

Abgabe von Holzschutzwirkstoffen aus chemisch geschützten Bauhölzern

T 1534

T 1534

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

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

© by Fraunhofer IRB Verlag

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

www.baufachinformation.de

Forschungsvorhaben: Abgabe von Holzschutzwirkstoffen aus
chemisch geschützten Bauhölzern

Forschende Stelle: Bundesanstalt für Materialprüfung
Fachgruppe "Biologische Materialprüfung"
Unter den Eichen 87
1000 Berlin 45

Berichterstatter: Dr.-Ing. H.-J. Petrowitz

Datum: 31. Oktober 1985

A b s c h l u ß b e r i c h t

(Geschäftszeichen IV/1-5-288/82)

1. Einleitung

Der vorbeugende Schutz von Holz gegen den Angriff von holzzerstörenden Insekten und Pilzen erfordert die Anwendung von Holzschutzmitteln mit insektiziden und fungiziden Wirkstoffen. Mangelhafte oder fehlende vorbeugende Schutzmaßnahmen aber begünstigen einen Befall des Holzes durch holzzerstörende Organismen, was gegebenenfalls geeignete Bekämpfungsmaßnahmen erforderlich macht. Lediglich dort wo konstruktive Maßnahmen das Holz vor unzulässig hoher Holzfeuchte zu schützen vermögen bzw. wo ein Angriff holzzerstörender Insekten nicht befürchtet werden muß, kann auf die Anwendung von Holzschutzmitteln verzichtet werden.

Nun ist seit langer Zeit bekannt, daß bei einer Reihe von Holzschutzmitteln ein Teil der in das Holz eingebrachten Wirkstoffe wieder entweicht und über die Gasphase an die Umgebung abgegeben wird. Zunächst stand bei Betrachtungen im Zusammenhang mit dieser Eigenschaft die Frage im Vordergrund, ob auch nach längerer Gebrauchsdauer eine noch ausreichende Menge an Wirkstoffen im Holz verbleibt, um es vor Pilz- und Insekten-Schäden zu schützen. Erst in den letzten Jahren fanden Angaben über die Konzentration von Wirkstoffen in der Raumluft nach Anwendung von Holzschutzmitteln zunehmendes Interesse, wobei zu bemerken ist, daß die Verwendung von bestimmten wirkstoffhaltigen Holzschutz-Lasuren aus vornehmlich dekorativen Gründen in bewohnten Innenräumen diesem Problem besondere Aktualität verliehen hat. In geschlossenen Räumen ist zu befürchten, daß sich unter ungünstigen Bedingungen eine relativ hohe Wirkstoff-Konzentration in der Raumluft aufbaut.

Während zunächst bei den Untersuchungen aus der Differenz der Anwendungs-Menge und der im Holz verbliebenen, analytisch erfaßten Wirkstoff-Menge die entsprechende Raumluft-Konzentration errechnet wurde, erfolgten dann später direkte Messungen in Räumen bzw. bei Modellversuchen.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, im Rahmen eines IfBt-Werkvertrages eine Versuchsmethode zu entwickeln, mit der in möglichst einfacher Verfahrensweise die Wirkstoff-Abgabe aus chemisch geschütztem Bauholz in Abhängigkeit von der Zeit bestimmt werden kann. Mit Hilfe dieses Verfahrens sollten dann die Konzentrationen von Lindan und Pentachlorphenol aus verschiedenen modellartigen und handelsüblichen Holzschutzmitteln in der Raumluft ermittelt werden. Im Verlauf unserer Untersuchungen zeigte sich dann, daß es wichtig und sinnvoll war, die Versuche mit zwei Holzarten durchzuführen und die Wirkstoffe Endosulfan und Dichlofluorid einzubeziehen. Außerdem sollte auch eine Apparatur zur Messung von Fluorwasserstoff in der Raumluft entwickelt und erprobt werden.

Eine wichtige Voraussetzung für die Eignung des Untersuchungsverfahrens für Reihenuntersuchungen war die einwandfreie Adsorption und Desorption der Wirkstoffe. Die sich daran anschließende quantitative Bestimmung der einzelnen Wirkstoffe konnte dann mit Hilfe der Gas-Chromatographie in bewährter Weise ausgeführt werden. Die quantitative Analyse des Fluorwasserstoffs erfolgte mit einer Ionen-sensitiven Elektrode.

Im folgenden wird zunächst über die Wirkstoff-Adsorption berichtet und anschließend auf die Raumluft-Konzentration der Wirkstoffe unter verschiedenen Bedingungen eingegangen.

2. Die Adsorption der Wirkstoffe aus der Raumluft

Von erheblicher Bedeutung für den erfolgreichen Einsatz eines Verfahrens zur Ermittlung der Wirkstoff-Konzentration in der Raumluft ist die Art und Reproduzierbarkeit der Adsorption der Wirkstoffe aus der Luft. Sie muß quantitativ erfolgen, und es muß anschließend möglich sein, die Wirkstoffe auch wieder quantitativ und unzersetzt aus dem Adsorptionsmittel zu eluieren.

In bestimmten Fällen dagegen kann der Wirkstoff in einem flüssigen Medium aufgefangen werden; auf diese Weise wird Pentachlorphenol (PCP) und Fluorwasserstoff (HF) - auch im Rahmen dieser Untersuchungen - gebunden. Es erfolgt hierbei also nicht eine Adsorption, sondern die Bindung des PCP bzw. HF in einer alkalischen Auffangflüssigkeit vollzieht sich über eine chemische Reaktion.

Auch die Löslichkeit eines Wirkstoffes kann zum Auffangen genutzt werden, doch erfolgt der Lösungsvorgang meist nur quantitativ, wenn die Auffanggefäße mit dem Lösungsmittel stark gekühlt werden (10).

Eine bedeutungsvolle Möglichkeit, chlorierte Kohlenwasserstoffe zu binden, ist ihre Adsorption an festen Materialien. Wir haben in einer Reihe von Parallel-Versuchen geprüft, welche Stoffe bei unseren Untersuchungen am besten geeignet sind und möglichst alle in Frage kommenden Wirkstoffe adsorbieren. Außerdem war es erforderlich, daß das Adsorptions-Medium eine genügend große Aufnahme-Kapazität besitzt und daß durch das Mineralöl aus dem öligen Holzschutzmittel, welches in der Anfangsphase des jeweiligen Versuches in der Luft anwesend ist, keine Beeinträchtigung der Wirkstoff-Adsorption hervorgerufen wird. Schließlich mußte vermieden werden, daß es bei den zu bestimmenden Stoffen am Adsorptions-Medium zu Zersetzungen kommt, womit beim Einsatz von Sorbentien stets zu rechnen ist (12).

Zu den möglichen Adsorbentien zählen Silicagel (23), Aluminiumoxid (5) und auch Chromosorb (21) in jeweils geeigneter Aktivitätsstufe und Korngröße. Wie aber bereits in der Literatur beschrieben wird, ist es bei Anreicherung von Pestiziden aus der Luft (11) an den beiden erstgenannten Substanzen zu merklichen Zersetzungserscheinungen gekommen; bei einer Beschichtung der Sorbentien mit Polyethylen konnte eine Zersetzung ausgeschlossen werden. Weiterhin wird auch

über eine Beschichtung mit Glycerin berichtet, die sich bei der Probenahme von Chlorkohlenwasserstoffen bewährt hat (24).

Leider versagten diese Adsorptions-Medien bei unseren Untersuchungen, weil der schon erwähnte hohe Mineralöl-Anteil in den ersten Tagen nach der Behandlung des Holzes empfindlich stört. Diese Beobachtung wurde auch beim Einsatz von Polyurethan (22) gemacht, und auch ein von uns entwickeltes Adsorptionsmittel bestehend aus Polyethylenglykol auf Glasperlen versagte. Schließlich gelang es mit gutem Erfolg, Aktivkohle zur Adsorption der Insektizide und Fungizide einzusetzen, wobei die Mineralöl-Anteile ohne negative Einflüsse blieben, gleichgültig ob sie aus aromatischen oder aliphatischen Verbindungen bestanden. Zersetzungen der zu bestimmenden Substanzen infolge der Einwirkung von möglichen Oberflächenoxiden (4), die unter anderem auch das Adsorptionsvermögen von Aktivkohlen beeinflussen, wurden nicht festgestellt.

Gute Ergebnisse sind mit Aktivkohle übrigens auch bei der Bestimmung der Konzentration von Tributylzinnoxid in der Luft erzielt worden (17).

Mit der erfolgreichen Erprobung eines geeigneten Adsorptionsmittels waren die Voraussetzung für die Bestimmung von Lindan, Endosulfan und Dichlofluanid in der Raumluft gegeben.

3. Durchführung der Versuche

Für die experimentelle Durchführung der Versuche zur Wirkstoff-Abgabe an die Raumluft dienten Holzproben aus Kiefern-splintholz (*Pinus silvetris*) und aus Fichtenholz (*Picea abies*) mit den Abmessungen 10 cm x 5 cm x 2 cm. Die Auswahl der Probekbrettchen erfolgte nach den Kriterien der DIN 52 162 "Prüfung des Eindringvermögens von Holzschutzmitteln". Das Aufbringen des jeweiligen Holzschutzmittels wurde

durch Aufstreichen einer 250 ml/m² entsprechenden Menge auf eine der 50 cm²-Flächen vorgenommen. Bei den angewandten Holzschutzmitteln handelte es sich zunächst um Modell-Substanzen, die hinsichtlich des Wirkstoff-Gehaltes in ihrer Zusammensetzung weitgehend handelsüblichen Präparaten gleichen. Lindan und Endosulfan waren jeweils zu 1 %, Dichlorfluorid zu 0,5 % und Pentachlorphenol zu 5 % in Shellsol AB, einem zu 99 % aus aromatischen Kohlenwasserstoffen bestehenden Lösungsmittel, gelöst. Shellsol AB besitzt auch bei der industriellen Produktion von Holzschutzmitteln Bedeutung.

Desweiteren wurden 2 Präparate des Handels in die Versuche einbezogen, die aus Gründen der Neutralität mit A und B bezeichnet werden. Beide Präparate enthielten gleiche Mengen von Alkyd-Harzen. Holzschutzmittel A enthielt die Wirkstoffe gelöst in einem aus aliphatischen Komponenten zusammengesetzten Lösungsmittel. Beim Holzschutzmittel B waren die Wirkstoffe in einem Gemisch aus aliphatischen und aromatischen Kohlenwasserstoffen in nicht bekanntem Verhältnis gelöst.

Die notwendige Versuchsdauer erzwang eine Einschränkung der Anzahl von Parallelproben. Mit jedem der untersuchten Wirkstoffe wurden 2 Proben je Holzart angesetzt.

Die beim Behandeln der Holzproben mit den Holzschutzmitteln erzielten Eindringtiefen können der Tabelle I entnommen werden.

Tabelle I: Eindringtiefen-Bestimmungen

Holzschutzmittel	Eindringtiefe (mm)	
	Kiefer	Fichte
Modellpräparat	4 - 5	2
A	7	1 - 2
B	8 - 9	1 - 2

Bei der Untersuchung der Wirkstoff-Abgabe dienten Glasgefäße mit einem Rauminhalt von 1,4 - 1,5 Litern als Probenraum, an denen jeweils die mit 4 g Aktivkohle (Körnung 1,5 - 2,5 mm) gefüllten Glasröhrchen angeschlossen waren. Durch dieses System wurde isotherm bei 20 °C gefilterte Luft gesaugt, wobei der Luftdurchsatz einem 4maligen Luftwechsel je Stunde entsprach. Auf diese Weise war gewährleistet, daß eine quantitative Adsorption der Wirkstoffe an der Aktivkohle erfolgte und Windkanal-Effekte vermieden wurden. Im übrigen werden die Ergebnisse durch Änderung der Luftgeschwindigkeit in gewissen Grenzen kaum beeinflußt. Das Eluieren der adsorbierten Wirkstoffe erfolgte mit Aceton und Toluol; die reaktivierten Aktivkohle-Röhrchen lassen sich erneut verwenden.

