

# **Modellversuch und Prüfkammeruntersuchungen zur Beurteilung von Innenraumbelastungen durch textile Bodenbeläge und Textilbelagsklebstoffe**

Michael Fischer, Friedhelm Diel und Eva Diel  
UMWELTBERATUNG Fulda, Petersgasse 27, D-36037 Fulda

## **Einleitung**

Bodenbeläge zählen prinzipiell, aufgrund ihrer Größe (entsprechend einer Raumbeladung von durchschnittlichen ca. 0,4 m<sup>2</sup> Fläche des Bodenbelages pro m<sup>3</sup> Rauminhalt), zu den großflächigen und damit auch zu den potentiell bedeutsamen Belastungsquellen in Innenräumen. Da ein erheblicher Teil dieser Bodenbeläge großflächig verklebt wird, sind zusätzlich die eingesetzten Klebstoffe Ursache für Innenraumbelastungen, die oft einhergehen mit Geruchsbelästigungen und Befindlichkeitsstörungen wie Kopfschmerzen, Schleimhautreizungen.

Nach einer Studie, der im Bodenbelag spezialisierten Marktforschungsgesellschaft Intercontuft, lag 1996 der Gesamtverbrauch aller Bodenbeläge in Westeuropa bei 1.604 Mio. qm. Der textile Bereich (einschließlich Automobilteppiche) nimmt mit 893 Mio. qm dabei mehr als die Hälfte ein. Dies teilt sich auf in 568 Mio qm Tuftingware, 223 Mio qm Nadelfilze, 86 Mio qm Webware und 13 Mio qm Sonstiges.

Im folgenden sollen die Einflüsse auf die Innenraumluft durch die Verlegung textiler Bodenbeläge anhand eines Modellversuches dargelegt sowie Prüfkammeruntersuchungen von „sehr emissionsarmen“ Textilbelagsklebstoffen vorgestellt werden.

## **Einflüsse der Verlegung textiler Bodenbeläge auf die Innenraumluft**

Für den privaten Bereich werden am häufigsten Kunstfaserteppichböden und Nadelfilzböden aus Kunstfasern neben Bodenbelägen aus Mischgewebe in Verkehr gebracht. Derartige Böden können in den unterschiedlichsten Farben und Beschaffenheiten produziert werden. Die Kunstfaserteppiche aus Polyamid, Polyacryl, Polyester oder Polypropylen werden chemisch weiter ausgerüstet, um gezielte zusätzliche Eigenschaften (z.B. anitstatisch, schmutzabweisend, lichtecht usw.) zu erreichen. In den meisten Fällen sind derartig ausgerüstete Kunstfasern auf eine Trägerschicht auf „getuftet“ (engl. tuft = Büschel). Ein getufteter Teppichboden besteht in der Regel aus drei Schichten: einer Nutzschicht, der nach oben sichtbare Flor, einer Mittelschicht und einer Rückenschicht, welche auch Zweitrücken genannt wird. Dieser ist häufig ein Schaumrücken. Neben Schaumrücken, der meist aus Syntheselatex SBR (Styrol-Butadien-Rubber), Polyurethanschaum, textilen Zweitrücken, Juterücken besteht existieren auch Konstruktionen, die als Rücken eine Bitumenschicht aufweisen. In den meisten Fällen ist nicht die nutzungsbedingte Faserschicht, sondern diese Rückenschicht Ursache für die dauerhafte Geruchsbelästigungen. Andererseits kann auch die Nutzschicht, z.B. bei einer entsprechenden Mottenschutzrüstung von Wollteppichen (die hier allerdings nicht betrachtet werden sollen), schuld an Innenraumbelastungen sein. Vor allem auch die

verwendeten Kleber und die zur Vorbehandlung des Untergrundes eingesetzten Grundierungen und Spachtelmassen kommen für unerwünschte Emissionen in Frage. Und schließlich kann es unvorhersehbare chemische Reaktionen zwischen Teppich, Klebstoff und Untergrund geben.

