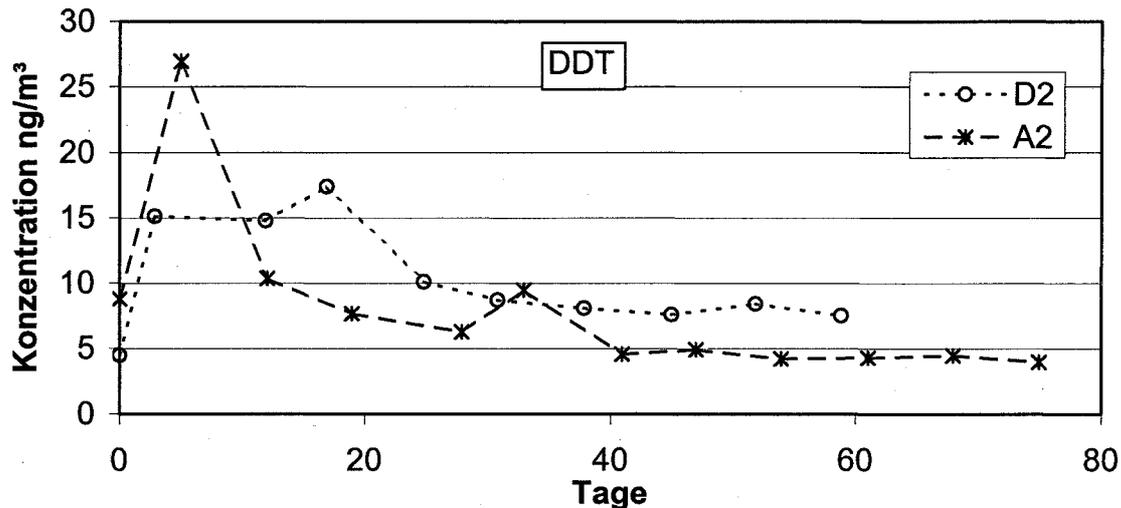


Abbildung 4-14: Konzentrationsverlauf von DDT aus den beiden Platten D<sub>2</sub> und A<sub>2</sub> untersucht in der 20l-Kammer.

Auch die Emissionen von DDT (dargestellt ist die Summe von o,p'-DDT und p,p'-DDT) aus den Platten zeigen den schon bekannten Verlauf, jedoch gilt einschränkend darauf hinzuweisen, dass die Blindwerte (Wert bei 0 Tagen) deutlich über Null liegen. Dieses Verhalten ist z. T. darauf zurückzuführen, dass DDT auch in den Schaumblindwerten in dieser Größenordnung zu finden war. Im weiteren Verlauf der Messungen enthielt der Schaumblindwert dann kein DDT mehr, die Ursache für diese Kontamination konnte leider nicht geklärt werden. Festzustellen bleibt, dass die Werte der ersten 20 Tage durch den hohen Schaumblindwert mit einem wesentlich höheren Fehler versehen sind, als die später gemessenen Konzentrationen.

### 4.3 VERGLEICH MATERIALGEHALTE UND LUFTKONZENTRATIONEN

Zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse sind die Tabellen 4-2 - 4-4 nach Bioziden geordnet zusammengefasst worden. Die Ergebnisse der theoretischen und der gemessenen Gehalte sowie der Luftemissionen werden in den Tabellen 4-5 - 4-8 dargestellt. Neben den Werten aus den Tabellen sind auch noch Quotienten aus jeweils zwei Spalten gebildet worden. Dabei werden die theoretischen mit den gemessenen Gehalten in den Materialien sowie die Luftemissionen mit den gemessenen Gehalten in den Materialien gegenübergestellt. Die letzte Spalte in diesen vier Tabellen ist sehr willkürlich gewählt, hier werden eigentlich ng/m<sup>3</sup> durch mg/kg geteilt die exakte Einheit ist dann kg/1000 m<sup>3</sup>. Diese Einheiten Angabe ist in den Tabellen nicht angegeben, dieser Quotient soll lediglich dazu dienen, einen möglichen Zusammenhang zwischen dem Gehalt und der Luftkonzentration aufzuzeigen.

**Tabelle 4-5: Lindan-Gehalte und -Luftkonzentrationen in den untersuchten Platten und Spänen.**

Probe	theor. Gehalt mg/kg	gem. Gehalt mg/kg	Emission ng/m <sup>3</sup>	Quotient theor./gem.	Quotient Emission/gem.
O <sub>2</sub>	-	-	-	-	-
MA <sub>2</sub>	0,4	0,5	6	0,8	12
MB <sub>2</sub>	1,2	0,7	9	1,7	13
MC <sub>2</sub>	2,2	1,5	15	1,5	10
A <sub>2</sub>	1,9	1,9	20	1,0	11
D <sub>2</sub>	0,4	0,9	16	0,4	18
BW <sub>B</sub>	0,03	-	-	-	-
P <sub>4</sub>	n.b.	-	6	-	-
P <sub>12</sub> *	n.b.	0,1	6	-	60
P <sub>12</sub> *	n.b.	0,1	5	-	50
P <sub>14</sub>	n.b.	0,4	6	-	15
B <sub>4</sub>	n.b.	0,1	-	-	-
BG	0,1	0,1	4		

\* zwei verschiedene Untersuchungen mit und ohne Schmalflächenversiegelung (s. Text)

BG: Bestimmungsgrenze

theor. Gehalt: theoretischer Gehalt s. Tabelle 4-2

gem. Gehalt: gemessener Gehalt s. Tabelle 4-3

In der Tabelle 4-5 sind zunächst die Konzentrationen und Gehalte für Lindan aufgelistet. Die vorletzte Spalte vergleicht die theoretischen mit den gemessenen Gehalten. Der Quotient schwankt dabei um den Wert 1, was weitgehend so zu deuten ist, dass nach der Plattenherstellung in etwa die Ausgangsmenge an Lindan in der fertigen Platte feststellbar ist. Dieses Verhältnis lässt sich natürlich nur bei den selbsthergestellten Platten angeben, da von den fertigen Platten der Spangehalt nicht bekannt ist. Die letzte Spalte weist durchweg einen zweistelligen Wert aus, wobei die meisten zwischen 10 und 20 liegen lediglich die Platte P<sub>12</sub> weicht stark davon ab. In diesem Fall liegen allerdings auch beide Werte, sowohl Gehalt als auch Luftkonzentration in der Nähe der jeweiligen BG, so dass diese Werte mit einem höherem Fehler versehen sind. Je weiter die gemessenen Werte von den Grenzwerten der Methode (Nachweis und Bestimmungsgrenze) entfernt sind, um so sicherer ist die Aussage. So wurden bei den selbsthergestellten Platten MC<sub>2</sub> und A<sub>2</sub> mit den höchsten Gehalten im Material auch die höchsten Luftkonzentrationen ermittelt. Diese Werte haben einen Quotienten um 10, die Platte D<sub>2</sub>, die ihre Hauptkonzentration in der äußeren Schicht besitzt, hat einen Quotienten bei 18.

**Tabelle 4-6: PCP-Gehalte und -Luftkonzentrationen in den untersuchten Platten und Spänen.**

<b>Probe</b>	<b>theor. Gehalt mg/kg</b>	<b>gem. Gehalt mg/kg</b>	<b>Emission ng/m<sup>3</sup></b>	<b>Quotient theor./gem.</b>	<b>Quotient Emission/gem.</b>
<b>O<sub>2</sub></b>	-	-	-	-	-
<b>MA<sub>2</sub></b>	0,7	0,2	0,7	3,5	3,5
<b>MB<sub>2</sub></b>	2,1	0,7	1	3	1,4
<b>MC<sub>2</sub></b>	4	1,4	3	2,9	2,1
<b>A<sub>2</sub></b>	3,6	0,3	1,5	12	5
<b>D<sub>2</sub></b>	0,7	0,7	4	1	5,7
<b>BW<sub>B</sub></b>	1	0,4	2	2,5	5
<b>P<sub>4</sub></b>	n.b.	2,1	3	-	1,4
<b>P<sub>12</sub>*</b>	n.b.	6,6	50	-	7,6
<b>P<sub>12</sub>*</b>	n.b.	6,6	30	-	4,5
<b>P<sub>14</sub></b>	n.b.	0,7	8	-	11,4
<b>B<sub>4</sub></b>	n.b.	0,7	2	-	2,9
<b>BG</b>	0,1	0,1	0,7		

\* zwei verschiedene Untersuchungen mit und ohne Schmalflächenversiegelung (s. Text)

BG: Bestimmungsgrenze

theor. Gehalt: theoretischer Gehalt s. Tabelle 4-2

gem. Gehalt: gemessener Gehalt s. Tabelle 4-3

Die Gegenüberstellung der theoretischen und der gemessenen Gehalte für PCP (Tabelle 4-6) zeigt für 4 von 6 Werten ein Verhältnis von ca. 3. Bei den fehlenden 2 wurde ein Verhältnis von 1 und von 12 ermittelt. Der eine Wert der beiden ist der für die aus Gebrauchtholz hergestellte Platte A<sub>2</sub> und der andere der für die Platte mit dem Hauptteil in der Deckschicht D<sub>2</sub>. Für den Quotienten aus Gehalt und der Emission ist kein klarer Zusammenhang abzulesen in einem Bereich von 1,4 bis 11,4 schwanken diese.

