



PROJEKT: STADT DESSAU-ROBLAU ./ SCHÜLER, F. (INH. D. FA. SCHÜLER'S
FUßBODENTECHNIK) U.A.; AZ: 2 OH 7/09

18.08.2011

GUTACHTERLICHE STELLUNGNAHME LG11-004

**Ergänzende Stellungnahme
zum Sachverständigen-Gutachten
in dem selbständigen Beweisverfahren
Stadt Dessau-Roßlau ./ Schüler, F. (Inh. D. Fa. Schüler's
Fußbodentechnik) u.a.; AZ: 2 OH 7/09
beim Landgericht Dessau-Roßlau**



18.08.2011

GUTACHTERLICHE STELLUNGNAHME LG11-004

Auftraggeber:	Landgericht Dessau-Roßlau Herr Straube Willy-Lohmann-Str. 29 06844 Dessau-Roßlau
Gegenstand:	Stadt Dessau-Roßlau ./ Schüler, F. (Inh. D. Fa. Schüler's Fußbodentechnik) u.a.; AZ: 2 OH 7/09
Objekt:	Schulzentrum "Am Zobernberg", Kastanienhof 14 06847 Dessau
Auftragseingang	11.2.2011
Projekt-Nr.:	LG11-004
Sachverständiger:	Dr. rer. nat. L. Grün
Umfang des Berichtes:	15 Seiten
Anlagen:	Kopie des Fachartikels: Wilke et. al.: Emissionsmessungen an Materialien für Fußbodenaufbauten. VDI-Berichte 1778, 2003.

1 Aufgabenstellung / Beweisfragen

Mit Schreiben vom 9.2.2011 wurde der Unterzeichner vom Gericht beauftragt gemäß Beweisbeschluss vom 4.2.2011 zu den Einwendungen und Ergänzungsfragen der Antragstellerin (Schriftsatz vom 02.07.2010), der Antragsgegnerin zu 3. (Schriftsatz vom 02.07.2010) und vom Antragsgegner zu 1. (Schriftsatz vom 06.07.2010) Stellung zu nehmen.

2 Stellungnahme zu den Ergänzungsfragen und Einwendungen

Der Unterzeichner hat die verschiedenen Ergänzungsfragen und Einwendungen der Antragstellerin und der Antragsgegner thematisch gebündelt und wird diese im Wesentlichen unter folgenden vier Themenkomplexen abhandeln:



18.08.2011

GUTACHTERLICHE STELLUNGNAHME LG11-004

- Feuchtigkeit im Verlegeuntergrund/Feuchteintrag durch Verlegearbeiten
Beschaffenheit des verlegten Bodenbelages Compact XPS
- Lufthygienische Bewertung der Gerüche/Luftverunreinigungen
- Lüftungseinfluss

Ad 1: „*Feuchtigkeit im Verlegeuntergrund / Feuchteintrag durch Verlegearbeiten*“

Bezug: Schriftsatz der Antragstellerin vom 02.07.2010, S. 1 bis 3; Schriftsatz der Antragsgegnerin zu 3. vom 02.07.2010: Einwendungen 1-9; Schriftsatz der Antragsgegner zu 1. vom 06.07.2010: Kapitel II, III 1-4, IV-1,-3,-4, V-3,-4.

Der Sachverständige kommt in seinem Gutachten zu dem Schluss, dass die beanstandeten Geruchsimmissionen in Zusammenhang mit den Fußbodenverlegearbeiten stehen. Die Feststellungen des Sachverständigen wurden von der Beklagten zu 1. so interpretiert, dass der Fußboden mangelhaft verlegt worden sei. Dieses ist **eine** von mehreren möglichen Ursachen, die sich aus den Feststellungen des Sachverständigen ableiten lassen, die sich jedoch nicht zwangsläufig ergibt.

An der Aussage, dass die chemische Reaktion, die zur Freisetzung von Phenol und m/p-Kresol führt, während und nach der Verlegung des Bodenbelages auftrat, hält der Sachverständige in dieser Formulierung uneingeschränkt fest. Er sieht sich in dieser Einschätzung bestätigt durch die Ergebnisse von Untersuchungen, die in drei weiteren Schadensfällen zum gleichen Ergebnis führten. Darüber hinaus wird diese Einschätzung bestätigt durch einen Beitrag, der 2011 im Rahmen der AGÖF-Tagung im September 2010 in Nürnberg vorgetragen und veröffentlicht wurde (Marchl & Kafadaroglu: Veränderungen des Belastungsspektrum im Innenraum. Tagungsband des 9. AGÖF-Kongresses zum Thema: "Umwelt, Gebäude & Gesundheit: Schadstoffe, Gerüche und Sanierung"; AGÖF 2010). Die Autoren kommen wie der Sachverständige zu dem Ergebnis, dass die Freisetzung von Phenol und m/p-Kresol aus einem PVC-Belag nach Verlegung deutlich ansteigt. Die Autoren führen das veränderte Emissionsverhalten ebenfalls auf die Spaltung der Esterbindung von Phenyl- und Kresylphosphaten zurück. Neben Phenol ist im Wesentlichen nur m/p-Kresol nachzuweisen. o-Kresol ist allenfalls in Spuren nachzuweisen. Die Autoren bestätigen damit die Feststellungen des Sachverständigen in seinem Gutachten vom 27.04.2010, dass in der Raumluft ein vom Emissionsmuster

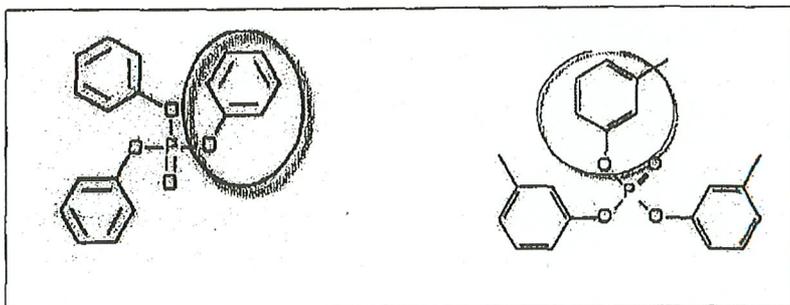


18.08.2011

GUTACHTERLICHE STELLUNGNAHME LG11-004

typischer Altlasten abweichendes Stoffmuster phenolischer Verbindungen festzustellen ist. Abweichend davon wurde im Mai 2010 auf den 17. WaBoLu-Innenraumtagen, die einmal jährlich vom Institut für Wasser-Boden-Lufthygiene e.V. in Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt veranstaltet werden, von Herrn Dr. Paulus (IUL, Greifswald) über geruchliche Auffälligkeiten nach Verlegung von PVC-Bodenbelägen und einer spezifischen Freisetzung von Phenol, o-Kresol und Alkoholen berichtet. Abweichend von den Untersuchungen des Unterzeichners und den Befunden von Marchl & Kafadaroglu fand Herr Dr. Paulus o-Kresol und nur Spuren von m/p-Kresol in der Raumluft. Der Sachverständige hat mit Herrn Dr. Paulus bereits im Mai 2010 Kontakt aufgenommen und die Befunde besprochen. Die beschriebenen Geruchsimmissionen treten auch in dem von Herrn Dr. Paulus berichteten Schadensfall von einem Bodenbelag der Streitverkündeten zu 1. aus. Auf den Hinweis des Unterzeichners, dass es sich möglicherweise nicht um o-Kresol, sondern um m/p-Kresol handeln könnte, hat Herr Dr. Paulus dem Unterzeichner inzwischen in einem Telefonat bestätigt, dass es sich um eine Verwechslung gehandelt hat und auch in dem von ihm berichteten Schadensfall m/p-Kresol emittiert wurde. In der Abb. 1 sind die Moleküle Triphenylphosphat und Trikresylphosphat dargestellt und die Verbindungen markiert, die durch Hydrolyse abgespalten werden.

Abb. 1: Triphenylphosphat und Trikresylphosphat mit den Abspaltungsprodukten Phenol und m-Kresol (entnommen aus Marchl & Kafadaroglu, 2010)



Die chemische Reaktion (Hydrolyse), die zu einer Freisetzung von Phenol und m/p-Kresol aus Tri-/Diphenylphosphaten und Tri-/Dikresylphosphaten führt, läuft nur ab, wenn Wasser verfügbar ist. Der Sachverständige vertritt weiterhin die Auffassung, dass die chemische Reaktion während und nach der Verlegung auftrat und dass die Feuchtigkeit aus dem Untergrund oder aus den bei der Verlegung verwendeten Bauprodukten stammte. Ob die Verlegearbeiten sach- und fachgerecht ausgeführt wurden, kann von Seiten des



18.08.2011

GUTACHTERLICHE STELLUNGNAHME LG11-004

Unterzeichners nicht beantwortet werden. Die Fragen zu dem Thema, ob die Fußbodenverlegearbeiten sachgerecht durchgeführt wurden, kann der Unterzeichner nicht beantworten, da diese in das Sachgebiet eines Sachverständigen für Fußböden und Fußbodenverlegearbeiten fällt.

