

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 298 95 308
UBA-FB 000452



Untersuchung und Ermittlung emissionsarmer Klebstoffe und Bodenbeläge

von

Dr. Olaf Wilke

Dr. Oliver Jann

Dipl.-Ing. (FH) Doris Brödner

Bundesanstalt für Materialforschung und Prüfung (BAM)

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Diese TEXTE-Veröffentlichung kann bezogen werden bei

Vorauszahlung von 7,50 Euro

durch Post- bzw. Banküberweisung,
Verrechnungsscheck oder Zahlkarte auf das

Konto Nummer 4327 65 - 104 bei der
Postbank Berlin (BLZ 10010010)
Fa. Werbung und Vertrieb,
Ahornstraße 1-2,
10787 Berlin

Parallel zur Überweisung richten Sie bitte
eine schriftliche Bestellung mit Nennung
der **Texte-Nummer** sowie des **Namens**
und der **Anschrift des Bestellers** an die
Firma Werbung und Vertrieb.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr
für die Richtigkeit, die Genauigkeit und
Vollständigkeit der Angaben sowie für
die Beachtung privater Rechte Dritter.
Die in dem Bericht geäußerten Ansichten
und Meinungen müssen nicht mit denen des
Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 33 00 22
14191 Berlin
Tel.: 030/8903-0
Telex: 183 756
Telefax: 030/8903 2285
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet III 1.4
Nicole Hirsch

Berlin, Mai 2003

Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA-FB	2.	3.
4. Titel des Berichts Untersuchung und Ermittlung emissionsarmer Klebstoffe und Bodenbeläge		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Dr. Wilke, Olaf Dr. Jann, Oliver Brödner, Doris	8. Abschlußdatum 31.7.2002	
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung Unter den Eichen 87 D - 12205 Berlin	9. Veröffentlichungsdatum	
	10. UFOPLAN-Nr. 298 95 308	
	11. Seitenzahl 162	
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt, Postfach 33 00 22, D-14191 Berlin	12. Literaturangaben 46	
	13. Tabellen und Diagramme 51	
	14. Abbildungen 78	
15. Zusätzliche Angaben		
16. Kurzfassung Im vorliegenden Bericht wurden 11 Fußbodenbelagskleber, eine Grundierung, eine Spachtelmasse, 14 Teppiche, 5 PVC-Beläge, drei Linoleum-Beläge, ein Kautschukbelag und ein Polyolefinbelag über einen Zeitraum von mindestens 28 Tagen mittels Prüfkammer- bzw. Prü fzellenmessungen auf ihr Emissionsverhalten untersucht. Die Emissionsmessungen an den Einzelmater ialien Kleber und Bodenbelag sollten die möglichen Emissionen (Substanzen und Konzentrationen) und deren zeitlichen Verlauf ermitteln. Außerdem wurden die Emissionen aus 7 Materialkombinationen ermittelt. Dazu gehörten drei Komplett aufbauten aus Estrich, Grundierung, Spachtelmasse und Kleber mit den Belägen Teppich, PVC und Linoleum sowie 4 Verbundsysteme. Dies waren: Verbundsystem Estrich/Grundierung/Spachtelmasse/Kleber, Verbundsystem Glasplatte/Kleber/Teppich, Verbundsystem Glasplatte/Kleber/PVC-Belag und das Verbundsystem Estrich/Kleber. Die Emissionen aus den Komplett aufbauten wurden durch Sorptionseffekte und durch die unterschiedliche Durchlässigkeit der Bodenbeläge beeinflusst. Dabei waren die Emissionen aus den Komplett aufbauten und Verbundsystemen jeweils geringer als die Summe der Emissionen der entsprechenden Einzelmater ialien. Ergänzende Untersuchungen wurden durchgeführt zur Vergleichbarkeit der Emissionsmessungen in unterschiedlichen Prüfkammern (Volumen 1 m ³ und 0,02 m ³) bzw. Messzellen (Volumen 1 l und 0,035 l [FLEC]). und bei 42 Klebern zur Anwendbarkeit der Direkt-Thermodesorption (dynamische Headspace-Methode) als Screening-Verfahren. Des weiteren wurden Versuche durchgeführt, um die Auswirkungen unterschiedlicher Probenherstellung (Trägermaterial, Auftragsmenge, Auftragsart) auf die Emissionen aus den Fußbodenklebern abschätzen zu können. Die durchgeführten Untersuchungen stellen eine Grundlage zur Erarbeitung eines Umweltzeichens für Fußbodenkleber dar.		
17. Schlagwörter Kleber, Fußbodenbelagskleber, Verlegewerkstoffe, Bodenbeläge, Emissionen, VOC, SVOC, Emissionsmesskammer, Emissionsmesszelle, Thermodesorption, GC-MS, Sekundäremissionen, Teppich, Linoleum, PVC, Polyolefin, Kautschuk, Grundierung, Spachtelmasse		
18. Preis	19.	20.

Report Cover Sheet

1. Report No. UBA-FB	2.	3.
4. Report Title Investigating and identifying low-emission adhesives and floor coverings		
5. Autor(s), Family Name(s), First Name(s) Dr. Wilke, Olaf Dr. Jann, Oliver Brödner, Doris	8. Report Date 31.7.2002	
6. Performing Organisation (Name, Address) Federal Institute for Materials Research and Testing Unter den Eichen 87 D - 12205 Berlin	9. Publication Date	
	10. UFOPLAN-Ref. No. 298 95 308	
	11. No. of Pages 162	
	12. No. of Reference 46	
7. Sponsoring Agency (Name, Address) Umweltbundesamt, Postfach 33 00 22, D-14191 Berlin	13. No. of Tables, Diagrams 51	
	14. No. of Figures 78	
	15. Supplementary Notes	
16. Abstract Emissions from a total of 11 different floor covering adhesives, a primer, a filler material, 14 carpets, 5 PVC coverings, 3 linoleum coverings, a rubber covering and a polyolefin covering have been tested in test chamber and test cell investigations over a minimum of 28 days. Emission tests on adhesives and floor coverings were used to analyse potential emissions (substances and concentrations) and their decay behaviour. In addition, measurements using 7 different configurations of flooring structure were taken. Flooring structures of screed, primer, filler material and adhesive with carpet, PVC and linoleum coverings plus 4 composite systems, plus 4 composite systems, screed/primer/filler/adhesive, glass plate/adhesive/carpet, glass plate/adhesive/PVC and screed/adhesive, were tested. The emissions from flooring compositions were influenced by sorption effects and different permeabilities of the floor coverings. Emissions from the complete structures were smaller than the sum of emissions from the individual materials. Additional investigations have been performed to check the comparability of emission tests in 1-m ³ and 0.02-m ³ test chambers and 1-litre and 0.035-litre [FLEC] test cells as well as on 42 adhesives to check on the feasibility of direct thermal desorption (dynamic headspace method) as a screening test. Further tests have been carried out to estimate the effect of different sample preparation methods (primary backing, amount applied and method of application) on the emissions from floor adhesives. The tests performed serve as a basis for introducing an environmental symbol for floor adhesives.		
17. Keywords Adhesive, floor covering adhesive, products for flooring installation, floor coverings, emissions, VOC, SVOC, emission test chamber, emission test cell, thermal desorption, GC-MS, secondary emissions, carpet, linoleum, PVC, polyolefin, rubber, primer, filler material		
18. Price	19.	20.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
1.1	Hintergrund und Aufgabenstellung.....	7
1.2	Innenraumluftqualität.....	11
1.3	Definitionen	15
1.4	Bestehende Prüfvorschriften zur Bestimmung von Emissionen aus Klebern und Bodenbelägen	16
2	Methodischer Teil.....	20
2.1	Emissionsmesskammern und -zellen.....	20
2.1.1	1 m ³ -Kammer.....	23
2.1.2	0,02 m ³ -Kammer.....	25
2.1.3	FLEC – Field and Laboratory Emission Cell	26
2.1.4	BAM-Emissionsmesszelle (V = 1 l).....	28
2.1.5	Abschätzung von Wand-(Senken-)Einflüssen	29
2.2	Analysenverfahren	29
2.2.1	Tenax-Thermodesorption	30
2.2.2	Direkt-Thermodesorption	31
2.3	Qualitätssicherung	32
2.3.1	Emissionsmesskammern und –messzellen	32
2.3.2	Probenahme und Analytik.....	32
2.3.3	Ringversuch (GEV).....	33
3	Ergebnisse der Materialuntersuchungen.....	34
3.1	Emissionsdaten der untersuchten Materialien	35
3.1.1	Fußbodenkleber und andere Verlegewerkstoffe	35
3.1.1.1	Herkunft der Verlegewerkstoffe	35
3.1.1.2	Herstellung der Proben	35
3.1.1.3	Kleber 1	36
3.1.1.4	Kleber 2.....	39
3.1.1.5	Kleber 3.....	40
3.1.1.6	Kleber 4.....	41
3.1.1.7	Kleber 6.....	43
3.1.1.8	Kleber 12.....	44
3.1.1.9	Kleber 22.....	45
3.1.1.10	Kleber 23	46

3.1.1.11 Kleber 36	47
3.1.1.12 Kleber 46	48
3.1.1.13 Kleber 47	49
3.1.1.14 Grundierung.....	51
3.1.1.15 Spachtelmasse	51
3.1.2 Bodenbeläge.....	52
3.1.2.1 Herkunft der Bodenbeläge	52
3.1.2.2 Herstellung der Proben	52
3.1.2.3 PVC 1.....	53
3.1.2.4 PVC 2.....	54
3.1.2.5 PVC 3.....	55
3.1.2.6 PVC 4.....	56
3.1.2.7 PVC 5.....	57
3.1.2.8 Teppich 1	58
3.1.2.9 Teppich 2	59
3.1.2.10 Teppich 2b.....	60
3.1.2.11 Teppich 3.....	62
3.1.2.12 Teppich 4.....	63
3.1.2.13 Teppich 5.....	63
3.1.2.14 Teppich 6.....	64
3.1.2.15 Teppich 7	65
3.1.2.16 Teppich 8.....	66
3.1.2.17 Teppich 9.....	67
3.1.2.18 Teppich 10.....	68
3.1.2.19 Teppich 11.....	69
3.1.2.20 Teppich 12.....	70
3.1.2.21 Teppich 13.....	71
3.1.2.22 Linoleum 1	72
3.1.2.23 Linoleum 2.....	73
3.1.2.24 Linoleum 3.....	74
3.1.2.25 Polyolefin.....	75
3.1.2.26 Kautschuk.....	75
3.1.3 Komplettaufbauten.....	76
3.1.3.1 Verbundsystem Grundierung/Spachtelmasse/Kleber36.....	77

3.1.3.2	Komplettaufbau Teppich	78
3.1.3.3	Komplettaufbau PVC.....	79
3.1.3.4	Komplettaufbau Linoleum.....	80
3.1.3.5	System Kleber 12 / PVC.....	80
3.1.4	Sekundäremissionen	81
3.1.4.1	Sekundäremissionen aus Fußbodenklebern	81
3.1.4.2	Sekundäremissionen aus dem System Kleber/Teppich	83
3.1.4.3	Komplettaufbauten nach Entfernung der Bodenbeläge.....	84
3.2	Untersuchungen für die Entwicklung des Prüfverfahrens.....	85
3.2.1	Probenherstellung.....	85
3.2.1.1	Einfluss des Untergrundes (Trägermaterial).....	86
3.2.1.2	Einfluss der Auftragsmenge	88
3.2.1.3	Einfluss der Auftragsart	90
3.2.2	Vergleich von Kammer- mit Zellenmessungen	90
3.2.3	Vergleich von Messungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten	93
3.2.3.1	Fußbodenkleber	94
3.2.3.2	Bodenbeläge	96
3.2.4	Vergleich der Direkt-TDS mit Kammermessungen nach 24 h	98
4	Auswertung und Diskussion der Versuchsergebnisse	101
5	Zusammenfassung	109
6	Literatur	112
Anhang		117
Erläuterungen der Abkürzungen, Maßeinheiten, Symbole.....		117
Mitarbeiter des projektbegleitenden Expertenkreises		119
Chromatogramm-Beispiele		120
Ergebnisse der Direkt-Thermodesorption von Fußbodenklebern.....		123
Prüfverfahren		131

1 Einleitung

Das Forschungsvorhaben wurde im Auftrag des Umweltbundesamtes mit Mitteln des Umweltforschungsplanes im Rahmen des Themas „Umwelt- und Gesundheitsqualität komplex aufgebauter Bauprodukte“ gefördert.

Zur fachlichen Begleitung des Vorhabens wurde ein Expertenkreis eingerichtet, dem Vertreter von verschiedenen Forschungs- bzw. Prüfeinrichtungen sowie Herstellervertreter angehörten (siehe Anhang 1). In fünf Sitzungen dieses projektbegleitenden Expertenkreises wurden analytische Fragestellungen und Fragen zum Gesamtprüfverfahren sowie die fortlaufenden Zwischenergebnisse des Vorhabens vorgestellt und diskutiert.

Darüber hinaus wurden die Zwischenergebnisse des Vorhabens auf mehreren Fachveranstaltungen präsentiert und diskutiert [1, 2, 3, 4].

Den Mitarbeitern des projektbegleitenden Expertenkreises soll an dieser Stelle für die konstruktive Begleitung des Projektes gedankt werden. Dieser Dank gilt auch den Firmen, die im Rahmen des Projektes Untersuchungsmaterial zur Verfügung gestellt haben.

1.1 Hintergrund und Aufgabenstellung

Da sich der Mitteleuropäer zum überwiegenden Teil seines Lebens in Innenräumen aufhält, kommt der Qualität der Luft, die er dort atmet, besondere Bedeutung zu.

Die "Konzeption der Bundesregierung zur Verbesserung der Luftqualität in Innenräumen" [5] beschreibt eine Vielzahl ungelöster Problemfelder und mögliche Abhilfemaßnahmen. Der Beseitigung bzw. Minimierung von Emissionsquellen, die zu einer Verunreinigung der Innenraumluft beitragen, wird dabei aus Vorsorgegründen oberste Priorität eingeräumt.

Zur Umsetzung dieser Konzeption ist es notwendig, Erkenntnisse über den Beitrag einzelner Emissionsquellen, insbesondere der in Innenräumen zur Anwendung kommenden Produkte, zu gewinnen, um gezielt eine Reduzierung der Emission aus diesen Quellen und damit eine Verbesserung der Innenraumluftqualität herbeizuführen. Dies kann nur über die Bestimmung des Emissionsverhaltens der in Innenräumen eingesetzten Produkte unter standardisierten Messbedingungen erfolgen.

Hinzuweisen ist auch auf das Aktionsprogramm Umwelt und Gesundheit (APUG) [6]. Dieses gemeinsame Programm des Gesundheitsministeriums und des Umweltministeriums dient dem Ziel, eine Handlungsbasis aufzustellen, auf welcher der Gesundheitszustand der Bürger in bestimmten Bereichen, wie z.B. dem Umgang mit Verbraucherprodukten, sichergestellt wird.

Auf europäischer Ebene sind eine Reihe von Berichten zur „Innenraumlufthqualität und ihrem Einfluß auf Menschen“ (ECA-Reports: **E**uropean **C**ollaborative **A**ction, Indoor Air Quality & It's Impact on Man) veröffentlicht worden [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13], die insbesondere Analysen- und Bewertungsverfahren für Innenraumlufschadstoffe beschreiben.

Auf der Basis des ECA-Reports No. 8 „Guideline for the Characterization of Volatile Organic Compounds emitted from Indoor Materials and Products using Small Test Chambers“ [9] wurde bei CEN TC 264/WG 7 eine CEN-Norm für VOC-Emissionsprüfkammern entwickelt (ENV-13419,1-2) [35, 36].

Auch nationale und internationale Veranstaltungen, wie z.B. VDI/DIN-Tagungen unter Federführung der „Kommission Reinhaltung der Luft“, „WaBoLu-Innenraumtage“ „Indoor Air“, „Healthy Buildings/Indoor Air Quality“ beschäftigen sich mit den vielfältigen Innenraumlufthproblemen. Phänomene wie beispielsweise das "Sick building syndrome (SBS)", "Multiple chemical sensitivity (MCS-) Syndrome" und ähnliches werden diskutiert und nach Ursachen geforscht.