Häufig ist nicht die Faserschicht, sondern die Rückenbeschichtung, auf die in vielen Fällen der Textilanteil aufgeklebt ist, Ursache für dauerhafte Innenraumbelastungen. So führen die im Schaumrücken im SBR enthaltenen Monomere Styrol und Butadien zur Bildung von 4-Phenyl-1-cyclohexen (4-PCH) und 4-Vinyl-1-cyclohexen (4-VCH), zwei extrem unangenehm riechende Verbindungen mit sehr niedriger Geruchsschwelle, die zunächst im Ausgangsprodukt nicht enthalten sind, sich jedoch aus den Ausgangsstoffen durch eine sogenannte Diels-Alder-Reaktion bilden können und zu einer länger anhaltenden Raumluftbelastung führen können. So ist 4-PCH u.a. für den typischen Neugeruch von Teppichböden verantwortlich. Ähnliches trifft für die aus dem als Regler für die Reaktion von Styrol mit Butadien eingesetzten Dodecylmercaptan entstehende Dodecene mit der Summenformel  $C_{12}H_{12}$  zu. Zu den im SBR-Latex des Teppich enthaltenen problematischen Substanzen gehören auch Styrol und Toluol. Beides Stoffe, die das Nervensystem schädigen können und außerdem im Verdacht stehen, krebserzeugend zu sein. Auch weitere Substanzen können, wenn auch vergleichsweise selten in Teppichböden vorkommend, Probleme bereiten, wie Stoffe aus der Gruppe der Benzole, Phenole und Amine. Für die Rückenschicht werden neben synthetischem Latex (Styrol-Butadien-Latex) auch Polyurethanschaum, Polypropylen, PVC, Jute und Naturlatex verwendet. Von diesen Materialien können Weichmacher, bei synthetischem Ursprung auch Restmonomere in die Raumluft emittieren werden.

Nicht nur der Teppichboden, sondern vor allem die eingesetzten Klebstoffe, die zum einen die Rückenschicht mit der Textilschicht verbinden, zum anderen für die flächige Verklebung der Teppiche eingesetzt werden und die zur Untergrundsvorbehandlung verwendeten Grundierungen und Spachtelmassen zählen zu den derzeit problematischen Belastungsquellen im Innenraum. Sie führen in vergleichsweise vielen Fällen zu nachhaltigen gesundheitlichen Beeinträchtigungen, die allerdings häufig, dem Bodenbelag selbst zugeschrieben werden. Je nach verwendeten Kleber, Spachtelmasse bzw. Grundierung können hier große Mengen an Lösemittel und Weichmachern freigesetzt werden. Leitkomponenten einer möglichen Innenraumbelastung mit leichtflüchtigen organischen Verbindungen, sogenannten VOC (volatile organic compounds) sind neben Benzol unter anderem verzweigte Aromaten (z.B. Toluol, Xylol) und Alkane. Häufig werden neben den klassischen Lösemittel auch natürliche Lösungsmittel, hier vor allem Terpene wie Limonen,  $\alpha$ - und  $\beta$ -Pinen,  $\Delta$ -3/4-Caren, Eucalyptol u.a. eingesetzt. Aufgrund ihres hohen Siedepunktes gehören sie zu den Stoffen die über einen etwas längeren Zeitraum ausgasen. Die Folge sind meist längeranhaltende erhöhte Lösemittelkonzentrationen in der Raumluft.

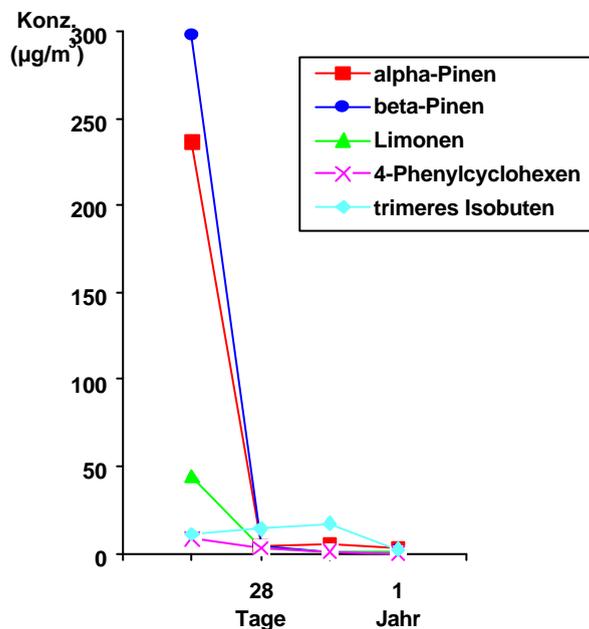
Ein weiteres Problem stellen auch die sogenannten „lösemittelarmen bzw. -freien“ Klebstoffe auf Wasserbasis dar. Dies ist auf den ersten Blick verwunderlich, vor allem

