

Vergleich der VOC-Emission aus Kiefernharz und Lackstoff

Tatsuaki Tanaka, Toshihiro Nakai, Deisy Catalina Diaz und Kikue Kubota

Bei Maßnahmen gegen die Verschmutzung von Innenräumen durch flüchtige organische Verbindungen (VOC) denkt man an die Verwendung natürlicher Baumaterialien. Aber auch aus natürlichen Stoffen entweichen schädliche organische Verbindungen, so dass zur Vorbeugung auch diese Materialien systematisch auf VOC-Emissionen zu untersuchen sind.

Als Hauptursachen der Innenraumverschmutzung werden oft flüssige Mittel wie Lack, Klebstoff oder Wachs genannt. Die Autoren fanden bei Untersuchungen der VOC-Emission natürlicher flüssiger Mittel heraus, dass Kiefernharz und Urushi (Lackstoff des japanischen Urushi-Baums) unterschiedliche zeitliche Verläufe der Emissionsgeschwindigkeit besitzen. Bei Kiefernharz zeigte sich eine einfache Form der Emissionsgeschwindigkeitsabnahme, sie wird durch Verdunstung bestimmt. Bei Urushi hat die Emissionsgeschwindigkeitsabnahme dagegen eine komplexere Form, bei der nach einiger Zeit die Diffusion dominiert. Diese Vorgänge werden im Folgenden diskutiert.

1. Versuchsmethode

1.1 Messmethode

Kiefernharz und Roh-Urushi sind problemlos erhältlich. Jeweils 1 g davon wurde auf je eine quadratische Aluminiumplatte mit der Seitenlänge 148 mm aufgetragen. Beide Platten wurden in je einem Abdichtkasten befestigt. Die Emissionsgeschwindigkeit der VOC aus diesen Materialien wurde in einer Testkammer ADPAC (20 Liter) der Firma Adtec gemessen. *Bild 1* zeigt die Testkammer. Normbedingungen des Versuchs waren die Kammertemperatur 28 °C, Luftfeuchtigkeit 50%, Luftwechsel 0,5 h⁻¹ (Luftvolumenstrom 167 ml/min) und Probenbelastung 22 l/m. Lediglich in Versuch 2.3 wurden Luftwechsel und Probenbelastung geändert. Die Aldehyde und Ketone in der aus der Testkammer strömenden Luft wurden mit dem Aktiv-Sammler Sep.-Pak DNPH Silica Cartridge-

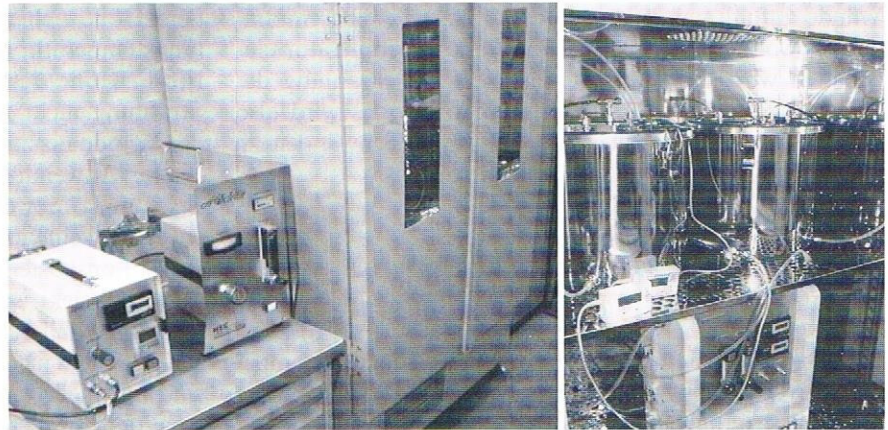


Bild 1. Die ganze Testkammer (links) und der Testkammer-Teil im Thermostaten (rechts).

short der Firma Waters gesammelt und mit Flüssig-Chromatographie bestimmt. Sonstige VOC wurden mit Tenax TA der Firma GL Science gesammelt und durch thermale Desorption GVMS ermittelt.

1.2 Analysemethode

Aus der Kartusche der DNPH wurden Aldehyde und Ketone mit 5 ml Acetonitril extrahiert, der Extrakt wurde mit Flüssig-Chromatographie analysiert. Als Säulen wurden CREST PAK C18S von NIPPON BUNKOH KOGYO (Japanese Spectrometric Industry) (Innendurchmesser 4,6 mm, Länge 150 mm) bei 40 °C benutzt. Die Bestimmung erfolgte mit einem Spektrometer mit 360 nm Wellenlänge. Als Elutionsmittel wurde eine 55% Acetonitril-Lösung mit einer Strömungsgeschwindigkeit von 0,8 ml/min verwendet. Die Probeinjektionsmenge betrug 20 ml. Die mit Tenax TA gesammelten VOC wurden mit GCMS-QP5050A von SHIMADZU bestimmt. Die Temperatur für die thermische Desorption betrug 200 °C, für die Säulen wurden Kapillarsäulen TC-1 (Innendurchmesser 0,32 mm, Länge 60 m, Filmdicke 1,0 µm) von GL SCIENCE benutzt. Bei der Desorption wird die Temperatur auf -20 °C gesenkt, wodurch der VOC-Fluss gestoppt wird und eine Sperre (trap) entsteht, dann wird langsam auf 200 °C erhitzt, wodurch die Sperre ihre Funktion verliert und die VOC wieder zu fließen beginnen. Die Flussrate des Trägergases (Helium) betrug 3,4 ml/min.

Für die elektronenmikroskopische Beobachtung des Querschnitts und der Oberfläche des Lackfilms wurde das Raster-Elektronenmikroskop JED-220 von NIHON DENROH eingesetzt.

Prof. Dr. Tatsuaki Tanaka, Dr. Toshihiro Nakai, Master Deisy Catalina Diaz und Prof. Dr. Kikue Kubota, Ochanomizu Univ., 2-1-1, Otsuka, Bunkyo-ku, Tokio, Japan (112-8610).