Emissionen aus Materialien spielen hierbei eine wesentliche Rolle, da immer mehr Substanzen in Innenräumen und damit in unmittelbarer Nähe des Menschen zum Einsatz gelangen.

Moderne Gebäude, die unter dem Aspekt der Energieeinsparung immer besser gedämmt sind und häufig eine verringerte natürliche Frischluftzufuhr aufweisen, tragen ihren Teil zu erhöhten Schadstoffkonzentrationen in Innenräumen bei.

Nahezu alle in Innenräumen eingesetzten Materialien sind grundsätzlich befähigt, Emissionen unterschiedlicher Substanzen in den Innenraum abzugeben, wenn diese im Material enthalten sind. Da Innenräume einen wesentlichen Teil der Umwelt des Menschen darstellen, ist die Ermittlung von Quellen für Luftverunreinigungen in Innenräumen von großer Bedeutung. Im Fall von Bodenbelägen, Klebstoffen (zum Verlegen von Bodenbelägen) und Untergründen (Estriche) handelt es sich um Bau-

stoffe, die aufgrund ihrer großen Oberfläche im Innenraum eine wesentliche Emissionsquelle darstellen können.

Dass Produkte für den gleichen Gebrauchszweck in sehr unterschiedlichem Umfang zur Innenraumluftbelastung beitragen können, ist durch erste Untersuchungen von unterschiedlichen Fußbodenbelägen in Schweden belegt. Hierbei waren flächenspezifische Emissionsraten mit Unterschieden von fast 3 Größenordnungen feststellbar. Eine Verbesserung des Emissionsverhaltens ließ sich dabei teilweise durch vergleichsweise einfache Produktänderungen erreichen. Das breite Angebot von Bodenbelagsklebstoffen in Deutschland ließ ebenfalls ein sehr unterschiedliches Emissionsverhalten erwarten.

Aus Praxisbeispielen war bekannt, dass sich durch ungünstiges Zusammenwirken von Untergrund, Klebstoff und Belag in der Praxis die Belastungen erheblich verstärken können bzw. sogar zusätzliche Belastungen wie unangenehme Gerüche auftreten.

Charakteristisch für Material-Emissionen ist, dass diese im Allgemeinen über einen längeren Zeitraum auftreten, wobei je nach Flüchtigkeit der emittierten Substanzen die Konzentration und deren zeitliche Abhängigkeit sehr unterschiedlich sein kann. In der Regel zeigen die Emissionen eine mehr oder weniger stark ausgeprägte zeitliche Abnahme.

Von verschiedenen Institutionen wurden in den letzten Jahren Verfahren zur Ermittlung und Begrenzung der Emission flüchtiger organischer Verbindungen aus Materialien entwickelt. So sind im Bereich der Möbel, Möbellacke und beschichteten Holzwerkstoffe, die ebenfalls zu den großflächigen Innenraummaterialien gehören, Methoden erarbeitet und Emissionsdaten ermittelt worden. Diese Ergebnisse haben erstmals zu einem Umweltzeichen (Blauer Engel) geführt, das die umfassende Ermittlung und Begrenzung des Emissionsverhaltens als wesentlichen Bestandteil beinhaltet (RAL UZ 38 – Emissionsarme Produkte aus Holz und Holzwerkstoffen). Neben den Umweltzeichen-Aktivitäten sind für verschiedene Produkte Vorgehensweisen zur Ermittlung und Kennzeichnung der Emissionsarmut entwickelt worden. Zu nennen sind hier RAL-RG 430 für emissionsarme Möbel, EMICODE für emissionsarme Verlegewerkstoffe (siehe Abschnitt 2.2) von der GEV (Gemeinschaft Emissi-

onskontrollierte Verlegewerkstoffe), das GuT-Signet für Teppiche (siehe Abschnitt 2.2) von der Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden sowie Initiativen zur Begrenzung von Emissionen aus Tapeten und Wandfarben (Dispersionsfarben). Die Vorgehensweisen bei der Ermittlung möglicher Emissionen sind hierbei sehr unterschiedlich. Häufig werden keine Emissionsmessungen in Kammern unter Standardbedingungen durchgeführt, sondern Daten mittels Headspaceverfahren, bei Dispersionsfarben mittels sogenannter In-Can-Messungen, ermittelt. Der Nachweis einer Korrelation zu Messungen in Emissionsmesskammern konnte hierfür bisher nicht geführt werden.

Für eine umfassende Bewertung des Emissionsverhaltens sind jedoch Kenntnisse der zeitlichen Konzentrationsverläufe (Abklingkurven) über einen längeren Zeitraum unverzichtbar, da nur so eine Abschätzung des Langzeit-Emissionsverhaltens möglich ist.

Für den Bereich der Emissionen aus Bauprodukten ist auch auf die Arbeit des AgBB (Ausschuss für die gesundheitliche Bewertung von Bauprodukten, siehe Abschnitt 2.2) zu verweisen, sowie auf den Sachverständigenausschuss (SVA) „Gesundheit und Umweltschutz“ des DIBt (Deutsches Institut für Bautechnik).

Der genannte Kenntnisstand war bei den durchzuführenden Untersuchungen zu berücksichtigen.

Ziel der Arbeiten war die Untersuchung und Ermittlung emissionsarmer Klebstoffe und Bodenbeläge, um Einblick in den Stand der Technik zu bekommen. Mittels der Emissionsmesskammern (1 m^3 , $0,02 \text{ m}^3$) und der Standard-Emissionsmesszelle (FLEC) sollten rund 50 unterschiedliche Materialien bzw. Materialkombinationen auf ihr Emissionsverhalten bzw. ihre Emissionscharakteristik über einen Zeitraum von 28 Tagen unter Standardbedingungen ($T = 23 \text{ °C}$, r.F. = 50 %, $q = n/L = 1,25 \text{ m/h}$, $v = 0,1 - 0,3 \text{ m/s}$) untersucht werden.

Außerdem sollten, neben der Anwendung der Emissionsmesskammer als Referenzverfahren, für einen schnellen Überblick über das mögliche Emissionspotential geeignete Screening-Verfahren zur Anwendung kommen.

Darüber hinaus sollte eine Weiterentwicklung der methodischen Grundlagen sowie die Erprobung und Validierung kostengünstiger Mess- und Analysenverfahren erfolgen.

Für die mittels des Screeningtests ermittelten Emissionsdaten sollte die Korrelation zum Referenzverfahren ermittelt werden.

Des weiteren war die Korrelation zwischen unterschiedlichen Emissionsmesskammern bzw. –messzellen zu ermitteln, um hieraus Aussagen über deren Einsatzmöglichkeit zur Bestimmung von flüchtigen organischen Verbindungen aus Fußbodenbelägen und Klebern abzuleiten.

Zur besseren Abschätzung einer tatsächlichen Innenraumsituation sollten nicht nur Einzelmaterialien, sondern auch Materialkombinationen von Untergrund, Klebstoff und Belag in Prüfkammern untersucht werden.

1.2 Innenraumluftqualität

Das Thema der Luftqualität in Innenräumen wird seit vielen Jahren mit zunehmender Aufmerksamkeit verfolgt. Die Bundesregierung hat die Bedeutung der damit zusammenhängenden Fragen erkannt und 1992 in der „Konzeption der Bundesregierung zur Verbesserung der Luftqualität in Innenräumen“ [5] aufgegriffen. Ein präventives Vorgehen zur Verhinderung oder Begrenzung von Emissionen hat hierbei Vorrang.

Dabei geht die Bundesregierung in den Handlungsansätzen davon aus, dass eine wirksame Politik zur Reinhaltung der Luft in Innenräumen an den Schadstoffquellen ansetzen muss, um diese zu beseitigen oder wenigstens deren Emissionen nachhaltig zu reduzieren.

Für die Beurteilung der Raumluftkonzentration liegen nur in begrenztem Umfang Beurteilungswerte vor oder sind überhaupt nicht vorhanden.

In Tabelle 1 sind die Innenraumluftschadstoffe aufgeführt, für die bisher analog des Richtwertschemas der Innenraumluftthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes [14] Richtwerte erarbeitet wurden. Hierbei ist zwischen dem Richtwert I (Sanierungszielwert) und dem Richtwert II (Eingriffswert) zu unterscheiden. Bei Einhaltung des Richtwertes I ist auch bei lebenslanger Exposition keine gesundheitliche Beeinträchtigung zu erwarten, sofern keine anderen Stoffe einwirken. Beim Richtwert II handelt es sich um einen wirkungsbezogenen, toxikologisch begründeten Wert, bei dessen Überschreitung unverzüglicher Handlungsbedarf besteht.

Tabelle 1: Richtwerte für die Innenraumluft, nach [14-24]

Stoff	Richtwert I (Sanierungszielwert)	Richtwert II (Eingriffswert)
Toluol [15]	0,3 mg/m ³	3 mg/m ³
Pentachlorphenol [16]	0,1 µg/m ³	1 µg/m ³
Dichlormethan [17]	0,2 mg/m ³	2 mg/m ³
Kohlenmonoxid [18]	1,5 mg/m ³ *) 6 mg/m ³ **)	15 mg/m ³ *) 60 mg/m ³ **)
Stickstoffdioxid [19]	- -	60 µg/m ³ ***) 350 µg/m ³ **)
Styrol [20]	0,03 mg/m ³	0,3 mg/m ³
Quecksilber [21]	0,035 µg/m ³	0,35 µg/m ³
Diisocyanate [22]	nicht ableitbar	nicht ableitbar
Tris(2-chlorethyl) phosphat [23]	0,005 mg/m ³	0,05 mg/m ³
Bicyclische Terpene [24]	0,2 mg/m ³	2 mg/m ³

*) 8 h – Mittelwert, **) Halbstundenwert, ***) Wochenwert

Ergänzend hierzu sind in Tabelle 2 Empfehlungs-, Richt- und Grenzwerte aus unterschiedlichen Veröffentlichungsquellen dargestellt [25].

Tabelle 2: Empfehlungs-, Richt-, oder Grenzwerte für die Innenraumluft, nach [25]

Stoff	Empfehlungs-/Richt-/Grenzwert	Veröffentlichung
Formaldehyd	0,1 ppm (0,12 mg/m ³)	Bundesgesundheitsamt 1977
Tetrachlorethen (Per)	0,1 mg/m ³ (7-Tage-Mittelwert)	2. Bundesimmissions- schutzverordnung
Radon	250 Bq/m ³	Strahlenschutzkommission
Polychlorierte Biphenyle (PCB)	3000 ng/m ³ (Eingriffswert) 300 ng/m ³ (Sanierungszielwert)	Bundesgesundheitsamt
Kohlendioxid	0,15 Vol.-%	DIN 1946

Für die überwiegende Anzahl von Verbindungen, die in Innenräumen vorkommen bzw. aus Produkten emittiert werden können, ist jedoch eine Angabe von Beurteilungswerten, wenn überhaupt, dann nur mit erheblichen Unsicherheiten möglich, weil für den interessierenden Konzentrationsbereich ausreichende, toxikologisch belegte Daten fehlen. [5]

Um überhaupt den interessierenden Konzentrationsbereich ermitteln zu können, sind Aussagen über die in Innenräumen bzw. als Emission aus Materialien zu erwartenden Stoffkonzentrationen erforderlich. Hierzu wiederum sind geeignete Probenahme- und Messverfahren notwendig, die häufig für ausgewählte Verbindungen erst noch zu erarbeiten sind.

Zur Bewertung der Innenraumluftqualität sind zwei weitere Ansätze, nach Møhlhave [26, 27] und Seifert [28, 29], zu erwähnen, die auf dem TVOC-Konzept (TVOC – Total Volatile Organic Compounds, vgl. Abschnitt 1.3) beruhen. In Tabelle 3 sind die nach [26] ermittelten TVOC-Konzentrationsbereiche und die damit zusammenhängenden Reizungen und Beschwerden und Expositionsbereiche dargestellt.

Tabelle 3: Dosis-Wirkungsbeziehung für Beschwerden infolge der Exposition gegenüber lösemittelartigen flüchtigen organischen Verbindungen als Luftverunreinigungen in nicht industriellen Innenräumen, nach [26]

TVOC-Konzentration [mg/m³]	Reizungen und Beschwerden	Expositionsbereich
< 0,20	Keine Reizungen oder Beschwerden	Komfortbereich
0,20 - 3,0	Reizungen und Beschwerden möglich, bei Einwirkung weiterer Expositionen	Bereich vielfältiger Expositionen
3,0 – 25	Auswirkung der Exposition und mögliche Kopfschmerzen bei Einwirkung weiterer Expositionen	Beschwerdebereich
> 25 ^{*)}	Kopfschmerzen, darüber hinaus können zusätzliche neurotoxische Wirkungen auftreten	Bereich toxisch wirkender Expositionen

^{*)} in der Studie nur ansatzweise diskutiert

Tabelle 4 zeigt die nach [28] vorgeschlagenen Richtwerte für die TVOC-Konzentration und VOC-Verbindungsklassen, wobei hervorzuheben ist, dass diese Werte auf eine Langzeitbelastung der Innenraumluft ausgelegt sind. Sie sind nach [28] nicht toxikologisch begründet und können bei „frisch eingebrachten“ Emissionsquellen um den Faktor 50 (Alter bis zu einer Woche) bis Faktor 10 (Alter 6 Wochen) überschritten werden.

Tabelle 4: Vorschlag von Richtwerten für die TVOC-Konzentration und VOC-Verbindungsklassen, nach [28, 29]

VOC-Verbindungsklasse	Konzentration [µg/m³]
Alkane	100
Aromatische Kohlenwasserstoffe	50
Terpene	30
Halogenierte Kohlenwasserstoffe	30
Ester	20
Carbonylverbindungen (Aldehyde und Ketone), ohne Formaldehyd	20
Sonstige	50
Summe (TVOC)	300

Anmerkung: Die Konzentration einer Einzelverbindung sollte hierbei maximal 50 % des für seine VOC-Klasse angegebenen Wertes und max. 10 % der TVOC-Konzentration betragen

Nach [29] sind die in Tabelle 4 für die einzelnen Verbindungsklassen angegebenen Konzentrations-Richtwerte bei der heutigen Situation nicht mehr heranzuziehen, da „sich das VOC-Spektrum in der Innenraumluft zwischenzeitlich durch das Auftreten früher nicht beobachteter Verbindungen (Glykolether und Aldehyde) und die deutliche Verringerung der Konzentrationen einiger Verbindungen (z.B. Halogenkohlenwasserstoffe) verändert hat“. In Räumen, die für einen längerfristigen Aufenthalt bestimmt sind, sollte auf Dauer ein TVOC-Wert im Bereich von 1 bis 3 mg/m³ nicht überschritten werden [29]. Ziel sollte es sein, in Innenräumen im langzeitigen Mittel eine TVOC-Konzentration von 0,2 bis 0,3 mg/m³ zu erreichen [29].

Das TVOC-Konzept ist von der Innenraumlufthygiene-Kommission diskutiert worden. Für den Fall, dass ein bedenklicher Stoff die TVOC-Konzentration dominiert, kann eine Einzelstoffbewertung analog der Richtwerte für die Innenraumluft sinnvoll sein. Der ECA-Report No. 18 [12] vereinigt den Aspekt der Einzelstoffbewertung mit dem TVOC-Konzept, wobei für Einzelstoffe LCI-Werte (LCI: Lowest Concentration of Interest) vorgeschlagen werden, die teilweise deutlich oberhalb der Werte liegen, die sich aus den obigen Empfehlungen [26, 27, 28, 29] ableiten lassen würden. Jedoch ist die Zielsetzung des ECA-Reports weniger direkt die Innenraumluft als vielmehr die Bewertung der Emissionen von neuen Bauprodukten (festen Bodenbelägen).

Im vorliegenden Bericht werden als Ergebnis der Emissionsmessungen sowohl die zu unterschiedlichen Zeitpunkten ermittelten Einzelstoffkonzentrationen, wie auch deren Summe als TVOC-Wert oder TSVOC-Wert (siehe 1.3) angegeben.

Eine toxikologische Bewertung der ermittelten Konzentrationswerte war nicht Gegenstand des Vorhabens.