**Tabelle 4-7: Dichlofluorid-Gehalte und -Luftkonzentrationen in den untersuchten Platten und Spänen.**

Probe	theor. Gehalt mg/kg	gem. Gehalt mg/kg	Emission ng/m <sup>3</sup>	Quotient theor./gem.	Quotient Emission/gem.
0 <sub>2</sub>	-	-	-	-	-
MA <sub>2</sub>	1,6	0,1	3	16	30
MB <sub>2</sub>	4,6	1	7	4,6	7
MC <sub>2</sub>	8,8	2,3	13	3,8	6
A <sub>2</sub>	3,26	1,3	13	2,5	10
D <sub>2</sub>	1,52	0,7	20	2,2	29
BG	0,1	0,1	0,7		

\* zwei verschiedene Untersuchungen mit und ohne Schmalflächenversiegelung (s. Text)

BG: Bestimmungsgrenze

theor. Gehalt: theoretischer Gehalt s. Tabelle 4-2

gem. Gehalt: gemessener Gehalt s. Tabelle 4-3

Auch die in den Tabellen 4-7 und 4-8 aufgelisteten Werte für Dichlofluorid und DDT weisen keine eindeutige Tendenz zu eindeutigen Quotienten auf. Der Quotient aus theoretischem zu gemessenem Gehalt von ca. 3 und größer für Dichlofluorid weist auf einen deutlichen Verlust bei der Herstellung der Platten hin. Für DDT liegt dieser bei höchstens 1,2 und darunter. Der Quotient aus Luftkonzentration und gemessenen Gehalten zeigt auch für diese beiden Komponenten keine eindeutige Tendenz.

**Tabelle 4-8: DDT-Gehalte und -Luftkonzentrationen in den untersuchten Platten und Spänen.**

Probe	theor. Gehalt mg/kg	gem. Gehalt mg/kg	Emission ng/m <sup>3</sup>	Quotient theor./gem.	Quotient Emission/gem.
0 <sub>2</sub>	-	-	-	-	-
MA <sub>2</sub>	0,6	0,9	4	0,7	4,4
MB <sub>2</sub>	1,8	1,8	5	1,0	2,8
MC <sub>2</sub>	3,5	2,9	7	1,2	2,4
A <sub>2</sub>	2,3	4,1	7	0,6	1,7
D <sub>2</sub>	0,6	1,6	9	0,4	5,6
BG	0,1	0,1	0,7		

\* zwei verschiedene Untersuchungen mit und ohne Schmalflächenversiegelung (s. Text)

BG: Bestimmungsgrenze

theor. Gehalt: theoretischer Gehalt s. Tabelle 4-2

gem. Gehalt: gemessener Gehalt s. Tabelle 4-3

---

## 5 DISKUSSION

---

Holzwerkstoffplatten, für deren Herstellung Gebrauchthölzer mit Biozidgehalten unter 5 mg/kg eingesetzt werden, führen in jedem Fall zu Emissionen von weniger als 50 ng/m<sup>3</sup> in der Kammerluft. Dieses Ergebnis lässt sich aus den Emissionsuntersuchungen in Kapitel 4 ableiten. Werden die Gehalte in den Spänen vor der Plattenherstellung berücksichtigt, kann sogar von einer noch geringeren resultierenden Luftkonzentration ausgegangen werden. In der Tabelle 4-1 sind die Gehalte der Biozide in den Spänen und in Tabelle 4-2 die daraus resultierenden theoretischen Gehalte in den damit hergestellten Platten aufgelistet. Vergleicht man diese theoretischen mit den in den fertigen Laborplatten gefundenen Werte (Tabelle 4-3), fällt auf, dass in den Laborplatten zumeist deutlich weniger als erwartet gefunden wird. Die Tabellen 4-5 - 4-8 zeigen für die vier betrachteten Biozide diesen Vergleich noch einmal anschaulich in jeweils einer Tabelle.

Dieser Unterschied zwischen den theoretischen und den gemessenen Plattengehalten ist für PCP zumeist mit einem Faktor von 3 belegt, was bedeutet, dass die gefundenen ca. 3 mal kleiner als die erwarteten Werte sind, allerdings gibt es auch größere Abweichungen (s. Tabelle 4-6). Ebenfalls den Faktor von 2 bis 3 finden auch andere Studien [16, 17]. Diese Unterschiede können z. T. durch die relativ inhomogene Verteilung der belasteten Späne in der Platte herrühren. Deutlich wird dies auch, wenn berücksichtigt wird, dass lediglich in einer sehr schmalen Schicht von ca. 1-2 mm das Schutzmittel im behandelten Holz, welches anschließend zerspannt wurde, vorlag. Bei einer Materialstärke von ca. 20 mm ist somit ein großer Teil des Holzes unbehandelt. Zudem konnte auch von den gewonnenen Holzspänen aus behandelten Hölzern nur eine Teilmenge verwendet werden, um die gewünschten Konzentrationen in den Laborplatten zu erzeugen. Bei der Spanmischung in der Beleimungstrommel sind nur relativ wenige Späne die eigentlich Belasteten. Im Fall von PCP, bei dem insgesamt nur ca. 50 g Späne für die Herstellung verwendet wurden, die wiederum eine Mischung aus den stark kontaminierten Randbereichen und der weitgehend unbehandelten Mitte sind, kommt es vielleicht zu einer sehr inhomogenen Verteilung der belasteten Teilchen in der Laborplatte A<sub>2</sub>. Deshalb weicht möglicherweise der gefundene PCP-Gehalt in dieser Platte stark von den erwarteten Gehalten ab. Dies kann allerdings auch an der Probenahme liegen, da nur ca. 6-7 Bohrungen an verschiedenen Stellen der Platten vorgenommen wurden. Ein Einfluss der von einer Leimschicht umgebenen Holzteilchen kann auch nicht ausgeschlossen werden, so dass auch dieser Effekt zu den nachgewiesenen Minderbefunden beitragen kann.

Weiterhin auffällig sind die niedrigen Dichlofluanidgehalte in den Laborspanplatten, die stark von den theoretischen zu erwartenden Konzentrationen abweichen, wobei bei den frisch

getränkten Spänen Dichlofluanid noch mit der höchsten Konzentration von allen Bioziden gefunden wurde. Vermutlich wird diese leichtflüchtige Komponente bei der Plattenherstellung durch die hohe Temperatur oder auch durch den anfallenden Wasserdampf aus dem Material herausgetrieben (Tabelle 4-7). Lindan hingegen, welches auch ähnlich leichtflüchtig ist, zeigt nicht solch einen starken Abfall (Tabelle 4-5).

In vier Fällen wurde untersucht, ob ein deutlicher Unterschied zwischen der Biozidkonzentration in der Deckschicht und der im kompletten Querschnitt des Holzes besteht (Tabelle 4-3). Bei den Laborplatten MB<sub>2</sub> und MC<sub>2</sub> ist sehr deutlich zu sehen, dass die Deckschicht weitgehend unbelastet ist. Eine exakte Trennung von Deck und Mittelschicht bei der Probenahme ist jedoch nur schwer zu bewerkstelligen. Bei der industriellen Platte P<sub>12</sub>, die später noch ausführlicher besprochen wird, konnte kein deutlicher Unterschied zwischen der Deck- und Mittelschicht gefunden werden. Überraschenderweise auch nicht bei der Laborplatte D<sub>2</sub>, obwohl gerade hier die belasteten Späne nur in der Deckschicht eingesetzt wurden.

Von den in der Tabelle 4-3 aufgelisteten Platten wurden alle auf ihre Biozidemissionen in Emissionsmesskammern untersucht, die Emissionen nach 30 Tagen sind in der Tabelle 4-4 dargestellt. Vergleicht man beide Tabellen, spiegeln sich die Emissionen nur mit Einschränkungen in den Gehalten wieder. Im folgenden werden detailliert die Abweichungen der einzelnen Platten dargestellt und diskutiert.