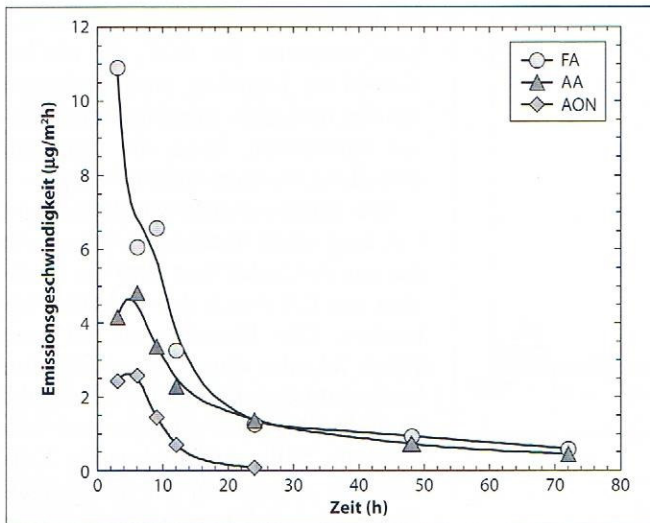


Bild 2. Aldehyd- und Keton-Emission aus Kiefernharz.

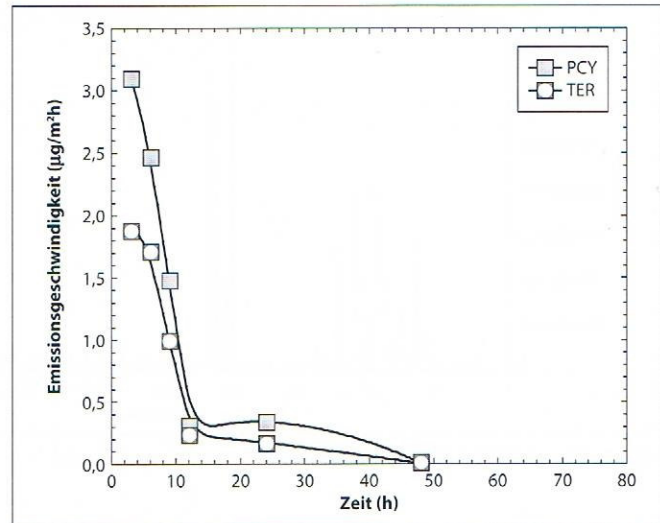


Bild 4. PCY- und TER-Emission aus Kiefernharz.

2. Ergebnisse und Deutung

2.1 VOC-Emission aus Kiefernharz und Urushi

Bei den freigesetzten Aldehyden und Ketonen aus dem auf einer Aluminiumplatte aufgetragenen Kiefernharz war die Emissionsgeschwindigkeit von Formaldehyd (FA) am größten, gefolgt von Acetaldehyd (AA) und Aceton (AON). Die zeitlichen Verläufe der Emissionsgeschwindigkeit dieser Stoffe sind Bild 2 zu entnehmen.

Das Chromatogramm der Messung mit GCMS zeigt Bild 3. In dieser Abbildung, die das Ergebnis nach 6 Stunden zeigt, bedeuten 1: Hexanal, 2: Nonanal, 3: 1-Terpineol (TER), 4: p-Cymen-8-ol (PCY), 5: Dekanal und 6: Bisokrotyl.

In Bild 4 sind die zeitlichen Verläufe der Emissionsgeschwindigkeit von TER und PCY dargestellt. Die Konzentrationswerte wurden auf Toluol-Konzentration umgerechnet.

Aus obigen Abbildungen ergibt sich, dass die Emissionsgeschwindigkeit jeder Verbindung von Beginn der Messung an (nach 3 Stunden) bis zu 24 Stunden danach rapide abnimmt. Bei AA und AON scheint dabei die Emissionsge-

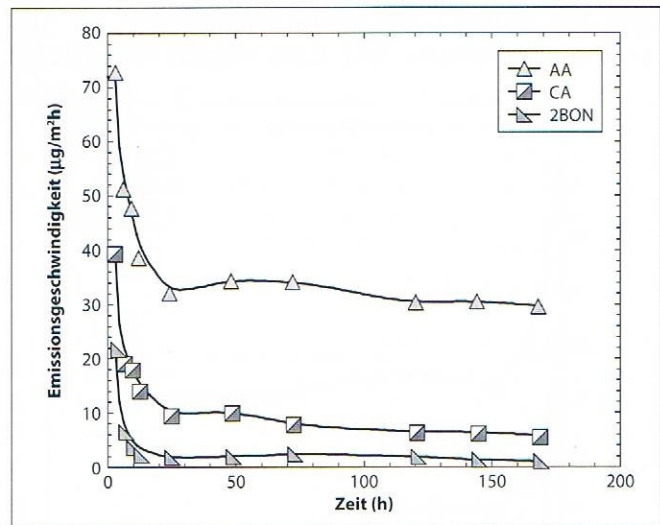


Bild 5. Aldehyd- und Keton-Emission aus Urushi.

schwindigkeit erst nach anfänglicher Zunahme abzunehmen. Dieser Sachverhalt lässt sich jedoch so erklären, dass zu Beginn der Messung diese Substanzen innerhalb der Testkammer noch nicht völlig verteilt waren, so dass die in diesem Zeitraum gemessenen Werte zu klein waren.

Bei den emittierten Aldehyden und Ketonen aus dem auf der Aluminiumplatte aufgetragenen rohen Urushi war die Emissionsgeschwindigkeit von AA am größten, gefolgt von Crotonaldehyd (CA) und 2-Butanon (2BON). Die zeitlichen Verläufe der Emissionsgeschwindigkeiten dieser Verbindungen sind in Bild 5 dargestellt.