dann wenn nach dem Gefahrstoff-Informationssystem der Bau-Berufsgenossenschaften (GISCODE) sogenannte D1-Klebstoffe eingesetzt werden. Bei D1-Klebstoffen handelt es sich um wäßrige Dispersionen, die keine unter 200°C siedende Lösemittel enthalten. Diese „sehr unglückliche“ Lösemitteldefinition geht zurück auf die TRGS 610 (Technische Regel für Gefahrstoffe), die Ersatzstoffe und Ersatzverfahren für stark lösemittelhaltige Vorstriche und Klebstoffe für den Bodenbereich regelt. Je nach Rohstoffbasis und Herstellungsverfahren werden aber sogenannte „Hochsieder“ zur Herstellung lösemittelhaltiger D1-Klebstoffe eingesetzt. Das sind vor allem Glykole und Glykolverbindungen (wie z.B. 2-Butoxyethanol, 2-Phenoxyethanol, 2-Phenoxypropanol, Butyldiglykol, Butyldiglykolacetat, 2-Ethyl-1-hexanol u.a.) welche im Gegensatz zu klassischen Lösemitteln die Eigenschaft besitzen, sich mit Wasser zu mischen, aber aufgrund ihres hohen Siedepunktes nur langsam verdampfen, so daß nach der Anwendung die Raumluftkonzentrationen anfangs niedriger liegen als bei Verwendung von konventionellen Lösemitteln, dafür aber langanhaltend und -ansteigend sind. Glykole riechen nur schwach und dazu noch ganz anders als beispielsweise die konventionellen Lösemittel, wie Toluol oder Testbenzin. Über die toxikologischen Eigenschaften der Glykole und Glykolverbindungen ist nur sehr wenig bekannt. Und die wenigen existierenden Grenzwerte liegen so hoch, daß eine Kennzeichnungspflicht für entsprechende Produkte nicht notwendig ist. Ein weiteres Problem, welches durch die Verwendung von Glykolen als Lösemittel entstehen kann, sind die sogenannten Sekundärkontaminationen. Auffällig ist außerdem, daß es Teppichboden-/Kleberkombinationen zu geben scheint, die gehäuft zu starken Beeinträchtigungen des Wohlbefindens der RaumnutzerInnen sowie zu geruchlichen Belästigungen aufgrund von Wechselwirkungen führen, während andere Kombinationen weniger auffällig sind. Auch höhere Untergrundfeuchtigkeit kann zu derartigen Schwierigkeiten beitragen.

### **Modellversuch zur Bewertung stofflicher Innenraumbelastungen durch textile Bodenbeläge**

Zur Bewertung der oben aufgeführten und der aktuell diskutierten stofflichen Innenraumbelastungen, die insbesondere auch für zu Allergien neigenden Menschen (Atopiker) von Bedeutung sein können wurde ein Modellversuch konzipiert. Dafür dienten drei nicht genutzte im Aufbau und Grundriß identischen Schulräume. Dabei wird in Raum 1 Bodenbelag verklebt. In Raum 2 wird Bodenbelag lose verlegt, also nicht fixiert und nicht verklebt. Raum 3 dient als Kontrollraum, in dem kein Bodenbelag verlegt wird. In das Prüfkonzept werden neben der olfaktorischen Bewertung die folgenden gesundheitsrelevanten, insbesondere allergenen Faktoren mit aufgenommen: Formaldehyd; VOC; Glykole; Schwermetalle und Staub. Nach dem Auslegen und Verkleben des Bodenbelages in Raum 1 und dem Auslegen in Raum 2 werden in den verschlossenen Räumen mit Pumpen aktiv Luftproben für Formaldehyd-, Glykole- und VOC/SVOC-Bestimmungen entnommen. In Raum 3 ohne Bodenbelag wird dieselbe Versuchsanordnung zur Kontrolle durchgeführt. Außerdem werden die Innenraumbelastungen