Die Vorauswahl der ersten Untersuchungsmuster für die Emissionsmessungen erfolgte, wie in (Abbildung 4-1) dargestellt, zuerst aus den industriellen Platten der Hersteller oder Prüfinstitute sowie aus neuen fertigen Plattenmustern. Mit den höchsten Werten stach dabei die Platte P<sub>12</sub> hervor, die als erste in der Kammer untersucht wurde und zwar mit und ohne Schmalflächenversiegelung (Abbildungen 4-2 und 4-3). In beiden Fällen zeigt sich eine deutliche Emission von bis zu 55 ng/m<sup>3</sup> PCP und in geringen Konzentrationen auch eine von Lindan aus den Platten, allerdings ist die PCP Konzentration mit der Platte ohne Schmalflächenversiegelung (Abbildung 4-2) sogar geringer als aus der anderen Platte. Möglicherweise emittiert diese Platte vor allem aus der Deckschicht, obwohl Altholz üblicherweise nur in der Mittelschicht eingebracht wird. Die Schmalflächen können als Senkenflächen wirken, weshalb die Konzentration mit offenen Schmalflächen geringer ist. In der Tabelle 4-3 ist eine weitgehend homogene Verteilung des relativ hohen PCP-Gehaltes über den gesamten Plattenquerschnitt zu erkennen, auch in der Deckschicht mit über 5 mg/kg. Unterschiede zwischen den verschiedenen Platten und deren Oberflächen, die in der jeweiligen Emissionsuntersuchung eingesetzt wurden und den darin befindlichen Biozidkonzentrationen, können jedoch genauso für die unterschiedlichen Konzentrationsergebnisse verantwortlich sein. Der Einfluss einer homogenen oder inhomogenen Verteilung der belasteten Holzproben ist in den Platten nur mit einem sehr hohen analytischen Aufwand zu überprüfen.

Die Emissionsuntersuchungen der anderen drei industriellen Platten aus dem zu Beginn vorliegenden Sortiment (P<sub>4</sub>, P<sub>14</sub>, B<sub>4</sub>) zeigen jeweils nur sehr geringe Konzentrationen von unter 10 ng/m<sup>3</sup> PCP und bis zu 30 ng/m<sup>3</sup> Lindan. Vor allem die Lindan-Konzentration nimmt rasch ab und erreicht meist nach wenigen Wochen die Bestimmungsgrenze (BG = 4 ng/m<sup>3</sup>). Diese Platten enthielten jedoch auch maximal 2,1 mg/kg PCP und deutlich weniger Lindan (Tabelle 4-3). Konzentrationen der anderen interessierenden Biozide waren nicht nachweisbar.

Die Platte P<sub>14</sub> wurde direkt nach der Untersuchung der Platte P<sub>12</sub> in die gleiche Kammer ohne die übliche Reinigung eingebracht (Abbildung 4-6). Die hohen Anfangskonzentrationen von PCP sind auf Senkeneffekte zurückzuführen. Dabei hat sich während der Untersuchung der Platte P<sub>12</sub> an den Kammeroberflächen PCP abgeschieden, welches dann innerhalb der folgenden Wochen wieder abgegeben wird.

Die selbsthergestellten Laborplatten enthielten alle 4 Biozide. Analog zu den Materialuntersuchungen ist bei den drei Platten MA<sub>2</sub>, MB<sub>2</sub> und MC<sub>2</sub> die Abfolge in den Biozidkonzentrationen gut zu erkennen. Gerade PCP, die Komponente mit dem höchsten Interesse, weist bei diesen Untersuchungen nur sehr geringe Konzentrationen auf. Bei einem Gehalt von 1,5 mg/kg in der Platte MC<sub>2</sub> sind nur ca. 3 ng/m<sup>3</sup> nachweisbar. Allerdings enthält diese Platte auch kaum PCP in der Deckschicht (0,5 mg/kg) wohingegen D<sub>2</sub> mehr PCP in dieser Schicht enthält aber auch nicht zu höheren Emissionen führt. Ganz im Gegensatz zu der industriellen Platte P<sub>12</sub>, die doch immerhin um eine Größenordnung mehr emittiert. Diese hat jedoch auch eine Konzentration von ca. 6 mg/kg in der Deckschicht und liegt somit auch um ca. eine Größenordnung über der von D<sub>2</sub>. Also ist für die Emission in die Luft nicht nur der gesamte Plattengehalt entscheidend, sondern besonders die Konzentration in der Deckschicht. Eine Konzentration von ca. 5 mg/kg in der Deckschicht kann also durchaus zu einer nennenswerten PCP-Konzentration führen, wengleich diese noch deutlich unter dem Vorsorgewert von 0,1 µg/m<sup>3</sup> liegt [39].

Beim Biozid Lindan ist die bereits erwähnte Abstufung von MC<sub>2</sub> bis MA<sub>2</sub> deutlicher zu erkennen, wengleich die Konzentrationen aus der Laborplatte MA<sub>2</sub> schnell den Bereich der BG erreichen. Bei Lindan scheint der Einfluss der Deckschicht weniger ausgeprägt zu sein, obwohl sie wie in Abbildungen 4-9 und 4-10 zu erkennen doch vorhanden ist. A<sub>2</sub> und MC<sub>2</sub> haben ähnliche Materialgehalte, D<sub>2</sub> ca. die Hälfte davon, die Luft-Konzentrationen sind aber weitgehend vergleichbar. Bei Lindan führt ein im Vergleich zum PCP geringerer Gehalt zu leicht erhöhten Konzentrationen in der Kammerluft. In wie weit dies für Platten gilt, die z. B. auch 5 mg/kg oder mehr enthalten, lässt sich nicht exakt vorhersagen. Die Komponente Lindan sollte bei der Spanplattenherstellung jedoch auch in einem höherem Maße ausgasen, da die Späne üblicherweise vor dem eigentlichen Herstellungsprozess thermisch behandelt wird (zur

Trocknung). So kann es dort leicht zu einem deutlichen Austrag von Lindan kommen. Zudem ist Lindan in der Vergangenheit in deutlich geringeren Mengen in den Schutzmitteln eingesetzt worden und ist durch seine höhere Flüchtigkeit während der Gebrauchsdauer stärker verschwunden. Alles in allem ist in Gebrauchtholz eher mit niedrigen Lindangehalten zu rechnen.

Die Komponente Dichlofluanid wurde vor gut 15 Jahren verstärkt in den Holzschutz eingeführt. Bis heute findet sie noch breite Verwendung, z.B. als Bläueschutzmittel. In relativ jungem Gebrauchtholz kann diese Komponente also durchaus vorhanden sein. Für diese Komponente gilt allerdings das gleiche wie bereits beim Lindan festgestellt, dass es in geringeren Mengen als PCP eingesetzt wurde und dass es stärker flüchtig ist. Die in den Abbildungen 4-11 und 4-12 dargestellten Konzentrationsverläufe weisen eine hohe Übereinstimmung mit den Verläufen des Lindans auf.

Die Untersuchung der DDT-Emissionen aus Holzwerkstoffen zeigen die Abbildungen 4-13 und 4-14. Besonders auffällig ist, dass alle Kammeruntersuchungen mit einem relativ hohem Blankwert starten (s. auch Seite 42). Ansonsten verlaufen die Konzentrationen auf einem eher niedrigen Niveau. Trotz Gehalten von bis zu 4 mg/kg liegen die Kammerkonzentrationen nach ca. 4 Wochen nicht mehr über 10 ng/m<sup>3</sup>.

Die Emissions- und Materialuntersuchungen der Platten aus bereits vor einiger Zeit behandeltem Altholz und den frisch behandelten Spänen weisen deutliche Unterschiede vor allem bei den PCP- und DDT-Werten auf. Die Altholzspäne zeigten deutlich weniger PCP und gut doppelt soviel DDT wie theoretisch in den Platten eingesetzt wurde. Bei den selbstbehandelten Spänen war solch eine Tendenz nicht zu erkennen. Da aber nur die Platte A<sub>2</sub> aus gealterten Biozidbehandlungen eingesetzt werden konnte, kann dies auch ein rein zufälliges Ergebnis sein und nur durch eine inhomogene Verteilung der Späne in den Platten verursacht worden sein.