In dieser Abbildung zeigt AA bis 24 Stunden nach dem Auftrag eine rapide Abnahme der Emissionsgeschwindigkeit, danach bleibt sie fast konstant. Hier handelt es sich nicht um eine einfache Emissionsform, bei der hauptsächlich die Verdunstung

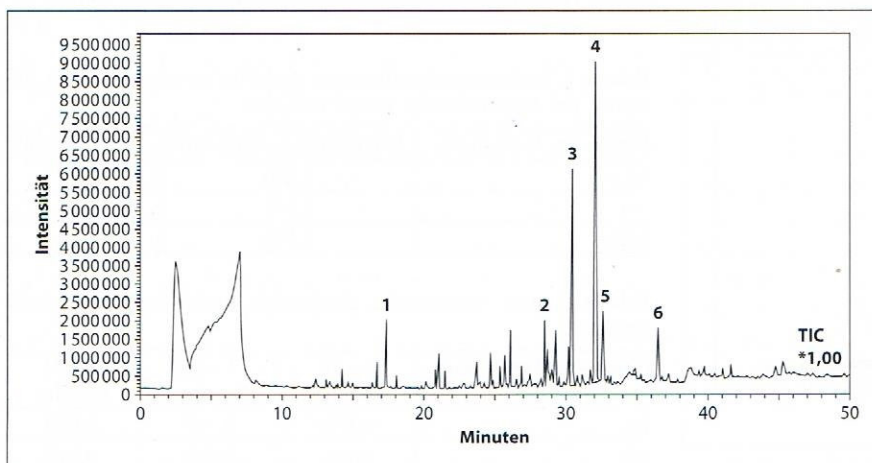


Bild 3. Das GCMS-Chromatogramm der Kiefernharz-Emission.

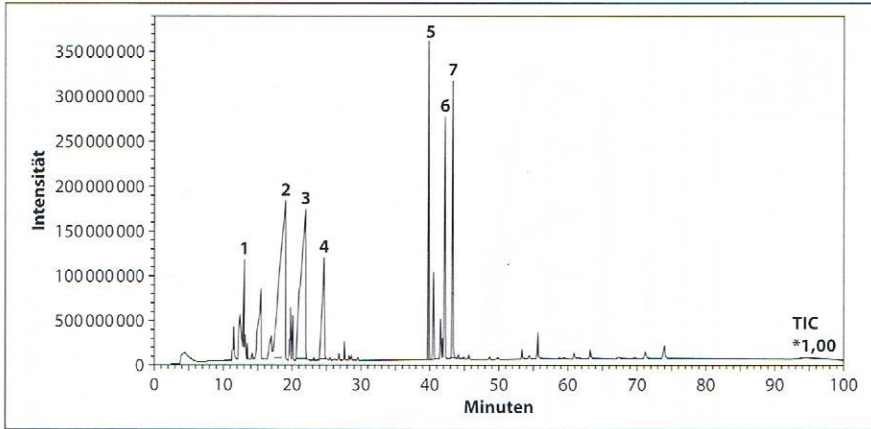


Bild 6. Das GCMS-Chromatogramm der Emission aus Urushi.

dominiert. Dieser Verlauf ergibt sich dadurch, dass nach dem Auftrag des Lackes, während der Verdunstung, ein Lackfilm gebildet wird, der die Emission von AA behindert. Die Emission geht hierbei kontinuierlich von Verdunstung zu Diffusion über. Beim Vorgang der Diffusion

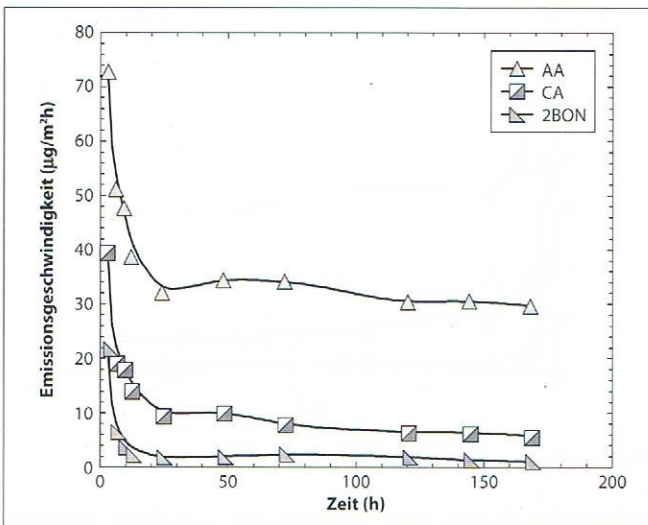


Bild 7. OCT- und α-LO-Emission aus Urushi.

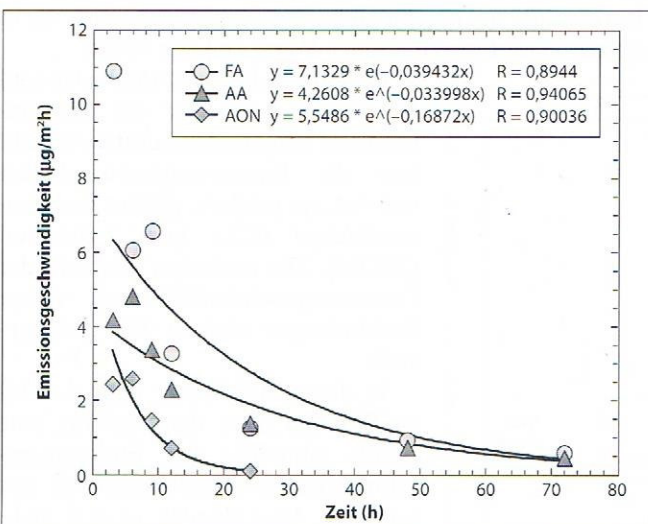


Bild 8. Exponentielle Abnahme bei Aldehyd- und Keton-Emission aus Kieferharz.

ist die Emissionsgeschwindigkeit nahezu konstant. Bei VOC, die wie bei Urushi im Lackfilm zurückgehalten werden und dann langsam durch diesen entweichen, kann die Emission mittellang bis lang andauern [1].