1.3 Definitionen (VOC, TVOC, SVOC, TSVOC)

Flüchtige organische Verbindungen werden unterschiedlich definiert. Bei der Definition gemäß WHO bzw. ECA-Bericht Nr. 19 [13] wird eine Unterscheidung nach Flüchtigkeitsklassen in sehr flüchtige organische Verbindungen (VVOC, Siedebereich $<0^{\circ}\text{C}$ bis $50\text{--}100^{\circ}\text{C}$), flüchtige organische Verbindungen (VOC, Siedebereich $50\text{--}100^{\circ}\text{C}$ bis $240\text{--}260^{\circ}\text{C}$), schwer flüchtige organische Verbindungen (SVOC, Siedebereich $240\text{--}260^{\circ}\text{C}$ bis $380\text{--}400^{\circ}\text{C}$) und schwer flüchtige organische Verbindungen, die überwiegend staubgebunden/staubförmig auftreten (POM, Siedebereich $>380^{\circ}\text{C}$) vorgenommen.

Im Entwurf der DIN ISO 16000-6 [30] (Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern) vom November 2000 wird in Abweichung von obiger Festlegung VOC als Oberbegriff für flüchtige organische Verbindungen über alle Flüchtigkeitsklassen definiert. Der TVOC wird dabei definiert als die Summe der Konzentrationen identifizierter und unidentifizierter flüchtiger organischer Verbindungen, die zwischen und einschließlich n-Hexan und n-Hexadekan eluiert werden. Dabei wird eine nicht polare Kapillarsäule vorgeschrieben. Organische Verbindungen mit Siedepunkten größer als der Siedepunkt des Hexadekans (287°C) werden laut DIN ISO 16000-6 als schwer flüchtige Verbindungen (SVOC) definiert.

Im vorliegenden Bericht ist unter dem Begriff TVOC in Anlehnung an die DIN ISO 16000-6 ebenfalls die Summe der Konzentrationen aller Substanzen zu verstehen, die zwischen n-Hexan und n-Hexadekan eluiert werden. Dabei ist allerdings anzumerken, dass ein Grossteil der Messungen mit einer polaren Säule (Rtx-200 von Restek) durchgeführt wurde. Polare Substanzen, die hierbei nach Hexadekan eluiert wurden, aber einen Siedepunkt kleiner als Hexadekan besitzen, wurden deshalb dem TVOC zugerechnet. Substanzen, die nach Hexadekan eluiert wurden und einen Siedepunkt größer als Hexadekan besitzen, wurden als SVOC eingeordnet. Die Summe der Konzentrationen aller SVOCs wurde als TSVOC bezeichnet. Nicht identifizierbare Substanzen, für die natürlich kein Siedepunkt ermittelt werden konnte, wurden gemäß ihrer Retentionszeit in den TVOC- oder TSVOC-Wert eingerechnet.

1.4 Bestehende Prüfvorschriften zur Bestimmung von Emissionen aus Klebern und Bodenbelägen

a) GEV-Prüfmethode [31] (Gemeinschaft Emissionskontrollierte Verlegewerkstoffe): Bestimmung flüchtiger organischer Verbindungen zur Charakterisierung emissionskontrollierter Verlegewerkstoffe. Das Emissionsverhalten von Verlegewerkstoffen wird nach definierter Lagerung in einer Prüfkammer ermittelt. Nach 24 Stunden erfolgt eine Überprüfung auf bestimmte Stoffe (Acrylamid, Acrylnitril, Benzol, 1,4-Dioxan, Vinylacetat, Acetaldehyd, Formaldehyd), die gemäß europäischem und/oder nationalem deutschem Gefahrstoffrecht als krebserzeugend oder krebverdächtig (Einstufung als K1, K2 oder K3) angesehen werden. Als Adsorbentien werden hierfür Tenax, Aktivkohle oder andere geeignete Substanzen eingesetzt. Weiterhin werden nach 10 Tagen Langzeit-Emissionen bestimmt, und zwar durch Adsorption an Tenax und nachfolgender Thermodesorption.

Die Grenzwerte für die K-Stoffe müssen eingehalten werden, anhand der Emissionen am 10. Tag erfolgt eine Klassifizierung in EMICODE EC 1, 2 oder 3. Für EMICODE EC 1 (sehr emissionsarm) muss ein Bodenbelag-, Parkett- oder Fliesenklebstoff einen TVOC-Wert von unter $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nach 10 Tagen einhalten. Für EC 2 (emissionsarm) darf der TVOC-Wert nach 10 Tagen zwischen 500 und $1500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ liegen und EC 3 (nicht emissionsarm) bedeutet einen TVOC-Wert von mehr als $1500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ am 10. Tag.

b) GuT-Methode [32] (Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden):

Für die Vergabe eines GuT-Signets erfolgt unter anderem eine Emissionsprüfung an fabrikneuer Ware auf flüchtige organische Stoffe in einer Prüfkammer nach 24 Stunden. Krebserzeugende bzw. krebserzeugende Stoffe dürfen nicht emittiert werden. Ferner müssen folgende Grenzwerte für Einzelkomponenten bzw. Summenparameter eingehalten werden: Toluol $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Styrol $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 4-Vinylcyclohexen $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 4-Phenylcyclohexen $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Summe aromatischer Kohlenwasserstoffe $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Summe flüchtiger organischer Stoffe $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

c) AgBB-Bewertungsschema [33] (Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten):

Vorgehensweise bei der gesundheitlichen Bewertung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) aus Bauprodukten. Zur Feststellung der Emissionen von Bauprodukten werden Untersuchungen in Prüfkammern durchgeführt. Die Messungen werden nach 3 Tagen und nach 28 Tagen gemacht.

Nach 3 Tagen darf die Summe aller detektierten Cancerogene (EU-Kategorie 1 und 2) nicht größer als $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sein und der TVOC-Wert $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ nicht übersteigen. Für eine Einstufung als „empfehlenswert“ muss der TVOC-Wert kleiner als $1 \text{ mg}/\text{m}^3$ sein.

Nach 28 Tagen darf die Summe aller detektierten Cancerogene (EU-Kategorie 1 und 2) nicht größer als $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sein und der TVOC-Wert $1 \text{ mg}/\text{m}^3$ nicht übersteigen. Für eine Einstufung als „empfehlenswert“ muss der TVOC-Wert kleiner als $0,2 \text{ mg}/\text{m}^3$ sein. Außerdem gibt es eine Begrenzung der SVOCs. Die Summe der SVOCs darf höchstens $0,1 \text{ mg}/\text{m}^3$ erreichen, für die Kategorie „empfehlenswert“ nur $0,02 \text{ mg}/\text{m}^3$. Hinzu kommt eine Einzelstoffbewertung mittels NIK-Werten (NIK: niedrigste interessierende Konzentration).

Bei dem in Abbildung 1 dargestellten Ablaufschema gibt es für eine Erprobungsphase (2002 bis 2004) übergangsweise keine Unterteilung in „empfehlenswert“ oder „brauchbar“, sondern nur die Kategorie „brauchbar“.

d) Europäische Vornorm ENV 13999 [34] :

Kurzzeit-Verfahren zum Messen der Emissionseigenschaften von lösemittelarmen oder lösemittelfreien Klebstoffen nach der Applikation. Die Prüfung wird in einer Emissionsprüfkammer nach 24 h, 48 h und 240 h durchgeführt. Bestimmt werden hierbei flüchtige organische Verbindungen. Flüchtige Aldehyde und flüchtige Diisocyanate werden ebenso wie cancerogene und sensibilisierende Verbindungen nach 24 h bestimmt. Neben der Ermittlung von Luftkonzentrationen und Emissionsraten erfolgt für VOCs eine Berechnung der sogenannten spezifischen kumulativen Emission im Intervall zwischen 24 h und 240 h.

Alle diese Prüfvorschriften schreiben für die Bestimmung der VOC-Emissionen den Einsatz von Emissionsprüfkammern vor, die unter festgelegten Bedingungen für Klima, Luftwechsel und Beladungsfaktor zu betreiben sind. Diese Bedingungen orientieren sich an den Lüftungs- und Klimabedingungen von Räumen in mitteleuropäischen Gebäuden. Eine Vorhersage der Belastung der realen Innenraumlufte aus den in den Prüfkammern gemessenen Emissionen aus den Einzelmaterialien ist aber in der Regel nicht möglich, da die Prüfkammer die Bedingungen im realen Innenraum nicht vollständig wiedergeben kann und soll, sondern prüftechnisch optimale Bedingungen für eine gute Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit von Emissionsmessungen gewährleisten muss.

Die Prüfergebnisse ermöglichen einen Vergleich der Emissionen der Einzelmaterialien unter den Standardbedingungen der Prüfkammer und den Nachweis eventuell emittierter krebserregender oder krebverdächtig Substanzen. Auch können hoch emittierende Materialien von solchen unterschieden werden, die die Innenraumlufte nach vorliegenden Erfahrungen kaum belasten.

Die im realen Innenraum resultierenden Konzentrationen werden auch durch die Kombination der Materialien, z.B. im kompletten Fußbodenaufbau, beeinflusst. Außerdem spielt neben den realen Klima- und Luftwechselbedingungen sowie den realen Emissionsflächen auch die Sorption von VOCs und SVOCs an andere Ausstattungsmaterialien oder Hausstaub eine Rolle.

2 Methodischer Teil

2.1 Emissionsmesskammern und -zellen

Emissionsmesskammern dienen dazu, unter standardisierbaren, weitgehend konstanten Versuchsbedingungen, die durch ein Material in die Luft abgegebenen Substanzen bestimmen zu können.

Maßgebliche Grundlagen für die Durchführung von Emissionsmessungen und die Ausgestaltung von Emissionsmesskammern sind in mehreren europäischen Berichten [7, 9, 11, 12] beschrieben. Diese finden bei den zur Zeit in Erarbeitung befindlichen Normen weitgehend Berücksichtigung. Zu nennen sind hier insbesondere die Aktivitäten von CEN TC 264 , WG 7 (Luftbeschaffenheit, Emissionen aus Baumaterialien) und CEN TC 112, WG 5 (Holzwerkstoffe, Formaldehyd).

Die bei CEN TC 264, WG 7 erarbeitete Norm ENV 13419, Teil 1 – 3, [35, 36, 37] beinhaltet die Bestimmung von Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen (VOC – Volatile Organic Compounds, vgl. Abschn. 1.3) mittels Emissionsmesskammern bzw. Emissionsmesszellen und die Gewinnung, Behandlung und Vorbereitung der Emissionsproben.

Mit einer in Bezug auf das Volumen an DIN 55666 angelehnten 20 l – Kammer, die darüber hinaus ENV 13419-1 entspricht, sind in der BAM bei verschiedenen Untersuchungen schon vergleichende Emissionsmessungen sowohl für Formaldehyd [38] als auch für flüchtige organische Verbindungen [39] und schwerflüchtige organische Verbindungen [40] durchgeführt worden. Hierbei konnte die modifizierte 20 l - Kammer ihre Eignung im Vergleich zu anderen Kammern nachweisen.

Für Untersuchungen von Materialemissionen kommen in Deutschland 1 m³-Kammern vielfach zum Einsatz. Seit mehreren Jahren ist auch eine kommerzielle VOC-Emissionsmesskammer mit einem Volumen von 1 m³ erhältlich [41].

Unter Einbeziehung der Emissionsmesszellen (z.B. FLEC (**F**ield and **L**aboratory **E**-mission **C**ell) [42] gehen die Volumina von Messzellen bzw. -kammern von 35 ml (FLEC) bis mehr als 12 m³ (große Formaldehyd-Messkammern [43]), das heißt über einen Volumenbereich von rund 6 Größenordnungen.

Allen oben genannten Standards gemeinsam ist die Temperatur von 23°C, bei der die Emissionsmessungen erfolgen. Bei der relativen Luftfeuchtigkeit bestehen unterschiedliche Festlegungen auf 45 % [43] oder 50 % [35, 36].

Weitere wesentliche Kriterien, wie Luftwechsel (n) und Raumbeladung (L), bzw. der nach [35, 36] als flächenspezifische Luftdurchflussrate bezeichnete Quotient aus Luftwechsel und Raumbeladung sind unterschiedlich festgelegt.

Hinsichtlich der Luftströmungsgeschwindigkeit ist in der Mehrzahl der Fälle ein Bereich von 0,1 – 0,3 m/s [13] bzw. $0,3 \pm 0,1$ m/s [43] definiert. Der Abstand von der Probenoberfläche für die Messung der Luftströmungsgeschwindigkeit wird hierbei in [35] auf 10 mm festgelegt.

Wenn es um die Bestimmung des Emissionsverhaltens von flüchtigen organischen Verbindungen in geringen Konzentrationen bis in den unteren $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -Bereich geht, sind nicht nur die üblichen Parameter wie Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Luftwechsel und Luftströmungsgeschwindigkeit auf einem bestimmten Level konstant zu halten, sondern es sind darüber hinaus auch besondere, weitergehende Anforderungen an die Prüfkammern zu stellen, insbesondere:

- Inerte Kammerwände [Glas oder Edelstahl (poliert)] zur Minimierung von Wandeffekten
- Manteltemperierung zur Minimierung von zeitlichen und räumlichen Temperatur-Gradienten
- Minimierung von Dichtungsmaterialien, die Eigenemissionen sowie Adsorptions- und Desorptionseffekte verursachen können
- Reinigungsfähigkeit der Kammer, z.B. durch Ausheizen
- Reinstluftversorgung (VOC- und staubfrei)
- Reinstwasserversorgung (VOC- und partikelfrei)

Die Wahl weitgehend inerter Kammerwandmaterialien ist dadurch begründet, dass Adsorptionseffekte an den Kammerwänden möglichst gering gehalten werden, damit die Stoffkonzentration in der Luft nicht durch sogenannte Wandeffekte beeinflusst wird. Neben der Beeinflussung der Stoffkonzentration in der Luft während der Emissionsmessung können sich diese Wandeffekte auch bei nachfolgenden Untersuchungen in Form von Memory-Effekten aus der vorhergehenden Messung störend

bemerkbar machen. Aus diesen Gründen ist auch grundsätzlich eine Blindwertbestimmung zwischen zwei Kammerversuchen erforderlich, und für eine geeignete Desorption von möglicherweise an den Kammerwänden adsorbierten organischen Verbindungen zu sorgen. Im Fall von extrem schwerflüchtigen Verbindungen aus dem Bereich der SVOC/POM (vgl. 1.3) können Wandeffekte gravierende Auswirkungen haben [40].

Zur Vermeidung von Memory-Effekten empfiehlt sich bei größeren Kammern die Reinigung durch Ausheizen bei hohen Temperaturen (thermische Desorption). Kleine Prüfkammern können auch einer Reinigung mit Lösemitteln unterzogen werden.

Für die Untersuchungen im Rahmen dieses Vorhabens wurden Emissionsmesskammern mit Volumina von 0,02 m³ und 1 m³ eingesetzt, sowie eine Emissionsmesszelle mit einem Volumen von 35 ml (FLEC) und BAM-Emissionsmesszellen mit einem Volumen von 1 l, die alle einheitliche Standard-Klimabedingungen von T = 23 °C und r.F. = 50 % aufwiesen. Für alle Kammern und Zellen wurde konsequent das Prinzip der Manteltemperierung eingesetzt.

Alle Kammern und Zellen wurden darüber hinaus im Regelfall mit dem gleichen Verhältnis von Luftwechsel (n) zu Raumbeladung (L) bzw. einer flächenspezifischen Luftdurchflussrate von $n/L = 1,25 \text{ m/h}$ betrieben, sowie im Fall der Kammern mit der gleichen Luftströmungsgeschwindigkeit von 0,1 - 0,3 m/s, ermittelt an der Emissionsfläche (Abstand zum Mittelpunkt des verwendeten Hitzdraht-Anemometers ca. 10 mm). Bei der FLEC beträgt die Luftströmungsgeschwindigkeit nach [36] bei einer flächenspezifischen Luftdurchflussrate von 1 m/h am Lufteinlassschlitz 0,01 m/s.