Die Untersuchungen der Biozidemissionen aus den Holzwerkstoffplatten hat gezeigt, dass es bei Einhaltung der 5 mg/kg PCP im Material nach der ChemVerbotsV [32] oder gar der 3 mg/kg nach der AhV [2], PCP-Emissionen im Bereich von maximal 50 ng/m<sup>3</sup> geben kann. Dies ist jedoch ein Spitzenwert und üblicherweise liegen diese Luftkonzentrationen unter 10 ng/m<sup>3</sup>. Diese Aussage gilt weitgehend auch für die anderen untersuchten Biozide. Für Lindan und Dichlofluanid gilt zu berücksichtigen, dass diese Komponenten während der Gebrauchsphase der Hölzer stärker verschwinden und in deutlich geringeren Mengen (ca.  $\frac{1}{10}$  der Menge mit der PCP oder DDT eingesetzt wurden) in den entsprechenden Formulierungen enthalten waren. DDT emittiert vergleichbar dem PCP und es stellen sich bei Gehalten bis zu 4 mg/kg Luftkonzentrationen in den Kammern von weniger als 10 ng/m<sup>3</sup> ein. Weiterhin zeigt der Vergleich zwischen theoretisch erzielbaren Konzentrationen in der Platte und den Konzentrationen in den

---

Spänen, dass hier noch ein weiterer Sicherheitsfaktor liegt. Werden für die Späne Maximalgehalte von 3 mg/kg gefordert, so sollte die Konzentration in einer daraus erzeugten Spanplatte sogar noch deutlich darunter liegen (s. Seite 47). Wendet man den Grenzwert von 3 mg/kg sogar nur auf den Teil des Gebrauchtholzes an, so ist bei einer Verdünnung von 1:10 vermutlich kein Biozid mehr in den fertigen Platten nachweisbar und messbare Emissionen in die Luft nicht vorhanden.

Für reale Innenräume liegen keine Messungen mit biozid belasteten Spanplatten vor. Es ist aber davon auszugehen, dass zum einen beschichtete Spanplatten mit kaschierten Schmalflächen im Innenraum verwendet werden und zum anderen sind die mit den idealisierten Messbedingungen der Emissionskammern erhaltenen Luftkonzentrationen üblicherweise deutlich höher als die in realen Räumen gemessenen. Dies gilt in besonderem Maße für schwerflüchtige organische Verbindungen, zu denen Biozide zu zählen sind.

---

## 6 LITERATUR

---

- 1 Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz - KrW-/AbfG) BGBl. I, 66, 2705-2728 (1994).
- 2 Verordnung über die Entsorgung von Altholz 2002, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2002 Teil I Nr. 59, Bonn am 23. August 2002  
(<http://217.160.60.235/BGBL/bgbl1f/bgbl102s3302.pdf>)
- 3 Verband der deutschen Holzwerkstoffindustrie: [www.vhi.de](http://www.vhi.de), 2002.
- 4 Frühwald, A, Scharai-Rad, M und Hasch, J. Ökologische Bewertung von Holzwerkstoffen. Abschlußbericht 2000, [http://www.bfafh.de/bibl/pdf/scharai\\_pub1.pdf](http://www.bfafh.de/bibl/pdf/scharai_pub1.pdf).
- 5 Larsen, A., Frost, L., Winther Funch, L.: Emission of Volatile Organic Compounds from Wood and Wood-based Material. Working Report 15, Danish Technological Institut, Wood Technology (2000).
- 6 Petrowitz, H.-J.: Zur Abgabe von Holzschutz-Wirkstoffen aus behandeltem Holz an die Raumluft. Holz als Roh- und Werkstoff 44 S. 341-346 (1986).
- 7 Marchal, P., Ozanne, G., Vasseur, P.: Glass Test Chamber Model to Evaluate Pesticide Air Emissions from Treated Wood. Indoor Built Environ. (1998) 47-53.
- 8 Reifenstein, H.: Erarbeitung versuchsmethodischer Grundlagen der Raumluftschadstoffbelastung bei der Anwendung von Holzschutzmitteln. Forschungsbericht Wissenschaftlich technisches Zentrum (WTZ) Arbeitsschutz der früheren DDR (1990).
- 9 Horn, W, Marutzky, R: Measuring of organic wood preservatives in indoor air – sampling and 1-m<sup>3</sup> chamber tests. Proceedings of the 6th International Conference on Indoor Air Quality and Climate – Indoor Air '93, Helsinki, Vol. 2, 513–518, (1993).
- 10 Horn, W., Marutzky, R.: Untersuchungen zur Bestimmung von organischen Holzschutzmittelwirkstoffen bzw. deren Abbauprodukten in der Luft von Wohngebäuden. Forschungsbericht Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI), Fraunhofer-Institut für Holzforschung, Braunschweig (1993).
- 11 Jann, O., Wilke, O., Walther, W., Ullrich, D.: Entwicklung eines standardisierbaren Prüfverfahrens zur Bestimmung des Eintrages von Holzschutzmittelwirkstoffen aus behandeltem Holz, Altholz und daraus hergestellten Holzwerkstoffen in die Luft. Forschungsbericht 226 06 003, UBA-FB 99-077, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung. UBA-Texte 51/99 (1999).

- 12 Jann, O., Wilke, O.: Sampling and analysis of wood preservatives in test chambers. In: Salthammer, T. (ed.): Organic Indoor Air Pollutants. Occurrence - Measurement - Evaluation: 31 - 43 (1999).
- 13 Schoknecht, U., Wegner, R., Horn, W., Jann, O.: Emission of Biocides from Treated Materials - Test Procedures for Water and Air. Environ Sci & Pollut Res, Vol 10, 154-161, (2002).
- 14 Schoknecht, U., Wegner, R., Horn, W., Jann, O.: Biozidemissionen aus Materialien. Forschungsbericht im Rahmen des UFOPLANS (Nr. 299 67 410), gefördert durch das Umweltbundesamt, Berlin (2002).
- 15 Horn, W., Jann, O., Burbiel, M., Wilke, O., Kalus, S.: Biocide Emissions from Materials into Indoor Air. Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate – Indoor Air 2002, Monterey, Californien, 2D4o5 (2002).
- 16 Marutzky, R., Strecker, M.: PCP-emissions of particleboards contaminated with PCP. WKI-Kurzbericht Nr. 27/1999, WKI, Braunschweig (1999).
- 17 Jann, O.: Zur Ermittlung der Schadstoffemission von Holzwerkstoffen aus Sekundärrohstoffen in der Innenraumverwendung. Dissertation, TU-Berlin, Fachbereich 21 - Umwelttechnik (1993).
- 18 Verein Deutscher Ingenieure (VDI): VDI-Richtlinie 4100 Blatt 4: Messen von Innenraumluftverunreinigungen: Messstrategie für Pentachlorphenol (PCP) und  $\gamma$ -Hexachlorcyclohexan (Lindan) in der Innenraumluft. VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 5, Beuth Verlag GmbH, Berlin (1997).
- 19 Verein Deutscher Ingenieure (VDI): VDI-Richtlinie 4101 Blatt 2: Messen von Innenraumluftverunreinigungen: Messen von Pentachlorphenol (PCP) und  $\gamma$ -Hexachlorcyclohexan (Lindan); GC/MS-Verfahren. VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 5, Beuth Verlag GmbH, Berlin (2000).
- 20 Verein Deutscher Ingenieure (VDI): VDI-Richtlinie 4101 Blatt 3: Messen von Innenraumluftverunreinigungen: Messen von Pentachlorphenol (PCP) und  $\gamma$ -Hexachlorcyclohexan (Lindan); GC/ECD-Verfahren. VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 5, Beuth Verlag GmbH, Berlin (Entwurf 2001).
- 21 Angerer, J., Ball, M., Bollmacher, H., Buck, M., Krämer, A., Woppowa, L: Zweiter Ringversuch der KRdL im VDI und DIN für die Bestimmung von Pentachlorphenol und Lindan in Luft. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 58, 333-336 (1998).
- 22 Lewis, R.G.; MacLeod, K.E.: Portable Sampler for Pesticides and Semivolatile Industrial Organic Chemicals in Air. Anal. Chem., 54, S. 310-315 (1982).