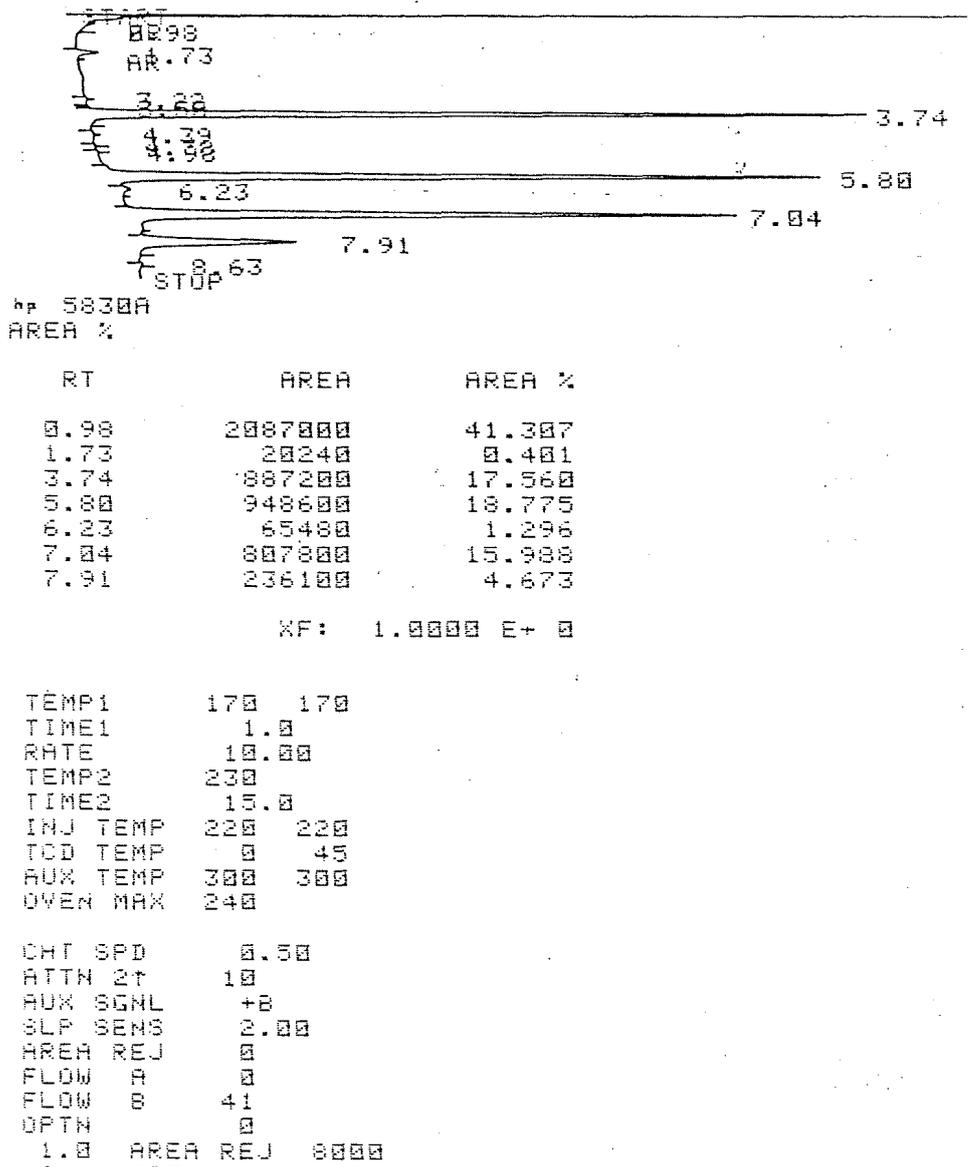


Bild 1. Gas-chromatographische Trennung von Lindan, Aldrin und Endosulfan

Das Eluat wurde danach auf ein konstantes Volumen eingestellt und mittels Gas-Chromatographie analysiert. Dafür stand ein HP-Gas-Chromatograph Modell 5830. A mit Elektronen-Einfang-Detektor zur Verfügung. Die Wirkstoff-Trennungen erfolgten an Siliconöl als stationäre Phase (Säulenfüllung OV-1 auf Chromosorb W HP 80-100 mesh) und Argon-Methan (95 + 5 Vol.-Teile) als mobile Phase. Die Start-Temperatur bei der chromatographischen Analyse betrug 170 °C, die mittels Temperatur-Programmierung auf 230 °C gesteigert wurde.

Als innerer Standard diente Aldrin. Bild 1 zeigt ein typisches Chromatogramm einiger Wirkstoffe mit den ausgedruckten Versuchs-Bedingungen und der Analysen-Berechnung. In der Reihenfolge der Retentionszeiten erscheint auf dem Chromatogramm Lindan (3,74) gefolgt von Aldrin (5,80) und den Endosulfan-Stereoisomeren (7,04/7,91).

Bei der Bestimmung von Pentachlorphenol erfolgte die Bindung des PCP nicht durch Adsorption an Aktivkohle sondern durch Einleiten des PCP-haltigen Luftstromes in eine 0,2 M Kaliumcarbonat-Lösung. Dazu waren 2 Waschflaschen mit je 150 ml dieser Lösung hintereinandergeschaltet. Aus beiden Waschflaschen wurden in bestimmten Abständen jeweils 75 ml entnommen und in einem Schütteltrichter vereinigt, mit HCL angesäuert und mit 10 ml Chloroform ausgeschüttelt. Anschließend wurde die Chloroform-Phase mit 4 ml 0,2 M Kaliumcarbonat-Lösung ausgeschüttelt. Die so erhaltene Kaliumcarbonat-Phase wurde bei einer Wellenlänge von 320 nm zur PCP-Bestimmung photometriert.

Zur Bestimmung der Fluorwasserstoff-Abgabe diente eine Apparatur, die aus Segment-Säulen aus Teflon-PFA (System Labomatic) zusammengesetzt war. Die Ableitung des Fluorwasserstoff-Gases in 0,1 N Natronlauge erfolgte ebenfalls durch ein PTFE-Teflon-Gaseinleitungsrohr mit geschlossenem aber prorösem (Porengröße 50 μ) Rohrende.

Bei den Versuchen wurde eine 100 cm² große Holzfläche mit einer 50 g/m² entsprechenden Holzschutzmittel-Menge behandelt.

Die quantitative Bestimmung des Fluorwasserstoffes erfolgte mit einer Fluor-selektiven Elektrode.

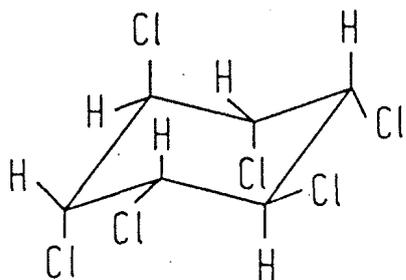
4. Ergebnisse der Untersuchungen

Die experimentelle Durchführung der Bestimmung der Wirkstoff-Mengen, die aus behandeltem Holz an die Raumluft abgegeben werden, kann in verschiedener Weise erfolgen. So besteht beispielsweise die Möglichkeit, in festgelegten Zeitabschnitten die noch im Holz enthaltene Wirkstoff-Menge zu analysieren und aus den Differenzbeträgen die auftretenden Wirkstoff-Verluste zu ermitteln (7, 18). Weiterhin ist es gelungen, Modellversuche mit einem konvektionsfreien Diffusionssystem durchzuführen (25), wobei in einem abgeschlossenen Glaszylinder eine behandelte Holzfläche und ein Sorptionsmittel (z.B. mit Paraffinöl getränktes Filterpapier) gegenüberliegend angebracht und die übergehende Wirkstoff-Menge im Sorbens analysiert wird. Schließlich ist das sogenannte dynamische System zu nennen, bei dem das behandelte Holz einem definierten Luftstrom ausgesetzt und die dabei aus dem Holz abgegebenen Wirkstoffe aufgefangen und analysiert werden. Dieses System ist schon mehrfach eingesetzt worden, wobei Form und Größe der Probenbehälter und die Art der Wirkstoff-Adsorption unterschiedlich waren (1, 8, 10, 17). Es ist auch bei den im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Experimenten angewandt worden, indem durch ein Glasgefäß mit der Holzschutzmittel-behandelten Holzprobe und ein daran angeschlossenes Glasrohr mit Aktivkohle-Füllung Luft gesaugt wurde. In regelmäßigen Zeitabständen (nach jeweils 24 Stunden) wurde über längere Zeiträume die abgegebene Wirkstoff-Menge analytisch bestimmt. Über die Ergebnisse dieser sich dabei in einer Vielzahl ergebenden Bestimmungen wird im folgenden berichtet.

4.1 Lindan

Mit dem Namen Lindan wird bekanntlich das γ -Hexachlorcyclohexan bezeichnet, welches im Vergleich mit den übrigen stereoisomeren Hexachlorcyclohexanen allein eine insektizide

Wirkung besitzt. Es ist auch in Holzschutzmitteln seit langer Zeit wegen seiner guten insektiziden Wirksamkeit und langen Wirksamkeitsdauer im Einsatz, obwohl es teilweise aus behandeltem Holz verdunstet (16, 19). In einigen Publikationen ist bereits über mögliche Konzentrationen von Wirkstoffen in der Raumluft berichtet worden (8, 10, 25),



MAK-Wert: 0,5 mg/m³ Raumluft
ADI-Wert: 0,01 mg/kg Körpergewicht

γ -Hexachlorcyclohexan

und es sollen bei der Diskussion der von uns erzielten Ergebnisse an einigen Beispielen vergleichende Betrachtungen angestellt werden.

Zunächst erstreckten sich unsere Untersuchungen auf Kiefern-splint- und Fichtenholz-Proben, die mit einer Lösung von 1 % Lindan in Shellsol AB (99 % aromatische Kohlenwasserstoffe) behandelt waren. Während einer Versuchsdauer von 200 Tagen sind je Holzart mehr als 130 Doppelbestimmungen durchgeführt worden.

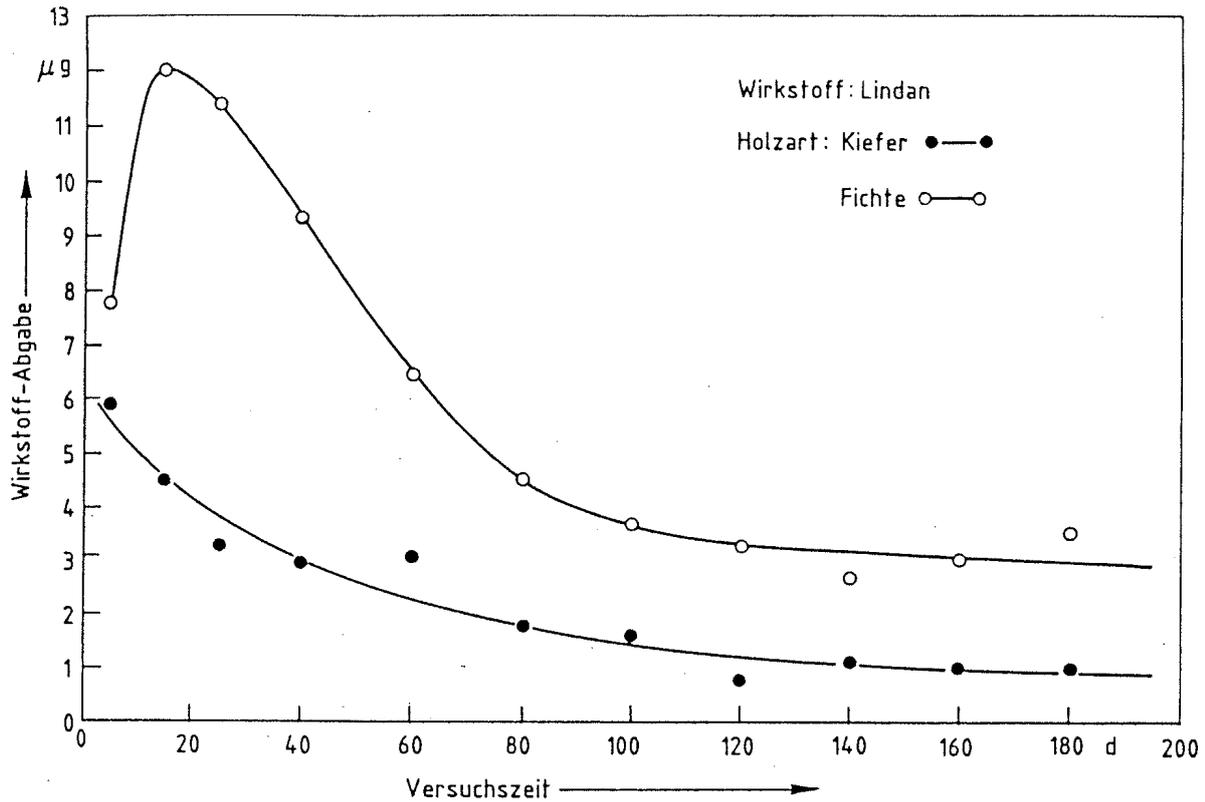


Bild 2. Lindan-Abgabe aus behandelten Hölzern an die Raumluft (Modell-Holzschutzmittel mit 1 % Lindan in aromatischem Kohlenwasserstoff-Gemisch)

In Bild 2 sind die Mittelwerte der dekadenweise zusammengefaßten Einzelbestimmungen graphisch dargestellt. Man erkennt deutlich die höheren Abgabe-Mengen aus Fichtenholz während der ersten 60 Tage, die zwei- bis dreimal größer sind als bei Kiefernspiltholz. Im Falle des Fichtenholzes durchläuft die Kurve bei etwa 20 Tagen nach Versuchsbeginn ein deutliches Maximum, was bei Kiefernholz nicht auftritt. Dieser charakteristische Kurvenverlauf der Lindan-Abgabe aus Fichtenholz bleibt als Ergebnis auch bei den Versuchen mit handelsüblichen Holzschutzmitteln erhalten, wie aus Bild 3 ersehen werden kann. In der Anfangsphase allerdings sind große Unterschiede der Wirkstoff-Abgabe zu beobachten, und erst nach 3 bis 4 Monaten gleichen sich die Werte an.