Die Emissionsgeschwindigkeit von CA zeigt einen ähnlichen Verlauf wie die von AA, auch hier wird die Emission von CA durch den Lackfilm behindert. Die Emission nimmt eine Form an, die durch Innendiffusion bestimmt wird. Bei 2BON scheint die Emission bei dem sehr flachen, sich nahe am Nullwert bewegenden Kurvenstück nicht von der Innendiffusion beherrscht zu sein, dieser flache

Kurvenverlauf ergibt sich aber durch die geringe Absolutmenge.

Als nächstes wird in Bild 6 das GCMS-Chromatogramm gezeigt. In dieser Abbildung bedeuten 1: Metakrolein, 2: Hexansäure, 3: Oktansäure (OCT), 4: Nonansäure, 5: Alpha-Longipinene (α-LO), 6: Karyophyllene und 7: Alpha-Karyophyllene. Die zeitliche Änderung der Emissionsgeschwindigkeiten von OCT und α-LO wird in Bild 7 dargestellt. Hier ist die Konzentration auf Toluolkonzentration umgerechnet.

2.2 Mathematische Beschreibung der VOC-Emission aus Kieferharz

Die von Verdunstung bestimmte Emission kann hier mit Gleichung (1) ausgedrückt werden:

$$EF = E_{Fo} \cdot \exp(-kt) \tag{1}$$

Das Ergebnis der Anwendung von Gleichung (1) auf die Emission aus Kieferharz ist in Bild 8 dargestellt. Die Korrelationskoeffizienten und E_{Fo} sind in Tabelle 1 angegeben.

Bei FA ist die Korrelation mit dem Korrelationskoeffizienten 0,84 nicht besonders gut. Da dies daran liegt, dass die Emissionsgeschwindigkeit schließlich nicht mehr exponentiell abnimmt, wurde die Versuchszeit auf weniger als 24 Stunden verkürzt. Dieser Verlauf wird in Bild 9 ge-

Tabelle 1. Korrelationskoeffizienten und E_{Fo} bei exponentieller Abnahme der Aldehyd- und Keton Emission.

Chemische Verbindung	Korrelationskoeffizient R	E_{Fo} (µg/m²h)
FA	0,894	7,13
AA	0,941	4,26
AON	0,900	5,55

Tabelle 2. Der angewandte Zeitbereich und Korrelationskoeffizienten.

Chemische Verbindung	3 ~ 72 Stunden	3 ~ 48 Stunden	3 ~ 24 Stunden
FA	0,894	0,917	0,959
AA	0,941	0,937	0,913
AON	-	-	0,900

Tabelle 3. Korrelationskoeffizienten und Efo im Bereich von 6 bis 24 Stunden.

Chemische Verbindung	Korrelationskoeffizient R	Efo ($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$)
AA	0,954	6,17
AON	0,998	7,43

Tabelle 4. Korrelationskoeffizienten und Efo von PCY und TER.

Chemische Verbindung	Korrelationskoeffizient R	Efo ($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$)
PCY	0,966	4,31
TER	0,955	3,03

zeigt. Die Korrelationskoeffizienten und Efo innerhalb von 48 bzw. 24 Stunden sind *Tabelle 2* zu entnehmen.

Bei FA vergrößern sich mit Verkleinerung des Zeitbereichs die Korrelationskoeffizienten, so dass sich innerhalb von 24 Stunden eine verhältnismäßig gute Korrelation mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,959 ergibt. AA jedoch zeigt ein entgegengesetztes Verhalten, der Grund hierfür liegt in der bereits erwähnten scheinbaren Zunahme der Emissionsgeschwindigkeit in den ersten 3 bis 6 Stunden. Die Autoren wandten deshalb bei AA und AON Gleichung (1) unter Vernachlässigung der Werte der ersten 3 Stunden an. Diese Ergebnisse sind in *Bild 10* und *Tabelle 3* dargestellt. Daraus wird deutlich, dass sich bei den betrachteten flüchtigen organischen Verbindungen im Bereich von 6 bis 24 Stunden die Emissionsgeschwindigkeit mit Gleichung (1) gut beschreiben lässt.

Die über GCMS-Analyse ermittelte exponentielle Abnahme von PCY und TER ist in *Bild 11* dargestellt, die Korrelationskoeffizienten und Efo sind *Tabelle 4* zu entnehmen. Sowohl PCY als auch TER zeigen eine relativ gute Korrelation.

2.3 Die Lackfilmbildung bei Urushi und die VOC-Emission

Henley et al. äußerten ihre Besorgnis über die VOC-Emission aus Hochpolymer-Lack [1]. Es gibt auch Berichte über Analysemethoden für sehr geringe VOC-Emissionen aus Lackfilmen [3]. Bagda et al. berichten über das Emissionsverhalten der FA, die im Lackfilm zurückgeblieben sind [4].

Krebs et al. behaupten, dass die langzeitige VOC-Emission aus dem auf Gips aufgetragenen Lack durch Diffusionsvorgänge innerhalb des Lackfilms geregelt wird [5].

Wenn also die Emission aus dem Lackfilm erfolgt, steht die mittellange bis lange Emission mit der Permeabilität des Urushi-Lackfilms für Aldehyde und Ketone bzw. mit der Filmdichte in Zusammenhang. Es wurden deshalb die Stoffübergangskoeffizienten der Aldehyde und Ketone für das Durchdringen des Urushi-Lackfilms errechnet. Hierfür wurde die Methode für das Durchdringen von VOC durch Baumaterialien [6; 7] angewandt.