Des weiteren waren alle Kammern und Zellen mit dem gleichen Reinstluftversorgungssystem ausgestattet. Die Reinstluftversorgung erfolgte über einen ölfreien Kompressor, dessen Druckluft über eine nachgeschaltete Reinigungseinheit von Feuchtigkeit, VOC und Staub gereinigt wurde. Die Reinigungseinheit (Ultrafilter Oilfreepac) bestand aus Vorfilter (Staub- und Aerosolabscheidung), Lufttrocknung (Heatless Dryer - Kieselgel mit automatischer Regeneration), Aktivkohle-Patrone zur VOC-Absorption sowie Feinfilter und Nachfilter (Submikrofilter < 0,01 µm, Abscheidegrad 99,99999 %), um sowohl aus der Umgebungsluft zugeführten Feinstaub als auch Aktivkohleabrieb zurückzuhalten.

Die anschließende Befeuchtung der Luft auf die erforderliche relative Luftfeuchtigkeit erfolgte nach unterschiedlichen Prinzipien, entweder durch eine Mischbefeuchtung aus trockenem und feuchtem Teilstrom, über einen Taupunktbefeuchter oder einen Dampfbefeuchter.

Für die Befeuchtung wurde hochreines Wasser verwendet. Es wurde aus entsalztem Wasser gewonnen, das im Fall der Kammern mit einem Volumen von $\leq 1\text{ m}^3$ zusätzlich über eine Nachreinigung (EASypure UV D7402) zur weiteren Entsalzung und Entfernung von eventuell vorhandenen organischen Verbindungen geführt wurde.

Einen Überblick über die in den einzelnen Emissionsmesskammern eingestellten Parameter gibt Tabelle 5.

Tabelle 5: Darstellung der Parameter in den eingesetzten Emissionsmesskammern

	Einheit	1 m ³ -Kammer	0,02 m ³ -Kammer	BAM-Emissions-messzelle	FLEC
Volumen	m ³	1	0,02	0,001	0,000035
Wandmaterial		Edelstahl	Glas	Glas	Edelstahl
Temperatur (T)	°C	23			
Relative Luftfeuchtigkeit (r.F.)	%	50			
Emissionsfläche (A)	m ²	0,8	0,1	0,0154 (0,0177)	0,0133 (0,0177)
Luftvolumenstrom (V°)	m ³ /h	1	0,125	0,0192	0,0166
Raumbeladung (L)	m ² /m ³	1	5	15,4	380
Luftwechsel (n)	1/h	1	6,25	19,2	474
Flächenspezifische Luftdurchflussrate ($q=n/L=V^\circ/A$)	m ³ /m ² h	1,25			
Luftversorgung		Reinstluft			
Probenahme		Tenax TA, 1 l (6 l/h)			

2.1.1 1 m³-Kammer

Als 1 m³ - Emissionsmesskammern wurde im Rahmen dieses Vorhabens eine Standard-VOC-Emissionsmesskammer der Firma Vötsch Industrietechnik GmbH eingesetzt, die seit einiger Zeit kommerziell angeboten wird, der ENV 13419-1 entspricht und in der Literatur bereits ausführlich beschrieben wurde [41] (Abbildung 2).

Diese Kammer weist einen Innenprüfraum aus Edelstahl mit geringer Rautiefe auf, der gegen die Umgebung hermetisch abgeschlossen ist, was unter anderem durch den über eine Magnetkupplung von außen angetriebenen Prüfraumventilator erreicht

wird. Die Klimatisierung der Kammer erfolgt über Manteltemperierung und Taupunkt-Befeuchtung. Zur Reinigung der Kammer existiert ein Ausheizsystem, mit dem durch thermische Desorption bei bis zu 240°C Memoryeffekte vermieden werden können.

Die Oberfläche der prinzipiell zur Adsorption schwerflüchtiger Verbindungen befähigten Wände und Einbauten beträgt rund 7 m².

Für die Luftprobenahme sind an den Probenahmestutzen nutzerseitig die Voraussetzungen geschaffen, Probenahmerohre mit Außendurchmessern von 6 - 14 mm anzuschließen, zusätzlich sind 1/4"-Gewindestutzen vorhanden, zum Anschluss einer speziellen Probenahmehülse für hohe Probenahmeflussraten (in Abbildung 2 nicht mit dargestellt).

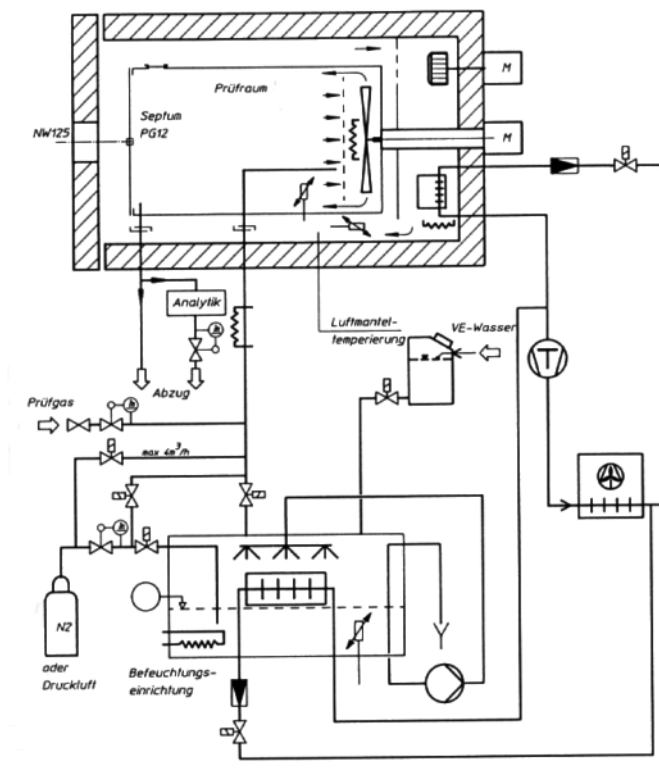


Abbildung 2: Prinzipdarstellung der Standard-VOC- 1 m³-Emissionsmesskammer
(Werkszeichnung Vötsch Industrietechnik GmbH)

Für die Untersuchungen wurde die Kammer mit einem Luftwechsel von $n = 0,5/h$ betrieben, die Probenfläche A betrug 0,4 m², die Raumbeladung L damit 0,4 m²/m³. Dies ergab ein Luftwechsel/Raumbeladungs-Verhältnis bzw. eine flächenspezifische Luftdurchflussrate von $q = n/a = 1,25 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$.

2.1.2 0,02 m³-Kammer

Die 0,02 m³-Kleinprüfkammern basieren auf 20-l-Exsikkatoren in Anlehnung an DIN 55666 [44] und sind weiter optimiert worden, damit sie ENV 13419-1 entsprechen. Sie sind ebenfalls mit Zu- und Abluftführung, sowie 1 - 3 Probenahmestutzen versehen.

Die Luftströmungsgeschwindigkeit wird eingestellt über einen Propeller, der über eine Magnetkupplung mit dem außenliegenden drehzahlgeregelten Motor verbunden ist.

Nach umfangreichen Vorversuchen kommen für die Lagerung der Propellerwelle in der Magnetkupplung kammerseitig spezielle gedichtete Kugellager zum Einsatz, die nach sorgfältiger Reinigung der Oberflächen keine nachweisbaren Emissionen aufweisen.

Zuvor unter Verzicht auf die Magnetkupplung eingesetzte Teflon-Gleitlager haben sich wegen Verschleiß- und Abriebproblemen nicht bewährt. Auch trocken laufende Standard-Kugellager in der Magnetkupplung konnten wegen Reibungs- und Abriebproblemen nicht dauerhaft verwendet werden.

Die Einstellung des Luftwechsels wird über Nadelventil und Durchflussmesser vorgenommen. Die Abdichtung des Flansches zwischen Exsikkator und Tubusdeckel erfolgt mit einer 0,1 mm dicken Polyethyldichtung und variablen Spannzangen.

Für die Luftprobenahme sind an den Probenahmestutzen die Voraussetzungen geschaffen, Probenahmerohre mit Außendurchmessern von 6 - 14 mm anzuschließen.

In der Regel werden die Proben mit einer Gesamt-Probenoberfläche (A) von 0,1 m² eingebracht. Um die gleiche flächenspezifische Luftdurchflussrate ($q = n/L = \text{°V}/A = 1,25 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$) zu erhalten wie in der 1 m³-Kammer (vgl. Abschnitt 2.1.1), beträgt der Luftvolumenstrom (°V) in den 0,02 m³-Kammern 0,125 m³/h. Bei dem Kammervolumen (V) von 0,02 m³ ist der Luftwechsel damit $n = \text{°V}/V = 6,25/\text{h}$ und die Raumbeladung $L = A/V = 5 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

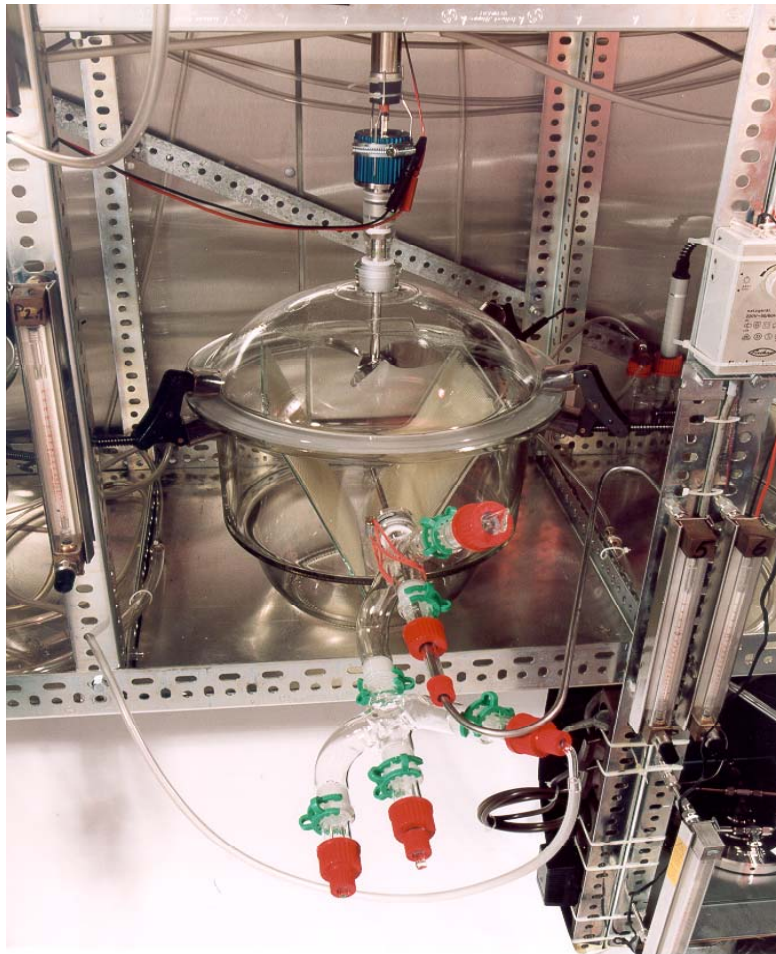


Abbildung 3: Kleinprüfkammer-Apparatur (0,02 m³-Kammern) in Klimakammer

2.1.3 FLEC – Field and Laboratory Emission Cell

Die in [42] beschriebene Emissionsmesszelle wird direkt auf die Emissionsfläche aufgelegt, die hierzu eben sein muss. Mit Hilfe einer Zusatzausstattung (Sub-Unit) die bei den durchgeführten Untersuchungen aber nicht zum Einsatz kam, lässt sich die FLEC auch zu einer Art Kammer erweitern, auf deren Boden das zu untersuchende Material ausgebracht wird. Die FLEC entspricht ENV 13419-2.

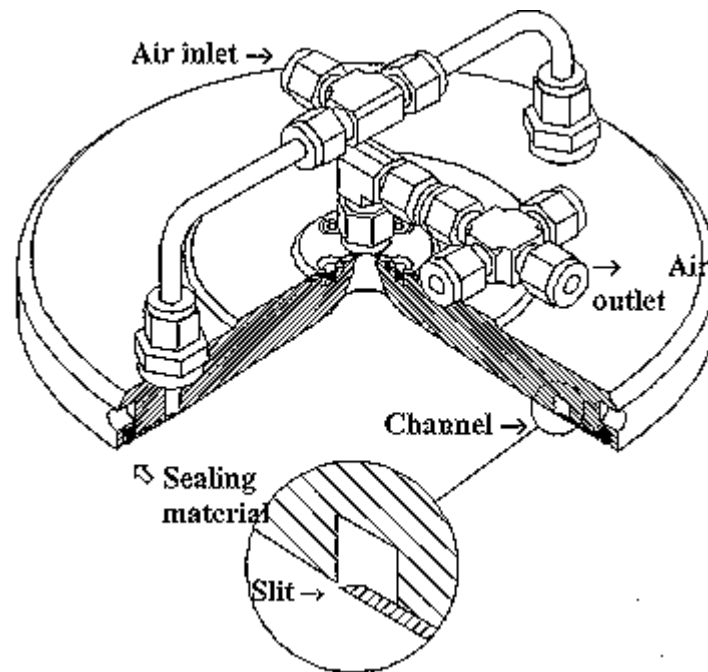


Abbildung 4: Explosionszeichnung der FLEC [36]

Der Innen-Durchmesser der aus Edelstahl gefertigten FLEC beträgt 0,15 m. Die sich damit ergebende Emissionsfläche (A) ist $0,0177 \text{ m}^2$. Aus dieser Fläche (A) und dem Zellenvolumen (V) von 35 ml errechnet sich eine Raumbeladung von $L = A/V = 506 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Aus Gründen der Vergleichbarkeit zu den anderen eingesetzten Kammern erfolgte bei den Untersuchungen von Bodenbelägen die Einstellung des Luftvolumenstromes $\dot{V}$ auf $0,0221 \text{ m}^3/\text{h}$, woraus sich ein Luftwechsel von $n = \dot{V}/V = 633 \text{ /h}$ ergab, so dass die flächenspezifische Luftdurchflussrate ($q = n/L = \dot{V}/A$) $1,25 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ betrug. Bei den Untersuchungen von Klebern war die Emissionsfläche kleiner (siehe Abschnitt 3.1.1.2). Deshalb wurde dann der Volumenstrom entsprechend verringert, um q mit $1,25 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ einzuhalten.

Für die Luftprobenahme waren an den Probenahmestutzen die Voraussetzungen geschaffen, Probenahmerohre mit einem Außendurchmesser von 6 mm anzuschließen. Zur Versorgung mit klimatisierter Reinstluft wurde die FLEC an das gleiche Versorgungssystem angeschlossen wie die $0,02 \text{ m}^3$ -Kammern, die Einstellung des Luftwechsels erfolgt über Nadelventil und Durchflussmesser.