Der Sachverständige hat in seinem Gutachten formuliert, dass die Hydrolyse der Triphenyl-/Trikresylphosphate „mit großer Wahrscheinlichkeit darauf zurückzuführen ist, dass die Beleguntergründe feucht oder noch nicht belegreif waren.“ Mit großer Wahrscheinlichkeit war der Untergrund noch so feucht, dass –zumindest auf Teilflächen – die oben beschriebene chemische Reaktion stattfinden konnte. Es wird damit nicht ausgesagt, dass die Untergründe nicht belegreif waren. Da dem Sachverständigen keine Informationen dazu vorlagen, dass die Belegreife geprüft wurde und tatsächlich eingehalten wurde, musste auch diese Option als mögliche Ursache angeführt werden.

Nach den Erfahrungen aus der Bearbeitung von anderen Schadensfällen kommt der Unterzeichner zu der Einschätzung, dass weder die Art des Estrichs (z.B. Anhydrit, Zement, Gußasphalt) noch das Alter des Estrichs (z.B. vorhandener Estrich, neu verlegter Estrich) für das Schadensbild (Geruchsimmission aus dem Bodenbelag) von entscheidender Bedeutung sind. Bei den verschiedenen Schäden, die dem Unterzeichner inzwischen bekannt sind, wurden auch Kleber und Spachtelmassen unterschiedlicher Hersteller verwendet, so dass eine produktionsbedingte Verunreinigung von Verlegewerkstoffen eines bestimmten Herstellers ebenfalls auszuschließen ist.

Nach den bisherigen Erkenntnissen wurden in allen Fällen auf den Untergründen wasserbasierte Bauprodukte und zementhaltige Spachtelmassen aufgebracht. Nach den zur Gerichtsakte eingereichten Unterlagen wurden in dem streitbefangenen Objekt folgende Produkte verwendet: Okamul HD11 Haftdispersion: 50-150 g/m²; Vorstrich: Okatmos EG 20: 75-150 g/m²; Spachtel-/Reparaturmassen: ca. 1,4-1,6 kg/m² bei 1 mm Schichtdicke; Kleber Oktamos EE 19: ca. 350 g/m².

Je nach Art des Untergrundes (Estrich) und der einzelnen Schichtdicken ergeben sich aus diesen Vorarbeiten unterschiedliche Warte- und Ablüftezeiten, bevor der Bodenbelag aufgebracht werden darf. Die Feuchtigkeit, die die chemische Reaktion auslöste, muss nicht aus dem Estrich, sondern könnte auch aus diesen Bauprodukten stammen. Es kann sich dabei um Restfeuchten handeln, die bei einer sach- und fachgerechten Verlegung üblicherweise auftreten. Wenn Warte- und Ablüftezeiten nicht eingehalten wurden, könnten dabei jedoch auch erhöhte Feuchtegehalte im Untergrund zurückgeblieben sein. Ob dieses heute noch zu prüfen und zu beurteilen ist, entzieht sich der Kenntnis des



18.08.2011

GUTACHTERLICHE STELLUNGNAHME LG11-004

Sachverständigen. Zur Klärung dieser Frage sollte ein Sachverständiger für Fußböden und Fußbodenverlegearbeiten befragt werden.

Von den Parteien wird in diesem Zusammenhang auch eingewendet, dass andere Möglichkeiten, wie die Feuchtigkeit an oder unter den Bodenbelag gelangte, nicht ausreichend berücksichtigt wurden:

Die Vermutung, dass dieses Wasser nach der Verlegung über die Raumluft (hohe Luftfeuchtigkeit) eingetragen wurde und erst dadurch die chemische Reaktion stattfinden konnte, ist aus folgenden Gründen unwahrscheinlich:

1. Der Bodenbelag wurde bahnenweise ausgebracht und die Fugen zwischen den Bahnen im Anschluss verschlossen, so dass ein Eindringen von Wasser nach der Verlegung auszuschließen war. Wäre an Fehlstellen Wasser in den Untergrund eingedrungen, hätte dies im Bereich dieser Fehlstellen mit großer Wahrscheinlichkeit zur Ablösung des Bodenbelages geführt. Darüber hinaus wären dabei nur kleinere Flächen im Bereich der Fehlstellen betroffen. Die Phenole und Kresole sind jedoch großflächig auf dem Untergrund verteilt.
2. Eine Diffusion von Wasser durch den Bodenbelag ist auch von der Raumseite zum Untergrund hin grundsätzlich möglich. PVC-Bodenbeläge haben einen hohen Diffusionswiderstand für Wasserdampf, so dass selbst bei einer Wassersäule auf der Bodenbelagsfläche nur sehr kleine Wasserdampfmenngen in den Untergrund übergehen können. Die Nutzschiicht auf der Belagoberseite des Compact XPS ist mit einer speziellen Beschichtung versehen, die die Strapazierfähigkeit des Materials wesentlich definiert. Die Nutzschiicht ist laut Prüfzeugnis des TÜV-Rheinland chemikalienbeständig (u.a. säure- und laugebeständig). Die Schutzschicht verhindert, dass Wasser beim Reinigen in den Bodenbelag eindringt und chemische Reaktionen stattfinden können.
3. Der Eintrag von Feuchtigkeit über die Randfugen der Fußbodenkonstruktion ist ebenfalls nicht grundsätzlich ausgeschlossen. In diesem Fall wäre das Schadensbild auf die Randzonen in den Räumen beschränkt. Aufgrund der Schwerkraft wäre dann eine Anreicherung der Feuchtigkeit auf der Trennlage unter der Dämmschiicht zu erwarten. Bei der Entnahme der Bohrkerne wurde keine Feuchtigkeit oder Nässe auf der Trennlage festgestellt.
4. Chemische Reaktionen an der Oberfläche des Belages sind aufgrund der Chemikalienbeständigkeit der Oberfläche (0,7 mm Nutzschiicht) nicht zu erwarten. Darüber hinaus zeigen nicht nur die Ergebnisse der Untersuchungen im Auftrag des Sachverständigen, sondern auch die in der Gerichtsakte dokumentierten



18.08.2011

GUTACHTERLICHE STELLUNGNAHME LG11-004

Raumluftmessungen im Auftrag der Antragsteller nach Entfernen des Bodenbelages im Rahmen der Probesanierung (s. 125-129 der Gerichtsakte), dass ein Depot von Phenol- und m/p-Kresol in der Kontaktfläche zwischen Bodenbelag und dem oberen Bereich des Estrichs vorliegt. Aufgrund des hohen Diffusionswiderstandes des Belagmaterials ist es für den Sachverständigen nicht vorstellbar, dass die Stoffe (Phenol, m/p-Kresol, 2-Ethylhexanol) an der Oberfläche entstanden und in dieser Menge durch den Bodenbelag in den Untergrund diffundiert sind. In diesem Falle wären bei früheren Messungen weit höhere Raumluftkonzentrationen und eine höhere Sekundärbeladung von Wand- und Deckenflächen sowie Einrichtungsgegenständen zu erwarten gewesen. Aus den genannten Gründen schließt der Unterzeichner definitiv aus, dass die chemischen Reaktionen an den Oberflächen (Chemikalien, falsche Pflege) stattgefunden haben und Phenol und m/p-Kresol anschließend durch den Belag auf die Unterseite und in den Estrich hinein diffundiert sind. Die chemische Reaktion kann nur an der Unterseite des Bodenbelages stattgefunden haben. Die chemische Reaktion, die im Fußbodenbereich auch als „Verseifung“ bekannt ist, muss nicht immer so massiv sein, dass die Dispersionsklebstoffe weitgehend zersetzt werden und der Bodenbelag sich vom Untergrund löst. Geruchsbildungen durch hydrolytische Spaltung von Komponenten aus Klebern oder Belägen sind nicht zwangsläufig mit einem sichtbaren Schaden am Bodenbelag (z.B. Ablösung, Blasenbildung, Verfärbung) verbunden.

Die von den Beklagten angesprochene Möglichkeit, dass es sich bei der Estrichbelastung um ein Probenahmeartefakt (chemische Spaltung durch Hitzeentwicklung bei der Bohrung) handeln könnte, ist ebenfalls auszuschließen, da es bei der Bohrkernentnahme (Anhydridestrich) zu keiner nennenswerten Erwärmung der Bohrkronen kommt und eine chemische Reaktion dabei nicht ausgelöst wird. Darüber hinaus wurden die Proben vom Zementestrich im Kellergeschoss nicht durch Kernbohrung gewonnen (der Fußboden wurde zum Zeitpunkt der Probenahme gerade ausgebaut).

Ad 2: „*Beschaffenheit des verlegten Bodenbelages Compact XPS*“

Bezug: Schriftsatz der Antragstellerin vom 02.07.2010, S. 3 und 4; Schriftsatz der Antragsgegnerin zu 3. vom 02.07.2010; Einwendungen 10; Schriftsatz der Antragsgegner zu 1. vom 06.07.2010; Kapitel IV-1,-3,-4,-5)



18.08.2011

GUTACHTERLICHE STELLUNGNAHME LG11-004

Die Einwendungen der Beklagtenvertreter hinsichtlich der Schadensursache sind insoweit begründet, als dass der Sachverständige die Rolle des Bodenbelages Compact XPS der Streitverkündeten Fa. Debolon bei der Gutachtenerstellung nicht hinreichend berücksichtigt hat.