Innerhalb der Testkammer wird die VOC-Emissionsgeschwindigkeit aus der Probe von der Kammerkonzentration bestimmt. Hoetjer et al. dachten, dass die Emission von der Differenz zwischen der Sättigungskonzentration und der Kammerkonzentration bestimmt wird, und leiteten die folgende Gleichung (2) aus der Stoffbilanz ab:

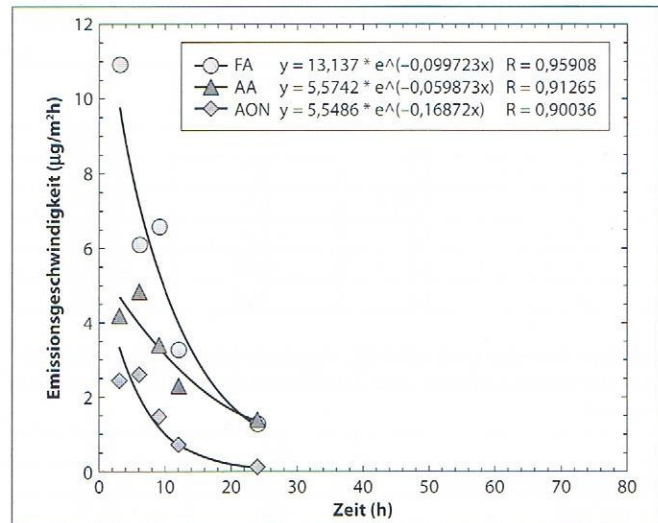


Bild 9. Exponentielle Abnahme in 24 Stunden.

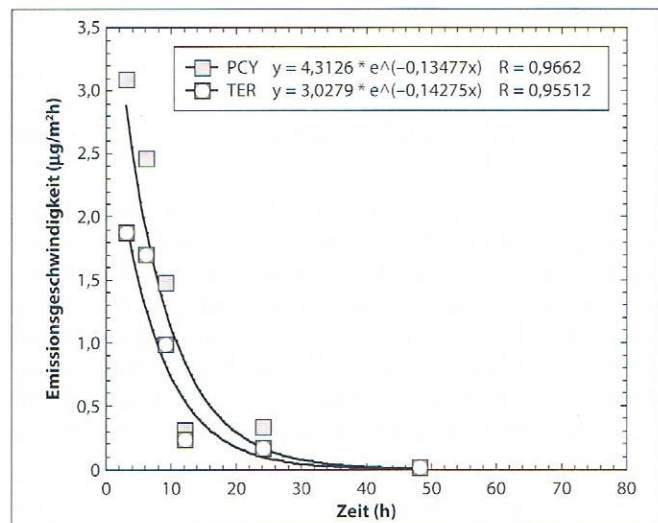


Bild 10. Exponentielle Abnahme von AA und AON in 6–24 Stunden.

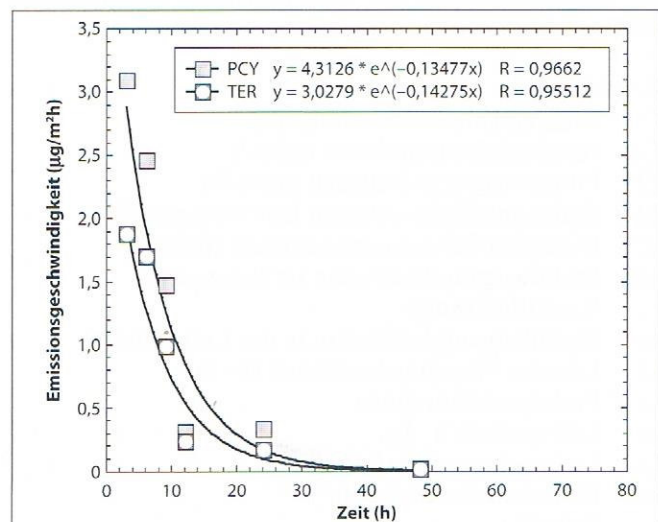


Bild 11. Exponentielle Abnahme von PCY und TER.

Tabelle 5. Probelastfaktor und Luftwechsel bei der Kammerkonzentration.

Messung	Probelastfaktor L	Luftwechsel n	n/L
1	2,2	0,5	0,227
2	1,1	0,5	0,455
3	0,55	0,5	0,909
4	1,1	1,0	0,909
5	2,2	0,25	0,114
6	1,1	0,25	0,227

Tabelle 6. Korrelationskoeffizient, Ausgleichskonzentration, Gesamtstoffübergangskoeffizient und Stoffübergangskoeffizient im Baumaterial.

	AA	CA
Korrelationskoeffizient	0,988	0,952
Ce (µg/m³)	435	90,9
k (m/h)	0,12	0,16
kg (m/h)	0,12	0,17

$$dC/dt \cdot V = k(C_e - C)S - QC \quad (2)$$

$$dC/dt = 0 \quad (3)$$

$$1/C = 1/C_e + (1/kC_e) \cdot (n/L) \quad (4)$$

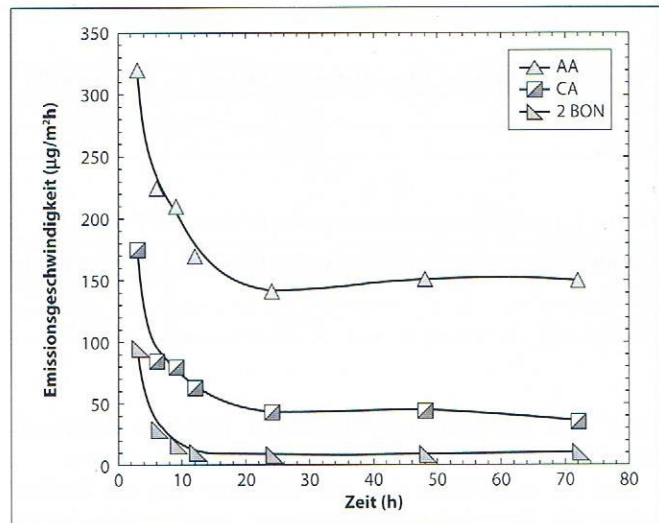
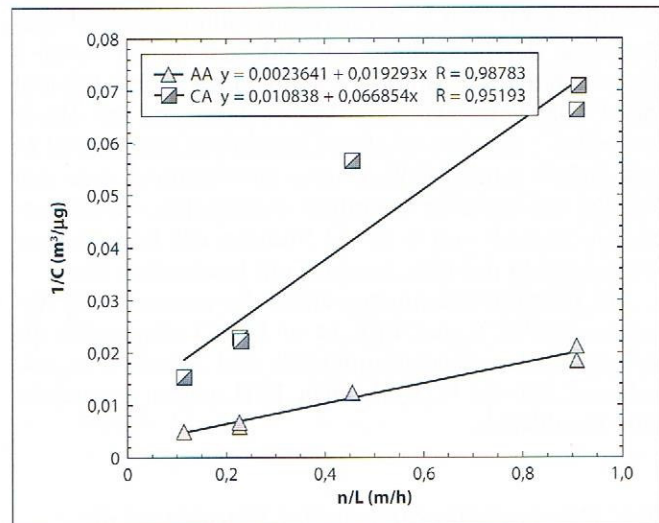
Im stationären Zustand gilt Gleichung (3), so dass Gleichung (2) und Gleichung (4) äquivalent sind. Infolgedessen besteht eine lineare Korrelation zwischen dem Kehrwert der Kammerkonzentration $1/C$ und n/L . Aus dieser Korrelation können die Ausgleichskonzentration C_e und der Gesamtstoffübergangskoeffizient beim Durchdringen der Aldehyde und Ketone durch den Urushi-Lackfilm und die Kammerluft errechnet werden. Gleichung (5) stellt den Gesamtstoffübergangskoeffizienten dar:

$$1/k = 1/kg + 1/ko \quad (5)$$

Wenn man den Stoffübergangskoeffizienten des Wasserdampfs in der Testkammer (4,3 m/h) für den Stoffübergangskoeffizienten in der Kammerluft ko einsetzt, kann aus Gleichung (5) der Stoffübergangskoeffizient kg bei der Durchwanderung der VOC durch den Urushi-Lackfilm errechnet werden.

Bezeichnungen:

- C: Kammerkonzentration (µg/m³)
- Ce: Ausgleichskonzentration (µg/m³)
- EF: Emissionsgeschwindigkeit (µg/m²h)
- Efo: Emissionsgeschwindigkeit bei t=0 (µg/m²h)
- k: Gesamtstoffübergangskoeffizient (m/h)
- kg: Stoffübergangskoeffizient im Baumaterial (Lackfilm) (m/h)
- ko: Stoffübergangskoeffizient in der Luft (m/h)
- k1: Linearer Abnahmekoeffizient (h · l)
- L: Probelastfaktor (l/m)
- n: Luftwechsel (h · l)
- Q: Luftwechselmenge (m³/h)
- S: Emissionsoberfläche (m²)
- t: Zeit (h)
- V: Kammervolumen (m³)

**Bild 12.** Kammerkonzentration der Emission aus Urushi (L = 2,2; n = 0,5).**Bild 13.** Zusammenhang von $1/C$ und n/L bei AA- und CA-Emission aus Urushi.

Um das Verhältnis zwischen $1/C$ und n/L zu ermitteln, änderten die Autoren den Luftwechsel und die Anzahl der Aluminiumplatten (Probelast) und untersuchten die zeitliche Änderung der Kammerkonzentration. Die Messbedingungen werden in Tabelle 5, die Werte für $L = 2,2$, $n = 0,5$ in Bild 12 gezeigt. Die Korrelation zwischen $1/C$ und n/L ist Bild 13 zu entnehmen, der Korrelationskoeffizient R und die errechneten Werte für C_e , k und kg sind in Tabelle 6 angegeben. Als Stoffübergangskoeffizient kg wurde ein Wert ermittelt, der zwischen den Werten für MDF und EPS liegt. Man kann also annehmen, dass die Dichte des Urushi-Lackfilms zwischen denen von MDF und EPS liegt und die Emission mittellang bis lang andauert.

2.4 Aufbau des Urushi-Lackfilms

Anfangs wurde angenommen, dass die Dichte des Urushi-Lackfilms größer ist als die von MDF oder EPS und infolgedessen der Stoffübergangskoeffizient für Aldehyd

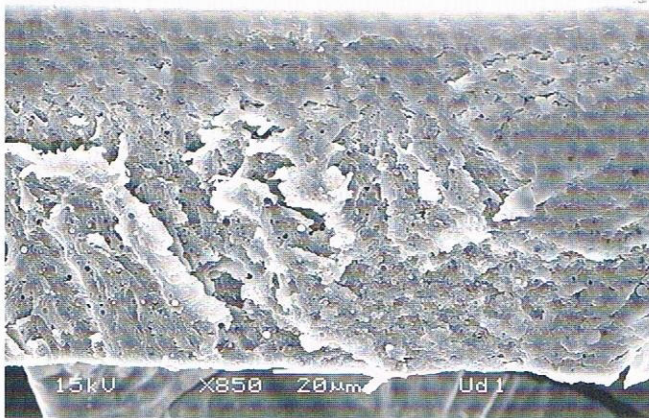


Bild 14. Lackfilm-Querschnitt von Urushi (x 850).

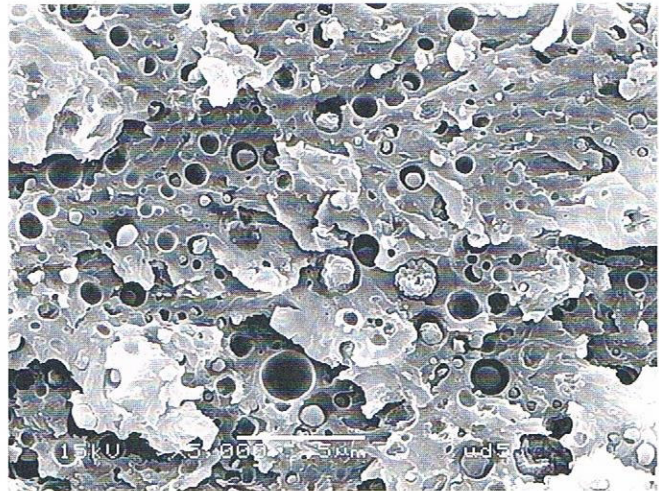


Bild 17. Lackfilm-Querschnitt von Urushi (x 5000).