2.1.4 BAM-Emissionsmesszelle ($V = 1 \text{ l}$)

Die BAM-Emissionszelle ist in Abbildung 5 dargestellt. Es handelt sich hierbei um das Oberteil eines Reaktionsgefäßes. Aufgrund der größeren Höhe im Vergleich zur FLEC konnte ein Ventilator (baugleich wie in der 20 l Kammer) eingebaut werden, der für eine vom Luftwechsel bzw. Luftvolumenstrom unabhängige Regulierung der Strömungsgeschwindigkeit an der Probenoberfläche und eine Homogenisierung der Prü fzellenluft sorgt. Der Durchmesser beträgt wie bei der FLEC 15 cm, das Volumen ist mit $V = 1 \text{ l}$ wesentlich größer. Durch den etwa 1 cm breiten Schliff wird eine gute Abdichtung auf unstrukturierten Oberflächen gewährleistet. Wie bei der FLEC ergibt sich eine flächenspezifische Luftdurchflussrate von $q = 1,25 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$, wenn der Volumenstrom $0,0221 \text{ m}^3/\text{h}$ und die Emissionsfläche $0,0177 \text{ m}^2$ (bei Bodenbelägen) betragen. Die Beladung L ist dann $17,7 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

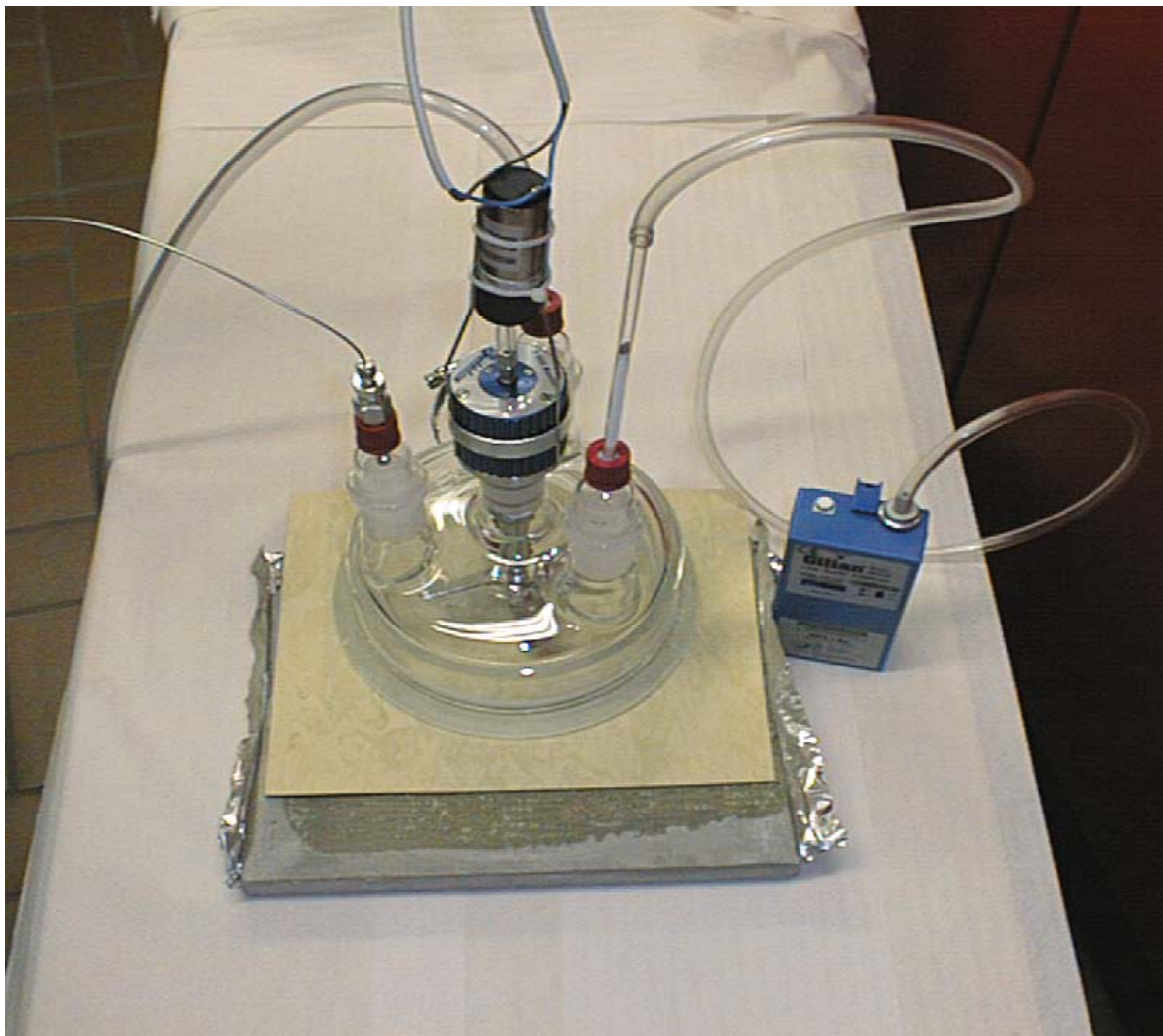


Abbildung 5: BAM-Emissionszelle

Bei den Untersuchungen der Verlegewerkstoffe war die Emissionsfläche kleiner ($0,0154 \text{ m}^2$ bzw. $0,0104 \text{ m}^2$). Hierfür wurde der Volumenstrom entsprechend verringert, um ebenfalls ein q von $1,25 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ einzuhalten.

2.1.5 Abschätzung von Wand-(Senken-)Einflüssen

Generell erfordert das Auftreten von Adsorptionseffekten bei Emissionsmesskammern, z.B. an Kammerwänden oder Einbauten, besondere Beachtung, insbesondere bei Messungen schwerflüchtiger Verbindungen (SVOC). Dies gilt besonders beim Vergleich unterschiedlicher Kammern, wie auch beim Berechnen der flächenspezifischen Emissionsrate $\text{SER}_a(t)$ aus der Konzentration, wenn sich keine stationären Verhältnisse eingestellt haben sollten.

Die beste Maßnahme zur Reduzierung von Adsorptionseffekten besteht in einer Minimierung von Adsorptionsflächen. Die relevante Größe ist dabei das Verhältnis von emittierender Fläche (Quelle) zu Wandfläche (Senke). Für die FLEC ergibt sich ein Wert von näherungsweise 1, für die $0,001 \text{ m}^3$ BAM-Messzelle von 0,27, für die $0,02 \text{ m}^3$ -Kammer ebenfalls von 0,27 und für die 1 m^3 -Kammer von 0,06. Je größer der Wert ist, desto schneller sollten die Kammerwände bezüglich der Adsorption/Desorption von Substanzen im Gleichgewicht mit der Prüfkammerluft stehen. Dann spielen Wandeffekte keine Rolle bei der Bestimmung von Emissionsraten.

2.2 Analysenverfahren

Voraussetzung für den Nachweis flüchtiger organischer Verbindungen in der Luft ist das Vorhandensein einer leistungsfähigen, an die Problemstellung angepassten Probenahme und Analytik. Insbesondere bei Prüfkammern mit kleinen Volumina und relativ geringen Volumenströmen für den Luftwechsel stehen nur geringe Probenahmeholumina zur Verfügung.

Eine geeignete Probenahme- und Analysenmethode sollte ein möglichst breites Spektrum an Substanzen erfassen.

Grundsätzlich sind für die Bestimmung flüchtiger organischer Verbindungen sehr unterschiedliche Probenahme- und Analysenverfahren verfügbar. Je nach den gewählten Probenahme- und Analysenbedingungen ergibt sich ein unterschiedliches Spektrum an nachweisbaren Substanzen.

Neben einer Vielzahl von verschiedenen Adsorbentien zur Luftprobenahme bei anschließender Lösemitteldesorption wird in der letzten Zeit verstärkt die Probenahme

mit Tenax (oder auch anderen thermisch stabilen Adsorbentien) bei anschließender Thermodesorption und GC-Kopplung eingesetzt. In der DIN ISO 16000-6 [30] ist die Probenahme auf Tenax mit nachfolgender Thermodesorption die vorgeschriebene Methode zur Erfassung und Analyse der VOCs in Innenraum- und Prüfkammerluft. Bei zusätzlichem Einsatz eines massenspektrometrischen Detektors ergeben sich weitere Vorteile in Bezug auf die Substanzidentifizierung.

Die Thermodesorptionseinheiten sind in der letzten Zeit weiter verbessert worden, so dass damit die Analyse auch von schwerer flüchtigen Substanzen durchführbar ist. Dadurch kann das analytische Fenster erweitert werden, d.h. die Erfassung auch von SVOCs wird möglich [45].

2.2.1 Tenax-Thermodesorption

Die Probenahme erfolgt mit einem Tenax TA gefüllten Glasrohr (Rohrlänge 178 mm, AD 6 mm, ID 4 mm, 200 mg Tenax TA (60 - 80 mesh) fixiert mit Glaswollstopfen). Das Probenahmenvolumen beträgt meist zwischen 1 und 2 l (100 ml/min). Vor der Probenahme sind die Tenax-Rohre mit Cyclodekan und/oder deuteriertem Toluol (d_8) als internem Standard, gelöst in Methanol, zu spiken (1 µl).

Die Thermodesorption erfolgt mit einem Thermodesorptionssystem (Gerstel TDS-2) in Verbindung mit einem Kaltaufgabesystem (Gerstel KAS-3) zur Kryofokussierung der thermodesorbierten Analyten. Das Temperaturprogramm der Thermodesorptionseinheit beginnt bei 40 °C mit einer Aufheizrate von 40°C/Minute bis auf 280°C. Die Endtemperatur von 280 °C wird für 5 Minuten gehalten. Die Kryofokussierung erfolgt bei -150 °C, das anschließende Aufheizen wird mit einer Heizrate von 12°C/s auf 280°C vorgenommen. Die Auftrennung des aus dem Kaltaufgabesystem überführten Analyten erfolgt gaschromatographisch (HP GC 5890 II +) mittels einer 30 m - Säule (Restek RTX 200, Durchmesser 0,25 mm, Schichtdicke 1 µm bzw. HP5-MS, Durchmesser 0,25 mm, Schichtdicke 0,25 µm). Verschiedene GC-Temperaturprogramme können zur Anwendung kommen, Abbildung 6 zeigt als Beispiel ein eingesetztes Temperaturprogramm. Die Identifizierung und Quantifizierung erfolgt mit einem Quadrupol-Massenspektrometer als Detektor (HP-MSD 5972). Der Scan-Bereich liegt bei 25 – 400 amu, mit 1,9 scans/sec, bei einer Interfacetemperatur von 300°C. Für die Substanzidentifizierung steht eine Massenspektrenbibliothek (NBS-98K) zur Verfügung.

Mit dem beschriebenen Verfahren lassen sich quantitativ schwerflüchtige Verbindungen bis hin zum Hexacosan (C₂₆-Alkan, Siedepunkt ca. 413°C) nachweisen [45].

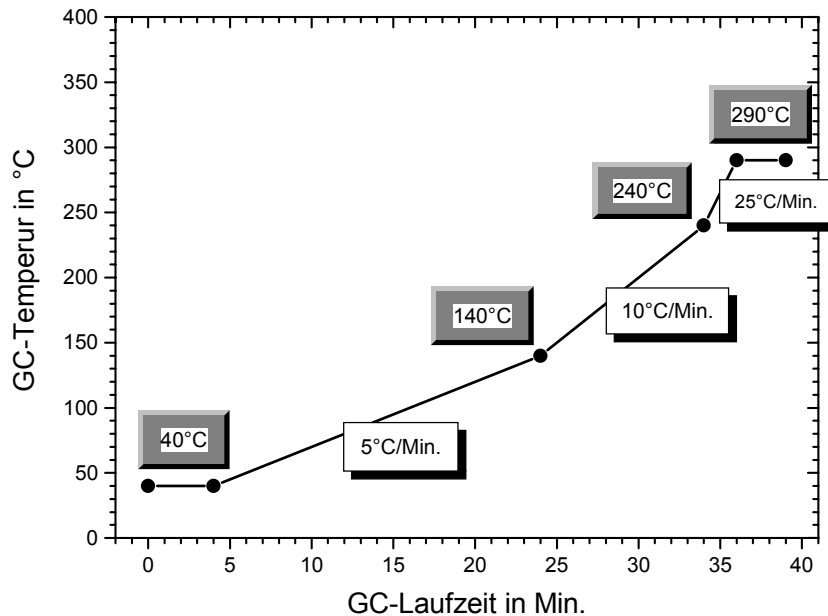


Abbildung 6: Temperaturprogramm für die gaschromatographische Trennung

2.2.2 Direkt-Thermodesorption

Die Direkt-Thermodesorption funktioniert gerätetechnisch wie die Tenax-Thermodesorption. Der Unterschied besteht darin, dass hierbei geringe Materialprobenmengen ohne den Umweg der Luftprobenahme aus der Prüfkammer auf mögliche Emissionen untersucht werden. Dies geschieht, indem die Materialprobe selbst im Glasrohr thermodesorbiert wird. Mit Hilfe dieses Screenings können für das Material schon vor der Prüfkammermessung Aussagen über mögliche ausgasende Substanzen gemacht werden.

Im Forschungsvorhaben wurde diese Methode besonders für die Fußbodenklebstoffe angewendet. Dazu wurde der jeweilige Kleber mit einem kleinen Spachtel ca. 2 cm breit auf Aluminiumfolie aufgetragen. Die Schichtdicke (ca. 0,15 mm) wurde dabei durch 2 Klebebänder vorgegeben, die im Abstand von ca. 2 cm auf der Alufolie fixiert wurden und über die der Spachtel geführt wurde. Nach 1 Stunde Trocknung wurde ein ca. 20 x 3 mm großes Stückchen herausgeschnitten und in ein TDS-Glasrohr ü-

berführt. Die Thermodesorption wurde dann bei 23°C für insgesamt 12,5 min durchgeführt.

Mit Hilfe des eingestellten Heliumstromes von 20 ml/min wurde das Gesamtvolumen von 250 ml Helium während der Direkt-TDS berechnet. Damit konnten die für die emittierten Substanzen quantifizierten Mengen sogar auf Luftkonzentrationen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) umgerechnet werden.

Ein Vergleich von Screening-Methode und der Kammermessung nach 24 h ergab gute Korrelationen (siehe Abschnitt 3.2.4).

2.3 Qualitätssicherung

2.3.1 Emissionsmesskammern und –messzellen

Die für die Untersuchungen eingesetzten Emissionsmesskammern und –messzellen wurden regelmäßig (teilweise sogar ununterbrochene Aufzeichnung) auf Einhaltung aller relevanten Betriebsparameter überprüft. Dies umfasste eine Kontrolle der Temperatur und relativen Luftfeuchtigkeit mittels externer kalibrierter Instrumente (Klimasonden unterschiedlicher Hersteller, kalibriert gegen Aspirations-Psychrometer nach Aßmann (geeichte Thermometer)), sowie des Luftvolumenstromes bzw. des Luftwechsels.

2.3.2 Probenahme und Analytik

Die Qualitätssicherung der Probenahme bestand aus der regelmäßigen Prüfung des Volumenstromes der zur Probenahme eingesetzten Pumpen. Dieser wurde nach Aufladung der Pumpen mit Hilfe eines kalibrierten elektronischen Flussmessgerätes (HP) gemessen und bei Abweichungen auf 100 ± 1 ml/min justiert.

Die Qualitätssicherung des analytischen Gerätes (GC-MS) erfolgte neben der regelmäßigen Erstellung von Mehrpunkt-Kalibrierfunktionen der zu analysierenden Verbindungen durch das tägliche Vermessen einer Standardlösung sowie durch die Zugabe einer immer gleichen Menge des internen Standards auf das Tenax vor Probenahmen. Abweichungen in der Quantifizierung der Standardlösung oder des Peaks des internen Standards von der Norm waren Hinweise auf Störungen oder Veränderungen der Gerätefunktion.

Eine weitere Kontrolle stellte das Überprüfen des Tunefiles für das Massenspektrometer dar. Bei gleichen Einstellungen wurde jeden Tag ein Tunefile-Report erstellt. Änderungen der Signalintensität waren Anzeichen für Veränderungen am Massenspektrometer.

Um eine genaue Quantifizierung betreiben zu können und sicherzustellen, daß die gefundenen Substanzen wirklich aus dem untersuchten Material emittieren, wurde vor der Kammerbeladung eine Blindwertbestimmung an der leeren Kammer vorgenommen. Dieser Blindwert beinhaltet aber nicht nur eventuelle Verunreinigungen der Prüfkammer, sondern auch Verunreinigungen des Tenaxrohres und des GC-MS-Gerätes. Die Tenaxrohre wurden deshalb vor der Probenahme nicht länger als 72 h gelagert, ansonsten erfolgte zur Reinigung ein Ausheizen für 15 min bei 280°C im Heliumstrom (100 ml/min).

2.3.3 Ringversuch (GEV)

Zur Überprüfung des Gesamtverfahrens wurde an einem Ringversuch der GEV teilgenommen, in dessen Rahmen ein Kleber nach der GEV-Methode zu vermessen war. Außer der BAM nahmen 18 weitere deutsche und europäische Institute an dem Ringversuch teil. Das Gesamtverfahren bestand aus der Herstellung des Probekörpers (Kleberauftrag mittels Zahnspachtel mit 300 g/m² auf Glasplatte), der Probenahme nach 24 h und 10 Tagen an einer Prüfkammer und der analytischen Auswertung mittels GC-MS nach der GEV-Methode.