- 23 American Society for Testing and Materials: Standard practice for sampling and analysis of pesticides and polychlorinated biphenyls in indoor atmospheres. ASTM-Designation: D 4861-00, 324–338 (2000).
- 24 Schoknecht, U., Gunschera, J., Marx, H.N., Marx, G., Peyla, A., Schwarz, G.: Holzschutzmittelanalytik - Daten- und Literaturzusammenstellung für Wirkstoffe in geprüften Holzschutzmitteln. Forschungsbericht 225 der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (1998).
- 25 Stolz, P., Krooß, J., Thurmann, U. und Müller, H.: Verfahren zur Holzschutzmittelbestimmung - Statistik der Probenahme und Analytik der Holzschutzmittel in Altholz. Forschungsbericht 295 65 010/03 UBA-FB 99-081, UBA Texte 50/99 (1999).
- 26 Buhr, A., Genning, C., Salthammer, T.: Trace analysis of pentachlorophenol (PCP) in wood and wood-based products - comparison of sample preparation procedures. Fresenius J. Anal Chem **367**, 73-78 (2000).
- 27 Bartelt, C., Buge, H.G., Görner, W., Win, T.: Determination of chlorine and pentachlorophenol in wood. Fresenius J. Anal Chem **360**, 433-434 (1998).
- 28 Pohlandt, K., Bockelmann, C., Marutzky, R.: Concentration of pentachlorophenol and lindane in various assortments of wood. Chemosphere, **31/9**, 4025-4031 (1995).
- 29 Bockelmann, C.: Zusammensetzung, Sortierung und Verwertung von Altholz in der Bundesrepublik Deutschland, Dissertation TU Braunschweig (ISBN 3-931443-65-5), Verlag Papierflieger Clausthal-Zellerfeld (1996).
- 30 Becker R., Buge, H-G., Win, T.: Determination of pentachlorophenol (PCP) in waste wood - method comparison by a collaborative trial. Chemosphere, **47**, S. 1001-1006 (2002).
- 31 Umweltbundesamt (UBA): Umweltchemikalie Pentachlorphenol. UBA-Berichte 3/1987, Erich Schmidt Verlag, Berlin (1987).
- 32 Pentachlorphenol-Verbotsverordnung (PCP-V). BGBl. I (1989), S. 2235; bzw. Chemikalienverbotsverordnung (1993) Art. 1 der Verordnung über die Neuordnung und Ergänzung der Verbote und Beschränkungen des Herstellens, Inverkehrbringens und Verwendens gefährlicher Stoffe, Zubereitungen und Erzeugnisse nach § 17 des Chemikaliengesetzes (Chemikalienverbotsverordnung - ChemVerbotsV). BGBl. I (1996), S. 1151, ergänzt durch BGBl. I (1996), S. 1498.
- 33 CD Römpp Chemie Lexikon - Version 1.0: Georg Thieme Verlag, Stuttgart/New York (1995).
- 34 World Health Organization: "DDT and its derivatives", Environmental Health Criteria 9, WHO, Genf (1979).
- 35 Horn W., Roßkamp E. und Ullrich D.: Aktuelle DDT- und Lindan-Konzentrationen in Wohnräumen nach intensivem Holzschutzmitteleinsatz auf Dachböden in der Vergangenheit. UBA-Texte 70/99, Umweltbundesamt, Berlin (1999).

- 36 Baudisch C. und Prötsch J.: DDT- und Lindanexposition nach Anwendung von Holzschutzmitteln (Hylotox 59). Umweltmed Forsch Prax, Vol 5, 161-166 (2000).
- 37 Leibe B.: Holzschutzmittel im Einsatz - Bestandteile, Anwendungen, Umweltbelastungen. Bauverlag, Wiesbaden (1992).
- 38 Wilke, O.: Analytik von Holzschutzmittel-Wirkstoffen in Luft: Messungen in Emissionsprüfkammern. Dissertation FU-Berlin, FB Biologie, Chemie und Pharmazie (1999).
- 39 Ad-hoc-Arbeitsgruppe aus Mitgliedern der Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) des Umweltbundesamtes und des Ausschusses für Umwelthygiene der AGLMB. Richtwerte für die Innenraumluft: Pentachlorphenol. Bundesgesundheitsblatt 40, 234-236(1997).



# Bauforschung für die Praxis

- Brandschutzkosten im Wohnungsbau**  
Karl Deters  
Band 59, 2001, 245 S., Abb., Tab., kart.,  
ISBN 3-8167-4258-0  
€ 50,- | sFr 86,-
- Gemeinschaftliches Wohnen im Alter**  
R. Weeber, G. Wölfle, V. Rösner  
Band 58, 2001, 175 S., Abb., Tab., kart.,  
ISBN 3-8167-4257-2  
€ 46,- | sFr 79,-
- Entwicklung eines Bewertungssystems für  
ökonomisches und ökologisches Bauen  
und gesundes Wohnen**  
C.J. Diederichs, P. Getto, S. Streck  
Band 57, 2002, 230 S., mit CD-ROM, Abb.,  
Tab., kart., ISBN 3-8167-4256-4  
€ 50,- | sFr 86,-
- Vergabeverfahren und Baukosten**  
Hannes Weeber, Simone Bosch  
Band 56, 2001, 192 S., Abb., Tab., kart.,  
ISBN 3-8167-4255-6  
€ 50,- | sFr 86,-
- Konzepte für die praxisorientierte Instand-  
haltungsplanung im Wohnungsbau**  
Ralf Spilker, Rainer Oswald  
Band 55, 2000, 71 S., 5 Abb., zahlr. Tab.,  
kart., ISBN 3-8167-4254-8  
€ 22,- | sFr 39,50
- Bewährung innen wärmedämmter  
Fachwerkbauten**  
Problemstellung und daraus abgeleitete Kon-  
struktionsempfehlungen  
Reinhard Lamers, Daniel Rosenzweig, Ruth Abel  
Band 54, 2000, 173 S., 123 Abb., kart.,  
ISBN 3-8167-4253-X  
€ 25,- | sFr 44,-
- Überprüfbarkeit und Nachbesserbarkeit  
von Bauteilen - untersucht am Beispiel der  
genutzten Flachdächer**  
Rainer Oswald, Ralf Spilker, Klaus Wilmes  
Band 53, 1999, 133 S., 49 Abb., 4 Tab., kart.,  
ISBN 3-8167-4252-1  
€ 37,- | sFr 63,-
- Bauschadensfibel für den privaten  
Bauherrn und Hauskäufer**  
Rainer Oswald, Ruth Abel, Volker Schnapauff  
Band 52, 1999, 140 S., 19 Abb., 3 Tab., fester  
Einband, ISBN 3-8167-4251-3  
€ 25,- | sFr 44,-
- Balkone, kostengünstig und  
funktionsgerecht**  
Hannes Weeber, Margit Lindner  
Band 51, 1999, 146 S., 102 Abb., 26 Tab.,  
kart., ISBN 3-8167-4250-5  
€ 38,- | sFr 65,-
- Kostenfaktor Erschließungsanlagen**  
Hannes Weeber, Michael Rees  
Band 50, 1999, 226 S., 107 Abb., 15 Tab.,  
kart., ISBN 3-8167-4249-1  
€ 50,- | sFr 86,-
- Eigenleistung beim Bauen**  
Wie Eigentümer und Mieter sich am Bau ihrer  
Wohnung beteiligen können  
R. Weeber, H. Weeber, S. Kleebaur, H. Gerth,  
W. Pohrt  
Band 49, 1999, 154 S., 25 Abb., 12 Tab.,  
ISBN 3-8167-4248-3  
€ 22,- | sFr 39,50
- Kosteneinsparung durch Bauzeit-  
verkürzung**  
Barbara Bredenbals, Heinz Hullmann  
Band 48, 1999, 174 S., 38 Abb., 36 Tab.,  
ISBN 3-8167-4247-5  
€ 37,- | sFr 64,-
- Das wärme- und feuchteschutztechnische  
Verhalten von stählernen Fassadendurch-  
dringungen**  
Lutz Franke, Gernod Deckelmann  
Band 47, 1998, 74 S., 38 Abb., 13 Tab., kart.,  
ISBN 3-8167-4246-7  
€ 15,- | sFr 26,-
- Kostengünstige bauliche Maßnahmen zur  
Reduzierung des Energieverbrauchs im  
Wohnungsbestand**  
R. Oswald, R. Lamers, V. Schnapauff,  
R. Spilker, K. Wilmes  
Band 46, 1998, 100 S., 57 Abb., kart.  
ISBN 3-8167-4245-9  
€ 17,- | sFr 30,50
- Sicherung des baulichen Holzschutzes**  
Horst Schulze  
Band 45, 1998, 168 S., 136 Abb.,  
10 Tab., kart., ISBN 3-8167-4244-0  
€ 22,- | sFr 39,50
- Luftdichtigkeit von industriell errichteten  
Wohngebäuden in den neuen Bundes-  
ländern**  
Wolfgang Richter, Dirk Reichel  
Band 44, 1998, 88 S., 34 Abb., 15 Tab., kart.,  
ISBN 3-8167-4243-2  
€ 15,- | sFr 26,-
- Leitfaden Kostendämpfung im  
Geschoßwohnungsbau**  
Karl Deters, Joachim Arlt  
Band 43, 1998, 162 S., 135 Abb.,  
34 Tab., kart., ISBN 3-8167-4242-4  
€ 22,- | sFr 39,50
- Langzeitbewährung und Entwick-  
lungstendenzen von Kunststoff-Bau-  
produkten im Wohnungsbau**  
Dieter Arlt, Rainer Weltring  
Band 42, 1998, 137 S., 90 Abb., 7 Graph.,  
kart., ISBN 3-8167-4241-6  
€ 20,- | sFr 35,-
- Ausschreibungshilfen für recycling-  
gerechte Wohnbauten**  
Barbara Bredenbals, Wolfgang Willkomm  
Band 41, 1998, 172 S., 28 Abb., kart.  
ISBN 3-8167-4240-8  
€ 22,- | sFr 39,50
- Gebrauchsanweisung für Häuser**  
Volker Schnapauff, Silke Richter-Engel  
Band 40, 1997, 116 S., 4 Abb., 7 Tab., kart.,  
ISBN 3-8167-4239-4  
€ 19,- | sFr 34,-
- Ergänzender Neubau in bestehenden  
Wohnsiedlungen**  
H. Weeber, R. Weeber, M. Lindner, u. a.  
Band 39, 1997, 194 S., 230 Abb., kart.,  
ISBN 3-8167-4238-6  
€ 25,- | sFr 44,-
- Lüftung in industriell errichteten  
Wohnhäusern**  
Wilfried Jank  
Band 37, 1997, 66 S., 17 Abb., 12 Tab.,  
13 Tafeln, kart., ISBN 3-8167-4236-X  
€ 15,- | sFr 26,-
- Auswirkungen der neuen Wärmeschutz-  
verordnung auf den Schallschutz von  
Gebäuden**  
Siegfried Koch, Werner Scholl  
Band 36, 1997, 72 S., 33 Abb., 2 Tab., kart.,  
ISBN 3-8167-4235-1  
€ 15,- | sFr 26,-
- Baukostensenkung durch gesicherte Scha-  
densbeurteilung an aufwerksporigen  
Leichtbetonelementen der industriell errich-  
teten Wohnbauten der ehemaligen DDR**  
Mirko Neumann, Mathias Reuschel  
Band 35, 1997, 320 S., 227 Abb.,  
105 Tab., kart., ISBN 3-8167-4234-3  
€ 41,- | sFr 70,-
- Verhinderung von Emissionen aus  
Baustoffen durch Beschichtung**  
Lutz Franke, Martin Wesselmann  
Band 34, 1997, 68 S., 11 Abb., 9 Tab., kart.,  
ISBN 3-8167-4233-5  
€ 15,- | sFr 26,-
- Wärmedämmverbundsysteme  
(WDVS) im Wohnungsbau**  
Institut für Bauforschung e.V., Hannover  
Band 32, 1997, 250 S., 128 Abb.,  
20 Tab., kart., ISBN 3-8167-4231-9  
€ 30,- | sFr 51,50