lastungen der Räume über einen Zeitraum von drei Wochen in Bodennähe mit Hilfe von Aktivkohle-Passivsammler untersucht. Nach vier Wochen wird eine zweite aktive Probenahme der Innenraumluft vorgenommen. Zusätzlich werden 7-Tage-Staubproben für Schwer- und Buntmetalle in allen drei Räumen entnommen. Die raumklimatischen Parameter, wie relative Luftfeuchte, Temperatur und Luftdruck werden kontinuierlich aufgezeichnet. Innerhalb der ersten vier Wochen nach Verlegen des Bodenbelages wird im Abstand von jeweils vier Tagen, danach nur noch zweimal monatlich, in allen Räumen für etwa zehn Minuten gelüftet, um einen Wechsel des Innenraumluftvolumens zu ermöglichen. Dabei wird nach dem Prinzip des „worst case“ vorgegangen. Um die Langzeitbelastungen von Bodenbelag und Klebstoff auf die Innenraumluft ermitteln zu können, wird nach jeweils sechs und nach zwölf Monaten die Aktivprobennahmen auf Formaldehyd, Glykole- und VOC/SVOC wiederholt.



**Abbildung: 1** VOC-Konzentration in der Innenraumluft des Raumes mit verklebtem textilen Bodenbelag (nicht maßstabsgetreu)

**Ergebnisse:** Der Raum in dem der textile Bodenbelag verklebt war, wurde von den unabhängig voneinander prüfenden Testpersonen selbst nach über einem Jahr noch als deutlich stärker geruchlich belastet eingestuft wird als z.B. der Raum, in dem der Bodenbelag nur lose verlegt wurde. Es scheint, daß die verwendeten Kleber einen erheblichen Einfluß auf das olfaktorische Gesamtbild eines Raumes haben. Insgesamt zeigt der während eines Jahres geprüfte textile Bodenbelag auch in Verbindung mit dem verwendeten Kleber eine vor allem in den ersten Wochen nach Verlegen stark abnehmende olfaktorische Belastung. Die in den Innenräumen gemessenen Emissionen nehmen ebenfalls innerhalb der ersten vier Wochen sehr stark ab und sind dann insgesamt sehr gering (Abb. 1). Der Modellversuch zeigt, daß die wesentlichen gesundheitsrelevanten

Innenraumbelastungen wie  $\alpha$ -Pinen,  $\beta$ -Pinen, Limonen aber auch 2-Butoxy-ethanol und 2-Ethyl-1-hexanol (letzteres hier nicht abgebildet) auf den verwendeten Kleber zurückzuführen sind. Denn diese Stoffe konnten in relevanten Konzentrationen nur in dem Prüfraum gefunden werden, in dem der textile Bodenbelag verklebt verlegt war.

## **Prüfkammeruntersuchungen von „sehr emissionsarmen“ Textilbelagsklebstoffen**

Im Handel erhältlich ist eine schon beinahe unüberschaubare Vielfalt von unterschiedlichen Textilbelagsklebstoffen mit mehr oder weniger großem Lösemittelanteil. Neuerdings gibt es Textilbelagsklebstoffe, die nach dem Klassifizierungssystem der Gemeinschaft Emissionskontrollierter Verlegewerkstoffe e.V., Düsseldorf (GEV) als „sehr emissionsarm“ (EMICODE EC 1) eingestuft sind. Dabei erfolgt die Einstufung des geprüften Klebstoffes, sofern gewisse Vergabekriterien erfüllt sind, anhand der Gesamtemission flüchtiger organischer Stoffe (TVOC) nach 10-Tagen (10-Tage-Wert), welche nach den Zuordnungskriterien der GEV kleiner als  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  liegen muß. Das Emissionsverhalten von neun der am häufigsten eingesetzten, handelsüblichen „sehr emissionsarmen“ (EMICODE EC 1) Textilbelagsklebstoffen wird nach definierter Lagerung ( $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ,  $50 \pm 5$  % rel. Luftfeuchte und  $\frac{1}{2}$ -Luftwechsel / h) bei einem Klebstoffauftrag von  $300 \text{ g}/\text{m}^2$  auf eine Glasplatte mit Zahnpachtel B1 (entsprechend einer Beladung von  $0,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ) in einer standardisierten 100 Liter Prüfkammer aus Edelstahl mit Glasdeckel ermittelt und bezüglich ihres Emissionsverhaltens beurteilt. Die Prüfbedingungen orientieren sich an den Lüftungs- und Klimabedingungen in mitteleuropäischen Innenräumen. Nach 24 Stunden erfolgt eine Überprüfung auf bestimmte Stoffe, die als krebserregend oder krebverdächtig angesehen werden (Einstufung als K1, K2, oder K3, gemäß Gefahrstoffverordnung / TRGS 905). Nach 24 Stunden sowie nach 10 Tagen (10-Tage-Wert) werden die Langzeitemissionen an Aktivkohle (Typ NIOSH bzw. Anasorb 747) mit anschließender Lösemitteldesorption bzw. mittels Festphasenextraktion an Dinitrophenylhydrazin (DNPH)-Kartuschen bestimmt. Quantitativ erfaßt werden hierbei die leichtflüchtigen organischen Kohlenwasserstoffe (VOC), Glykole und Glykolverbindungen sowie Aldehyde und Ketone, insgesamt über 100 Stoffe. Daraus wird die gemessene Gesamtemission der leichtflüchtigen organischen Komponenten (TVOC) ermittelt.