Nach dem der Unterzeichner inzwischen drei weitere Schadensfälle untersucht hat, ergeben sich Hinweise, dass die Beschaffenheit des Bodenbelages eine Rolle spielt. Folgende Punkte, die das Bodenbelagsmaterial betreffen, sind hervorzuheben:

1. PVC-Beläge können Tri-/Diphenylphosphate und Tri-/Dikresylphosphate enthalten. Derartige Beläge sind in der Vergangenheit vielfach verlegt worden, ohne dass dieses zu der hier Streitgegenständlichen Geruchsproblematik geführt hat. Eine spezifische Geruchsproblematik (phenolische Gerüche) sowie eine spezifische Freisetzung von Phenol und m/p-Kresol nach der Verlegung eines PVC-Bodenbelages war dem Unterzeichner bis zu der Bearbeitung dieses Sachverständigen-Gutachtens neu. Der Sachverständige hat andere Sachverständige und Fachleute konsultiert und unter anderem sich auch mit der Bundesanstalt f. Materialprüfung BAM (Dr. Wilke: Abteilung Umweltrelevante Material- und Produkteigenschaften) im Frühjahr 2010 in Verbindung gesetzt. Die BAM hat sich im Rahmen von Forschungsvorhaben auch mit der Änderung von Emissionsprofilen von Fußbodenverlegewerkstoffen nach Verarbeitung eingehend beschäftigt (s. Anlage). Eine verstärkte Freisetzung von Phenol und m/p-Kresol aus PVC-Bodenbelägen in Folge von Verlegearbeiten war von der BAM bei diesen Untersuchungen nicht festgestellt worden.
2. Das verlegte Bodenbelagsmaterial der Streitverkündeten weist einen vergleichsweise hohen Gehalt an Tri-/Diphenylphosphaten und Tri-/Dikresylphosphaten (ca. 1-2 Masseprozent) auf. In anderen vom Unterzeichner früher untersuchten PVC-Bodenbelägen wurden deutlich geringere Gehalte festgestellt. Darüber hinaus ist festzustellen, dass der in dem Streitobjekt verlegte Bodenbelag Compact XPS bereits vor der Verlegung Phenol und m/p-Kresol emittierte. Der Sachverständige hat diesem Befund in seinem Gutachten zu wenig Gewicht beigemessen, da nicht auszuschließen war, dass das Material durch die lange Lagerung in dem Schulgebäude sekundär belastet wurde. Nachdem auch in Rückstellmustern aus anderen Schadensfällen eine Emission von Phenol und m/p-Kresol nachweisbar war, misst der Unterzeichner diesem Befund inzwischen ein größeres Gewicht bei.
3. In allen dem Sachverständigen inzwischen bekannt gewordenen Fällen (7), in denen nach einer PVC-Verlegung eine außergewöhnliche Geruchsmission auftrat und



18.08.2011

GUTACHTERLICHE STELLUNGNAHME LG11-004

Phenol und m/p-Kresol in der Raumluft nachweisbar war, handelte es sich um Produkte der streitverkündeten Fa. Debolon.

Der Sachverständige schließt ausdrücklich nicht aus, dass die bei einer fachgerechten Verlegung im Bodenuntergrund verbleibenden Restfeuchten ausreichend gewesen sein könnten, chemische Reaktionen am Bodenbelag auszulösen, die zu den Geruchsimmissionen und der Freisetzung von Phenol und m/p-Kresol in die Raumluft führten.

In diesem Zusammenhang wäre zu klären, ob das Emissionsverhalten des in der streitbefangenen Schule verlegten Bodenbelages sich unter sach- und fachgerechten Verlegebedingungen verändert und wenn nein, bei welchen Verlegebedingungen die Emission von Phenol und m/p-Kresol ansteigt. Die Technischen Merkblätter des Bodenbelagherstellers enthalten keinen Hinweis darauf, dass bei der Verlegung besondere, von den üblichen Normen abweichende, Bedingungen einzuhalten sind (*Verlegeempfehlung des Herstellers: Vollflächige Verklebung mit hellem Dispersionsklebstoff; maßgebend ist für die Verlegung DIN 18365 Bodenbelagarbeiten*). In der Pflegeempfehlung des Herstellers heißt es: *Keinesfalls sollte zu nass gewischt werden (s. Verlege- und Pflegeanleitung im Anlagenband der Gerichtsakte)*. Es handelt sich um eine Empfehlung für alle elastischen Bodenbeläge der Fa. Debolon. Nach Einschätzung des Sachverständigen handelt es sich hier nicht um eine Empfehlung, die vom Hersteller gegeben wird, um die in Rede stehende chemische Reaktion zu verhindern, sondern um das Eindringen von Wasser über nicht sachgerecht verschlossene Fugen und eine daraus resultierende Ablösung des Belages durch eindringendes Wasser zu verhindern.

Dass möglicherweise das beim Versiegeln der Fugenränder eingebrachte Lösemittel die Hydrolyse der Triphenyl- und Trikresylphosphate bewirkt haben könnte, hält der Unterzeichner für nicht wahrscheinlich. Es handelte sich dabei vermutlich um ein organisches Lösemittel. Dieses würde keine Hydrolyse bewirken können.

Dem Sachverständigen stehen die Möglichkeiten nicht zur Verfügung, Prüfungen durchzuführen, um die Bedingungen zu ermitteln, unter welchen Triphenylphosphate und Trikresylphosphate aus dem Bodenbelag Compact XPS gespalten werden und Phenol, p/m-Kresol und andere Alkohole verstärkt freigesetzt werden. Nach Kenntnis des Unterzeichners sind die dazu erforderlichen Prüfapparaturen sowie die notwendige Erfahrung und Sachkenntnis bei der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) vorhanden (s. Anlage).



18.08.2011

GUTACHTERLICHE STELLUNGNAHME LG11-004

Ad 3: „Lufthygienische Bewertung der Situation in der Schule“

Bezug: Schriftsatz der Antragsgegner zu 1. vom 06.07.2010: Kapitel V-1,-2

Der Sachverständige hat in seinem Gutachten herausgestellt, dass – abgesehen von den Geruchsimmissionen und dem Nachweis von Phenol und m/p-Kresol in der Raumluft - keine auffälligen VOC-Konzentrationen als Luftverunreinigungen nachzuweisen waren. 2-Ethyl-1-hexanol war lediglich in einigen wenigen Räumen in Konzentrationen bis zum 2fachen üblicher Hintergrundbelastungen ($11,4 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 95\text{-Perzentil}$ des Kinder-Umweltsurveys; s. Anlage zum Prüfbericht 09392-2 des Gutachtens vom 27.04.2010) nachzuweisen.

Tabelle 1: Innenraumluft-Richtwerte für Einzelstoffe und Stoffgruppen

Verbindung/Stoffgruppe	Richtwert II ¹⁾ (mg/m^3)	Richtwert I ¹⁾ (mg/m^3)	Jahr der Festlegung
Kresole*	0,05	0,005	2011
Phenol*	0,2	0,02	2011
2-Furfural	0,1	0,01	2011
Cyclische Dimethyl-Siloxane	4	0,4	2011
Benzaldehyd	0,2	0,02	2010
Benzylalkohol	4	0,4	2010
Monozyklische Monoterpene (Leitsubstanz d-Limonen)	10	1	2010
Aldehyde, C4 bis C11 (gesättigt, azyklisch, aliphatisch)	2	0,1	2009
C9 - C14-Alkane / Isoalkane (aromatenarm)	2	0,2	2005
Naphthalin	0,020	0,002	2004
Terpene, bicyclisch (Leitsubstanz α -Pinen)	2	0,2	2003
Tris(2-chlorethyl)phosphat (TCEP)	0,05	0,005	2002
Diisocyanate	Siehe Erläuterungen		2000
Quecksilber (als metallischer Dampf)	0,00035	0,000035	1999
Styrol	0,3	0,03	1998
Stickstoffdioxid (NO_2)	0,35 (30 Min-Wert) 0,06 (7 Tage-Wert)	-	1998
Dichlormethan	2 (24 h)	0,2	1997
Kohlenmonoxid	60 ($\frac{1}{2}$ h) 15 (8 h)	6 ($\frac{1}{2}$ h) 1,5 (8 h)	1997
Pentachlorphenol (PCP)	0,001	0,0001	1997
Toluol	3	0,3	1996

1) Üblicherweise handelt es sich um Langzeitwerte. Davon abweichende Mittelungszeiträume sind in Klammern angegeben, z.B. 24 Stunden (h).
* Ergebnisprotokoll der 43. Sitzung am 5./6.04.2011 der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der IRK und der AOLG (s. Anlage)



18.08.2011

GUTACHTERLICHE STELLUNGNAHME LG11-004

Es wurde vom Sachverständigen darauf hingewiesen, dass zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung noch keine Innenraumluft-Richtwerte für die Verbindungen Phenol und Kresol existierten, und dass die Ad hoc-Arbeitsgruppe zum damaligen Zeitpunkt mit der Erarbeitung dieser Richtwerte befasst war. Inzwischen wurden Richtwerte für Phenol und Kresol von der Ad hoc-Arbeitsgruppe festgelegt und im Ergebnisprotokoll zur Sitzung am 5.-6.04.2011 veröffentlicht (s. Tabelle 1).