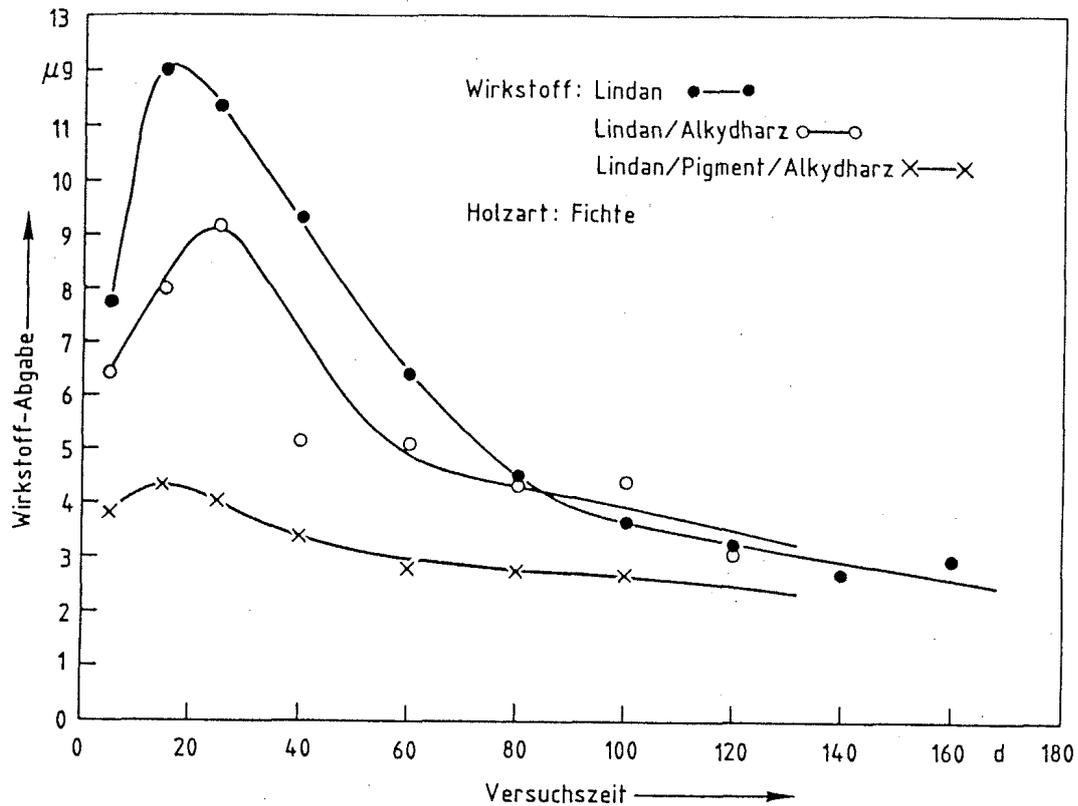


Bild 3. Lindan-Abgabe aus behandeltem Fichtenholz an die Raumluft (Holzschutzmittel siehe Text)

Beide Handelspräparate enthielten einen gleich großen Alkydharz-Anteil und in einem Fall zusätzlich Pigmente. Unterschiedlich aber war die Natur der Lösungsmittel: Es bestand einmal aus aliphatischen Kohlenwasserstoffen (Lindan/Alkydharz) und zum anderen aus einem Gemisch aromatischer und aliphatischer Verbindungen (Lindan/Pigment/Alkydharz). Diese Verschiedenheit dürfte für die beachtlichen Unterschiede verantwortlich sein, die hinsichtlich der Abgabe-Mengen auftreten. Über ähnliche Beobachtungen eines Lösungsmittel-Einflusses wird bei der PCP-Abgabe aus Holz berichtet (14).

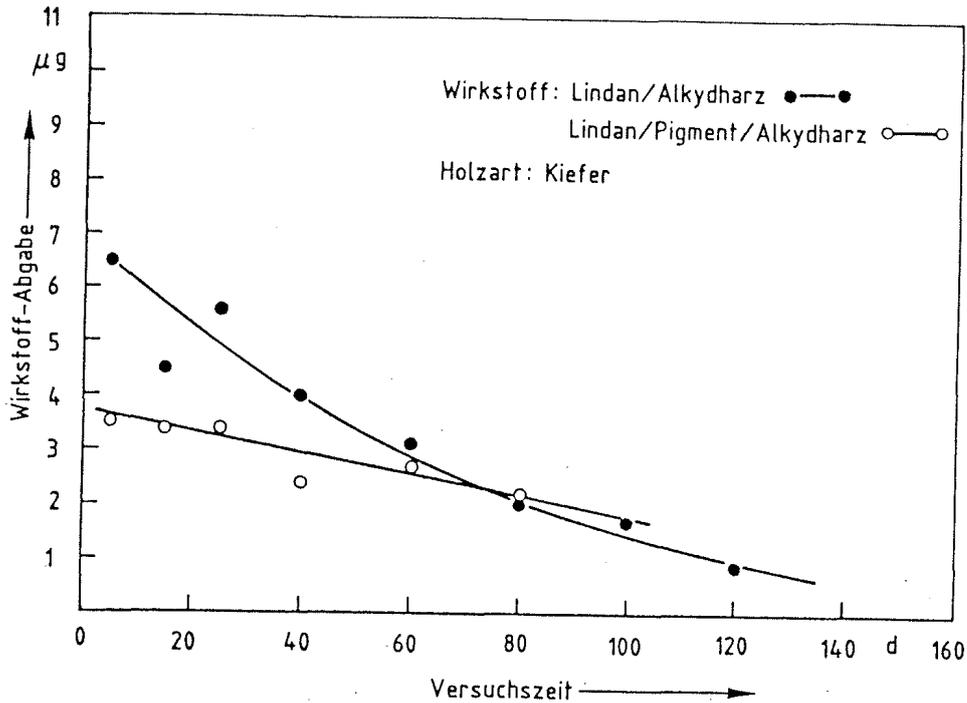


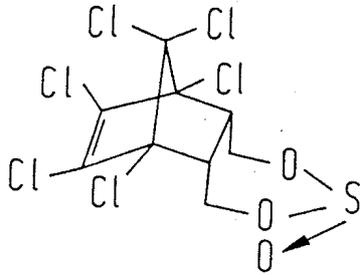
Bild 4. Lindan-Abgabe aus behandeltem Kiefernspint-
holz an die Raumluft (Holzschutzmittel siehe
Text)

Weniger ausgeprägt ist der Kurvenverlauf bei Kiefernspint-
holz. Hier spielt auch der Lösungsmittel-Einfluß eine ge-
ringere Rolle, wie aus Bild 4 hervorgeht. Nach etwa 3 Monaten
gleichen sich die abgegebenen Wirkstoff-Mengen an.

4.2 Endosulfan

Als vielseitig einsetzbares Fraßgift und Kontaktinsektizid
aber andererseits wegen seiner Ungiftigkeit gegenüber Bie-
nen, Ameisen, Marienkäfern und anderen nützlichen Insekten
wird Endosulfan im Pflanzenschutz verwendet. Auch im Holz-
schutz hat Endosulfan Bedeutung erlangt und wird häufig in

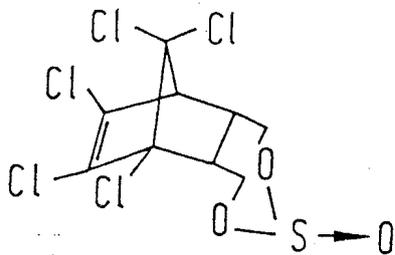
Kombination mit Tributylzinnoxid angewandt (20). Es handelt sich nach der Struktur der Verbindung um α, β -1,2,3,4,7,7,-Hexachlorbicyclo(2,2,1-hepten-(2)-bisoxomethylen-(5,6)-sulfid, das als Isomeren-Gemisch vorliegt. Unsere Analysenwerte beziehen sich auf die Summe der Isomeren.



70% α -Isomeres

MAK-Wert: 0,1 mg/m³ Raumluft

ADI-Wert: 0,0075 mg/kg Körpergewicht



30% β -Isomeres

Endosulfan

Über mögliche Raumluft-Konzentrationen von Endosulfan ist bisher wenig berichtet worden (25), so daß unsere Meßreihen als erste systematische Untersuchungen gelten können. Sie sind mit einer Lösung von 1 % Endosulfan in Shellsol AB durchgeführt worden.

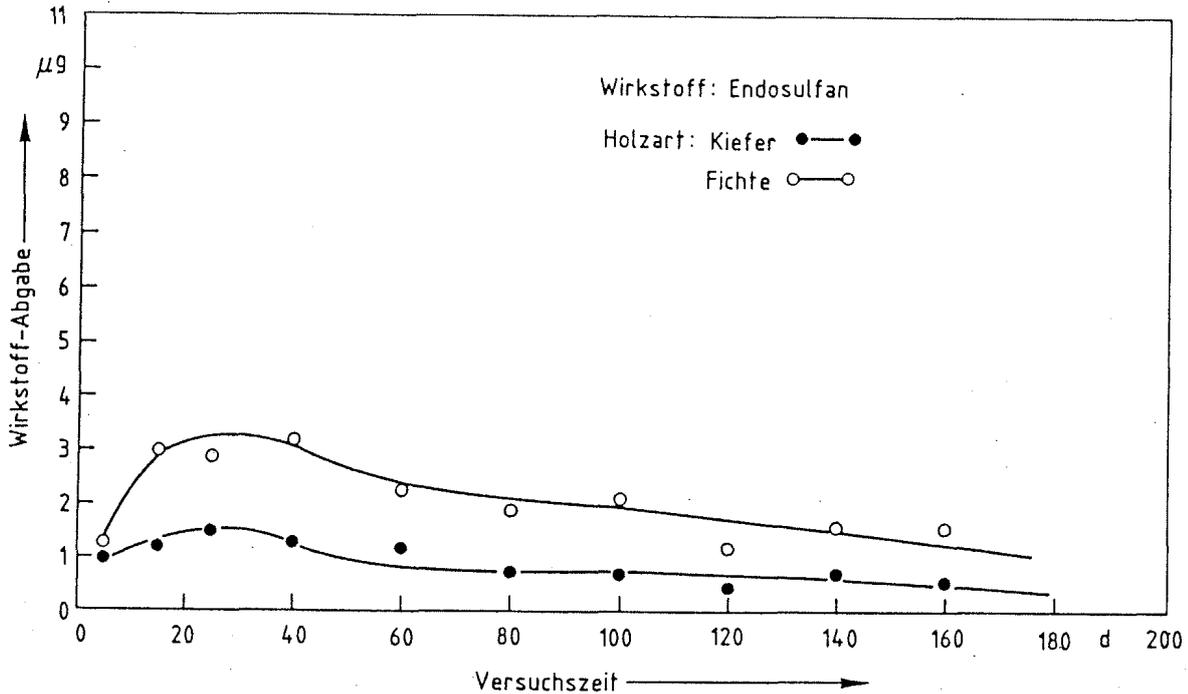
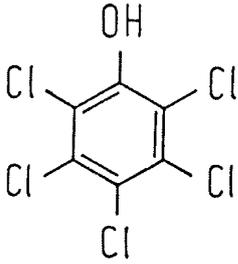


Bild 5. Endosulfan-Abgabe aus behandelten Hölzern an die Raumluft (Modell-Holzschutzmittel mit 1 % Endosulfan in aromatischem Kohlenwasser-Gemisch)

Wie Bild 5 zeigt, wird wiederum aus Fichtenholz in den ersten 20 Tagen mehr als doppelt soviel Wirkstoff wie aus Kiefernspiltholz abgegeben. Deutlich ist nach etwa 30 Tagen ein Abgabe-Maximum zu beobachten, das in abgeschwächter Form auch bei Kiefernspiltholz auftritt. Nach etwa 3 Monaten beginnt die Kurve der Wirkstoff-Abgabe sehr langsam abzuklingen.