**BESTELLSCHEIN**

**Titel ankreuzen und im Umschlag oder  
per Fax (07 11) 970 - 25 08 oder -25 07  
senden an:**  
 **Fraunhofer IRB Verlag**  
 Fraunhofer-Informationszentrum  
 Raum und Bau IRB  
 **Postfach 80 04 69, D-70504 Stuttgart**  
 **Telefon (07 11) 970 - 25 00**  
 **E-Mail: info@irb.fhg.de**  
 **URL: http://www.IRBbuch.de**  
 **Absender** .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 **Straße/PF** .....  
 .....  
 **PLZ/Ort** .....  
 .....  
 **Datum** .....  
 .....  
 **Unterschrift** .....

02/2002 [BfP-alle|Titel-Anzeige.qxd]

- Niedrigenergiehäuser unter Verwendung des Dämmstoffes Styropor**  
Teil 1, Konstruktionsempfehlungen und optimierte Anschlußsituationen (Details)  
W.-H. Pohl, S. Horschler, R. Pohl  
Teil 2, Quantitative Darstellung der Wirkung von Wärmebrücken  
Gerd Hauser, Horst Stiegel  
Band 31, 1997, 294 S., 169 Abb., kart., ISBN 3-8167-4230-0  
€ 14,- | sFr 25,-
- Fenster - Sanierung und Modernisierung**  
Hans-Rudolf Neumann  
Band 30, 1997, 134 S., 90 Abb., 11 Tab., kart., ISBN 3-8167-4229-7  
€ 20,- | sFr 35,-
- Schäden an nicht industriell hergestellten Wohnbauten der neuen Bundesländer**  
R. Oswald, R. Spilker, V. Schnapauff, u. a.  
Band 29, 1996, 116 S., 66 Abb., 30 Tab., kart., ISBN 3-8167-4228-9  
€ 17,- | sFr 30,50
- Parkierungsanlagen im verdichteten Wohnungsbau**  
Hannes Weeber, Rotraut Weeber  
Band 28, 1997, 156 S., 60 Abb., 28 Tab., kart., ISBN 3-8167-4227-0  
€ 22,- | sFr 39,50
- Möglichkeiten der Einsparung von Wohnkosten durch Mieterbeteiligung**  
M. Elff, K. Goldt, B. Harms, u. a.  
Band 27, 1997, 157 S., 3 Abb., 8 Tab., kart., ISBN 3-8167-4226-2  
€ 22,- | sFr 39,50
- Die Berechnung von Flachdecken über Zustands- und Einflußflächen**  
Max Baerschneider  
Band 26, 1996, 380 S., 196 Tab., kart., zweibändig, ISBN 3-8167-4225-4  
€ 49,- | sFr 83,50
- Feuchttransportvorgänge in Stein und Mauerwerk - Messung und Berechnung**  
M. Krus, H.-M. Künzel, K. Kießl  
Band 25, 1996, 75 S., 31 Abb., 2 Tab., kart., ISBN 3-8167-4224-6  
€ 15,- | sFr 26,-
- Wohngebäudesanierung und Privatisierung**  
Hannes Weeber, Michael Rees  
Band 24, 1996, 107 S., 51 Abb., 17 Tab., kart., ISBN 3-8167-4223-8  
€ 20,- | sFr 35,-
- Der Feuchtehaushalt von Holz-Fachwerkwänden**  
Helmut Künzel  
Band 23, 1996, 85 S., 32 Abb., 10 Tab., kart., ISBN 3-8167-4222-X  
€ 15,- | sFr 26,-
- Neue Konstruktionsalternativen für recyclingfähige Wohngebäude**  
Barbara Bredenbals, Wolfgang Willkomm  
Band 22, 1996, 110 S., 26 Abb., 3 Tab., kart., ISBN 3-8167-4221-1  
€ 17,- | sFr 30,50
- Standisicherheit der Wohnbauten in Fertigteilbauweise in den neuen Bundesländern**  
E. Cziesielski, N. Fouad, F.-U. Vogdt  
Band 21, 1996, 226 S., 71 Abb., kart., ISBN 3-8167-4220-3  
€ 30,- | sFr 51,50
- Sicherheit von Glasfassaden**  
X. Shen, H. Techen, J. D. Wörner  
Band 20, 1996, 38 S., 26 Abb., 4 Tab., kart., ISBN 3-8167-4219-X  
€ 12,- | sFr 21,50
- Kostengünstige Umnutzung aufgegebener militärischer Einrichtungen für Wohnzwecke, Wohnergängungseinrichtungen und andere Nutzungen**  
B. Jacobs, J. Kirchoff, J. Mezler  
Band 19, 1996, 204 S., zahlreiche Abb., kart., ISBN 3-8167-4218-1  
€ 28,- | sFr 47,50
- Holztafelbauweise im mehrgeschossigen Wohnungsbau**  
Barbara Bredenbals, Heinz Hullmann  
Band 18, 1996, 237 S., 116 Abb., 23 Tab., kart., ISBN 3-8167-4217-3  
€ 30,- | sFr 51,50
- Gefährdungspotentiale asbesthaltiger Massenbaustoffe in den neuen Bundesländern**  
Klaus Bergner, unter Mitarbeit von Franka Stodollik und Hans-Otto Eckler  
Band 17, 1996, 75 S., 26 Abb., 9 Tab., kart., ISBN 3-8167-4216-5  
€ 15,- | sFr 26,-
- Transparent gedämmte Altbauten**  
G. H. Bondzio, K. Brandstetter, P. Sulzer, S. Al Bosta, u. a.  
Band 15, 1996, 130 S., 44 Abb., 7 Tab., kart., ISBN 3-8167-4214-9  
€ 22,- | sFr 39,50
- Kosten und Techniken für das "Überwintern" erhaltenswerter Bausubstanz**  
Michael Rees, Hannes Weeber  
Band 14, 1995, 190 S., zahlreiche Abb., kart., ISBN 3-8167-4213-0  
€ 25,- | sFr 44,-
- Menschengerechte Raumklimatisierung durch Quelllüftung und Flächenkühlung**  
Erhard Mayer (Hrsg.)  
Band 13, 1995, 190 S., zahlreiche Abb., kart., ISBN 3-8167-4212-2  
€ 25,- | sFr 44,-
- Zusätzliche Wärmedämmsysteme bei Fertigteilbauten**  
Typenserie P2  
P. Bauer, B. Loeser, H. Schwarzig, T. Spengler  
Band 12, 1995, 118 S., zahlreiche Abb., kart., ISBN 3-8167-4211-4  
€ 20,- | sFr 35,-
- Körperschalldämmung von Sanitärräumen**  
Karl Gösele, Volker Engel  
Band 11, 1995, 76 S., zahlreiche Abb., kart., ISBN 3-8167-4210-6  
€ 15,- | sFr 26,-
- Bauschäden an Holzbalkendecken in Feuchtraumbereichen**  
Gertraud Hofmeister  
Band 9, 1995, 210 S., zahlreiche Abb., kart., ISBN 3-8167-4208-4  
€ 25,- | sFr 44,-
- Ökologische Auswirkungen von Hochhäusern**  
Band 8, 1995, 418 S., 114 Abb., kart., ISBN 3-8167-4207-6  
€ 50,- | sFr 86,-
- Wohnhochhäuser heute**  
H. Weeber, R. Weeber, M. Hasenmaier, u. a.  
Band 7, 1995, 165 S., zahlreiche Abb., kart., ISBN 3-8167-4206-8  
€ 25,- | sFr 44,-
- Abfallvermeidung in der Bauproduktion**  
Barbara Bredenbals, Wolfgang Willkomm  
Band 6, 1994, 198 S., 75 Abb., 16 Tab., kart., ISBN 3-8167-4205-X  
€ 25,- | sFr 44,-
- Barrierefreie Erschließungssysteme von Wohngebäuden**  
R. Weeber, M. Rees, H. Weeber  
Band 5, 1994, 64 S., 52 Abb., 6 Tab., kart., ISBN 3-8167-4204-1  
€ 12,- | sFr 21,50
- Die Ausführung des Umkehrdaches bei erhöhten Anforderungen an den Wärmeschutz**  
Lutz Franke, Gernod Deckelmann  
Band 4, 1994, 80 S., zahlreiche Abb. und Tab., kart., ISBN 3-8167-4203-3  
€ 20,- | sFr 35,-
- Niveaugleiche Türschwellen bei Feuchträumen und Dachterrassen**  
R. Oswald, A. Klein, K. Wilmes  
Band 3, 1994, 56 S., 48 Abb., kart., ISBN 3-8167-4202-5  
€ 12,- | sFr 21,50
- Wohnbauten in Fertigteilbauweise in den neuen Bundesländern**  
R. Oswald, V. Schnapauff, R. Lamers, u. a.  
Band 2, 1995, 333 S., 515 Abb., kart., ISBN 3-8167-4201-7  
€ 40,- | sFr 69,50
- Heizung und Lüftung im Niedrigenergiehaus**  
Gerhard Hausladen, Peter Springl  
Band 1, 1994, 214 S., 74 Abb., 17 Tab., kart., ISBN 3-8167-4200-9  
€ 25,- | sFr 44,-
- Informieren Sie mich bitte laufend über neue **Fachbücher**