In der Tabelle 2 sind die gemessenen Raumlufkonzentrationen für m/p-Kresol und Phenol zusammengefasst. Während der üblichen Nutzung ist von einer höheren Luftwechselrate auszugehen, die nach den bisherigen Erfahrungen des Sachverständigen zu einer Reduktion der Phenol- und Kresolkonzentrationen von bis zu 20 % führen kann. Unter Berücksichtigung nutzungsüblicher Lüftungseinflüsse liegen im Raum 321 Richtwert I-Überschreitungen für Kresol und Phenol vor. In den acht weiteren untersuchten Räumen werden alle Innenraumluft-Richtwerte eingehalten. Innenraumluft-Richtwerte sind toxikologisch begründete Richtwerte. Nach der Empfehlung der Ad hoc-Arbeitsgruppe sind zeitlich begrenzte Überschreitungen der RWI-Richtwerte tolerabel. Wenn – trotz intensiven Lüftens – auch nach einem Jahr die Vorsorge-Richtwerte (RWI) nicht unterschritten werden, ist das aus lufthygienischer Sicht nicht mehr akzeptabel und es sollten ggfs. auch bauliche Maßnahmen veranlasst werden (s. Zitat auf Seite 17 des Gutachtens v. 27.04.2010).

Da die vom Gutachter veranlassten Raumlufmessungen mehr als 12 Monate nach der Bodenbelagverlegung durchgeführt wurden, lässt sich aus den Ergebnissen der Raumlufmessungen ableiten, dass in einzelnen Räumen des Gebäudes Phenol- und m/p-Kresolkonzentrationen vorlagen, die im Sinne der gesundheitlichen Vorsorge die Veranlassung baulicher Maßnahmen begründen. Da der Unterzeichner nur stichprobenartig Messungen durchgeführt hat und bei diesen Messungen auch Räume mit Teppichböden und Steinfußböden waren, lässt sich aus den Daten rückwirkend nur abschätzen, dass in ca. 10-20 % der Räume mit PVC-Bodenbelag mit einer Richtwert-Überschreitung (RWI) für Phenol und/oder Kresol zu rechnen war.



18.08.2011

GUTACHTERLICHE STELLUNGNAHME LG11-004

Tabelle 2: Phenol und m/p-Kresol in der Raumluft

Raum/Bodenbelag	Phenol- Konzentration $\mu\text{g}/\text{m}^3$	m/p-Kresol- Konzentration $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Richtwertüberschreitung
115.3	13	0,2	
405.1	7	1,3	
321	34	8	+ (Phenol, Kresol)
215.1	20	3	
122.1	4	0,2	
302.1-2	9	n.b.	
212.1	17	n.b.	
216	13	n.b.	
222.2	4	n.b.	

n.b.: nicht untersucht

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse ist davon auszugehen, dass in der Mehrzahl der Räume in dem Schulgebäude keine Innenraumluft-Richtwerte überschritten wurden. Der Sachverständige hat das Objekt im Rahmen der Begutachtung innerhalb eines Zeitraumes von ca. 5 Monaten zu drei unterschiedlichen Terminen begangen. Bei allen drei Terminen wurde vom Unterzeichner bereits beim Betreten des Objektes ein phenolischer Geruch in deutlich wahrnehmbarer Intensität festgestellt. Die vom Sachverständigen beschriebenen sensorischen Wahrnehmungen sind subjektiv und zur objektiven Beurteilung von Geruchsimmissionen in Innenräumen nicht geeignet. Eine objektive Messung und Bewertung von Gerüchen ist außerordentlich schwierig und aufwendig. Derzeit werden erst die Grundlagen in Form von VDI-Richtlinien und ISO-Normen vorbereitet, um Gerüche in Innenräumen und Gerüche aus Bauprodukten zukünftig besser bewerten zu können.

Wissenschaftliche Untersuchungen belegen, dass die Raumluftqualität in Innenräumen einen Einfluss auf das Befinden und die Arbeitsleistung hat. Je schlechter die Raumluftqualität von den Nutzern empfunden wird, desto mehr wirkt sich das auf das Befinden der Nutzer aus. Gerüche, die subjektiv als störend oder belästigend empfunden werden, beeinträchtigen das Wohlbefinden und die Arbeitsleistung. Aus lufthygienischer Sicht wird deshalb gefordert, dass in Innenräumen keine belästigenden oder störenden Gerüche vorhanden sein sollen. Dieses bedeutet nicht, dass die Innenraumluft völlig geruchlos sein muss. Ungeklärt ist die Frage, welche Geruchsqualitäten und welche Intensitäten noch als zumutbar und welche als belästigend zu bewerten sind. Im Immissionsbereich werden derartige Beurteilungen durch regelmäßige Probandenbegehungen (mindestens 10 Personen) ermittelt und von der Dauer, Häufigkeit und Intensität der Gerüche abhängig gemacht. In Innenräumen kann die Frage, ob eine außergewöhnliche



18.08.2011

GUTACHTERLICHE STELLUNGNAHME LG11-004

Geruchsimmission vorliegt, letztendlich ebenfalls nur durch Befragung einer größeren Zahl unabhängiger Probanden ermittelt werden.

Ad 4: Lüftungseinfluss

Bezug: Schriftsatz der Antragsgegner zu 1. vom 06.07.2010: Kapitel V-5

In der DIN 4108-2 (Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden) wird eine hygienische Mindestluftwechselrate von 0,5/h angeführt. Diese Angabe richtet sich vor allem an Planer von Gebäuden. Bei der Berechnung der Lüftungswärmeverluste ist ein durchschnittlicher Luftwechsel von mindestens 0,5/h zur Aufrechterhaltung hygienisch zuträglicher Bedingungen bei der Auslegung und Berechnung der Lüftungswärmeverluste zu berücksichtigen. Die Angabe in dieser DIN ist nicht so zu verstehen, dass an jedem Ort und zu jedem Zeitpunkt im Gebäude ein Mindestluftwechsel von 0,5/h einzuhalten ist.

Aus lufthygienischer Sicht ergeben sich die erforderlichen Luftwechselraten aus der Intensität der Nutzung (z.B. Personenbelegung) und gebäudespezifischer Quellen (z.B. Schadstoffbelastungen durch Baustoffemissionen). Die erforderlichen Luftwechselraten können je nach Ausstattung und Belegung sehr unterschiedlich sein. Im Rahmen einer Planung sind die nutzungsbedingten Erfordernisse und die durch die Emission aus Bauprodukten zu erwartenden Luftverunreinigungen zu berücksichtigen (s. DIN EN 15251: Eingangsparemeter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden-Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik, 2007).

Abgesehen vom Chemieraum handelt es sich bei den streitbefangenen Räumen mit Bodenbelägen vom Typ Compact XPS um natürlich belüftete Räume (Räume mit Fensterlüftung). In den belegungsfreien Zeiten ist in diesen Räumen mit geringen Luftwechselraten von deutlich weniger als 0,5/h auszugehen. Bei der Planung wurde offensichtlich zu Grunde gelegt, dass ein Lüftungsbedarf im Wesentlichen nur in der Nutzungsphase besteht und dieser durch regelmäßige Stoßlüftungen von den Nutzern sicherzustellen ist.

Nach einem den Beklagten zu 1. vorliegenden Gutachten wurde offensichtlich festgestellt, dass die Lüftung in dem Gebäude unzureichend ist. Das Gutachten liegt dem Unterzeichner nicht vor. Deshalb kann nicht konkret dazu Stellung genommen werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass diese Feststellungen des von den Beklagten zu 1. angeführten Gutachtens sich auf den bestimmungsgemäßen Gebrauch des Gebäudes als Schulgebäude beziehen. Das heißt, die Beanstandungen beziehen sich vermutlich darauf, dass die Fensterlüftung während des



18.08.2011

GUTACHTERLICHE STELLUNGNAHME LG11-004

Schulbetriebes nicht ausreichend ist, nutzungsbedingte Emissionen (Gerüche, Kohlendioxid) und nutzungsbedingte thermische Lasten ausreichend abzuführen.

Die vom Sachverständigen vorgelegten Untersuchungsergebnisse belegen, dass es – abgesehen von einer spezifischen Geruchsmission verursacht durch die Emission von Phenol- und m/p-Kresol aus Fußbodenflächen mit Compact XPS-Bodenbelag - in den belegungsfreien Zeiten in den Räumen nicht zu einem signifikanten Anstieg der Luftbelastung kommt. Vor diesem Hintergrund kann festgestellt werden, dass die verwendeten Bauprodukte hinreichend emissionsarm sind, so dass auch bei sehr geringen Luftwechselzahlen (z.B. in der belegungsfreien Zeit) keine hygienisch bedenklichen Schadstoffkonzentrationen auftreten, die eine intensivere Grundlüftung in der belegungsfreien Zeit erforderlich machen würden und bei der Planung der Lüftung hätten berücksichtigt werden müssen.

Bei der im Gebäude festgestellten Geruchsmission handelt es sich nicht um einen diffusen Neugeruch oder um materialspezifische Gerüche wie sie in Räumen mit Linoleum oder Kautschukbelägen auftreten können. Es handelt sich nicht um einen PVC-typischen Geruch, sondern um eine außergewöhnliche Geruchsqualität, die auf eine spezifische chemische Reaktion von Komponenten des Bodenbelagwerkstoffs unter Einfluss von Feuchtigkeit zurückzuführen ist, die zu einer Veränderung der Beschaffenheit des Bodenbelages und Teilen des Verlegeuntergrundes geführt hat. Diese Veränderung war nach den vorliegenden Produktinformationen für die Planer nicht vorhersehbar. Mit einer nachträglichen Intensivierung der Grundlüftung zur Lösung des Geruchsproblems würden möglicherweise auch die Zielvorgaben der wärmetechnischen Sanierung des Gebäudes nicht mehr erfüllt. Vor diesem Hintergrund hält der Unterzeichner an seiner Einschätzung fest, dass zur Beseitigung der Geruchsmissionen im Gebäude ein Ausbau der Geruchsquellen (Fußbodenbelag, obere 3 cm des Estrichs; s. Gutachten vom 27.04.2010) erforderlich ist.