4.3 Pentachlorphenol

Im Holzschutz ist Pentachlorphenol (PCP) wegen seiner breiten bioziden Wirksamkeit lange Zeit eingesetzt worden. Wegen toxikologischer Bedenken (15), ist es heute in den Holzschutzmitteln praktisch nicht mehr enthalten, d.h. es ist kein amtlich zugelassenes Holzschutzmittel mit dem Wirkstoff PCP mehr auf dem Markt.



MAK-Wert: 0,5 mg/m³ Raumluft
ADI-Wert: nicht festgelegt

Pentachlorphenol

Der Austausch von PCP in Holzschutzmitteln durch andere Fungizide erfolgte während der bereits laufenden Versuche mit Kiefernspiltholz, über die hier berichtet wird. Obgleich zu erwarten war, daß den Versuchsergebnissen nicht mehr allzu große Bedeutung beigemessen wird, ist der PCP-Versuch planmäßig beendet worden. In Bild 6 ist der Verlauf der Wirkstoff-Abgabe graphisch dargestellt. Die sich aus den Messungen ergebenden Raumluft-Konzentrationen werden bei der Diskussion der Ergebnisse im folgenden Abschnitt mit Werten verglichen, über die in der Literatur an verschiedener Stelle berichtet worden ist.

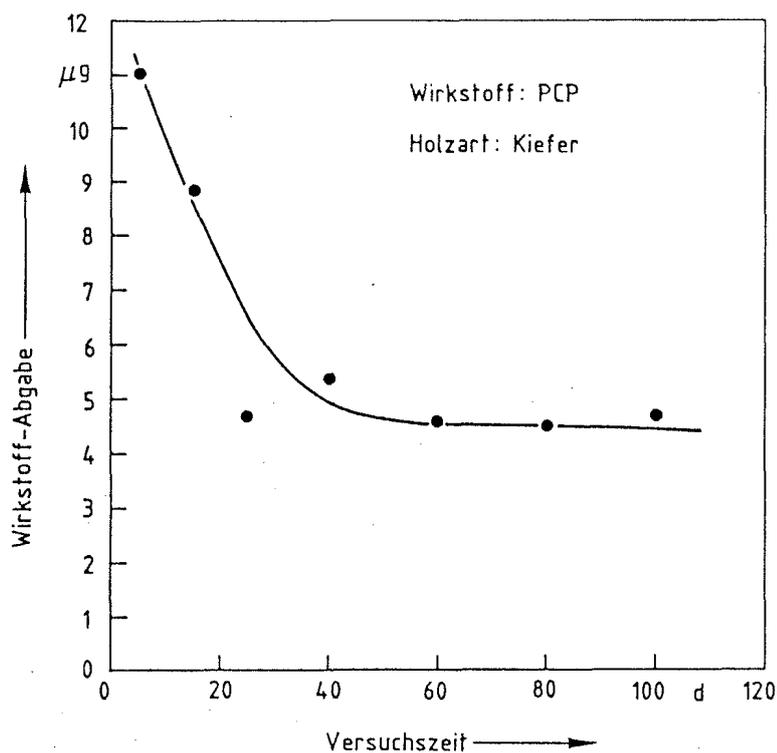
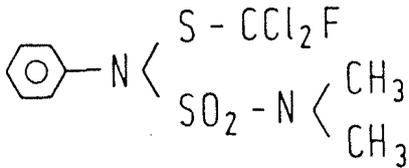


Bild 6. Pentachlorphenol-Abgabe aus behandeltem Kiefern-splintholz an die Raumluft (Modell-Holzschutzmittel mit 5 % PCP in aromatischem Kohlenwasserstoff-Gemisch)

4.4 Dichlofluamid

Zu den in Holzschutzmitteln weiter eingesetzten Fungiziden zählt auch das Dichlofluamid, das vor allen Dingen gegen Bläuepilze eine ausdauernd gute Wirkung zeigt. Es handelt sich bei dieser Verbindung chemisch um ein N,N-Dimethyl-N'-fluordichlormethylthio)-sulfamid.



MAK-Wert: nicht festgelegt

ADI-Wert: 0,03 mg/kg Körpergewicht

Dichlofluanid

Bis auf eine Ausnahme (25) sind uns keine Angaben über mögliche Raumluf-Konzentrationen bekannt geworden, so daß wiederum unsere Messungen als erste systematische Untersuchungen angesehen werden können. Sie wurden mit einer Lösung von 0,5 % Dichlofluanid in Shellsol AB durchgeführt.

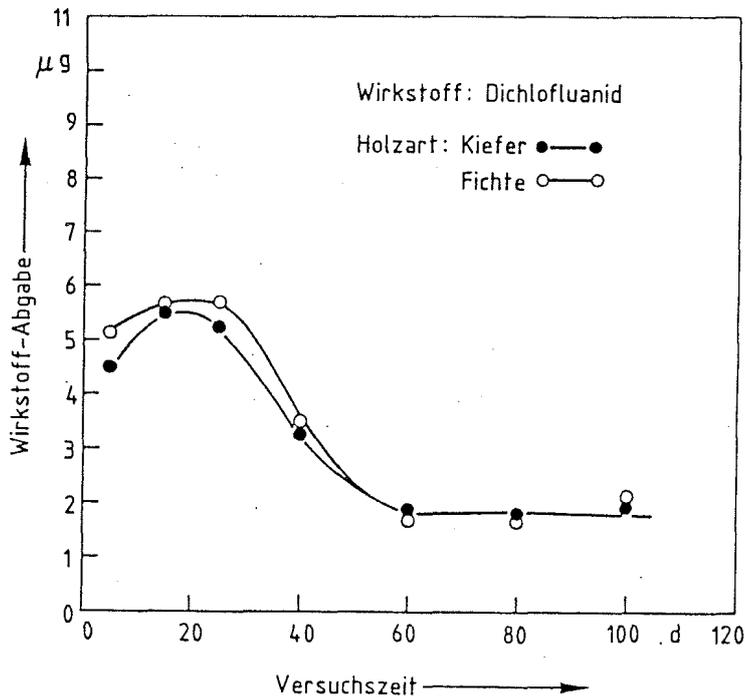


Bild 7. Dichlofluanid-Abgabe aus behandelten Hölzern an die Raumluf (Modell-Holzschutzmittel mit 0,5 % Dichlofluanid in aromatischem Kohlenwasserstoff-Gemisch)

Als erstes auffallendes Ergebnis im Vergleich mit den anderen Wirkstoff-Bestimmungen fallen die geringen Unterschiede der Wirkstoff-Abgabe aus den verschiedenen Holzarten auf. Wie Bild 7 zeigt, tritt sowohl bei Fichtenholz als auch bei Kiefernspiltholz ein Maximum in der Dichlofluorid-Abgabe etwa 20 Tage nach Versuchsbeginn auf, wobei die Werte im Falle des Fichtenholzes geringfügig höher liegen. Schon nach 60 Tagen ist die Wirkstoff-Abgabe aus beiden Holzarten praktisch identisch.

4.5 Fluorwasserstoff

Verschiedene Verbindungen des Fluors werden schon seit langer Zeit in vorbeugenden und bekämpfenden Holzschutzmitteln eingesetzt. Eben solange bekannt ist die Tatsache, daß in Holz eingebrachte Fluor-Verbindungen Fluorwasserstoff abspalten. Die dabei im Laufe langer Zeiträume auftretenden Fluor-Verluste sind bestimmt und eingehend untersucht worden (2, 3). Es liegt bereits auch eine ausführliche Studie über mögliche Fluorwasserstoff-Konzentrationen in der Raumluft vor (1).

Aufgabe im Rahmen des IfBt-Werkvertrages war es, eine Versuchsanordnung für Modell-Versuche zu entwickeln, mit der Richtwerte für zu erwartende Fluorwasserstoff-Konzentrationen in der Raumluft ermittelt werden können. Nach einer Reihe von Vorversuchen, die nicht in jedem Fall erfolgreich verliefen, ist eine nach dem Baukastenprinzip zusammengesetzte, aus Teflon-Einzelteilen bestehende Apparatur für die Untersuchungen eingesetzt worden. Im Gegensatz zu den Versuchen mit organischen Wirkstoffen, wo bei den experimentellen Versuchen Luft durch die Apparatur gesaugt wird, ist bei den Fluorwasserstoff-Versuchen die Luft durch das System geblasen worden. Das aus einer 100 cm² großen behandelten Holzfläche bei einer Versuchstemperatur von 20 °C entweichende Fluorwasserstoff-Gas wurde in Natronlauge aufgefangen und in dieser Lösung mit einer Fluorionen-sensitiven Elektrode analytisch bestimmt.

Zum Testen der Versuchseinrichtung wurde eine breite Fläche von Kiefernspiltholzproben mit einer 50 g/m² entsprechenden Menge an Kaliumhydrogenfluorid gestrichen. Einen Tag nach Versuchsbeginn ist eine Raumluf-Konzentration von 9,4 ppm gemessen worden. Dieser Wert sank nach einer Woche Versuchsdauer auf 7,85 ppm, nach 2 Wochen auf 4,9 ppm und hatte nach 4 Wochen mit einem Wert von 2,8 ppm den MAK-Wert von 3 ppm unterschritten.

Vergleichbare Versuche mit Ammoniumhydrogenfluorid (1), die bereits erwähnt wurden, ergaben größenordnungsmäßig ähnliche Werte (Der MAK-Wert war bereits nach 2 Wochen erreicht).

5. Diskussion der Ergebnisse

Bei den bisher betrachteten Werten der Wirkstoff-Abgabe, die auch den graphischen Darstellungen zu Grunde liegen, handelt es sich um Tages-Meßwerte, die den Gegebenheiten unserer Versuchsanordnung entsprechen und noch keine allgemein gültige Angabe der Raumluf-Konzentration in µg/m³ darstellen. Sie bilden aber die Basiswerte, aus denen sich nach einer von HUBER (13) entwickelten Beziehung Richtwerte über sich einstellende Raumluf-Konzentrationen ableiten lassen. Einen im Prinzip ähnlichen Rechenansatz hat auch ZIMMERLI (25) veröffentlicht. Diese Beziehung ist eine Näherungslösung für Raumluf-Konzentrationen, die wesentlich kleiner sind als die Sättigungskonzentration. Es gilt:

$$c = \frac{a \cdot O}{b \cdot V}$$

c = Raumluf-Konzentration (µg/m³)

a = gemessene Wirkstoff-Abgabe (µg/m² · h)

b = Luftaustausch (h⁻¹)

O = behandelte Holzoberfläche (m²)

V = Raumvolumen (m³)

Bei experimentell ermitteltem a läßt sich die Raumlucht-Konzentration bei unterschiedlichem Luftaustausch und verschiedenen Fläche/Raum-Verhältnissen berechnen. Diese Berechnungsweise, die inzwischen auch von anderen Arbeitskreisen angewandt wird (8), liegt allen, in den Tabellen 1 - 33 zusammengefaßten Zahlenangaben zu Grunde.

Bezüglich der Luftaustauschraten ist zu bemerken, daß hierzu Messungen vorliegen (8), die für moderne Häuser einen durchschnittlichen Luftwechsel von $b = 0,8$ je Stunde und für Häuser aus älterer Zeit (vor 1950 erbaut) einen Luftwechsel von $b = 2,0$ je Stunde angeben. Das Öffnen nur eines Fensters erhöht die Luftwechselrate um den Faktor 4, wobei zu bemerken ist, daß dabei noch kein Durchzug herrscht, der den Faktor noch größer werden ließe. Eine Luftwechselrate von $b = 0,2$ je Stunde, von der ZIMMERLI teilweise ausgeht, nähert sich schon sehr einem hermetisch abgeschlossenen Raum, wo nach der Näherungsformel die Werte grob falsch werden müssen, da für $b = 0$ ein Wert von $c = \infty$ resultieren müßte, während sich in Wirklichkeit nur der Sättigungsdampfdruck einstellen kann. In den Tabellen 1 - 33 sind Luftwechselraten von $b = 0,5$ bis $b = 4,0$ berücksichtigt worden.