## BESTELLSCHEIN

**Titel ankreuzen und im Umschlag oder per Fax (07 11) 970 - 2508 oder -2507 senden an:**

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum  
 Raum und Bau IRB

Postfach 80 04 69, D-70504 Stuttgart

Telefon (07 11) 970 - 25 00

E-Mail: [info@irb.fhg.de](mailto:info@irb.fhg.de)

URL: <http://www.IRBbuch.de>

Absender .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 Straße/PF .....  
 .....  
 PLZ/Ort .....  
 .....  
 Datum .....  
 .....  
 Unterschrift .....

# Schadenfreies Bauen

Herausgegeben von Professor Günter Zimmermann

- Schadenfreies Bauen**  
**Gesamtausgabe Bände 1 – 26**  
2002, alle Bände mit festem Einband  
ISBN 3-8167-5796-0  
€ 1037,- | sFr 1744,-  
Bei Abnahme der Gesamtausgabe sparen Sie € 115,-
- Schäden an polymeren Beschichtungen**  
Robert Engelfried  
Band 26: 2001, 146 S., 94 Abb., 14 Tab.,  
ISBN 3-8167-5795-2  
€ 40,- | sFr 68,50
- Schäden an Belägen und Bekleidungen mit Keramik- und Werksteinplatten**  
Günter Zimmermann  
Band 25: 2001, 200 S., 175 Abb., 16 Tab.,  
ISBN 3-8167-5791-X  
€ 48,- | sFr 82,50
- Schäden an Installationsanlagen**  
Heizungs- und Raumluftechnische Anlagen,  
Trinkwasser-, Abwasser- und Gasinstallationsanlagen  
Heinz Wirth, Stefan Wirth  
Band 24: 2001, 270 S., 114 Abb., 33 Tab.,  
ISBN 3-8167-5790-1  
€ 57,- | sFr 96,-
- Schäden an Türen und Toren**  
Ralf Schumacher  
Band 23: 2001, 372 S., 291 Abb., 32 Tab.,  
ISBN 3-8167-4169-X  
€ 71,- | sFr 118,-
- Schäden an elastischen und textilen Bodenbelägen**  
Hans-Joachim Scheewe  
Band 22: 2001, 232 S., 80 überw. farb. Abb.,  
50 Tab.,  
ISBN 3-8167-4168-1  
€ 50,- | sFr 86,-
- Schäden an Glasfassaden und -dächern**  
Peter Küffner, Oliver Lummertzheim  
Band 21: 2000, 132 S., 106 z.T. farb. Abb.,  
6 Tab.,  
ISBN 3-8167-4165-7  
€ 40,- | sFr 68,50
- Schäden an Wärmedämm-Verbundsystemen**  
Erich Cziesielski, Frank Ulrich Vogdt  
Band 20: 2000, 202 S., 75 Konstruktionsskizzen,  
28 Tab. u. Diagramme, 98 Fotos,  
ISBN 3-8167-4164-9  
€ 50,- | sFr 86,-
- Schäden an Außenwänden aus Mehrschicht-Betonplatten**  
Ralf Ruhnau, Nabil Fouad  
Band 19: 1998, 104 S., 61 Abb.; 7 Tab.,  
ISBN 3-8167-4160-6  
€ 35,- | sFr 60,50
- Schäden an Deckenbekleidungen und abgehängten Decken**  
Hubert Satzger  
Band 18: 1998, 78 S., 59 Abb., 5 Tab.,  
ISBN 3-8167-4159-2  
€ 23,- | sFr 40,50
- Schäden an Dränanlagen**  
Wilfried Muth  
Band 17: 1997, 114 S., 128 Abb., 10 Tab.,  
ISBN 3-8167-4154-1  
€ 35,- | sFr 60,50
- Tauwasserschäden**  
Richard Jenisch  
Band 16: 2. überarb. Aufl., 2001, 129 S.,  
66 Abb., 6 Tab., ISBN 3-8167-5792-8  
€ 37,- | sFr 62,50
- Schäden an Estrichen**  
Klaus G. Aurnhammer  
Band 15: 2., erg. Aufl., 1999, 216 S., 44 Abb.;  
17 Tab.,  
ISBN 3-8167-4162-2  
€ 46,- | sFr 78,-
- Schäden an Tragwerken aus Stahlbeton**  
Bernhard Brand, Gerhard Glatz  
Band 14: 1996, 217 S., 129 Abb., 24 Tab.,  
ISBN 3-8167-4153-3  
€ 46,- | sFr 78,-
- Schäden an Außenwänden aus Ziegel- und Kalksandstein-Verblendmauerwerk**  
Helmut Klaas, Erich Schulz  
Band 13: 1995, 224 S., 162 Abb., 13 Tab.,  
ISBN 3-8167-4152-5  
€ 46,- | sFr 78,-
- Schäden an Metallfassaden und -dachdeckungen**  
Franz Lubinski, Fritz Röbber, Uwe Nagel, u. a.  
Band 12: 2. erw. Aufl., 2001, 415 S., 303  
Abb., 22 Tab.,  
ISBN 3-8167-4166-5  
€ 76,- | sFr 127,-
- Schäden an Außenmauerwerk aus Naturstein**  
Martin Sauder, Renate Schloenbach  
Band 11: 1995, 274 S., 95 Abb., 31 Tab.,  
ISBN 3-8167-4150-9  
€ 50,- | sFr 86,-
- Schäden an Außenwänden mit Asbestzement-, Faserzement- und Schieferplatten**  
Klaus W. Liersch  
Band 10: 1995, 146 S., 86 Abb., 20 Tab.,  
ISBN 3-8167-4149-5  
€ 38,- | sFr 65,-
- Schäden an Fassadenputzen**  
Helmut Künzel  
Band 9: 2. erw. Aufl., 2000, 142 S., mit zahlr.  
Abb. und Tab.,  
ISBN 3-8167-4167-3  
€ 38,- | sFr 65,-
- Schäden an Abdichtungen in Innenräumen**  
Erich Cziesielski, Michael Bonk  
Band 8: 1994, 112 S., 55 Abb., 4 Tab.,  
ISBN 3-8167-4147-9  
€ 33,- | sFr 57,-
- Rissschäden an Mauerwerk**  
Ursachen erkennen - Rißschäden vermeiden.  
Werner Pfefferkorn  
Band 7: 3. überarb. Aufl., 2002, 292 S.,  
290 Abb., 18 Tab.,  
ISBN 3-8167-5793-6  
€ 53,- | sFr 89,-
- Schäden an Fenstern**  
Wolfgang Klein  
Band 6: 1994, 154 S., 92 Abb., 2 Tab.,  
ISBN 3-8167-4145-2  
€ 37,- | sFr 64,-
- Schäden an Wänden und Decken in Holzbauart**  
Horst Schulze  
Band 5: 1993, 158 S., 140 Abb.,  
ISBN 3-8167-4144-4  
€ 37,- | sFr 64,-
- Schäden an Industrieböden**  
Erich Cziesielski, Thomas Schrepfer  
Band 4: 2., erw. Aufl., 1999, 169 S., 69 Abb.,  
33 Tab.,  
ISBN 3-8167-4163-0  
€ 46,- | sFr 78,-
- Schäden an Sichtbetonflächen**  
Heinz Klopfer  
Band 3: 1993, 123 S., 77 Abb., 9 Tab.,  
ISBN 3-8167-4142-8  
€ 35,- | sFr 60,50
- Schäden an Flachdächern und Wannenaus wasserundurchlässigem Beton**  
Gottfried C.O. Lohmeyer  
Band 2: 3. neu bearb. Aufl., 2001, 272 S.,  
171 Abb., 28 Tab.,  
ISBN 3-8167-5794-4  
€ 50,- | sFr 86,-
- Schäden an Außenwandfugen im Beton- und Mauerwerksbau**  
Ralf Ruhnau  
Band 1: 1992, 132 S., 87 Abb.,  
ISBN 3-8167-4140-1  
€ 35,- | sFr 60,50