Die Abbildung 7 zeigt die Ergebnisse von 17 der 19 Labore (Teilnehmer 8 wurde methodenbedingt [Probenahme mit Aktivkohle], Teilnehmer 11 als Ausreißer [Ausreißertest nach Nalimov] von der BAM nicht gewertet) für die Probenahme nach 10 Tagen. Erfasst werden sollten hierbei alle VOCs, im speziellen aber 4-Phenylcyclohexen, α,β -Caryophyllen, Longifolen, Butyldiglykol, Butyldiglykolacetat, 2-Ethylhexanol und Propylenglykol. Die Balken stellen die Summe aller quantifizierten VOCs (TVOC) dar.

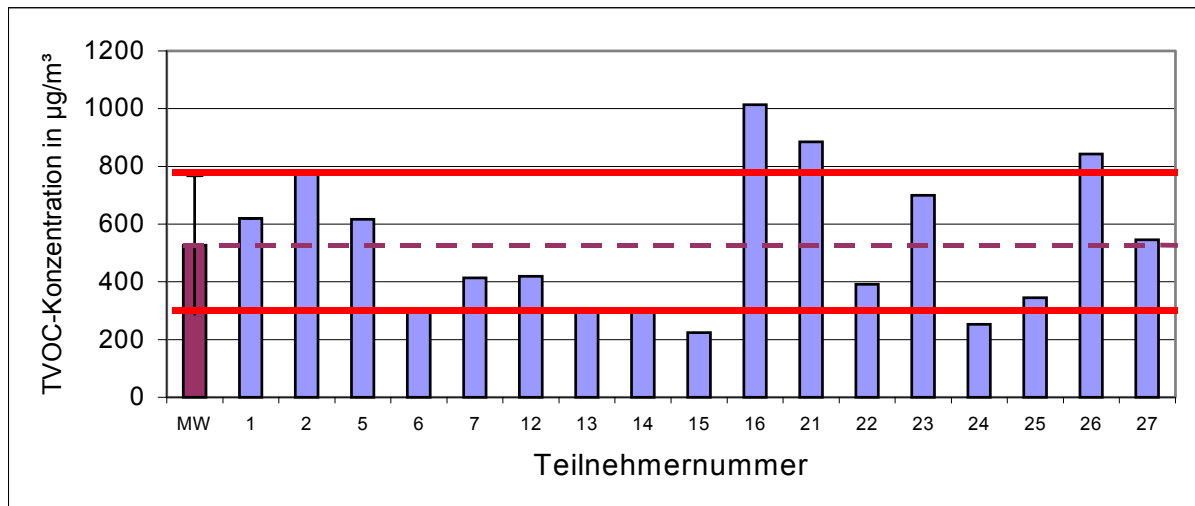


Abbildung 7: Ergebnisse des GEV-Ringversuchs (ohne Teilnehmer 8 und 11) für die Messung nach 10 Tagen

Die BAM hatte die Teilnehmernummer 22 und lag mit $391 \mu\text{g}/\text{m}^3$ relativ dicht am Mittelwert (Abweichung: 26 %). Der Mittelwert aller Messwerte lag bei $527 \mu\text{g}/\text{m}^3$, die Standardabweichung bei 46 %. Der wahre Wert ist unbekannt, wie dies bei Rundversuchen zur Emission realer Produkte in Emissionsmesskammern stets der Fall ist.

3 Ergebnisse der Materialuntersuchungen

Bei den Untersuchungen wurden insgesamt 42 verschiedene Fußbodenkleber, 24 Bodenbeläge aus 5 unterschiedlichen Klassen (5 PVC-, 14 Teppich-, 3 Linoleumbeläge, ein Polyolefin- und ein Kautschukbelag) sowie 2 weitere Verlegewerkstoffe (Grundierung und Spachtelmasse) auf Emissionen geprüft. Hinzu kamen Messungen an Verbundsystemen und Komplettaufbauten. Ein Großteil der Fußbodenkleber wurde nur mit der in Kapitel 2.2.2 beschriebenen Screening-Methode der Direkt-Thermodesorption untersucht.

Zusätzliche Prüfkammermessungen mit den genannten Materialien wurden vorgenommen, um die Auswirkung der Probenherstellung auf das Emissionsverhalten unter verschiedenen Aspekten besser abschätzen zu können.

Außerdem wurden Vergleichsmessungen zwischen Kammern und Zellen vorgenommen.

3.1 Emissionsdaten der untersuchten Materialien

Die ausgewählten Materialien wurden im Regelfall für einen Zeitraum von rund 28 Tagen in der Emissionsmesskammer auf ihr Emissionsverhalten untersucht. Während dieses Zeitraums wurden nach Möglichkeit mehrere Probenahmen, gleichmäßig verteilt über den Versuchszeitraum, durchgeführt und analysiert. In die Berechnung der TVOC- und TSVOC-Werte wurden alle am jeweiligen Tag mit einer Konzentration von $> 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ quantifizierte Substanzen einbezogen (bzw. $> \text{ca. } 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zu Beginn der Versuche bei hohen Konzentrationen).

Die nicht identifizierbaren Substanzen wurden im vorliegenden Bericht mit dem Responsefaktor von Cyclodekan quantifiziert. Bei einer Quantifizierung mit dem Responsefaktor von Toluol würde sich ungefähr eine Verdoppelung der Konzentrationen ergeben. Teilweise wurden identifizierte Substanzen mit den Responsefaktoren ähnlicher Substanzen quantifiziert (z.B. Heptansäure mit dem Responsefaktor von Hexansäure, Sesquiterpene mit dem Responsefaktor von Longifolen).

3.1.1 Fußbodenkleber und andere Verlegewerkstoffe

Insgesamt wurden 11 Kleber mittels Emissionsmesskammern untersucht. Bei den Klebern 1, 2, 3, 4, 6, 12, 22, 23 und 36 handelte es sich um wässrige Dispersionsklebstoffe, die im Hinblick auf Emissionen dem neuesten Stand der Technik entsprachen und als sehr emissionsarm (z. B. entsprechend EC-1 nach EMICODE) eingestuft waren. Gleiches galt für die untersuchte Grundierung und Spachtelmasse.

Bei Kleber 46 und 47 handelte es sich um Produkte auf Basis natürlicher Rohstoffe.

3.1.1.1 Herkunft der Verlegewerkstoffe

Die Kleber 1, 2, 3, 4, 46, und 47 wurden im Fachhandel eingekauft, Kleber 6, 12, 22, 23, 36 sowie Grundierung und Spachtelmasse wurden direkt vom Hersteller bezogen.

3.1.1.2 Herstellung der Proben

Für die Emissionsmessungen in den Prüfkammern wurden die Kleber mit Hilfe eines Zahnspachtels TKB B 1 auf Glasplatten (Abmessungen der Glasplatten: 22 cm x 27 cm) aufgetragen. Hierzu wurde eine bestimmte Menge an Kleber auf die Glasplatte 1 cm unterhalb des oberen Randes aufgegeben, dann erfolgte ein paral-

lees Abziehen mit dem Spachtel auf einer Breite von 20 cm und einer Länge von 25 cm. Die Auftragsmenge des Klebers sollte danach bei 300 g/m² (15 g pro Glasplatte) liegen. Bei Über- oder Unterschreitung des Gewichtes um mehr als 20 % wurde eine neue Platte angefertigt.

Für die Emissionsmessungen in den Prü fzellen wurden die Kleber ebenfalls mit dem Zahnspachtel TKB B1 auf die Glasplatten aufgebracht. Um eine runde Auftragsfläche zu erhalten wurde die Glasplatte vorher mit einer Haushaltsfolie abgedeckt, in der mittels Schablone und Skalpell ein Kreis mit passendem Durchmesser ausgeschnitten war. Dieser Durchmesser betrug für die BAM-Messzellen 14 cm, für die FLEC 10 cm, um nicht mit dem flachen Randbereich der FLEC den Kleber zu berühren. Nach dem Auftrag des Klebers wurde die restliche Folie von der Glasplatte entfernt und übrig blieb ein Klebstoffkreis über den die jeweilige Zelle ohne Randberührung aufgestellt werden konnte.

3.1.1.3 Kleber 1

Hierbei handelte es sich um einen Teppich- und PVC-Kleber.

Abbildung 8 zeigt die TVOC-Konzentration, d.h. die Summe aus den 13 nachgewiesenen Substanzen im Retentionsbereich zwischen n-Hexan und n-Hexadekan, die eine Konzentration von > 1 µg/m³ aufwiesen. Abbildung 9 zeigt den Konzentrationsverlauf des TSVOC-Wertes (Summe der Substanzen mit einem Siedepunkt größer als der von n-Hexadekan) im Vergleich zum TVOC-Wert. Abbildung 10 zeigt den Konzentrationsverlauf für 3 Hauptsubstanzen, die eine unterschiedliche Flüchtigkeit aufweisen. α-Pinen (Siedepunkt 156°C) mit der anfangs höchsten Konzentration klingt bis zum 14. Tag von 295 µg/m³ auf 2 µg/m³ ab, Phenoxyethanol (Siedepunkt 245°C) zeigt eine langsamere Abnahme der Konzentration, und Methylpalmitat (Hexadekansäuremethylester, Siedepunkt 417°C) ist über den gesamten Prüfzeitraum mit einer fast konstanten Konzentration von im Durchschnitt 26 µg/m³ zu finden.

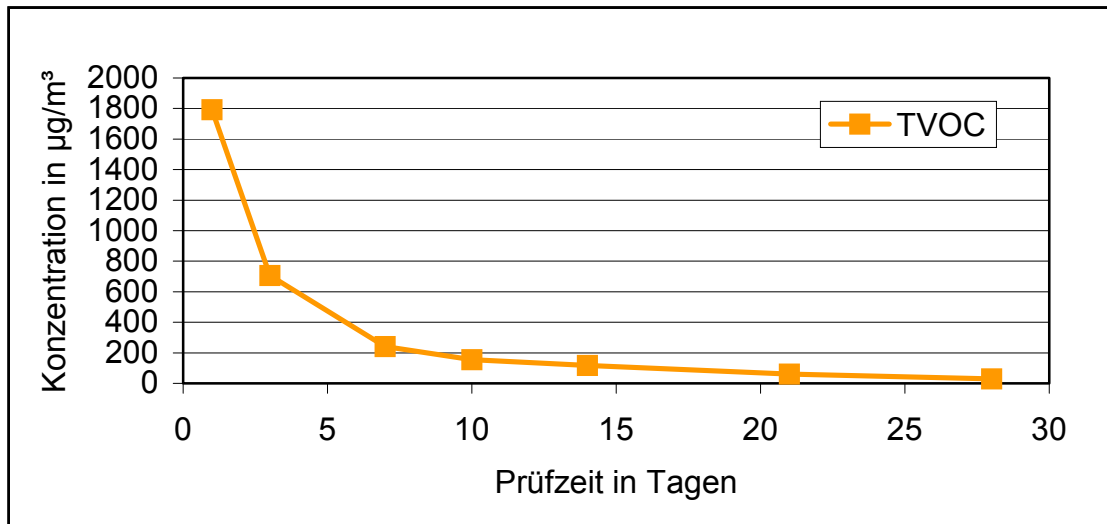


Abbildung 8: Verlauf der TVOC-Konzentration für Kleber 1

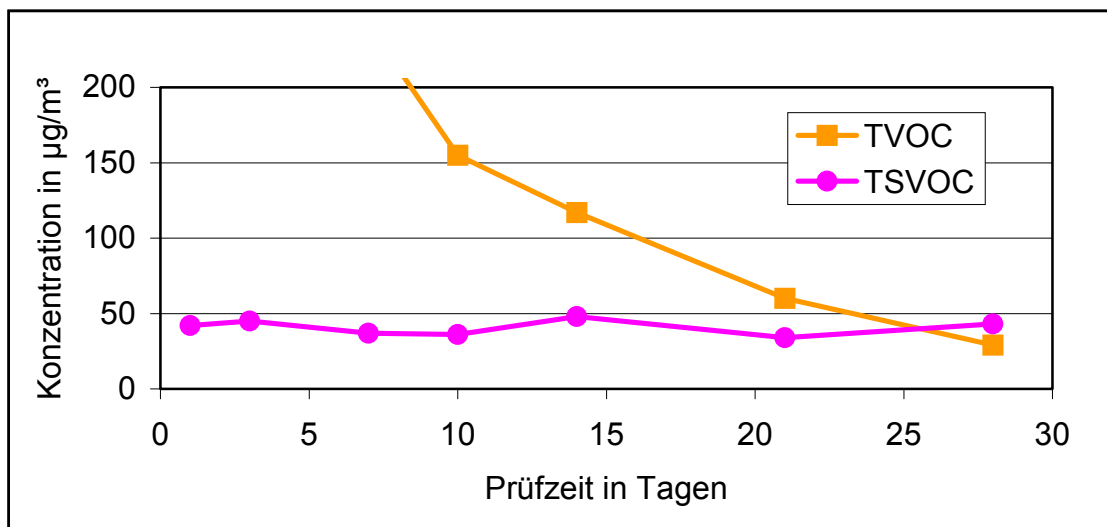


Abbildung 9: Verlauf der TSVOC-Konzentration im Vergleich zur TVOC-Konzentration für Kleber 1

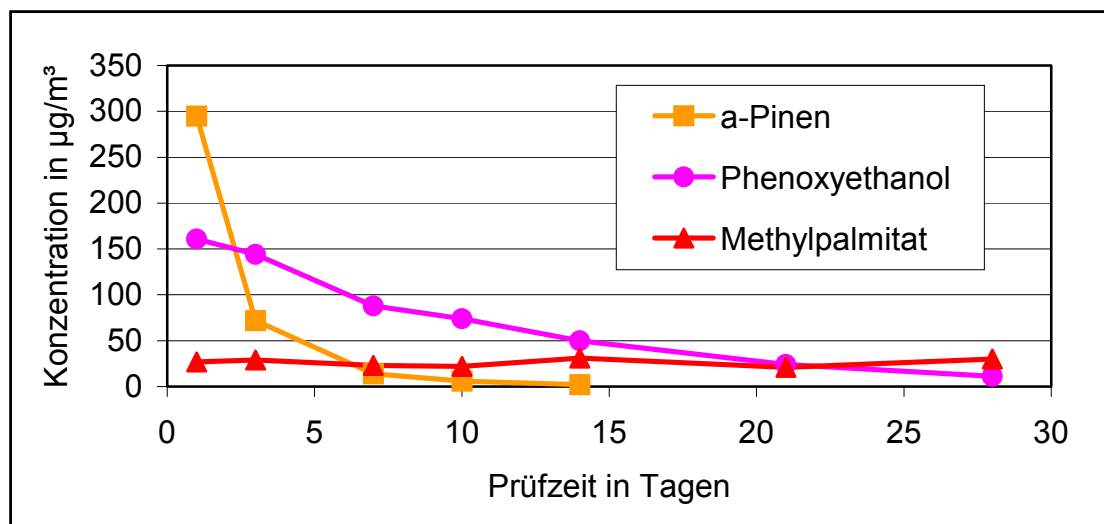


Abbildung 10: Konzentrationsverlauf für 3 Hauptkomponenten aus Kleber 1

Tabelle 6: Konzentrationen der Einzelsubstanzen für Kleber 1

Kleber 1	24h	3.Tag	7.Tag	10.Tag	14.Tag	21.Tag	28.Tag
	Konzentration in µg/m³						
Essigsäure	301	120	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Ethylenglykol	493	77	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
α-Pinen	295	72	14	6	2	< BG	< BG
β-Pinen	63	17	4	2	< BG	< BG	< BG
2-Ethylhexanol	26	7	2	< BG	< BG	< BG	< BG
Terpineol	159	73	23	2	7	2	< BG
Phenoxyethanol	161	144	88	74	50	24	11
Terpen	46	34	18	2	7	3	1
Sesquiterpen	65	34	14	9	5	2	1
Pentadekan	19	14	9	7	4	2	< BG
Caryophyllen	68	39	18	12	6	3	1
Decyloxiran	46	29	13	8	5	1	< BG
Methylaurat	51	46	39	34	30	22	14
TVOC	1792	706	241	155	117	60	29
Methylmyristat	15	16	15	14	16	13	13
Methylpalmitat	27	29	23	22	31	21	30
TSVOC	42	45	37	36	48	34	43

3.1.1.6 Kleber 4

Bei Kleber 4 handelte es sich um eine Vliesrückenfixierung. Der Verlauf der TVOC-Konzentration ist in Abbildung 13 dargestellt. Hierbei wurden 15 Einzelsubstanzen nachgewiesen. Darunter befanden sich 5 Substanzen, die nicht identifiziert werden konnten. Außerdem konnten auch 3 Sesquiterpene nicht genauer identifiziert werden. Zusätzlich ist anzumerken, dass bei den Messungen an Kleber 4 erstmals Chlormethylisothiazolon (CIT) und Methylisothiazolon (MIT) auftraten. Das Gemisch dieser beiden Substanzen wird zur Konservierung eingesetzt und hat eine biozide Wirkung.