**Ergebnisse:** Für die bisher geprüften insgesamt fünf Textilbelagsklebstoffe, die als „sehr emissionsarm“ nach GEV deklariert waren, konnten nach 24 Stunden TVOC-Werte von weniger als  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und nach 10 Tagen (10-Tage-Wert) von weniger als  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  festgestellt werden. Mit einer Ausnahme konnten im hochsiedenden Bereich mittels GC-MS-Messungen, aufgenommen im Full Scan Modus, keine weiteren Substanzen in einer Konzentration  $> 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sowohl nach 24 Stunden als auch nach 10 Tagen nachgewiesen werden. Auch die Zielwerte für Raumluftbelastungen nach Seifert (Indoor Air Quality and Climate 1990, Vol. 5, 35-49) wurden ausnahmslos von allen bisher untersuchten EC1-klassifizierten Textilbelagsklebstoffen sowohl nach 24 Stunden als auch nach 10 Tagen leicht eingehalten. Vergleichende Prüfkammeruntersuchungen zeigen, daß Textilbelagsklebstoffe der gleichen Hersteller, die zwar nach GISBAU als D1 „lösemittelfrei“ nicht aber nach dem EMICODE der GEV als EC 1 eingestuft sind, die oben genannten Emissionskriterien für den TVOC-10-Tage-Wert von kleiner  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in den

meisten Fällen nicht einhalten können, ja sogar einigen Fällen um Zehnerpotenzen darüber lagen.

### **Schlußbetrachtung**

Teppichböden sind hinsichtlich möglicher Schadstoffemissionen kritisch einzuschätzen. Häufige Reklamationen führten z.B. dazu, daß die Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichböden e.V. (GuT) für ihre Produkte Richtwerte über die nach Ansicht dieses Verbandes duldbare Freisetzung luftfremder Stoffe festschreibt. Auch wenn derartige Maßnahmen zur Emissionsminimierung beitragen, so zeigt der durchgeführte und oben beschriebene Modellversuch, daß die Produkte immer noch häufig vor allem zur geruchlichen Raumluftbelastungen beitragen können und zum Teil relevante Stoffe in den derart zertifizierte Bodenbelägen nicht geprüft werden. Auf der anderen Seite ist festzustellen, daß Innenraumbelastungen die mit Gesundheitsbeeinträchtigungen bzw. Geruchsbelästigungen einhergehen, oft dem Bodenbelag angelastet werden, ursächlich aber dem Kleber zuzuschreiben sind.

Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse der bisher durchgeführten, vergleichenden Prüfkammeruntersuchungen unter standardisierten Bedingungen sollten textile Bodenbeläge grundsätzlich nur noch mit „sehr emissionsarmen“ (EMICODE EC 1) Textilbelagsklebstoffen verarbeitet werden.

### **Literatur:**

*Scholz H.:* Bodenbeläge, Ratgeber wohnen & wohlfühlen. Umweltinstitut München (1996) 119-139

VZN: Textile Bodenbeläge, Verbraucher-Zentrale Niedersachsen e.V. (1996)

VZNRW: Schadstoffe in der Wohnraumluft, Verbraucher-Zentrale Nordrhein-Westfalen e.V. (1996) 136-146

GUT: GuT-News 1 und 2, Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden e.V. (Aachen 1997a und 1997b)