## BESTELLSCHEIN

**Titel ankreuzen und im Umschlag oder per Fax (07 11) 970 - 25 08 oder -25 07 senden an:**  
 **Fraunhofer IRB Verlag**  
 Fraunhofer-Informationszentrum  
 Raum und Bau IRB  
 **Postfach 80 04 69, D-70504 Stuttgart**  
 **Telefon (07 11) 970 - 25 00**  
 **E-Mail: info@irb.fhg.de**  
 **URL: http://www.IRBbuch.de**

**Absender** .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 **Straße/PF** .....  
 .....  
 **PLZ/Ort** .....  
 .....  
 **Datum** .....  
 .....  
 **Unterschrift** .....

02/2002 [sFBalle Titel-AnzeigeA4.qxd

# Die »Bauschäden-Sammlung« in 13 Bänden

Herausgegeben von Professor Günter Zimmermann



In der Fachwelt hat diese Zusammenstellung von typischen Bauschadensfällen als wichtiger Beitrag zur Verbesserung der Bau- und Planungsleistungen großes Ansehen erlangt.

Die 13 Bände mit dem Untertitel »Sachverhalt - Ursachen - Sanierung« enthalten Schadensberichte aus allen baukonstruktiven Bereichen und sind durch Themen- und Sachregister erschlossen.

Der Nutzer kann so auf Anhieb feststellen,

- ob ein gleicher oder ähnlicher Schaden bereits dokumentiert ist,
- welche Schäden für ein bestimmtes Bauteil typisch sind,
- wie diese Schäden vermieden werden können oder welche Maßnahmen zu ihrer Behebung in Frage kommen.

Seit 3 Jahrzehnten ist die »Bauschäden-Sammlung« eine ständige Rubrik des »Deutschen Architektenblattes«.

## Bauschäden-Sammlung, Band 13 Sachverhalt - Ursachen - Sanierung

2001, 184 Seiten,  
zahlreiche, überwiegend farbige  
Abbildungen, fester Einband,  
ISBN 3-8167-4185-1  
€ 27,- | sFr 44,-

Der Herausgeber

Professor Günter Zimmermann, ein bekannter Bausachverständiger mit langjähriger Erfahrung, betreut seit 3 Jahrzehnten die »Bauschäden-Sammlung« im »Deutschen Architektenblatt« und ist auch für die Herausgabe der Buchausgabe verantwortlich.

## BESTELLSCHEIN

- Band 1: 168 Seiten  
€ 27,- | sFr 44,-
- Band 2: 168 Seiten  
€ 27,- | sFr 44,-
- Band 3: 168 Seiten  
€ 27,- | sFr 44,-
- Band 4: 168 Seiten  
€ 27,- | sFr 44,-
- Band 5: 168 Seiten  
€ 27,- | sFr 44,-
- Band 6: 168 Seiten  
€ 27,- | sFr 44,-
- Band 7: 168 Seiten  
€ 27,- | sFr 44,-
- Band 8: 168 Seiten  
€ 27,- | sFr 44,-
- Band 9: 184 Seiten  
€ 27,- | sFr 44,-
- Band 10: 184 Seiten  
€ 27,- | sFr 44,-
- Band 11: 184 Seiten  
€ 27,- | sFr 44,-
- Band 12: 184 Seiten  
€ 27,- | sFr 44,-
- Band 13: 184 Seiten  
€ 27,- | sFr 44,-

### Sie sparen € 36,- bei Abnahme der

- Bände 1-13 komplett:  
€ 315,- | sFr 476,-

Alle Bände im Format A 5 quer, mit zahlreichen, zum Teil farbigen Abbildungen, festem Einband und Fadenheftung

Titel ankreuzen und im Umschlag oder per Fax (07 11) 970 - 25 08 oder -25 07 senden an:

### Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum  
Raum und Bau IRB

Postfach 80 04 69, D-70504 Stuttgart  
Telefon (07 11) 9 70 - 25 00  
E-Mail: [info@irb.fhg.de](mailto:info@irb.fhg.de)  
URL: <http://www.IRBbuch.de>

Absender .....

Straße/PF .....

PLZ/Ort .....

Datum .....

Unterschrift .....

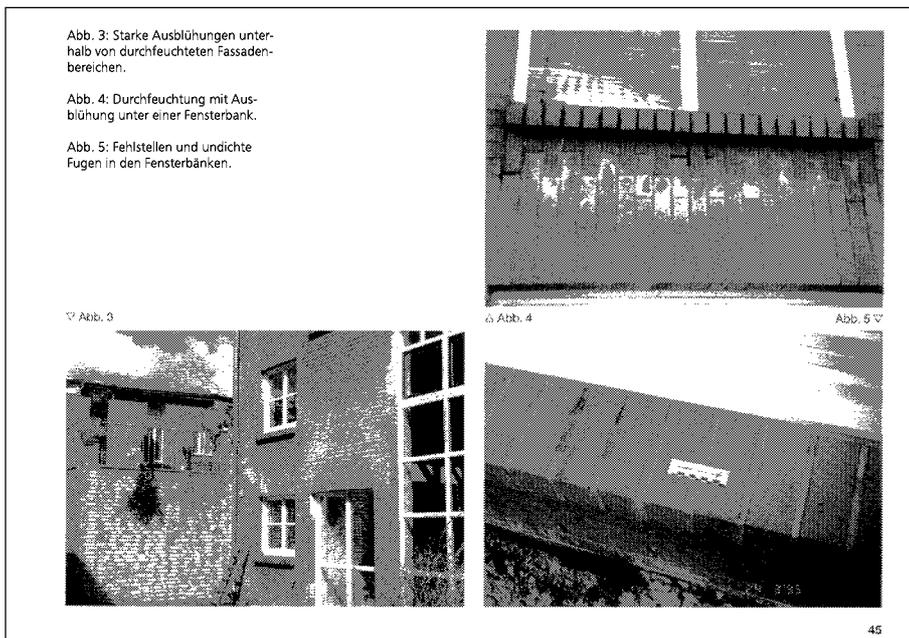


Abb. 3: Starke Ausblühungen unterhalb von durchfeuchteten Fassadenbereichen.

Abb. 4: Durchfeuchtung mit Ausblühung unter einer Fensterbank.

Abb. 5: Fehlstellen und undichte Fugen in den Fensterbänken.

Abb. 3

Abb. 4

Abb. 5