18.08.2011

GUTACHTERLICHE STELLUNGNAHME LG11-004

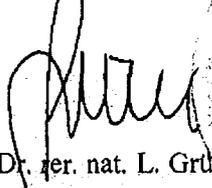
Weitere Einwendungen:

„Steinfußboden“

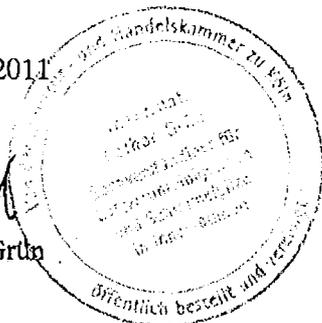
Bezug: Schriftsatz der Antragsgegner zu 1. vom 06.07.2010: Kapitel VI

Dieser Einwand der Beklagten zu 1. kann vom Unterzeichner nicht nachvollzogen werden. Die Ergebnisse der Estrichuntersuchungen (s. Anlage zum Sachverständigen-Gutachten vom 27.04.2010: Prüfbericht 09392-4, Proben 211 und -212) belegen, dass in dem Estrich mit Steinfußboden keine Phenole nachweisbar waren. Sofern diese Einwendungen sich auf Untersuchungsergebnisse anderer Gutachter beziehen sollten, kann der Sachverständige dazu nicht Stellung nehmen, da diese Ergebnisse nicht vorgelegt wurden.

Köln, den 18.8.2011



Dr. rer. nat. L. Grün



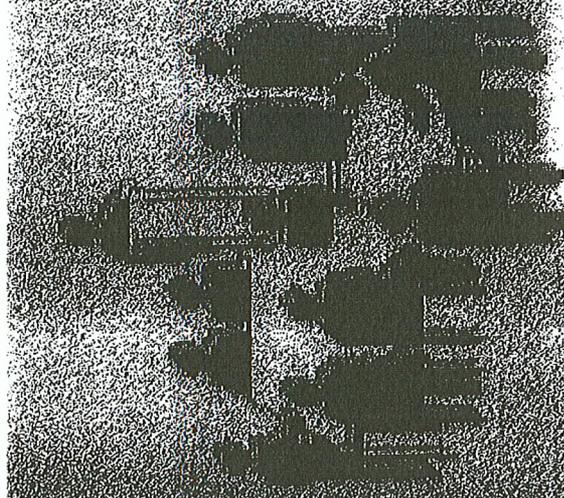
Der Unterzeichner wurde am 01.09.2000 von der IHK Köln als öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger nach §1 des Gesetzes über die förmliche Verpflichtung nicht-beamteter Personen zur gewissenhaften Erfüllung seiner Obliegenheiten verpflichtet.

Kommission Reinhaltung der Luft
im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL

Kommission Reinhaltung der Luft
im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL



Luftverunreinigungen im Innenraum



VDI-Berichte 1778



Luftverunreinigungen im Innenraum
VDI-KRdL

In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Auswertung nach dem AgBB-Schema für die oben genannten Produktgruppen zusammengefasst.

Ergebnis der Auswertung nach dem AgBB-Schema

VOC- Gruppe	Anzahl Messungen nach 28 Tagen	Anzahl Messung R >1 oder nicht-NIK > 100 µg	R >1	Summe nicht-NIK > 100 µg/m ³
Korkklebeparkett	47	26	20	6
Korkfertigparkett	61	23	18	5
Fertigparkett	10	0	0	0
Buche	8	0	0	0
OSB-Platten				
Holzfaserdämmplatten	Kurzzeitmessungen		0	0

Zusammenfassung

Die gesundheitliche Bewertung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen aus ökologischen Baustoffen nach dem AgBB-Schema zeigt, dass die naturbelassenen Rohstoffe in aller Regel diese Anforderungen erfüllen. Jedoch zeigen hitzebehandelte zellulose Werkstoffe zum Teil erhebliche Veränderungen in ihrem Emissionsverhalten. Dies betrifft vor allem die Stoffe Furfural und die kurzkettingen Aldehyde, hier insbesondere Hexanal, welche zu einer Ablehnung im Zulassungsverfahren führen können. Als maßgeblich entscheidende Komponente sind die Bindemittel und Oberflächenbeschichtungen zu sehen. Hier kommt es neben einer summarischen Grenzwertüberschreitung des TVOC-Wertes insbesondere zur Übertretung des Grenzwertes für die nicht-NIK-Stoffe. Die angestrebte Erweiterung der NIK-Liste erlaubt hier zukünftig eindeutigere und toxikologisch begründete Bewertungen.

Der weitaus überwiegende Teil der untersuchten Produkte erfüllt die Anforderungen nach dem AgBB-Schema.

Emissionsmessungen an Materialien für Fußbodenaufbauten

O. Wilke, O. Jann, D. Brödner, Berlin

Zusammenfassung

VOC- und auch SVOC-Emissionen aus Materialien zur Verlegung von Bodenbelägen (Grundierung, Spachtelmasse, Kleber) wie auch Bodenbeläge selbst wurden in Emissionsprüfkammern und -zellen über einen Zeitraum von mindestens 28 Tagen bei 23°C, 50 % relativer Luftfeuchtigkeit und einer flächenspezifischen Luftdurchflussrate q von 1,25 m³/m²h bestimmt. Unter anderem wurden dabei Einzelmaterialien im Vergleich zu drei kompletten Fußbodenaufbauten (gleicher Estrich, Grundierung, Spachtelmasse, Kleber) mit unterschiedlichen Bodenbelägen (PVC, Teppich, Linoleum) vermessen. Die Emissionen aus den Komplettaufbauten wurden durch Sorptionseffekte und durch unterschiedliche Durchlässigkeit der Bodenbeläge beeinflusst. Die Komplettaufbauten mit Linoleum und PVC emittierten die gleichen Substanzen mit vergleichbaren Emissionsraten wie die Bodenbeläge alleine. Dagegen resultierten die Emissionen aus dem Teppich-Komplettaufbau auch aus unteren Schichten. Die Emissionen aus allen drei Komplettaufbauten waren geringer als die Summe der Emissionen der Einzelmaterialien. Bei den Versuchsreihen an unterschiedlichen Fußbodinklebern konnte bei zwei Klebern das Auftreten von Sekundäremissionen beobachtet werden. Dabei handelte es sich um Aldehyde und organische Säuren, welche zeitverzögert erst nach der Standardprüfzeit von 28 Tagen auftraten.

1. Einleitung

Nahzu alle in Innenräumen eingesetzten Materialien können grundsätzlich unterschiedlichste Substanzen in den Innenraum abgeben, wenn diese im Material enthalten sind. Durch Reaktionen mit Bestandteilen anderer Materialien oder der Innenraumluft können auch sogenannte Sekundäremissionen entstehen. Da Innenräume einen wesentlichen Teil der Umwelt des Menschen ausmachen, ist die Ermittlung bzw. Vermeidung von Quellen für Luftverunreinigungen in Innenräumen von großer Bedeutung. Im Fall von Bodenbelägen und Verlegewerkstoffen handelt es sich um Baustoffe, die aufgrund ihrer großen Oberfläche im Innenraum eine wesentliche Emissionsquelle darstellen können. Im Rahmen des UFOPLAN-Vorhabens „Umwelt- und Gesundheitsqualität komplex aufgebauter Bauprodukte“ des Umweltbundesamtes wurden im Teilprojekt „Untersuchung

und Ermittlung emissionsarmer Bodenbelagsstoffe und Bodenbeläge" in der BAM Prüfkammermessungen an diesen Materialien durchgeführt [1]. Dabei wurden sowohl Einzelmaterialien als auch Komplettaufbauten aus Estrich, Grundierung, Spachtelmasse, Kleber und Bodenbelag über einen Zeitraum von mindestens 28 Tagen auf Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen untersucht.

Ziel dieses Projektes war es unter anderem, einen Überblick über Art und Menge der Emissionen zu bekommen, um den Stand der Technik einschätzen zu können. Außerdem sollten Erkenntnisse zum zeitlichen Verlauf der Emissionen über einen längeren Zeitraum gewonnen werden, da nur so eine Abschätzung des Langzeit-Emissionsverhaltens möglich ist.

Dabei wurden auch schwerflüchtige organische Verbindungen (SVOC, semi volatile organic compound) erfasst, die einen anderen Konzentrationsverlauf bei Prüfkammermessungen zeigten als die flüchtigen organischen Verbindungen (VOC, volatile organic compound). Der TVOC-Wert (total volatile organic compounds) ist hierbei die Summe aller Substanzen, die bei der gaschromatographischen Auftrennung zwischen n-Hexan und n-Hexadekan eluiert wurden [13], der TSVOC-Wert steht für die Summe der Konzentrationen aller SVOCs (Retentionszeit > n-Hexadekan).