Was das Fläche/Raumverhältnis anbelangt, so ist in den Tabellen ein Verhältnis von $0,2$ (m^{-1}) entsprechend einer Empfehlung des Bundesgesundheitsamtes als Anwendungseinschränkung für bestimmte Holzschutzmittel in den jeweiligen Prüfbescheiden des Instituts für Bautechnik, Berlin, berücksichtigt worden. Weiterhin wurden die Raumlucht-Konzentrationen bei Fläche/Raum-Verhältnissen von $0,5$ (m^{-1}) und $1,0$ (m^{-1}) errechnet. Darüber hinausgehende Fläche/Raum-Verhältnisse dürften in der Praxis nur unter ungünstigen Gegebenheiten auftreten. Diese Feststellung wird leicht verständlich, wenn man bedenkt, daß bei einem Raum mit den Abmessungen 4 m x 5 m x 3 m die Summe der 4 Wandflächen und der Deckenfläche mit insgesamt 74 m^2 und das Raumvolumen mit

60 m³ ein Fläche/Raum-Verhältnis von 1,2 (m⁻¹) ergibt. Berücksichtigt man nur eine Wandfläche mit 12 m² so ergibt sich ein Fläche/Raum-Verhältnis von 0,2 (m⁻¹).

Die Tabellen 1-33 gestatten nun, die zu erwartenden ergibt. Berücksichtigt man nur eine Wandfläche mit 12 m² so ergibt sich ein Fläche/Raum-Verhältnis von 0,2 (m⁻¹).

Die Tabellen 1-33 gestatten nun, die zu erwartenden Raumluft-Konzentrationen von Wirkstoffen bei verschiedenem Fläche/Raum-Verhältnis und bei unterschiedlichem Luftwechsel unter Berücksichtigung der Holzart und der angewandten Holzschutzmittel abzulesen.

Das umfangreiche vorliegende Zahlenmaterial bot auch Gelegenheit, Vergleiche mit Ergebnissen anderer Arbeitskreise anzustellen. Die dabei festgestellten Übereinstimmungen der Ergebnisse aus unseren Modell-Versuchen mit solchen, die zum Teil unter anderen Bedingungen durchgeführt worden sind, sich aber nach entsprechenden Umrechnungen in vergleichbare Zahlenangaben wandeln ließen, berechtigt zu der Feststellung, daß die von uns angegebenen Raumluft-Konzentrationen der Wirkstoffe als allgemein brauchbare Richtwerte gelten können.

So sind beispielsweise bei Untersuchungen des "Instituts für Gewerbliche Wasserwirtschaft und Luftreinhalte e.V." (IWL) über Lindan-Raumluft-Konzentrationen (10) mit einem Alkydharz-haltigen Holzschutzmittel auf Kiefernholz Werte erhalten worden, die gute Übereinstimmung mit unseren Angaben zeigen:

	IWL		BAM
1. Dekade	15,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Lindan	13,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
2. Dekade	11,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		9,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
3. Dekade	10,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		11,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
4. Dekade	5,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		8,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Auch ein Vergleich mit Meß-Ergebnissen aus Versuchen mit Lindan des Building Research Establishment Laboratory (BRE), Princes Risborough (8), die bei einer Luftwechselrate von $b = 0,7$ und einem ungünstigen Fläche/Raum-Verhältnis von $2,5 (\text{m}^{-1})$ durchgeführt wurden, ergab bei einer Ausnahme gut übereinstimmende Werte:

	BRE		BAM
1. Tag	140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Lindan	122 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
2. Tag	270 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		214 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
3. Tag	400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		188 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
25. Tag	170 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		134 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
50. Tag	75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
100. Tag	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Bezüglich des Endosulfans findet sich bei ZIMMERLI (25) eine Angabe der Raumluf-Konzentration, die sich auf eine 4 Monate nach der Imprägnierung erfolgte Messung bezieht. Der Versuchsraum war allseitig mit einem Holzschutzmittel behandelt worden und hatte ein Fläche/Raum-Verhältnis von $1,75 (\text{m}^{-1})$ (Luftwechsel $b = 0,2$). Die Raumluf-Konzentration wird mit $11,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ angegeben. Rechnet man den von uns gemessenen Wert (Kiefernspiltholz) nach einem entsprechenden Zeitraum (Luftwechsel $b = 0,5$) auf das angegebene Fläche/Raum-Verhältnis um, so ergibt sich eine Raumluf-Konzentration von $14,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, die unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Versuchskonzeptionen in etwa der gleichen Größenordnung liegt.

Ähnlich verhält es sich bei Dichlofluorid, wo ZIMMERLI (25) als Ergebnis eines Praxisversuches in einem Raum (Fläche/Raum-Verhältnis $0,7 \text{ (m}^{-1}\text{)}$) 2 Jahre nach der Holzschutzmittel-Behandlung eine Wirkstoff-Konzentration von $2 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ bestimmen konnte. Zwar ergibt sich hier mit unseren Meßwerten keine direkte Vergleichsmöglichkeit, weil unsere Versuche nicht über einen so langen Zeitraum durchgeführt werden konnten, doch läßt sich anhand des Kurvenverlaufs der von uns ermittelten Raumluft-Konzentrationen leicht abschätzen, daß etwa nach 2 Jahren auch Werte der Größenordnung von $2 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ erreicht werden.

Beim Pentachlorphenol z.B. bestand die Möglichkeit zu Vergleichen mit Messungen, die in Räumen einige Wochen nach einer Holzschutzmittel-Behandlung erfolgten (6). Dabei wird betont, daß der Meßraum 18 Stunden vor der Probenahme geschlossen blieb. Die analysierten Werte der PCP-Konzentration in der Raumluft lagen zwischen 25 und $30 \text{ } \mu\text{g/m}^3$. Sie entsprechen damit Werten von 19 bis $22,5 \text{ } \mu\text{g/m}^3$, die wir 30 bis 40 Tage nach Versuchsbeginn (Luftwechsel $b = 1,0$) bei einem Fläche/Raum-Verhältnis von $0,5$ ermittelt haben. Raumluft-Konzentrationen von $200 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ und darüber (9) konnten wir bisher nicht feststellen.

Abschließend sei bemerkt, daß wir bei den von uns ermittelten Raumluft-Konzentrationen an organischen Wirkstoffen in keinem Fall eine Überschreitung der MAK-Werte feststellen konnten. Bei den ADI-Werten (acceptable daily intake), die eine tägliche Höchstdosis an Wirkstoff in mg/kg Körpergewicht angeben, bei der auch bei lebenslanger Aufnahme kein Einfluß auf die Gesundheit angenommen wird, gilt eine ähnliche Feststellung. Ausgegangen wurde bei diesen Betrachtungen von einem Körpergewicht von 60 kg und einem Atemvolumen von 15 m^3 je Tag, wobei 50% Wirkstoff-Adsorption durch die Lunge erfolgt (Angaben nach ZIMMERLI).

Eine weitergehende toxikologische Bewertung unserer Ergebnisse fällt nicht in unsere Kompetenz und bleibt entsprechenden Fachgremien vorbehalten.

6. Zusammenfassung

Zum Schutz von Holz gegen den Angriff holzerstörender Organismen werden sowohl wasserlösliche als auch ölige Holzschutzmittel angewandt. Nach dem Einbringen in Holz treten bei einem Teil der Präparate beider Holzschutzmittel-Gruppen Wirkstoff-Verluste aus dem Holz an die Raumluft auf. Bei den wasserlöslichen Holzschutzmitteln handelt es sich dabei um Fluorwasserstoff und bei öligen Holzschutzmitteln um Insektizide und Fungizide wie beispielsweise Lindan, Endosulfan oder Dichlofluanid.

In Langzeitversuchen mit Modellcharakter sind die Abdampfmengen von Lindan, Endosulfan, Dichlofluanid und Pentachlorphenol experimentell ermittelt und die je nach Fläche/Raum-Verhältnis und Luftaustausch zu erwartende Raumluft-Konzentration dieser Wirkstoffe berechnet und in Tabellen zusammengefaßt worden.

Bei den Versuchen wurden die Wirkstoffe zunächst bei einer Temperatur von 20 °C aus dem Luftstrom, dessen Einstellung einem viermaligen Luftwechsel entsprach, an Aktivkohle adsorbiert und nach Elution mittels Gas-Chromatographie analytisch bestimmt. Abweichend davon wurde Pentachlorphenol nach Auffangen in Kaliumcarbonat-Lösung photometrisch und Fluorwasserstoff nach Einleiten in Natronlauge mit einer Ionensensitiven Elektrode bestimmt.

Von wesentlichem Einfluß auf die sich ergebenden Wirkstoff-Konzentrationen ist die durch die Holzart bedingte Tiefenverteilung eines Holzschutzmittels. So lagen z.B. die Wirkstoff-Konzentrationen in der Raumluft bei den Versuchen mit Fichtenholz stets höher als bei den Versuchen mit Kiefern-

splintholz. Von Bedeutung bei öligen Holzschutzmitteln ist auch die Art des für die Wirkstoff-Einbringung verwendeten Lösungsmittels, das aus aliphatischen und/oder aromatischen Kohlenwasserstoffen bestehen kann, d.h. besonders in den ersten Wochen nach erfolgter Holzschutzmittel-Behandlung kann es zu Unterschieden bei den sich einstellenden Raumluft-Konzentrationen kommen.

Alkydharz- und Pigment-Anteile beeinflussen die Wirkstoff-Abgabe nicht wesentlich.

Es ist hervorzuheben, daß selbst in der Anfangsphase der Wirkstoff-Abgabe aus frisch behandeltem Holz mit verhältnismäßig hohen täglichen Abgaberaten auch bei ungünstigem Fläche/Raum-Verhältnis die MAK-Werte (Maximale Arbeitsplatz-Konzentration) nicht erreicht und die ADI-Werte (acceptable daily intake) nur selten überschritten werden.

Von wesentlicher Bedeutung bei Angaben zur Raumluft-Konzentration sind Parameter wie die Holzart, das Fläche/Raum-Verhältnis und die Luftwechselrate. Fehlen Hinweise auf diese Parameter, so sind Angaben zur Raumluft-Konzentration nur von geringem Wert.

Mit der erfolgreichen Entwicklung und Anwendung einer Versuchsmethode zur Ermittlung der Raumluft-Konzentration von Wirkstoffen, die auch für Reihen-Untersuchungen geeignet ist, wurde die im Werksvertrag gestellte Aufgabe erfüllt.

7. Literatur

1. Alscher, A., D. Wolf u. G. Streckert: Fluorwasserstoffabgabe von Hölzern nach Behandlung mit fluorhaltigen Holzschutzmitteln. Vortrag zur 16. Holzschutz-Tagung, Münster/Westfalen 1982.
2. Becker, G.: Neue Erkenntnisse über Fluor-Verbindungen im Holzschutz. *Angew. Chem.* 62 (1950) 382-385.
3. Becker, G. u. W. Berghoff: Die Fluorwasserstoff-Abgabe anorganischer Fluor-Verbindungen aus Holz. *Holz als Roh- u. Werkst.* 21 (1963) 346-362.
4. Boehm, H.-P., E. Diehl, W. Heck u. R. Sappok: Oberflächenoxyde des Kohlenstoffs. *Angew. Chem.* 76 (1964) 742-751.
5. Braid, P.A. a. J. LeBoeuf: Determination of trace amounts of Lindane in air by IP-spectrophotometry. *Anal. Chem.* 29 (1957) 1625-1627.
6. Dahms, A. u. W. Metzner: Zur Analytik von Pentachlorphenol und Tetrachlorphenol in der Luft und im Urin. *Holz als Roh- u. Werkst.* 37 (1979), 341-344.
7. Deters, R.: Über das Verdunstungsverhalten und den Nachweis öligler Holzschutzmittel. Dissertation, Braunschweig 1962.
8. Dobbs, A.J., M.G. White a. N. Williams: Aerial levels of chemicals during and following remedial treatment operations. *The Internat. Journ. of Wood Preserv.* 1 (1979) 125-130.
9. Gebefügi, I., H. Parlar u. F. Korte: Kurze Mitteilung über die analytische Erfassung von Pentachlorphenol in geschlossenen Räumen. *Chemosphere* Nr. 4 (1976) 227-230.
10. Henrich u. Mastorakis: Untersuchung einer Kiefernholzprobe, die mit 0,5 % Lindan-haltigem Holzschutzmittel behandelt wurde. Bericht des Inst. f. gewerbl. Wasserwirtschaft u. Luftreinigung e.V. Köln 1981.
11. Herzel, F. u. E. Lahmann: Polyethylen-beschichtetes Silicagel als Sorbens für organisch-chemische Fremdstoffe in Luft. *Fresenius Z. Anal. Chem.* 264 (1973) 304.
12. Hesse, G.: Stoffveränderungen in der chromatographischen Trennsäule. *Fresenius Z. Anal. Chem.* 211 (1965) 5-18.
13. Huber, W.: Modellversuche zur Abschätzung der Raumluftbelastung durch Holzschutzmittel. *Holz als Roh- u. Werkst.* 38 (1980) 135-137.