Die Emissionsmessungen an Kleber 4 wurden auf mehr als 150 Tage ausgedehnt, nachdem am 46. Tag der Zellenprüfung Aldehyde nachgewiesen werden konnten. Im weiteren Verlauf der Emissionsmessungen traten dann auch die entsprechenden organischen Säuren auf. Dieses Auftreten von sogenannten Sekundäremissionen wird in Kapitel 3.1.4 genauer beschrieben.

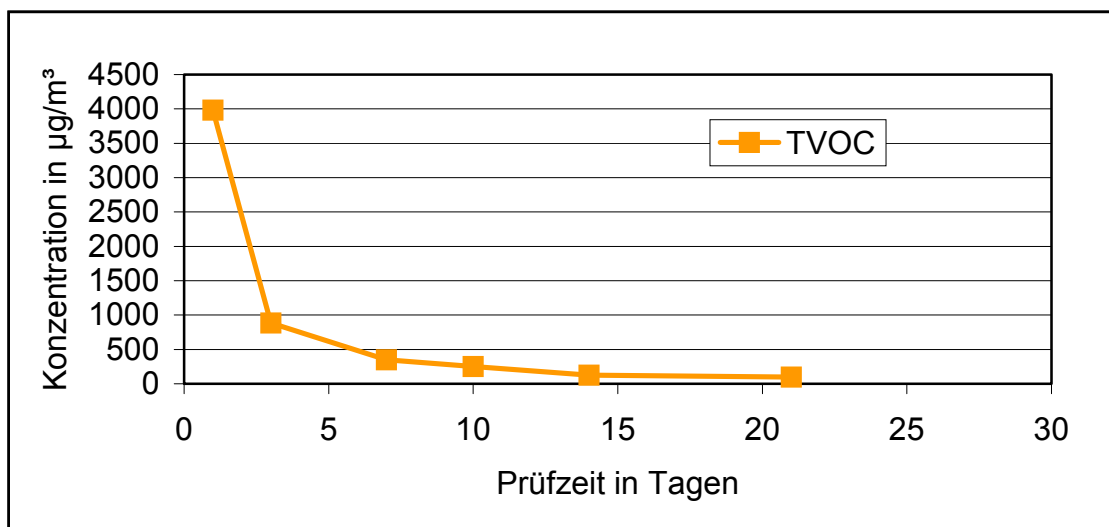


Abbildung 13: Verlauf der TVOC-Konzentration für Kleber 4

Tabelle 9: Konzentrationen der Einzelsubstanzen für Kleber 4

Kleber 4	24h	4.Tag	8.Tag	11.Tag	15.Tag	22.Tag
	Konzentration in µg/m³					
Essigsäure	1872	584	267	193	95	71
2-Ethylhexanol	1720	151	28	24	18	22
2-Ethylhexylacetat	43	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
2-Ethylhexylacrylat	62	8	< BG	< BG	< BG	< BG
unidentifizierte Substanz	36	5	< BG	< BG	< BG	< BG
Sesquiterpen [1137-12-8]	26	7	2	< BG	< BG	< BG
Longifolen	42	17	5	2	1	< BG
unidentifizierte Substanz	17	14	< BG	< BG	< BG	< BG
unidentifizierte Substanz	11	5	< BG	< BG	< BG	< BG
Sesquiterpen	12	7	3	2	< BG	< BG
CIT/MIT	71	38	19	9	< BG	< BG
unidentifizierte Substanz	34	23	10	8	3	2
Sesquiterpen	12	8	5	4	2	1
Sesquiterpen	13	9	3	3	2	1
unidentifizierte Substanz	12	10	8	6	5	3
TVOC	3983	886	350	251	127	100
TSVOC	0	0	0	0	0	0

3.1.1.7 Kleber 6

Bei Kleber 6 handelte es sich um einen Teppichbodenkleber. Der Verlauf der TVOC-Konzentration ist in Abbildung 14 dargestellt. Hierbei wurden 8 Einzelsubstanzen nachgewiesen. Darunter befand sich auch das Gemisch Chlormethylisothiazolon/Methylisothiazolon.

Auch für Kleber 6 wurde das Auftreten von Sekundäremissionen beobachtet, allerdings traten die Aldehyde hier schon innerhalb der Prüfzeit von 28 Tagen auf. Es wurden dieselben Aldehyde nachgewiesen wie bei Kleber 4, und auch die Emission von organischen Säuren wurde festgestellt (siehe Kapitel 3.1.4).

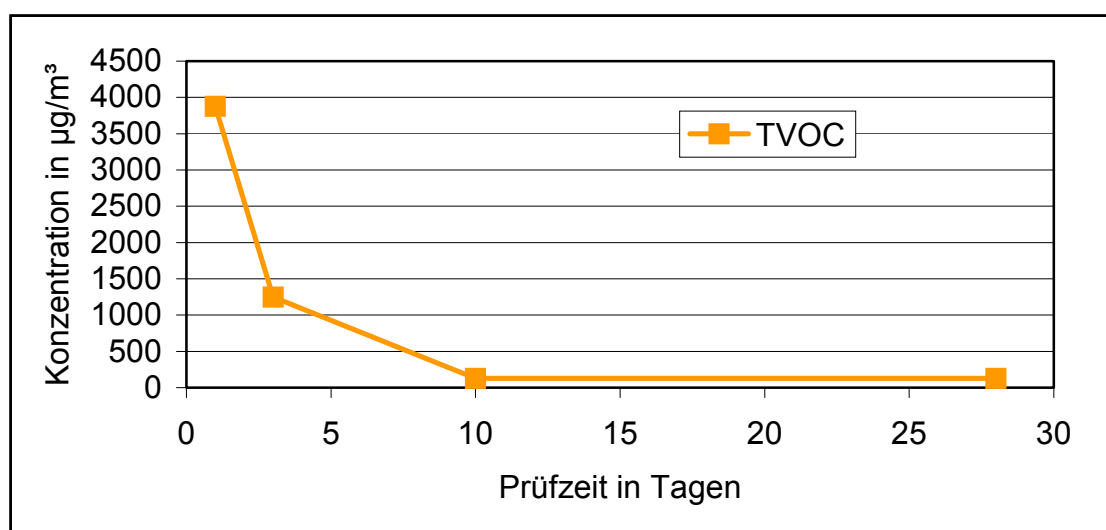


Abbildung 14: Verlauf der TVOC-Konzentration für Kleber 6

Tabelle 10: Konzentrationen der Einzelsubstanzen für Kleber 6

Kleber 6	24h	3.Tag	10.Tag	28.Tag
	Konzentration in µg/m³			
Aceton	< BG	< BG	< BG	61
Essigsäure	1629	520	86	< BG
Ethylenglykol	1316	429	< BG	< BG
Hexanal	< BG	< BG	1	15
Heptanal	< BG	< BG	1	18
unidentifizierte Substanz	55	18	< BG	< BG
2-Ethylhexanol	755	198	26	18
2-Ethylhexylacetat	37	7	< BG	< BG
α-Terpineol	31	13	4	3
unidentifizierte Substanz	56	18	< BG	< BG
2-Octanon	< BG	< BG	< BG	8
Nonenal	< BG	< BG	2	11
CIT/MIT	42	36	14	4
TVOC	3921	1239	134	138
TSVOC	0	0	0	0

3.1.1.9 Kleber 22

Bei Kleber 22 handelte es sich um einen Klebstoff für Gummibeläge. Der Verlauf der TVOC- und der TSVOC-Konzentration ist in Abbildung 16 dargestellt. Hierbei wurden 9 Einzelsubstanzen plus SVOCs nachgewiesen. Neben Phenoxypropanol als Hauptemittent wurde eine Vielzahl ($n > 11$) von nicht identifizierbaren SVOCs gefunden, die wesentlich dazu beitrugen, dass für Kleber 22 nach 28 Tagen als Summe von TVOC und TSVOC noch $241 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bestimmt wurde, obwohl der Kleber 22 mit $900 \mu\text{g}/\text{m}^3$ die geringste Anfangskonzentration (nach 24 h) aufwies.

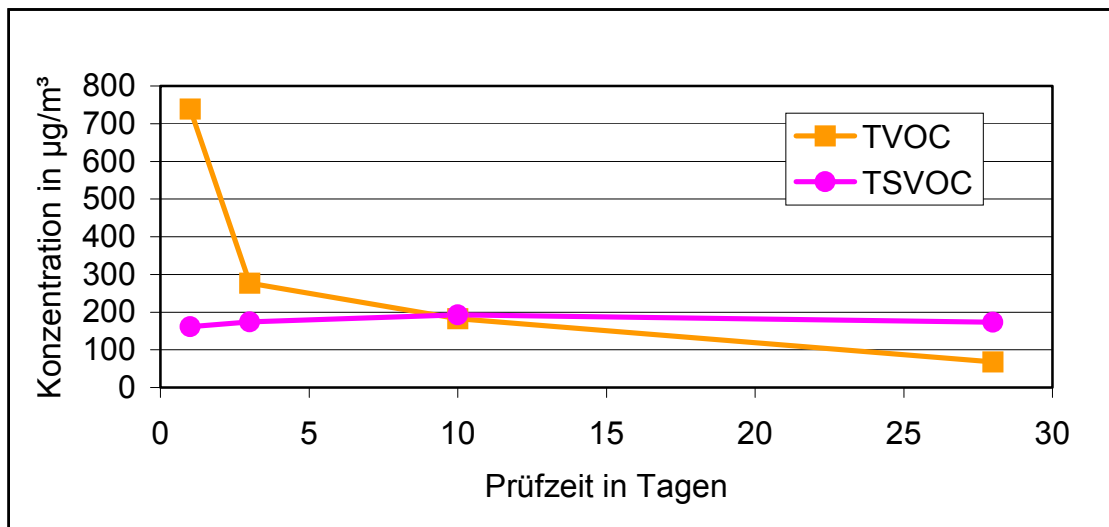


Abbildung 16: Verlauf der TVOC- und der TSVOC-Konzentration für Kleber 22

Tabelle 12: Konzentrationen der Einzelsubstanzen für Kleber 22

Kleber 22	24h	3.Tag	10.Tag	28.Tag
	Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$			
Butanol	15	< BG	< BG	< BG
Ethylenglykol	45	< BG	< BG	< BG
Butylether	13	< BG	< BG	< BG
Butylacrylat	48	< BG	< BG	< BG
Butoxyethanol	18	8	< BG	< BG
Ethanol, 2,2'oxybis	18	18	15	< BG
Acetophenon	< BG	< BG	< BG	14
Phenoxyethanol	47	12	8	< BG
Phenoxypropanol	522	230	160	54
unidentifizierte Substanz	13	9	< BG	< BG
TVOC	739	277	183	68
SVOCs ($n > 11$)	161	174	193	173
TSVOC	161	174	193	173

3.1.1.10 Kleber 23

Bei Kleber 23 handelte es sich um einen Klebstoff für Teppichbeläge. Der Verlauf der TVOC-Konzentration ist in Abbildung 17, der Verlauf der TSVOC-Konzentration ist in Abbildung 18 dargestellt. Hierbei wurden 6 Einzelsubstanzen plus eine Vielzahl an nicht identifizierbaren VOCs ($n > 16$) und SVOCs ($n > 12$) nachgewiesen.

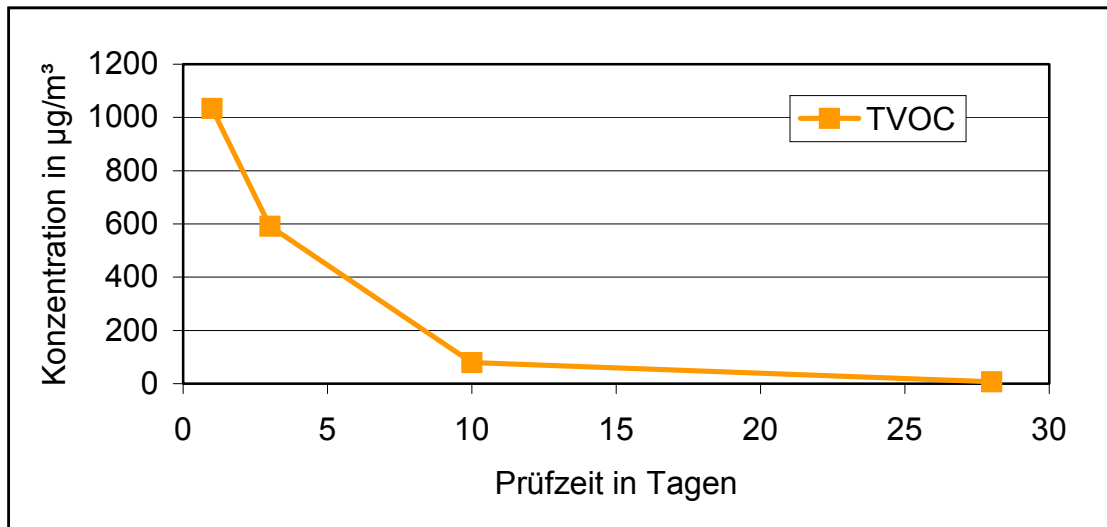


Abbildung 17: Verlauf der VOC-Summenkonzentration für Kleber 23

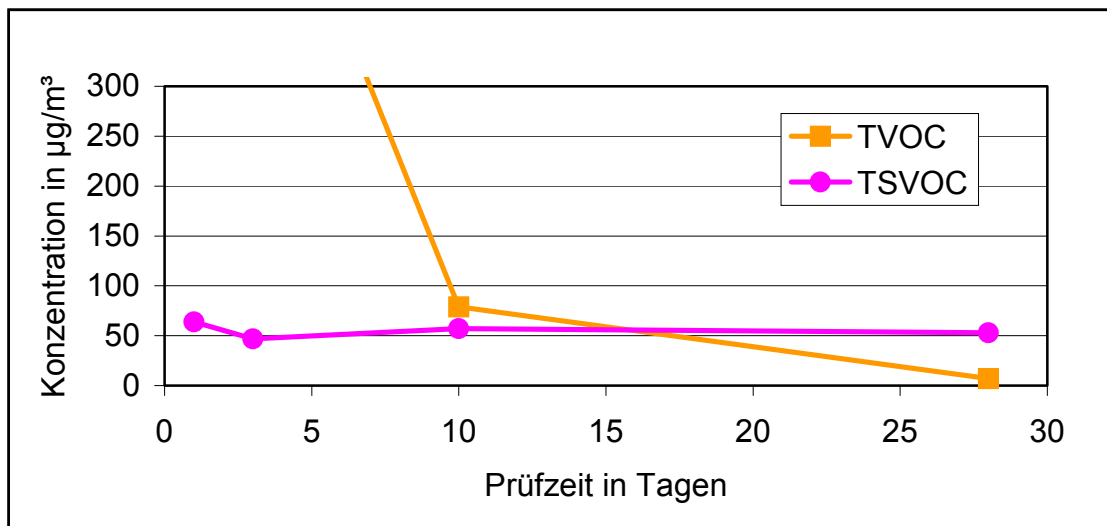


Abbildung 18: Verlauf der TSVOC-Konzentration für Kleber 23

Tabelle 13: Konzentrationen der Einzelsubstanzen für Kleber 23

Kleber 23	24h	3.Tag	10.Tag	28.Tag
	Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$			
Essigsäure	615	414	< BG	< BG
Butanol	30	16	< BG	< BG
Butylether	19	5	< BG	< BG
Butylacrylat	23	< BG	< BG	< BG
2-Ethylhexanol	187	85	36	7
2-Ethylhexylacetat	18	8	5	< BG
VOCs (n>16)	142	64	38	< BG
TVOC	1034	592	79	7
SVOCs (n>12)	64	47	57	53
TSVOC	64	47	57	53

3.1.1.11 Kleber 36

Bei Kleber 36 handelte es sich um einen Klebstoff für PVC-, CV-, textile und Gummi-beläge. Der Verlauf der TVOC-Konzentration ist in Abbildung 19, der Verlauf der TSVOC-Konzentration ist in Abbildung 20 dargestellt. Hierbei wurden 10 Einzelsubstanzen plus nicht identifizierbare SVOCs (n>11) nachgewiesen.