SVOCs sind in der Prüfkammer teilweise erst nach längerer Zeit nachweisbar (aufgrund von Adsorption an den Kammerinnenwänden) und auch die Erfassung bei der Probenahme/Analyse ist abhängig von der eingesetzten Methode [2]. Die SVOCs werden im realen Innenraum wahrscheinlich eher staubgebunden vorkommen, mit Prüfkammermessungen kann aber die Emissionsratenbestimmung eines Materials erfolgen. Bisher sind nur sehr wenige Emissionsdaten für Bodenbeläge und Verlegewerkstoffe veröffentlicht worden [3, 4, 5, 6]. Hinzu kommt, dass durch eine ständige Veränderung dieser Produkte, wie z.B. den Einsatz von anderen Lösungsmitteln oder deren Ersatz, aus älteren Untersuchungen kaum Informationen für die neueren Materialien abzuleiten sind.

Die Prüfung von Einzelmaterialien liefert zwar Aussagen zum Emissionsverhalten und zu den emittierenden Substanzen, die Kombination von mehreren Einzelmaterialien, wie beim Fußbodenaufbau üblich, kann aber ganz andere Emissionen (zeitlicher Verlauf, Konzentration bzw. Emissionsrate) ergeben.

2. Prüfmethode / Analytik

Die GEV hat für das EMICODE-System [7] eine Standardmethode [8] zur Klassifizierung von Verlegewerkstoffen beschrieben, bei der mit Hilfe von Prüfkammern und durch Einsatz der Tenax/Thermodesorptionsmethode die Emissionen aus Verlegewerkstoffe charakterisiert und

verglichen werden können. Dazu werden die Klebstoffe mit 300 g/m² mit einem Zahnspachtel auf Glasplatten aufgebracht. Für Teppiche gibt es eine Methode nach GuT [9]. Diese Methoden sind im wesentlichen auch von der BAM bei den Untersuchungen eingesetzt worden, wobei aber insbesondere die Prüfzeiten, Kammergröße und Beladung verändert wurden. Im Vordergrund stand die Erfassung, Identifizierung und substanzspezifische Quantifizierung möglichst vieler Verbindungen, um eine Bewertung nach dem AgBB-Schema [10] (AgBB: Ausschuss für die gesundheitliche Bewertung von Bauprodukten) für Bauprodukte vornehmen zu können.

Die eingesetzten Prüfkammern bzw. Messzellen [11, 12] wurden alle bei einer Temperatur von 23 ± 0,3°C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50 ± 5 % betrieben. Die flächenspezifische Luftdurchflussrate q (q_m/L; n: Luftaustauschrate [1/h], L: Produktbeladungsfaktor [m²/m²]) betrug 1,25 m²/m²h.

Für die Luftprobenahme wurden zwischen 0,5 l und 2 l Prüfkammerluft mit 100 ml/min durch ein mit Glaswolle und TENAX gefülltes Glasrohr gesaugt. Die Methode der Probenahme auf TENAX mit anschließender thermischer Desorption [13] und nachfolgender Analyse mittels Gaschromatographie in Koppelung mit Massenspektrometrie ist zur Zeit die beste Methode, um bei der Luftanalytik ein möglichst großes Spektrum an unterschiedlichsten Substanzen zu erfassen und zu identifizieren. Allerdings würde im Verlauf des Projektes bestätigt, dass leichter flüchtige, polare Substanzen, wie z.B. Essigsäure oder Ethylenglykol, bei einem Probenahmenvolumen von zwei Litern nicht quantitativ adsorbiert werden und außerdem mittels Massenspektrometrie nur vergleichsweise schlecht nachgewiesen werden.

3. Ergebnisse der Emissionsmessungen

3.1 Emissionen aus Fußbodenklebern

Die ermittelten TVOC- und TSVOC-Werte für 9 sehr emissionsame Kleber (nach EMICODE) für die Zeitpunkte 1., 10. und 28. Tag sind in den Abbildungen 2 und 3 dargestellt. Es wurden sehr unterschiedliche TVOC-Anfangskonzentrationen zwischen 700 und 8000 µg/m³ nach 24 h gemessen. Nach 28 Tagen lagen die Konzentrationen für den TVOC-Wert für 8 Kleber teilweise deutlich unter 150 µg/m³. Vier Kleber zeigten Emissionen von SVOCs. Nach 28 Tagen war der TSVOC-Wert bei drei dieser vier Kleber größer als der TVOC-Wert.

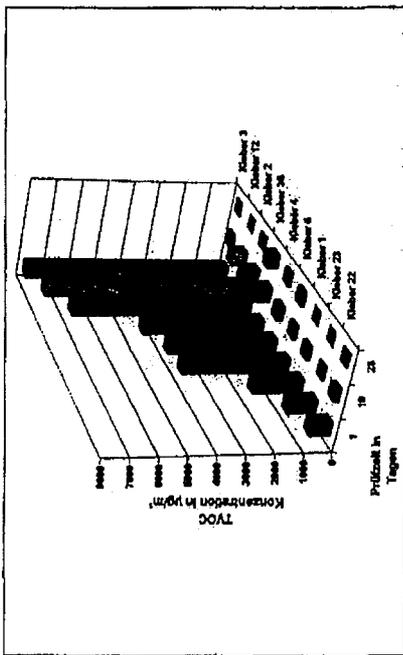


Abbildung 2: TVOC-Konzentrationen für 9 Fußbodenkleber

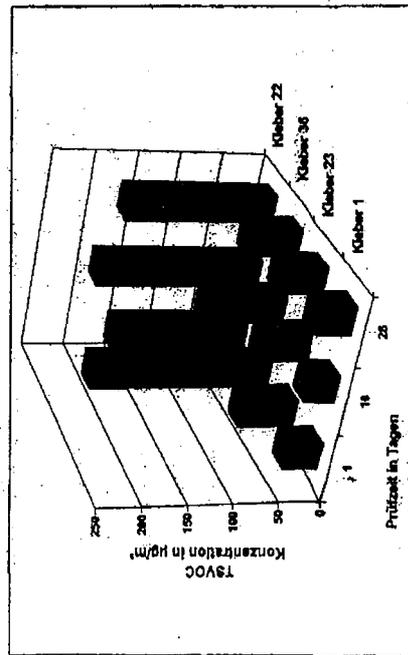


Abbildung 3: TVOC-Konzentrationen für 4 Fußbodenkleber

3.2 Emissionen aus Bodenbelägen

Die ermittelten TVOC- und TVOC-Werte für verschiedene Typen von Bodenbelägen (PVC, Linoleum, Kautschuk, Polyolefin und Teppich) für die Zeitpunkte 1., 10. und 28. Tag sind in den Abbildungen 4, 5 und 6 dargestellt.

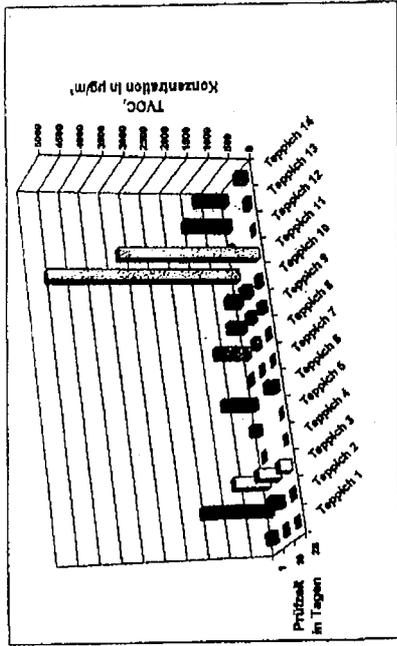


Abbildung 4: TVOC-Konzentrationen für 14 Teppichbeläge

Die Bodenbeläge zeigten im Durchschnitt geringere Anfangskonzentrationen und damit ein langsames Abklingen der Emissionen im Vergleich zu den Klebern. Dies kann allerdings damit zusammen hängen, dass die Bodenbeläge in den wenigsten Fällen ganz frisch produziert waren. Insgesamt zeigten die PVC-Beläge die höchsten Konzentrationen, wobei in einem Fall nach 28 Tagen noch mehr als 1 mg/m^3 gefunden wurde. Hierbei machte allein die Hauptsubstanz TXIB 539 µg/m^3 aus, dazu kamen noch alkylierte Benzole (SVOCs) mit 289 µg/m^3 . Die Teppiche zeigten insgesamt die geringsten Emissionen der untersuchten Bodenbeläge.