14. Ingram, L.L., G.D. McGinnis a. G. Jasperse: The Effect of Solvent Systems on the Volatilization of Pentachlorophenol from Treated Wood Proc. Amer. Wood Preservers Assoc. 1981, 1-7 .
15. Krause, Chr. u. N. Englert: Zur gesundheitlichen Bewertung pentachlorphenolhaltiger Holzschutzmittel in Wohnräumen. Holz als Roh- u. Werkst. 38 (1980) 429-432.
16. Kühne, H.: Erprobung eines quantitativen biologischen Nachweises von Kontaktinsektiziden in öligen Holzschutzmitteln. Mitt. Dt. Ges. f. Holzforsch. 53 (1966) 11-15.
17. Landsiedel, H. u. H. Plum: Untersuchungen zur Flüchtigkeit von Tributylzinn-Verbindungen. Holz als Roh- u. Werkst. 39 (1981) 1-4.
18. Petrowitz, H.-J.: Analyse von Wirkstoffen in öligen Holzschutzmitteln. Mitt. Dt. Ges. f. Holzforsch. 53 (1966) 6-10.
19. Petrowitz, H.-J.: Abgabe von Holzschutzwirkstoffen aus chemisch geschützten Bauhölzern. Kurzberichte aus d. Bauforsch. Nr. 3 (1982) 229-234.
20. Schmitt, H., E. Scholz u. P. Brettner: DBP 24 20235.
21. Thomas, T.C. a. J.N. Seiber: Chromosorb 102, an efficient medium for trapping pesticides from air. Bull. Environ. Toxicol. 1974, 17-25.
22. Turner, B.C. a. D.E. Glotfelty: Field Air Sampling of Pesticide Vapors with Polyurethane Foam. Anal. Chem. 49 (1977) 7-9.
23. Uporova, G.I.: Thin layer chromatographic determination of DDT and hexachlorane in the air. Gig. Tr. Prof. Zabol 1969, 62.
24. Wakimoto, T., R. Tatsukawa, T. Ogawa a. I. Watanabe: Determination of organochlorine pesticides and PCB in air by dry column collection method. Japan Analyst 23 (1974) 790-793.
25. Zimmerli, B.: Modellversuche zum Übergang von Schadstoffen aus Anstrichen in der Luft. in Aurand, K., B. Seifert u. J. Wegner: Luftqualität in Innenräumen. Gustav Fischer Verlag Stuttgart-New York 1982, S. 235-267.

Tabelle 1: Berechnete durchschnittliche Wirkstoff-Konzentrationen in Abhängigkeit von Zeit und Luftwechsel bei gegebener Holzart und konstantem Fläche/Raum-Verhältnis

Wirkstoff: Lindan

Holzart: Kiefer

Fläche/Raum-Verhältnis: 0,2

Zeit (Dekade)	mittlere Wirkstoff-Konzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/Tag bei einem Luftwechsel/Stunde von				
	b = 0,5	1,0	1,5	2,0	4,0
1	19,5	9,8	6,5	4,9	2,5
2	15,0	7,5	5,0	3,7	1,9
3	10,6	5,3	3,6	2,6	1,3
4 + 5	10,0	5,0	3,3	2,5	1,3
6 + 7	10,2	5,1	3,4	2,6	1,3
8 + 9	6,0	3,0	2,0	1,5	0,8
10 + 11	5,3	2,7	1,8	1,3	0,7
12 + 13	2,6	1,3	0,9	0,7	0,4
14 + 15	3,6	1,8	1,2	0,9	0,5
16 + 17	3,3	1,7	1,1	0,8	0,4
18 + 19	3,6	1,8	1,2	0,9	0,5

Tabelle 2: Berechnete durchschnittliche Wirkstoff-Konzentrationen in Abhängigkeit von Zeit und Luftwechsel bei gegebener Holzart und konstantem Fläche/Raum-Verhältnis

Wirkstoff: Lindan

Holzart: Kiefer

Fläche/Raum-Verhältnis: 0,5

Zeit (Dekade)	mittlere Wirkstoff-Konzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/Tag bei einem Luftwechsel/Stunde von				
	b = 0,5	1,0	1,5	2,0	4,0
1	49,2	24,5	16,3	12,3	6,2
2	37,5	18,7	12,5	9,4	4,7
3	26,6	13,3	8,9	6,7	3,4
4 + 5	25,0	12,5	8,3	6,2	3,1
6 + 7	25,8	13,0	8,6	6,5	3,3
8 + 9	15,0	7,5	5,0	3,7	1,9
10 + 11	13,3	6,7	4,4	3,3	1,7
12 + 13	6,7	3,3	2,2	1,7	0,8
14 + 15	9,2	4,6	3,1	2,3	1,2
16 + 17	8,3	1,2	2,8	2,1	1,1
18 + 19	9,2	4,6	3,1	2,3	1,2

Tabelle 3: Berechnete durchschnittliche Wirkstoff-Konzentrationen in Abhängigkeit von Zeit und Luftwechsel bei gegebener Holzart und konstantem Fläche/Raum-Verhältnis

Wirkstoff: Lindan

Holzart: Kiefer

Fläche/Raum-Verhältnis: 1,0

Zeit (Dekade)	mittlere Wirkstoff-Konzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/Tag bei einem Luftwechsel/Stunde von				
	b = 0,5	1,0	1,5	2,0	4,0
1	98,5	49,1	32,7	24,5	12,3
2	75,0	37,5	25,0	18,7	9,4
3	53,3	26,7	17,8	13,3	6,7
4 + 5	50,0	25,0	16,7	12,5	6,3
6 + 7	51,6	25,8	17,2	12,9	6,5
8 + 9	30,0	15,0	10,0	7,5	3,8
10 + 11	26,7	13,3	8,9	6,7	3,4
12 + 13	13,3	6,7	4,4	3,3	1,7
14 + 15	18,3	9,2	6,1	4,6	2,3
16 + 17	16,7	8,3	5,6	4,2	2,1
18 + 19	18,3	9,2	6,1	4,6	2,3

Tabelle 4: Berechnete durchschnittliche Wirkstoff-Konzentrationen in Abhängigkeit von Zeit und Luftwechsel bei gegebener Holzart und konstantem Fläche/Raum-Verhältnis

Wirkstoff: Lindan; Zusatzstoff: Alkydharz

Holzart: Kiefer

Fläche/Raum-Verhältnis: 0,2

Zeit (Dekade)	mittlere Wirkstoff-Konzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/Tag bei einem Luftwechsel/Stunde von				
	b = 0,5	1,0	1,5	2,0	4,0
1	21,6	10,8	7,2	5,4	2,7
2	15,0	7,5	5,0	3,7	1,9
3	18,6	9,3	6,2	4,6	2,3
4 + 5	13,3	6,6	4,4	3,3	1,7
6 + 7	10,3	5,1	3,4	2,6	1,3
8 + 9	6,7	3,3	2,2	1,7	0,9
10 + 11	5,7	2,8	1,9	1,4	0,7
12 + 13	3,0	1,5	1,0	0,7	0,4

Tabelle 5 : Berechnete durchschnittliche Wirkstoff-Konzentrationen in Abhängigkeit von Zeit und Luftwechsel bei gegebener Holzart und konstantem Fläche/Raum-Verhältnis

Wirkstoff: Lindan; Zusatzstoff: Alkydharz

Holzart: Kiefer

Fläche/Raum-Verhältnis: 0,5

Zeit (Dekade.)	mittlere Wirkstoff-Konzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/Tag bei einem Luftwechsel/Stunde von				
	b = 0,5	1,0	1,5	2,0	4,0
1	54,1	27,0	18,0	13,5	6,8
2	37,5	18,7	12,5	9,4	4,7
3	46,6	23,3	15,5	11,6	5,8
4 + 5	33,3	16,6	11,1	8,3	4,2
6 + 7	25,8	12,9	8,6	6,4	3,2
8 + 9	16,7	8,3	5,5	4,2	2,1
10 + 11	14,2	7,1	4,7	3,5	1,8
12 + 13	7,5	3,7	2,5	1,9	0,9

Tabelle 6: Berechnete durchschnittliche Wirkstoff-Konzentrationen in Abhängigkeit von Zeit und Luftwechsel bei gegebener Holzart und konstantem Fläche/Raum-Verhältnis

Wirkstoff: Lindan; Zusatzstoff: Alkydharz

Holzart: Kiefer

Fläche/Raum-Verhältnis: 1,0

Zeit (Dekade)	mittlere Wirkstoff-Konzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/Tag bei einem Luftwechsel/Stunde von				
	b = 0,5	1,0	1,5	2,0	4,0
1	108,3	54,1	36,1	27,0	13,5
2	75,0	37,5	25,0	18,7	9,4
3	93,3	46,6	31,1	23,3	11,7
4 + 5	66,6	33,3	22,2	16,6	8,3
6 + 7	51,6	25,8	17,2	12,9	6,5
8 + 9	33,3	16,7	11,1	8,3	4,2
10 + 11	28,3	14,2	9,4	7,1	3,6
12 + 13	15,0	7,5	5,0	3,7	1,9

Tabelle 7: Berechnete durchschnittliche Wirkstoff-Konzentrationen in Abhängigkeit von Zeit und Luftwechsel bei gegebener Holzart und konstantem Fläche/Raum-Verhältnis

Wirkstoff: Lindan; Zusatzstoff: Pigment, Alkydharz

Holzart: Kiefer

Fläche/Raum-Verhältnis: 0,2

Zeit (Dekade)	mittlere Wirkstoff-Konzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/Tag bei einem Luftwechsel/Stunde von				
	b = 0,5	1,0	1,5	2,0	4,0
1	11,7	5,8	3,9	2,9	1,45
2	11,3	5,6	3,8	2,8	1,4
3	11,3	5,6	3,8	2,8	1,4
4 + 5	8,0	4,0	2,7	2,0	1,0
6 + 7	9,0	4,5	3,0	2,2	1,1
8 + 9	7,3	3,7	2,4	1,8	0,9

Tabelle 8: Berechnete durchschnittliche Wirkstoff-Konzentrationen in Abhängigkeit von Zeit und Luftwechsel bei gegebener Holzart und konstantem Fläche/Raum-Verhältnis

Wirkstoff: Lindan; Zusatzstoff: Pigment, Alkydharz

Holzart: Kiefer

Fläche/Raum-Verhältnis: 0,5

Zeit (Dekade)	mittlere Wirkstoff-Konzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/Tag bei einem Luftwechsel/Stunde von				
	b = 0,5	1,0	1,5	2,0	4,0
1	29,1	14,6	9,7	7,3	3,7
2	28,3	14,1	9,4	7,1	3,6
3	28,3	14,1	9,4	7,1	3,6
4 + 5	20,0	10,0	6,6	5,0	2,5
6 + 7	22,5	11,2	7,5	5,6	2,8
8 + 9	18,3	9,1	6,1	4,6	2,3

Tabelle 9: Berechnete durchschnittliche Wirkstoff-Konzentrationen in Abhängigkeit von Zeit und Luftwechsel bei gegebener Holzart und konstantem Fläche/Raum-Verhältnis

Wirkstoff: Lindan; Zusatzstoff: Pigment, Alkydharz

Holzart: Kiefer

Fläche/Raum-Verhältnis: 1,0

Zeit (Dekade)	mittlere Wirkstoff-Konzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/Tag bei einem Luftwechsel/Stunde von				
	b = 0,5	1,0	1,5	2,0	4,0
1	58,3	29,2	19,4	14,6	7,3
2	56,6	28,3	18,9	14,1	7,2
3	56,6	28,3	18,9	14,1	7,0
4 + 5	40,0	20,0	13,3	10,0	5,0
6 + 7	45,0	22,5	15,0	11,2	5,6
8 + 9	36,6	18,3	12,2	9,2	4,6