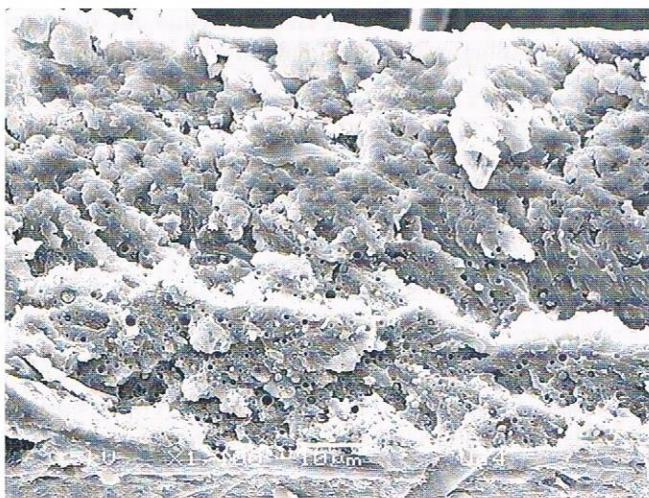


Bild 15. Lackfilm-Querschnitt von Urushi (x 1100).

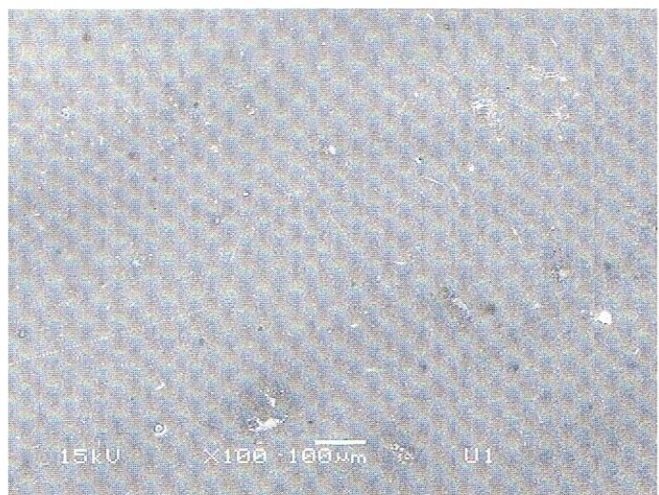


Bild 18. Lackfilm-Oberfläche von Urushi (x 100).

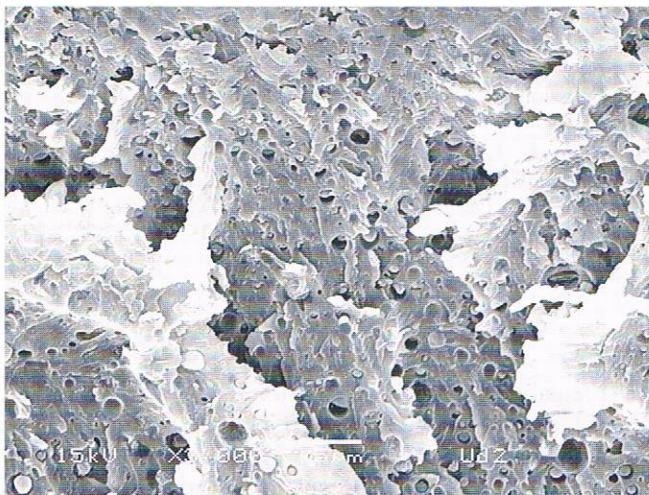


Bild 16. Lackfilm-Querschnitt von Urushi (x 3000).

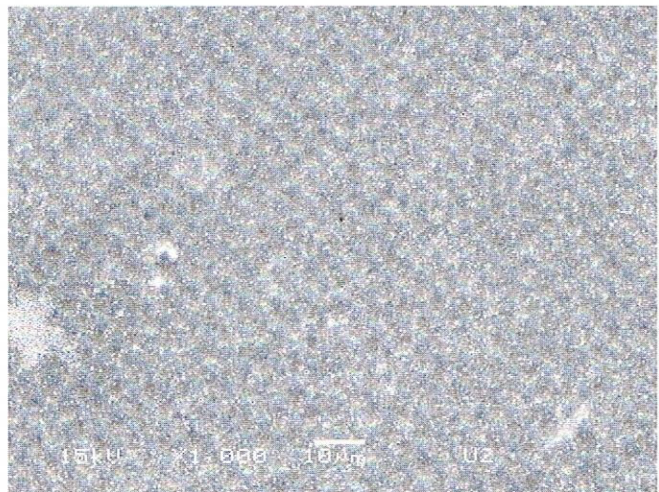


Bild 19. Lackfilm-Oberfläche von Urushi (x 1000).

durch den Urushi-Lackfilm wesentlich kleiner. Es zeigte sich aber, dass der Wert zwischen denen von MDF und EPS liegt, der Lackfilm von Urushi ist also nicht sehr dicht. Um dies zu prüfen wurde der Urushi-Lackfilm elektronenmikroskopisch untersucht. Der Querschnitt des Lackfilms wird auf den *Bildern 14 bis 17*, die Oberfläche auf den *Bildern 18 bis 20* gezeigt. Auf dem Querschnitt

können deutlich kleine Poren beobachtet werden. Da diese Poren auch auf der Oberfläche zu sehen sind, kann angenommen werden, dass sie den Querschnitt hindurch bis zur Oberfläche ausgebildet sind. Sie können durch die VOC-Emission während der Gestaltung und Trocknung des Lackfilms entstanden sein. Jedenfalls wirken diese Poren nach Bildung des Lackfilms bei der Aldehyd-Emis-