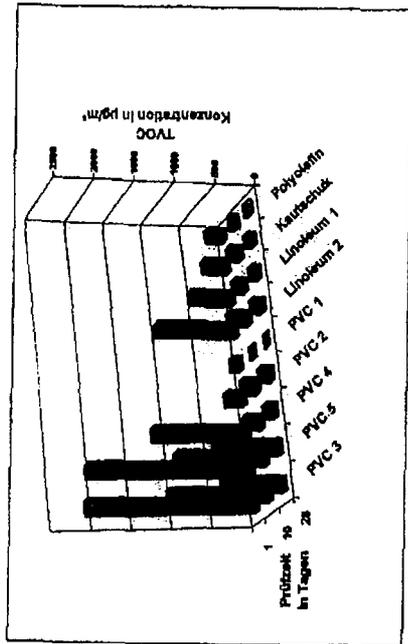


Abbildung 5: TVOC-Konzentrationen für 9 elastische Bodenbeläge

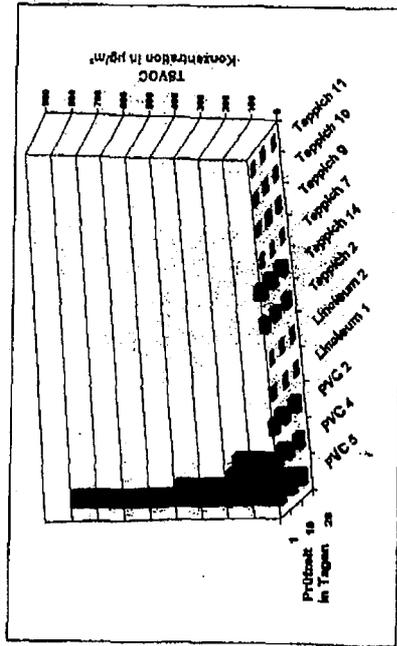


Abbildung 6: TVOC-Konzentrationen der Fußbodenbeläge

3.3 Emissionen aus Fußbodenaufbauten

Für die Komplettaufbauten wurden 2 cm dicke Estrichplatten angefertigt, die bei 23°C, 50 % r.F. vor der Verwendung mindestens 4 Wochen gelagert wurden. Die Grundierung wurde unverdünnt mit 100 g/m² aufgestrichen, 1 Stunde später wurde die Spachtelmasse ca. 2 mm hoch aufgetragen. Dieser Aufbau trocknete über Nacht, dann wurde der Kleber mit 300 g/m²

aufgebracht. Die 3 verschiedenen Bodenbeläge (Teppich, Linoleum, PVC) wurden 15 min später aufgeklebt, danach wurden die Emissionen gemessen.

Tabelle 1 zeigt die Substanzen und deren Konzentrationen nach 28 Tagen aus dem Komplettaufbau Teppich (Grundierung, Spachtelmasse, Kleber 36, Teppich 1). Die Substanzen, die aus dem Einzelmaterial Teppich 1 auftraten, wurden hierbei mit fast gleichen Konzentrationen gefunden. Die anderen Substanzen stammen vom Kleber 36, wobei aus dem Komplettaufbau die schwerer flüchtigen VOC α -Terpineol und Phenoxypropanol sowie die SVOC (nicht identifizierbar) nicht gefunden wurden. Dafür konnte 1,4-Dioxan (Lösungsmittel für Naturstoffe und Harze) nach 24 Stunden nachgewiesen werden. Butanol zeigte nach 24 h nochmals eine Erhöhung im Vergleich zum System Kleber/Spachtelmasse/Grundierung. Die Emission von Ethylhexanol war im Gegensatz dazu nach 24 h stark vermindert, zeigte aber nach 28 Tagen denselben Wert wie aus dem Systemaufbau (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Substanzen mit Konzentrationen aus den Einzelmaterialien, Systemaufbau Grundierung/Spachtelmasse/Kleber (G/S/K) und dem Komplettaufbau mit einem Teppich am 28. Tag

Substanz	28. Tag			
	Grundierung	Spachtelmasse	Kleber	Teppich
Aceton	-	-	89	-
Butanol	-	-	11	-
Dioxan	-	-	-	-
Essigsäure	-	-	230	-
Butylmethacrylat	-	-	-	-
α -Pinen	-	-	1	-
Butylacetat	-	-	-	-
Cyclohexanol	-	-	-	-
VOC, unidentifiziert	-	-	2	-
Ethylhexanol	-	-	14	-
Ethanol, 2,2'-oxybis	-	-	19	-
Ethylhexylacetat	-	-	3	-
α -Terpineol	-	-	5	-
Propylenglykoletherdiäthyläther	158	-	-	-
Phenylcyclohexen	-	-	15	-
Phenoxypropanol	-	-	387	-
TVOC	158	0	387	24
SVOC, unidentifiziert	4	-	-	-
SVOCs, unidentifiziert	-	-	59	-
Dimethylphthalat	15	-	-	-
TSVOC	19	0	59	0

Abbildung 7 zeigt den Vergleich der Emissionen aus den Einzelmaterialien, dem System Kleber/Spachtelmasse/Grundierung und den Komplettaufbauten als Balkendiagramm. Der Systemaufbau weist geringere Emissionen auf, als die Summe der Einzelmaterialien (Grundierung, Spachtelmasse, Kleber). Die Emissionen aus dem Komplettaufbau (Teppich als Deckschicht) liegen noch einmal niedriger.

Bei den beiden anderen untersuchten Komplettaufbauten mit Linoleum und PVC sind die Emissionen gleichzusetzen mit den Emissionen aus den Bodenbelägen.

Hierbei fand eine vollständige Versiegelung durch die Bodenbeläge statt, auch nach über 200 Tagen konnte zumindest in diesen Versuchen keine Emission aus den unteren Schichten nachgewiesen werden.

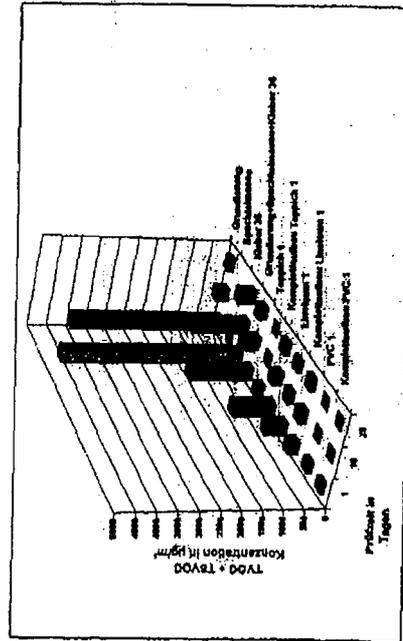


Abbildung 7: Vergleich der Emissionen aus Einzelmaterialien und Fußbodenaufbauten

3.4 Sekundäremissionen

Bei den Untersuchungen an den EC-1 Klebern konnten bei 2 Klebern Sekundäremissionen nachgewiesen werden. Hierbei handelte es sich um Carboxyverbindungen (Aldehyde, Ketone und organische Säuren). Diese Substanzen wurden teilweise erst nach einer Prüfzeit von mehr als 28 Tagen gefunden. Im einzelnen nachgewiesen wurden: Aceton, Pentanal, Hexanal, 3-Heptanon, Heptanal, 2-Ethylhexanal, Oktanal, 2-Oktanon, Nonanal, 2-Octanal, Dekanal, 2-Nonenal, 3-Isopropylbutzaldehyd, Propionsäure, Buttersäure, Valentinsäure, Hexansäure und Heptansäure. Dabei ist anzumerken, dass die Säuren zeitverzögert erst

einige Wochen nach den entsprechenden Aldehyden auftreten. Auffällig war, dass die Heptansäure die höchsten Konzentrationen aufwies (Anstieg bis $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Abbildung 8 zeigt den Konzentrationsverlauf einiger ausgewählter Substanzen.

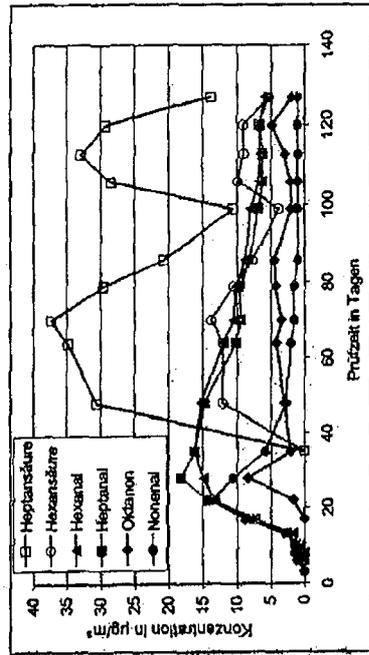


Abbildung 8: Auftreten von Sekundäremissionen aus einem Fußbodenkleber

Die Sekundäremissionen traten auch bei einer Versuchsreihe auf, bei der der Kleber mit einem Teppich bedeckt wurde. Hierbei erfolgte die Bildung der Säuren allerdings langsamer. Die Quelle dieser Sekundäremissionen ist noch nicht geklärt. Eine mögliche Ursache könnte der Einsatz von Tallharzen bzw. Tallölen sein, die ungesättigte Fettsäuren wie Linol- und Ölsäure enthalten, von denen bekannt ist, dass sie durch Oxidation mit Luftsauerstoff zu einigen der genannten Substanzen umgesetzt werden. Die Substanzen haben teilweise eine sehr niedrige Geruchsschwelle, d.h. sie sind schon bei geringen Konzentrationen zu riechen, und könnten deshalb für unangenehme Gerüche, die meist Hauptgrund von Reklamationen sind, verantwortlich sein.

4. Auswertung und Diskussion

Eine vollständige Auflistung der gefundenen Substanzen und ihrer Konzentrationen ist aus der Literatur [1, 14] zu entnehmen. Die Anzahl der Substanzen aus den Bodenbelägen war deutlich größer als die aus den Verlegewerkstoffen. Dies ist mit unterschiedlichen Emissionen aus den verschiedenen Klassen von Bodenbelägen (PVC, Teppich, Linoleum,

Polyolefin, Kautschuk) zu erklären. Außerdem wurden auch mehr Bodenbeläge als Verlegewerkstoffe untersucht.