Tabelle 10: Berechnete durchschnittliche Wirkstoff-Konzentrationen in Abhängigkeit von Zeit und Luftwechsel bei gegebener Holzart und konstantem Fläche/Raum-Verhältnis

Wirkstoff: Lindan

Holzart: Fichte

Fläche/Raum-Verhältnis: 0,2

Zeit (Dekade)	mittlere Wirkstoff-Konzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/Tag bei einem Luftwechsel/Stunde von				
	b = 0,5	1,0	1,5	2,0	4,0
1	26,0	12,9	8,7	6,5	3,3
2	40,0	19,9	13,3	10,0	5,0
3	38,0	18,9	12,7	9,5	4,8
4 + 5	31,0	15,4	10,3	7,7	3,9
6 + 7	21,3	10,6	7,1	5,3	2,7
8 + 9	15,0	7,5	5,0	3,7	1,9
10 + 11	12,3	6,1	4,1	3,1	1,6
12 + 13	11,0	5,5	3,7	2,7	1,4
14 + 15	9,0	4,5	3,0	2,2	1,1
16 + 17	10,0	5,0	3,3	2,5	1,3
18 + 19	11,7	5,8	3,9	2,9	1,5

Tabelle 11: Berechnete durchschnittliche Wirkstoff-Konzentrationen in Abhängigkeit von Zeit und Luftwechsel bei gegebener Holzart und konstantem Fläche/Raum-Verhältnis

Wirkstoff: Lindan

Holzart: Fichte

Fläche/Raum-Verhältnis: 0,5

Zeit (Dekade)	mittlere Wirkstoff-Konzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/Tag bei einem Luftwechsel/Stunde von				
	b = 0,5	1,0	1,5	2,0	4,0
1	65,0	32,4	21,6	16,2	8,1
2	100,0	49,9	23,2	25,0	12,5
3	95,0	47,4	31,6	23,7	11,9
4 + 5	77,5	38,7	25,7	19,3	9,7
6 + 7	53,3	26,6	17,7	13,3	6,7
8 + 9	37,5	18,7	12,5	9,4	4,7
10 + 11	30,8	15,4	10,2	7,7	3,8
12 + 13	27,5	13,7	9,1	6,9	3,5
14 + 15	22,5	11,2	7,5	5,6	2,8
16 + 17	25,0	12,5	8,3	6,2	3,1
18 + 19	29,2	14,6	9,7	7,3	3,6

Tabelle 12: Berechnete durchschnittliche Wirkstoff-Konzentrationen in Abhängigkeit von Zeit und Luftwechsel bei gegebener Holzart und konstantem Fläche/Raum-Verhältnis

Wirkstoff: Lindan

Holzart: Fichte

Fläche/Raum-Verhältnis: 1,0

Zeit (Dekade)	mittlere Wirkstoff-Konzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/Tag bei einem Luftwechsel/Stunde von				
	b = 0,5	1,0	1,5	2,0	4,0
1	129,9	65,0	43,3	32,4	16,2
2	199,9	100,0	66,6	49,9	25,0
3	189,9	95,0	63,3	47,4	23,7
4 + 5	154,9	77,5	51,6	38,7	19,4
6 + 7	106,6	53,3	35,5	26,6	13,3
8 + 9	75,0	37,5	25,0	18,7	9,4
10 + 11	61,6	30,8	20,5	15,4	7,7
12 + 13	55,0	27,5	18,3	13,7	6,9
14 + 15	45,0	22,5	15,0	11,2	5,6
16 + 17	50,0	25,3	16,7	12,5	6,3
18 + 19	58,3	29,2	19,4	14,6	7,3

Tabelle 13: Berechnete durchschnittliche Wirkstoff-Konzentrationen in Abhängigkeit von Zeit und Luftwechsel bei gegebener Holzart und konstantem Fläche/Raum-Verhältnis

Wirkstoff: Lindan; Zusatzstoff: Alkydharz

Holzart: Fichte

Fläche/Raum-Verhältnis: 0,2

Zeit (Dekade)	mittlere Wirkstoff-Konzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/Tag bei einem Luftwechsel/Stunde von				
	b = 0,5	1,0	1,5	2,0	4,0
1	21,3	10,6	7,1	5,3	2,7
2	26,6	13,3	8,9	6,6	3,3
3	30,6	15,3	10,2	7,6	3,8
4 + 5	17,3	8,6	5,8	4,3	2,2
6 + 7	17,0	8,5	5,7	4,2	2,1
8 + 9	14,7	7,3	4,9	3,7	1,9
10 + 11	14,7	7,3	4,9	3,7	1,9

Tabelle 14: Berechnete durchschnittliche Wirkstoff-Konzentrationen in Abhängigkeit von Zeit und Luftwechsel bei gegebener Holzart und konstantem Fläche/Raum-Verhältnis

Wirkstoff: Lindan; Zusatzstoff: Alkydharz

Holzart: Fichte

Fläche/Raum-Verhältnis: 0,5

Zeit (Dekade)	mittlere Wirkstoff-Konzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/Tag bei einem Luftwechsel/Stunde von				
	b = 0,5	1,0	1,5	2,0	4,0
1	53,3	26,6	17,7	13,3	6,7
2	66,6	33,3	22,2	16,6	8,3
3	76,6	38,3	25,5	19,1	9,6
4 + 5	43,3	21,6	14,4	10,8	5,4
6 + 7	42,5	21,2	14,1	10,6	5,4
8 + 9	36,7	18,3	12,2	9,2	4,6
10 + 11	36,7	18,3	12,2	9,2	4,6

Tabelle 15: Berechnete durchschnittliche Wirkstoff-Konzentrationen in Abhängigkeit von Zeit und Luftwechsel bei gegebener Holzart und konstantem Fläche/Raum-Verhältnis

Wirkstoff: Lindan; Zusatzstoff: Alkydharz

Holzart: Fichte

Fläche/Raum-Verhältnis: 1,0

Zeit (Dekade)	mittlere Wirkstoff-Konzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/Tag bei einem Luftwechsel/Stunde von				
	b = 0,5	1,0	1,5	2,0	4,0
1	106,6	53,3	35,5	26,6	13,3
2	133,3	66,6	44,4	33,3	16,7
3	153,3	76,6	51,1	38,3	19,2
4 + 5	86,6	43,3	28,9	21,6	10,8
6 + 7	85,0	42,5	28,3	21,2	10,6
8 + 9	73,3	36,7	24,4	18,3	9,2
10 + 11	73,3	36,7	24,4	18,3	9,2

Tabelle 16: Berechnete durchschnittliche Wirkstoff-Konzentrationen in Abhängigkeit von Zeit und Luftwechsel bei gegebener Holzart und konstantem Fläche/Raum-Verhältnis

Wirkstoff: Lindan; Zusatzstoff: Pigment, Alkydharz

Holzart: Fichte

Fläche/Raum-Verhältnis: 0,2

Zeit (Dekade)	mittlere Wirkstoff-Konzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/Tag bei einem Luftwechsel/Stunde von				
	b = 0,5	1,0	1,5	2,0	4,0
1	12,7	6,3	4,2	3,2	1,6
2	14,3	7,1	4,8	3,6	1,8
3	13,3	6,6	4,4	3,3	1,7
4 + 5	11,3	5,6	3,8	2,8	1,4
6 + 7	9,3	4,7	3,1	2,3	1,2
8 + 9	9,3	4,7	3,1	2,2	1,2
10 + 11	9,0	4,5	3,0	2,2	1,1

Tabelle 17: Berechnete durchschnittliche Wirkstoff-Konzentrationen in Abhängigkeit von Zeit und Luftwechsel bei gegebener Holzart und konstantem Fläche/Raum-Verhältnis

Wirkstoff: Lindan; Zusatzstoff: Pigment, Alkydharz

Holzart: Fichte

Fläche/Raum-Verhältnis: 0,5

Zeit (Dekade)	mittlere Wirkstoff-Konzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/Tag bei einem Luftwechsel/Stunde von				
	b = 0,5	1,0	1,5	2,0	4,0
1	31,7	15,8	10,5	7,9	4,0
2	35,8	17,9	11,9	8,9	5,0
3	33,3	16,6	11,1	8,3	4,2
4 + 5	28,3	14,1	9,4	7,1	3,6
6 + 7	23,3	11,6	7,8	5,8	2,9
8 + 9	23,3	11,6	7,8	5,8	2,9
10 + 11	22,5	11,2	7,5	5,6	2,8

Tabelle 18: Berechnete durchschnittliche Wirkstoff-Konzentrationen in Abhängigkeit von Zeit und Luftwechsel bei gegebener Holzart und konstantem Fläche/Raum-Verhältnis

Wirkstoff: Lindan; Zusatzstoff: Pigment, Alkydharz

Holzart: Fichte

Fläche/Raum-Verhältnis: 1,0

Zeit (Dekade)	mittlere Wirkstoff-Konzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/Tag bei einem Luftwechsel/Stunde von				
	b = 0,5	1,0	1,5	2,0	4,0
1	63,3	31,7	21,1	15,8	7,9
2	71,6	35,8	23,9	17,9	9,0
3	66,6	33,3	22,2	16,6	8,3
4 + 5	56,6	28,3	18,9	14,1	7,1
6 + 7	46,6	23,3	15,5	11,6	5,8
8 + 9	46,6	23,3	15,5	11,6	5,8
10 + 11	45,0	22,5	15,0	11,2	5,6

Tabelle 19: Berechnete durchschnittliche Wirkstoff-Konzentrationen in Abhängigkeit von Zeit und Luftwechsel bei gegebener Holzart und konstantem Fläche/Raum-Verhältnis

Wirkstoff: Endosulfan

Holzart: Kiefer

Fläche/Raum-Verhältnis: 0,2

Zeit (Dekade)	mittlere Wirkstoff-Konzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/Tag bei einem Luftwechsel/Stunde von				
	b = 0,5	1,0	1,5	2,0	4,0
1	3,3	1,7	1,1	0,8	0,4
2	4,0	2,0	1,3	1,0	0,5
3	5,0	2,5	1,7	1,2	0,6
4 + 5	4,3	2,2	1,4	1,1	0,6
6 + 7	4,0	2,0	1,3	1,0	0,5
8 + 9	2,3	1,2	0,8	0,6	0,3
10 + 11	2,3	1,2	0,8	0,6	0,3
12 + 13	1,7	0,8	0,6	0,4	0,2
14 + 15	2,7	1,3	0,9	0,7	0,4
16 + 17	2,0	1,0	0,7	0,5	0,3

Tabelle 20: Berechnete durchschnittliche Wirkstoff-Konzentrationen in Abhängigkeit von Zeit und Luftwechsel bei gegebener Holzart und konstantem Fläche/Raum-Verhältnis

Wirkstoff: Endosulfan

Holzart: Kiefer

Fläche/Raum-Verhältnis: 0,5

Zeit (Dekade)	mittlere Wirkstoff-Konzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/Tag bei einem Luftwechsel/Stunde von				
	b = 0,5	1,0	1,5	2,0	4,0
1	8,3	4,2	2,8	2,1	1,1
2	10,0	5,0	3,3	2,5	1,3
3	12,5	6,2	4,2	3,1	1,6
4 + 5	10,8	5,4	3,6	2,7	1,4
6 + 7	10,0	5,0	2,3	2,5	1,3
8 + 9	5,8	2,9	1,9	1,5	0,8
10 + 11	5,8	2,9	1,9	1,5	0,8
12 + 13	4,2	2,1	1,4	1,0	0,5
14 + 15	6,7	3,3	2,2	1,7	0,9
16 + 17	5,0	2,5	1,7	1,2	0,6

Tabelle 21: Berechnete durchschnittliche Wirkstoff-Konzentrationen in Abhängigkeit von Zeit und Luftwechsel bei gegebener Holzart und konstantem Fläche/Raum-Verhältnis