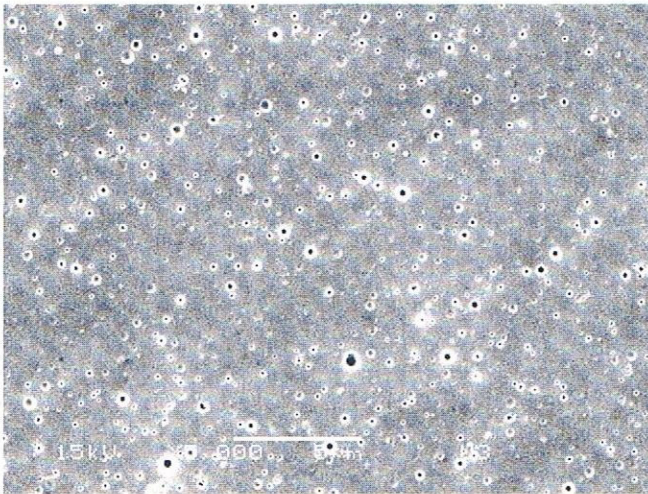


Bild 20. Lackfilm-Oberfläche von Urushi (x 5000).

sion als Durchgänge, wodurch der Stoffübergangskoeffizient unerwartet groß wird.

3. Zusammenfassung

Die VOC-Emission aus auf Aluminiumplatten aufgetragenem Kiefernharz und Urushi wurde mit der Testkammer-Methode gemessen. Daraus konnten folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

1. Es zeigten sich zwei unterschiedliche Formen zeitlicher Verläufe der Emissionsgeschwindigkeit von VOC aus Kiefernharz und Urushi: Bei Kiefernharz ist die Emissionsgeschwindigkeit im Vergleich zu Urushi niedrig und die Dauer der Emission ist kurz. Die Emissionsgeschwindigkeit nimmt nach dem Auftrag exponentiell ab, ursächlich dafür ist der Vorgang der Verdunstung. Bei Urushi ist die Emissionsgeschwindigkeit im Vergleich zu Kiefernharz hoch und die Dauer der Emission ist mittellang bis lang. Die Emissionsgeschwindigkeit nimmt anfangs exponentiell ab um danach einen quasi konstanten Wert anzunehmen. Es ist davon auszugehen, dass nach dem Auftrag durch Bildung eines dünnen Lackfilms an der Oberfläche der Probe die VOC einige Zeit in dieser dünnen Schicht zurückgehal-

ten werden und schließlich durch diesen Lackfilm diffundieren.

2. Die mathematische Beschreibung mit exponentiellem Ansatz auf die Emission aus Kiefernharz zeigte bei jeder organischen Verbindung im Bereich 6 bis 24 Stunden nach dem Auftrag gute Ergebnisse, so dass hier von einer einfachen Form der Emission gesprochen werden kann, die von Verdunstung beherrscht wird.
3. Bei Anwendung der *Hoetjer*-Theorie auf das Durchdringen von VOC durch einen Urushi-Lackfilm wurde eine gute Verträglichkeit nachgewiesen. Der ermittelte Stoffübergangskoeffizient zeigte im Vergleich zu den bestehenden Rechenwerten für die FA-Emission aus Baumaterialien eine Größe zwischen MDF und EPS. Daraus kann geschlossen werden, dass die Dichte des Urushi-Lackfilms zwischen denen von MDF und EPS liegt.
4. Im Urushi-Lackfilm gibt es zahlreiche Poren, durch die Aldehyde emittieren. Das ist der Grund für den verhältnismäßig großen Stoffübergangskoeffizienten.

Danksagung

An dieser Stelle danken wir Herrn Professor Dr. *Toshiyuki Tanaka* für seine große Unterstützung und Mitarbeit.

Ebenso sprechen wir der Stiftung TOSTEM-Foundation for Construction materials Industry Promotion für die Förderung dieser Arbeit unseren herzlichen Dank aus.

Literatur

- [1] *Henley, M. V. and Weber, R. M.*: Evaluation of Volatile Organic Compound Emissions from Line-XXS-350 Polymer Coating. Final Technical Report, AD Report (2002).
- [2] *Tichenor, B. A.; Guo Z. and Sparks L. E.*: Fundamental Mass Transfer Model for Indoor Air Emissions from Surface Coatings. *Indoor Air* 3 (1993), pp 263–268.
- [3] *Hatano, N. and Kiyoto, M.*: Quantitative Bestimmung der aus einem Lackfilm emittierenden VOC, Untersuchung über Lackstoffe, No. 137 (2001), pp.18–23.
- [4] *Bagda, E.; Brenner, T. and Wensing, M.*: Zur Formaldehyd Emission aus Dispersionsfarben. *Farbe Lack* 103 (1997–8), pp. 87–91.
- [5] *Krebs, K.; Lao H. C.; Fortmann R. and Tichenor, R. B.*: Test Methods for Determining Short and Long Term VOC Emissions from Latex Paint. PB Report (1998), PB-98-155054.

Rechtsecke

Brandsicherheitsbescheinigung

Wer eine Feuerungsanlage in oder an bestehenden Gebäuden ändert oder errichtet, sollte sich die Betriebs- und Brandsicherheit vom Bezirksschornsteinfegermeister bescheinigen lassen. Sonst geht der Versicherungsschutz des Gebäudes verloren. Anlass ist ein vom Landgericht Flensburg (Az.: 3 0 87/02) entschiedener Fall. Ein Versicherungsnehmer brachte an der Außenwand seines Hauses einen Außenschornstein an, kümmerte sich aber nicht um

die Freigabe durch den Schornsteinfeger. Von hier brach ein Feuer aus, das Teile des Gebäudes zerstörte. Die Wohngebäudeversicherung verweigerte die Zahlung und bekam vom Landgericht Recht. Das Errichten oder Ändern solcher Anlagen ist genehmigungsfrei. Vorbeugend fordern aber die Versicherer in ihren Bedingungen, dass der Versicherte alle gesetzlichen und behördlichen Sicherheitsregeln beachten muss. Darunter fallen auch die Vorschriften der zuständigen Landesbauordnung. Wer dies unterlässt, dem droht der Verlust des Versicherungsschutzes. Das Gericht stufte das Nichtbeachten von allgemeingültigen Sicherheitsregeln – auch bei Unkenntnis – als grobfahrlässig ein.