Bei den Klebern war die am häufigsten gefundene Substanz das 2-Ethylhexanol. Dies war auch zu erwarten, da bekannt ist, dass diese Substanz durch Hydrolyse des Ethylhexylacrylatpolymers entsteht, welches in den meisten EC-1-Klebern Einsatz findet. An Position 2 standen die unidentifizierten Substanzen. Bei vier Klebern wurden auch noch nach 28 Tagen nicht zu identifizierende Substanzen gefunden. Grundsätzlich ist zu sagen, dass fast alle Kleber zumindest in der Anfangsphase der Emissionsmessungen unidentifizierbare Substanzen emittierten, d.h. diese Substanzen konnten in der Massenspektrenbibliothek NIST98, die ca. 100.000 verschiedene Substanzen gespeichert hat, nicht gefunden werden. Das Auftreten von solchen Substanzen erschwert eine Bewertung einer möglichen Gesundheitsgefährdung und dadurch auch eine umweltbezogene Einstufung der Emissionen. Im Verlauf der 28-tägigen Emissionsmessung nahm die Zahl der nicht identifizierten Verbindungen aber deutlich ab. Butylglykol wurde bei 3 der 9 Kleber gefunden. Die Konzentration am 28. Tag war hierbei für Kleber 12 sehr gering im Vergleich zur Anfangskonzentration von fast $3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nach 24 Stunden. Im Gegensatz zu den Klebern 2 und 3 war bei Kleber 12 ein sehr schnelles Abklingen der Butylglykolkonzentration festzustellen. Aufgrund seines hohen Gehaltes an Butylglykol wurde Kleber 12 für ein Verbundsystem mit PVC 1 auf Glasplatte verwendet. Aus diesem Kleber/PVC-Verbundsystem wurden nach 104 Tagen $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Butylglykol ermittelt. Dies zeigt, dass bestimmte Substanzen durch ansonsten als weitgehend dicht geltende Materialien wie PVC migrieren und aus Fußbodenaufbauten auch aus tieferen Schichten emittieren könnten. Essigsäure wies im Durchschnitt die höchsten Konzentrationen aller Substanzen nach 28 Tagen auf. Dies galt teilweise auch für die Konzentrationen während der gesamten Prüfdauer.

Die am häufigsten gefundene Substanz aus den Bodenbelägen ist das 4-Phenylcyclohexen, welches ausschließlich und bei allen Messungen an Teppichen gefunden wurde. Bei 5 von 14 Teppichen war die Konzentration jedoch schon vor dem 28. Tag auf unter $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gefallen. Sehr häufig vertreten waren auch Pentadekan, Tetradekan und Heptadekan. Diese Substanzen wurden außer beim Polyolefin bei allen anderen Klassen von Bodenbelägen nachgewiesen. Essigsäure wurde ebenfalls aus den Bodenbelägen nachgewiesen, Quellen hierfür waren Linoleum, zwei Wolteppiche und ein Naturfaserbelag (Kokos). Die Substanz mit dem höchsten Mittelwert nach der Essigsäure war TXIB, das allerdings nur bei Messungen an PVC (CV-Material) auftrat. Das Auftreten von nicht identifizierbaren Substanzen konnte bei den Bodenbelägen sehr häufig beobachtet werden. Die

Konzentrationen übertrafen hierbei teilweise die der Emissionen der nicht identifizierbaren Substanzen aus den Klebern.

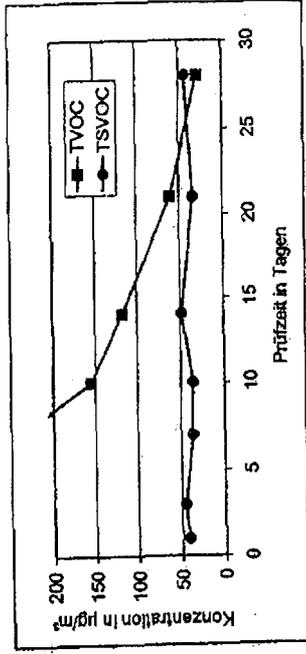


Abbildung 9: Zeitlicher Konzentrationsverlauf für den TVOC- und den TSVOC-Wert aus einem Fußbodenkleber

Ein wichtiger Aspekt für die Bewertung von Emissionen aus Materialien ist die Erfassung der SVOCs. Aus Abbildung 9 ist zu ersehen, dass gerade für die Langzeitemissionen die SVOC eine größere Rolle spielen können als die VOCs. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass Prüfkammernmessungen unter idealisierten Bedingungen erfolgen, bei denen die SVOC erfasst werden können. Im realen Innenraum werden sie im wesentlichen an Staub adsorbiert werden. Durch die Prüfkammernmessung können aber Aussagen zum Emissionspotential eines Materials gemacht werden.

Danksagung

Dem Umweltbundesamt danken wir für die finanzielle Förderung. Ebenfalls danken wir den Firmen und Mitarbeitern, die im Rahmen des Projektes Untersuchungsmaterial und Informationen dazu zur Verfügung gestellt haben.

Literatur

- [1] Wilke O., Jann O., Brödnert D.: Untersuchung und Ermittlung emissionsarmer Klebstoffe und Bodenbeläge, UBA-Projekt-Nr. 298 95 308, Umweltbundesamt, Berlin, Texte 27/2003.
 [2] Jann O., Wilke O.: Möglichkeiten und Grenzen bei der Bestimmung von SVOC-Emissionen aus Materialien und Produkten. VDI-Berichte Nr. 1656, 2002, 357-367.

- [3] Saarela K., Villberg K. and Lukkarinen T.: Emissions from materials and structures. Proceedings of Healthy Buildings 2000, Vol. 4, 35-48.
- [4] Sjöberg A.: Concrete floor as secondary emission source. Proceedings of Healthy Buildings 2000, Vol. 4, 417-422.
- [5] Wilke O., Jann O., Brödner D.: Investigations on the emission behavior of low-emitting adhesives for flooring materials, Proceedings of Healthy Buildings 2000, Vol. 4, 391-396.
- [6] Wilke O., Jann O., Brödner D.: VOC- and SVOC-emissions from adhesives, floor coverings and complete floor structures, Proceedings of Indoor Air 2002, Vol. 1, 962-967.
- [7] Oppl R.: The EMICODE labeling system for flooring installation products. Proceedings of Indoor Air 1999, Vol. 1, 543-548.
- [8] GEV-Prüfmethode, Stand November 2001, Gemeinschaft Emissionskontrollierte Verlegewerkstoffe e.V., Ivo-Beucker-Str. 43, 40237 Düsseldorf
- [9] GuT-Methode Nr. 8, Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden, Schönebergstr. 2, 52068 Aachen
- [10] Deutsches Institut für Bautechnik, DIBt-Mitteilungen 32 (2001) 1, 3-12
- [11] DIN V ENV 13419-1: Bauprodukte - Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen - Teil 1: Emissionsprüfkammer-Verfahren.
- [12] DIN V ENV 13419-2: Bauprodukte - Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen - Teil 2: Emissionsprüfzellen-Verfahren.
- [13] DIN ISO 16000-6: Indoor air and emission test chamber air-determination of VOCs; active sampling on TENAX TA, thermal desorption and gas chromatography.
- [14] Wilke O., Jann O., Brödner D.: VOC- und SVOC-Emissionen aus Fußbodenaufbauten und den dafür verwendeten Materialien, Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft, 63 (3/2003), 92-98.

Aspekte zur Beurteilung von VOC-Emissionen im Innenraum – eine Betrachtung aus Sicht des Herstellers

F. Rösiger, Augsburg

Ausrichtung der Produktentwicklung

Natürlich stand historisch bei der Entwicklung von neuen Produkten im Baubereich die technische Leistungsfähigkeit im Vordergrund. Effektives und effizientes Bauen stellten nach dem zweiten Weltkrieg immer höhere Anforderungen an bauchemische Produkte.

Neben der erhöhten technischen Komplexität der Bauten, spielte auch das sich „verteuernde Gut“ Arbeitskraft einen wichtigen Antrieb. So zielten innovative Entwicklungen z.B. auf die Erhöhung der möglichen Quadratmeterleistung bei einem Fliesenkleber.

Die klassisch überwachten Aspekte der Bauindustrie, Standsicherheit und Brandverhalten, spielten dabei für Gewerke des Ausbaus nur eine untergeordnete Rolle. So fallen auch heute noch viele chemischen Bauprodukte nicht unter die Aufsicht der Bauregelung des Deutschen Institutes für Bautechnik (DIBt).

Aspekte des Umwelt- und Gesundheitsschutzes

Mit der intensiveren Diskussion zu Belangen des Gesundheits- und Umweltschutzes wurden auch die eingesetzten Stoffe innerhalb der Bauindustrie bzw. Bestandteile bauchemischer Produkte näher untersucht.

Spektakuläre Fälle, wie z.B. von belasteten Holzschutzanstrichen, führten in der bauchemischen Industrie zur Einführung eines verbesserten Stoffmanagements. Zielrichtungen waren hierbei zwei Aspekte:

Arbeitsschutz

Die verbesserte Kenntnis der eingesetzten Stoffe sollten zum einen die Mitarbeiter in Laboren und Produktionslinien der Herstellerfirmen schützen. Durch Maßnahmen des Arbeitsschutzes wurde die Situation bzgl. Arbeitsunfälle und Berufskrankheiten verbessert. Zum einen wird der Umgang mit Stoffen pro Mitarbeiter heute dokumentiert, zum anderen stellen die Beitragzahlungen an die jeweiligen Berufsgenossenschaften (dynamisiert mit steigender