Wirkstoff: Endosulfan

Holzart: Kiefer

Fläche/Raum-Verhältnis: 1,0

Zeit (Dekade)	mittlere Wirkstoff-Konzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/Tag bei einem Luftwechsel/Stunde von				
	b = 0,5	1,0	1,5	2,0	4,0
1	16,7	8,3	5,6	4,2	2,1
2	20,0	10,0	6,7	5,0	2,5
3	25,0	12,5	8,3	6,2	3,1
4 + 5	21,7	10,8	7,2	5,4	2,7
6 + 7	20,0	10,0	6,7	5,0	2,5
8 + 9	11,7	5,8	3,9	2,9	1,5
10 + 11	11,7	5,8	3,9	2,9	1,5
12 + 13	8,3	4,2	2,8	2,1	1,1
14 + 15	13,3	6,7	4,4	3,3	1,7
16 + 17	10,0	5,0	3,3	2,5	1,3

Tabelle 22: Berechnete durchschnittliche Wirkstoff-Konzentrationen in Abhängigkeit von Zeit und Luftwechsel bei gegebener Holzart und konstantem Fläche/Raum-Verhältnis

Wirkstoff: Endosulfan

Holzart: Fichte

Fläche/Raum-Verhältnis: 0,2

Zeit (Dekade)	mittlere Wirkstoff-Konzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/Tag bei einem Luftwechsel/Stunde von				
	b = 0,5	1,0	1,5	2,0	4,0
1	4,3	2,2	1,4	1,1	0,6
2	10,0	5,5	2,3	2,5	1,3
3	9,7	4,8	3,2	2,4	1,2
4 + 5	10,7	5,3	3,6	2,7	1,4
6 + 7	7,7	3,8	2,6	1,9	2,0
8 + 9	6,3	3,2	2,1	1,6	0,8
10 + 11	7,0	3,5	2,3	1,7	0,9
12 + 13	4,3	2,2	1,4	1,1	0,6
14 + 15	5,3	2,7	1,8	1,3	0,7
16 + 17	5,3	2,7	1,8	1,3	0,7
18 + 19	6,0	3,0	2,0	1,5	0,8

Tabelle 23: Berechnete durchschnittliche Wirkstoff-Konzentrationen in Abhängigkeit von Zeit und Luftwechsel bei gegebener Holzart und konstantem Fläche/Raum-Verhältnis

Wirkstoff: Endosulfan

Holzart: Fichte

Fläche/Raum-Verhältnis: 0,5

Zeit (Dekade)	mittlere Wirkstoff-Konzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/Tag bei einem Luftwechsel/Stunde von				
	b = 0,5	1,0	1,5	2,0	4,0
1	10,8	5,4	3,6	2,7	1,4
2	25,0	12,5	8,3	6,2	3,1
3	24,2	12,1	8,0	6,0	3,0
4 + 5	26,7	13,3	8,7	6,7	3,4
6 + 7	19,2	9,6	6,4	4,8	2,4
8 + 9	15,8	7,9	5,3	4,0	2,0
10 + 11	17,5	8,7	5,8	4,4	2,2
12 + 13	10,8	5,4	2,6	2,7	1,4
14 + 15	13,3	6,7	4,4	3,3	1,7
16 + 17	13,3	6,7	4,4	3,3	1,7
18 + 19	15,0	7,5	5,0	7,7	1,8

Tabelle 24: Berechnete durchschnittliche Wirkstoff-Konzentrationen in Abhängigkeit von Zeit und Luftwechsel bei gegebener Holzart und konstantem Fläche/Raum-Verhältnis

Wirkstoff: Endosulfan

Holzart: Fichte

Fläche/Raum-Verhältnis: 1,0

Zeit (Dekade)	mittlere Wirkstoff-Konzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/Tag bei einem Luftwechsel/Stunde von				
	b = 0,5	1,0	1,5	2,0	4,0
1	21,7	10,8	7,2	5,4	2,7
2	50,0	25,0	16,7	12,5	6,3
3	48,3	24,2	16,1	12,1	6,1
4 + 5	53,3	26,7	17,8	13,3	6,7
6 + 7	38,3	19,2	12,8	9,6	4,8
8 + 9	31,7	15,8	10,5	7,9	4,0
10 + 11	35,0	17,5	11,7	8,7	4,3
12 + 13	21,7	10,8	7,2	5,4	2,7
14 + 15	26,7	13,3	8,9	6,7	3,4
16 + 17	26,7	13,3	8,9	6,7	3,4
18 + 19	30,0	15,0	10,0	7,5	3,8

Tabelle 25: Berechnete durchschnittliche Wirkstoff-Konzentrationen in Abhängigkeit von Zeit und Luftwechsel bei gegebener Holzart und konstantem Fläche/Raum-Verhältnis

Wirkstoff: Dichlofluanid

Holzart: Kiefer

Fläche/Raum-Verhältnis: 0,2

Zeit (Dekade)	mittlere Wirkstoff-Konzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/Tag bei einem Luftwechsel/Stunde von				
	b = 0,5	1,0	1,5	2,0	4,0
1	15,0	7,5	5,0	3,7	1,8
2	18,3	9,1	6,1	4,6	2,3
3	17,6	8,8	5,9	4,4	2,2
4 + 5	10,7	5,3	3,6	2,7	1,4
6 + 7	6,4	3,2	2,1	1,6	0,8
8 + 9	6,3	3,1	2,1	1,6	0,8
10 + 11	6,6	3,3	2,2	1,7	0,9

Tabelle 26: Berechnete durchschnittliche Wirkstoff-Konzentrationen in Abhängigkeit von Zeit und Luftwechsel bei gegebener Holzart und konstantem Fläche/Raum-Verhältnis

Wirkstoff: Dichlofluanid

Holzart: Kiefer

Fläche/Raum-Verhältnis: 0,5

Zeit (Dekade)	mittlere Wirkstoff-Konzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/Tag bei einem Luftwechsel/Stunde von				
	b = 0,5	1,0	1,5	2,0	4,0
1	37,5	18,7	12,5	9,3	4,7
2	45,8	22,9	15,2	11,5	5,7
3	44,1	22,1	14,7	11,0	5,5
4 + 5	26,7	13,3	8,9	6,6	3,3
6 + 7	15,8	7,9	5,3	4,0	2,0
8 + 9	15,8	7,9	5,3	4,0	2,0
10 + 11	16,7	8,4	5,6	4,2	2,1

Tabelle 27: Berechnete durchschnittliche Wirkstoff-Konzentrationen in Abhängigkeit von Zeit und Luftwechsel bei gegebener Holzart und konstantem Fläche/Raum-Verhältnis

Wirkstoff: Dichlofluamid

Holzart: Kiefer

Fläche/Raum-Verhältnis: 1,0

Zeit (Dekade)	mittlere Wirkstoff-Konzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/Tag bei einem Luftwechsel/Stunde von				
	b = 0,5	1,0	1,5	2,0	4,0
1	75,0	37,5	25,0	18,7	9,4
2	91,6	45,8	30,5	22,9	11,5
3	88,3	44,2	29,4	22,1	11,1
4 + 5	53,3	26,6	17,8	13,3	6,7
6 + 7	31,7	15,9	10,5	8,0	4,0
8 + 9	31,7	15,9	10,5	8,0	4,0
10 + 11	33,3	16,7	11,1	8,3	4,2

Tabelle 28: Berechnete durchschnittliche Wirkstoff-Konzentrationen in Abhängigkeit von Zeit und Luftwechsel bei gegebener Holzart und konstantem Fläche/Raum-Verhältnis

Wirkstoff: Dichlofluanid

Holzart: Fichte

Fläche/Raum-Verhältnis: 0,2

Zeit (Dekade)	mittlere Wirkstoff-Konzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/Tag bei einem Luftwechsel/Stunde von				
	b = 0,5	1,0	1,5	2,0	4,0
1	17,3	8,6	5,8	4,3	2,2
2	18,6	9,3	6,2	4,6	2,3
3	18,9	9,5	6,3	4,8	2,4
4 + 5	11,7	5,8	3,9	2,9	1,5
6 + 7	6,0	3,0	2,0	1,5	0,8
8 + 9	6,3	3,1	2,1	1,6	0,8
10 + 11	7,3	3,6	2,4	1,8	0,9

Tabelle 29: Berechnete durchschnittliche Wirkstoff-Konzentrationen in Abhängigkeit von Zeit und Luftwechsel bei gegebener Holzart und konstantem Fläche/Raum-Verhältnis

Wirkstoff: Dichlofuanid

Holzart: Fichte

Fläche/Raum-Verhältnis: 0,5

Zeit (Dekade)	mittlere Wirkstoff-Konzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/Tag bei einem Luftwechsel/Stunde von				
	b = 0,5	1,0	1,5	2,0	4,0
1	43,3	21,6	14,4	10,8	5,4
2	46,6	23,3	15,5	11,6	5,8
3	47,5	23,7	15,8	11,8	5,9
4 + 5	29,2	14,6	9,7	7,3	3,7
6 + 7	15,0	7,5	5,0	3,7	1,9
8 + 9	15,8	7,9	5,3	3,9	2,0
10 + 11	18,3	9,2	6,1	4,6	2,3

Tabelle 30: Berechnete durchschnittliche Wirkstoff-Konzentrationen in Abhängigkeit von Zeit und Luftwechsel bei gegebener Holzart und konstantem Fläche/Raum-Verhältnis

Wirkstoff: Dichlofluanid

Holzart: Fichte

Fläche/Raum-Verhältnis: 1,0

Zeit (Dekade)	mittlere Wirkstoff-Konzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/Tag bei einem Luftwechsel/Stunde von				
	b = 0,5	1,0	1,5	2,0	4,0
1	86,6	43,3	28,9	21,6	10,8
2	93,3	46,6	31,1	23,3	11,7
3	95,0	47,5	31,6	23,7	11,9
4 + 5	58,3	29,2	19,4	14,6	7,3
6 + 7	30,0	15,0	10,0	7,5	3,8
8 + 9	31,7	15,9	10,6	7,9	4,0
10 + 11	36,7	18,3	12,2	9,2	4,6

Tabelle 31: Berechnete durchschnittliche Wirkstoff-Konzentrationen in Abhängigkeit von Zeit und Luftwechsel bei gegebener Holzart und konstantem Fläche/Raum-Verhältnis

Wirkstoff: Pentachlorphenol

Holzart: Kiefer

Fläche/Raum-Verhältnis: 0,2

Zeit (Dekade)	mittlere Wirkstoff-Konzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/Tag bei einem Luftwechsel/Stunde von				
	b = 0,5	1,0	1,5	2,0	4,0
1	36,6	18,3	12,2	9,1	4,6
2	29,3	14,6	9,8	7,3	3,7
3	15,3	7,6	5,1	3,8	1,9
4 + 5	18,0	9,0	6,0	4,5	2,3
6 + 7	15,0	7,5	5,0	3,7	1,9
8 + 9	15,0	7,5	5,0	3,7	1,9
10 + 11	15,7	7,8	5,3	3,9	2,0

Tabelle 32: Berechnete durchschnittliche Wirkstoff-Konzentrationen in Abhängigkeit von Zeit und Luftwechsel bei gegebener Holzart und konstantem Fläche/Raum-Verhältnis

Wirkstoff: Pentachlorphenol

Holzart: Kiefer

Fläche/Raum-Verhältnis: 0,5

Zeit (Dekade)	mittlere Wirkstoff-Konzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/Tag bei einem Luftwechsel/Stunde von				
	b = 0,5	1,0	1,5	2,0	4,0
1	91,6	45,8	30,5	22,9	11,8
2	73,3	36,6	24,4	18,3	9,2
3	38,3	19,1	12,7	9,6	4,8
4 + 5	45,0	22,5	15,0	11,2	5,6
6 + 7	37,5	18,7	12,5	9,4	4,7
8 + 9	37,5	18,7	12,5	9,4	4,8
10 + 11	39,2	19,6	13,1	9,8	4,9

Tabelle 33: Berechnete durchschnittliche Wirkstoff-Konzentrationen in Abhängigkeit von Zeit und Luftwechsel bei gegebener Holzart und konstantem Fläche/Raum-Verhältnis

Wirkstoff: Pentachlorphenol

Holzart: Kiefer

Fläche/Raum-Verhältnis: 1,0

Zeit (Dekade)	mittlere Wirkstoff-Konzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/Tag bei einem Luftwechsel/Stunde von				
	b = 0,5	1,0	1,5	2,0	4,0
1	183,3	91,6	61,1	45,8	22,9
2	146,6	73,3	48,8	36,6	18,3
3	76,6	38,3	25,5	19,1	9,6
4 + 5	90,0	45,0	30,0	22,5	11,3
6 + 7	75,0	37,5	25,0	18,7	9,4
8 + 9	75,0	37,5	25,0	18,7	9,4
10 + 11	78,3	39,2	26,1	19,6	9,8