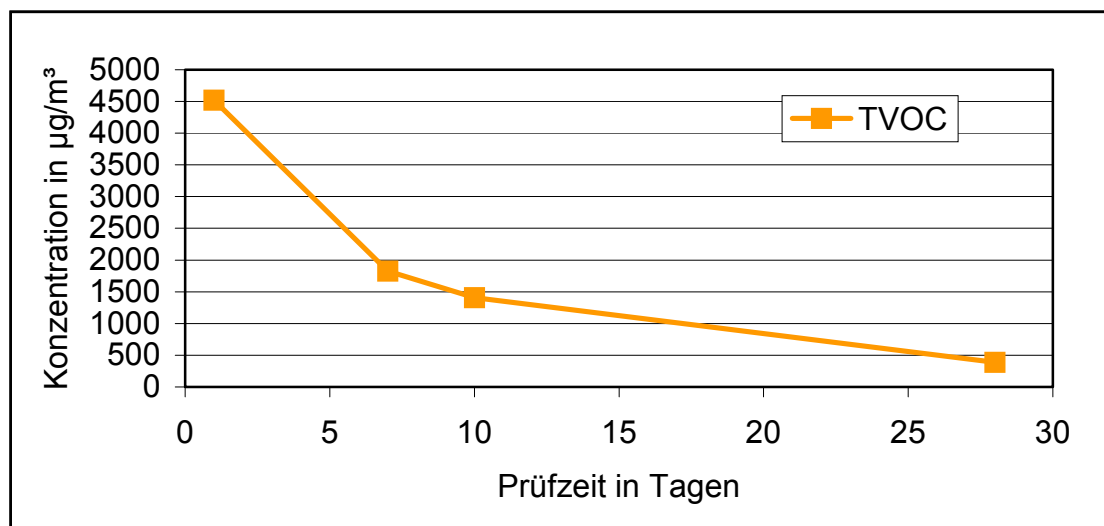


Abbildung 19: Verlauf der TVOC-Konzentration für Kleber 36

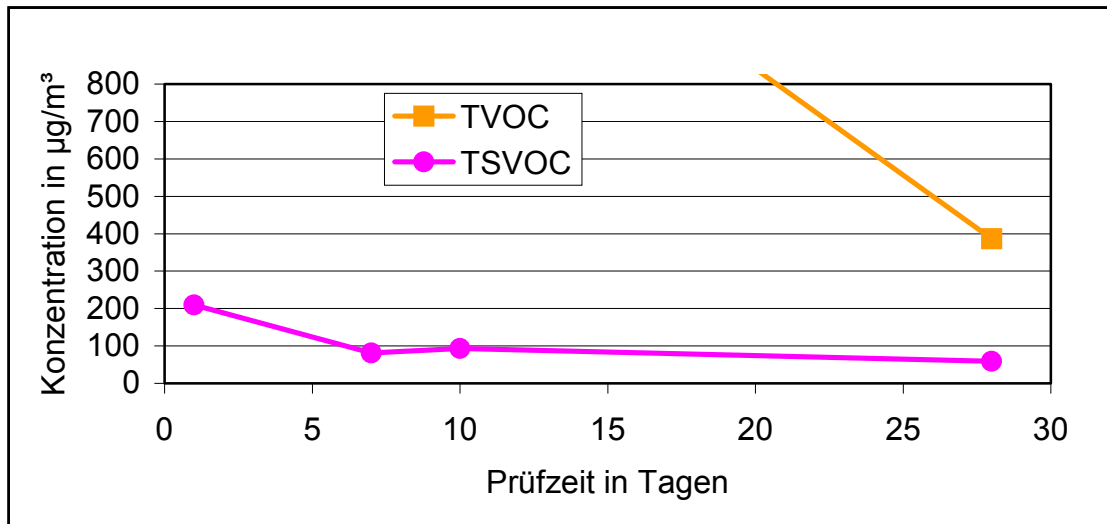


Abbildung 20: Verlauf der TSVOC-Konzentration für Kleber 36

Tabelle 14: Konzentrationen der Einzelsubstanzen für Kleber 36

Kleber 36	24h	7.Tag	10.Tag	28.Tag
	Konzentration in µg/m³			
Aceton	< BG	42	136	89
Butanol	44	13	12	11
Essigsäure	3261	1530	1090	230
Butylether	47	< BG	< BG	< BG
α-Pinen	107	11	13	1
Butylacetat	20	< BG	< BG	< BG
2-Ethylhexanol	775	150	75	14
Ethanol, 2,2'oxybis-	12	13	36	19
2-Ethylhexylacetat	57	12	7	3
α-Terpineol	127	28	16	5
Phenoxypropanol	70	29	23	15
TVOC	4520	1828	1408	387
SVOCs (n>11)	210	81	93	59
TSVOC	210	81	93	59

3.1.1.12 Kleber 46

Bei Kleber 46 handelte es sich um eine Fixierung auf Basis natürlicher Rohstoffe für textile Bodenbeläge und Naturfaserteppiche. Der Kleber 46 war nicht als emissionsarm bezeichnet, erfüllte aber die Kriterien für einen EC-1 Kleber. Bei den Emissionsmessungen wurden fast ausschließlich Terpene und Sesquiterpene nachgewiesen.

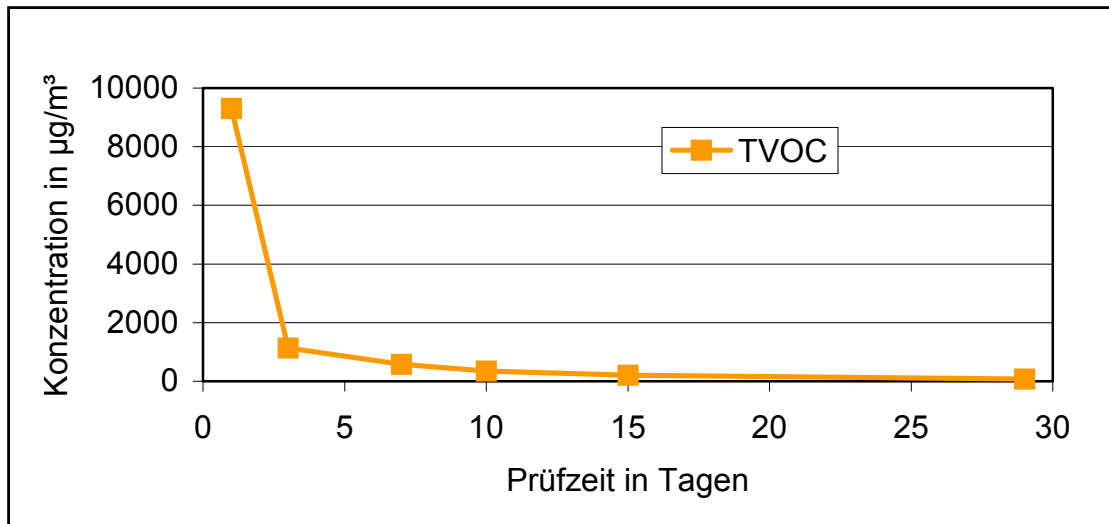


Abbildung 21: Verlauf der TVOC-Konzentration für Kleber 46

Tabelle 15: Konzentrationen der Einzelsubstanzen für Kleber 46

Kleber 46	24h	10.Tag	29.Tag
	Konzentration in µg/m³		
α-Pinen	414	< BG	< BG
Camphen	207	< BG	< BG
β-Pinen	355	< BG	< BG
Limonen	2582	4	< BG
Eukalyptol	506	1	< BG
Borneol	344	6	< BG
Terpen	211	3	< BG
Campher	755	2	< BG
Copaen	802	15	< BG
Sesquiterpen	297	7	< BG
Sesquiterpen	334	17	< BG
Caryophyllen	714	44	2
α-Caryophyllen	118	13	2
Sesquiterpen	597	112	5
Spathulenol	52	26	17
Caryophyllenoxid	26	17	6
VOCs	986	84	46
TVOC	9300	351	78
TSVOC	0	0	0

3.1.1.13 Kleber 47

Bei Kleber 47 handelte es sich um einen Kleber auf Basis natürlicher Rohstoffe für Linoleum, Kork und textile Bodenbeläge. Der Kleber 47 war nicht als emissionsarm bezeichnet. Bei den Emissionsmessungen wurden die gleichen Substanzen wie bei Kleber 46 (gleicher Hersteller) mit höheren Konzentrationen nachgewiesen. Der

Verlauf der TVOC-Konzentration ist in Abbildung 22 dargestellt. Der Kleber 47 wies mit über 40 mg/m³ die höchste Anfangskonzentration aller untersuchten Kleber auf. Der TVOC-Wert nach 3 Tagen lag über 10 mg/m³ und würde demnach nach dem AgBB-Bewertungsschema (siehe Kapitel 1.4) zu einer Ablehnung des Klebers führen. Der TVOC-Wert nach 10 Tagen (584 µg/m³) liegt nur geringfügig über dem Wert für eine Zulassung als EC-1 Kleber, allerdings ist für Kleber 47 keine Lösemittelfreiheit gewährleistet.

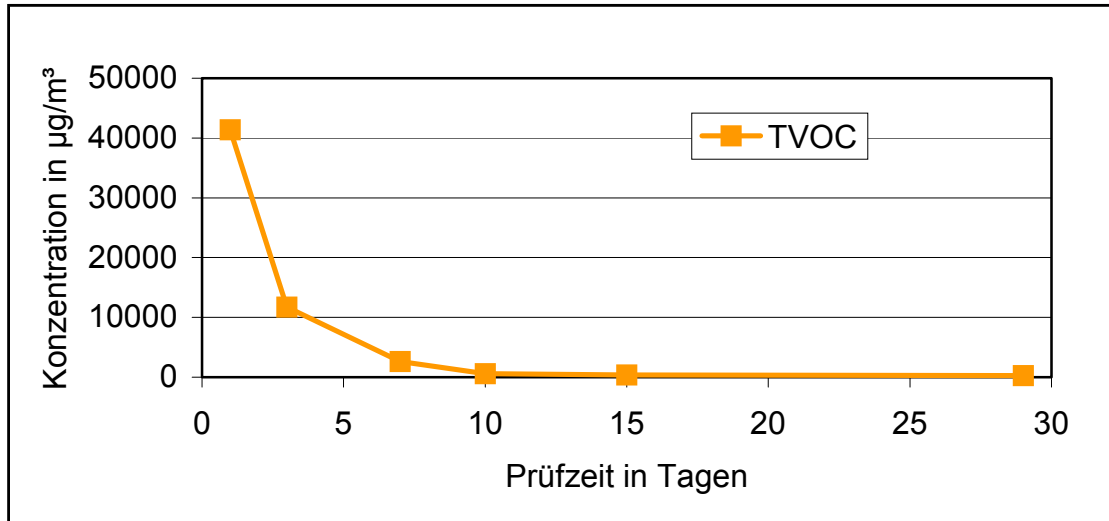


Abbildung 22: Verlauf der TVOC-Konzentration für Kleber 47

Tabelle 16: Konzentrationen der Einzelsubstanzen für Kleber 47

Kleber 47	24h	3.Tag	10.Tag	29.Tag
	Konzentration in µg/m³			
α-Pinen		159	5	<BG
Camphen		21	<BG	<BG
β-Pinen		162	<BG	<BG
Limonen	22000*	8272	216	86
Eukalyptol		215	9	<BG
Borneol		53	<BG	<BG
Terpen		164	14	7
Campher		88	<BG	<BG
Copaen	5000*	435	33	6
Sesquiterpen		156	13	3
Sesquiterpen		189	18	5
Caryophyllen	4000*	413	51	13
α-Caryophyllen		84	11	8
Sesquiterpen	3500*	783	117	43
Spathulenol		38	10	9
Caryophyllenoxid		17	5	4
VOCs (n>15)		451	82	40
TVOC	41400*	11700	584	224
TSVOC	0	0	0	0

*Chromatogramme schlecht auswertbar

3.1.1.14 Grundierung

Die Grundierung wurde für die Komplettaufbauten verwendet. Als Einzelmaterial erfolgte die Emissionsmessung in einer BAM-Emissionszelle, in die eine Petrischale (Durchmesser 11,5 cm) mit einer der Fläche entsprechenden Menge (100 g/m^2) unverdünnter Grundierung gestellt wurde. Die flächenspezifische Luftdurchflussrate q von $1,25 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ wurde durch Verringerung des Luftvolumenstromes beibehalten.

Tabelle 17: Konzentrationen für die Einzelsubstanzen für die Grundierung

Grundierung unverdünnt	24h	10.Tag	28.Tag
	Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
Propylenglykoetherderivat	4012	310	158
TVOC	4012	310	158
SVOCs (n=4)	27	10	4
Dimethylphthalat	38	17	15
TSVOC	65	27	19

3.1.1.15 Spachtelmasse

Die Prüfung der Spachtelmasse erfolgte ebenfalls in einer BAM-Emissionsmesszelle, indem die mit Wasser angerührte Spachtelmasse 3 mm hoch in eine Petrischale (Durchmesser 11,5 cm) gefüllt wurde. Auch hierbei wurde die flächenspezifische Luftdurchflussrate auf $q = 1,25 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ eingestellt.

Tabelle 18: Konzentrationen der Einzelsubstanzen für die Spachtelmasse

Spachtelmasse	24h	10.Tag	28.Tag
	Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
Methylpropanol	47	< BG	< BG
Silan, triethoxypentyl-	5	< BG	< BG
TVOC	52	0	0
TSVOC	0	0	0

3.1.2 Bodenbeläge

Für die Emissionsmessungen an Bodenbelägen wurden unterschiedliche Typen untersucht, und zwar 5 PVC-Beläge, 14 Teppiche, 3 Linoleumbeläge, ein Polyolefin- und ein Kautschukbelag.

3.1.2.1 Herkunft der Bodenbeläge

PVC 1, PVC 2, Teppich 1, Linoleum 1, Linoleum 3, der Kautschuk- und der Polyolefinbelag wurden vom Hersteller direkt bezogen, alle anderen Bodenbeläge wurden im Fachhandel eingekauft. Teppich 4, 5 und 6 wurden über das Textiles & Flooring Institute (TFI), Aachen, als frisch produzierte Ware bezogen.

3.1.2.2 Herstellung der Proben

Bei den Bodenbelägen bestand die Probenvorbereitung im Zuschneiden der Beläge auf die passende Oberfläche für die 20-l-Kammern. Die Prüfmuster wurden dabei aus dem Inneren der meist als Rollenware bezogenen Materialien ausgeschnitten. Es wurden 2 Stücke mit den Abmessungen 22 cm x 27 cm Rückseite an Rückseite in die Kammer eingebracht. Bei elastischen Bodenbelägen erfolgte vorher ein umlaufendes, überlappendes Verkleben mit selbstklebender Aluminiumfolie, so dass auf Vorder- und Rückseite eine Emissionsfläche von 20 cm x 25 cm entstand.

Teppiche wurden ebenfalls Rückseite an Rückseite mit einem U-Profil aus Aluminium umlaufend zusammengehalten, wobei die gleiche Emissionsfläche resultierte.

Für die Messungen mit Prü fzellen wurden etwa 20 cm x 20 cm große Stücke ausgeschnitten, auf die die Prü fzellen gestellt wurden.

3.1.2.3 PVC 1

Bei dem PVC 1 handelte es sich um ein homogenes PVC-Material mit einer Stärke von 2 mm. Der Verlauf der TVOC-Konzentration ist in Abbildung 23 dargestellt. Der TVOC-Wert setzte sich aus 6 Einzelsubstanzen zusammen, SVOCs wurden nicht gefunden. Der PVC 1 zeigte die geringsten Emissionen von allen untersuchten PVC-Belägen.

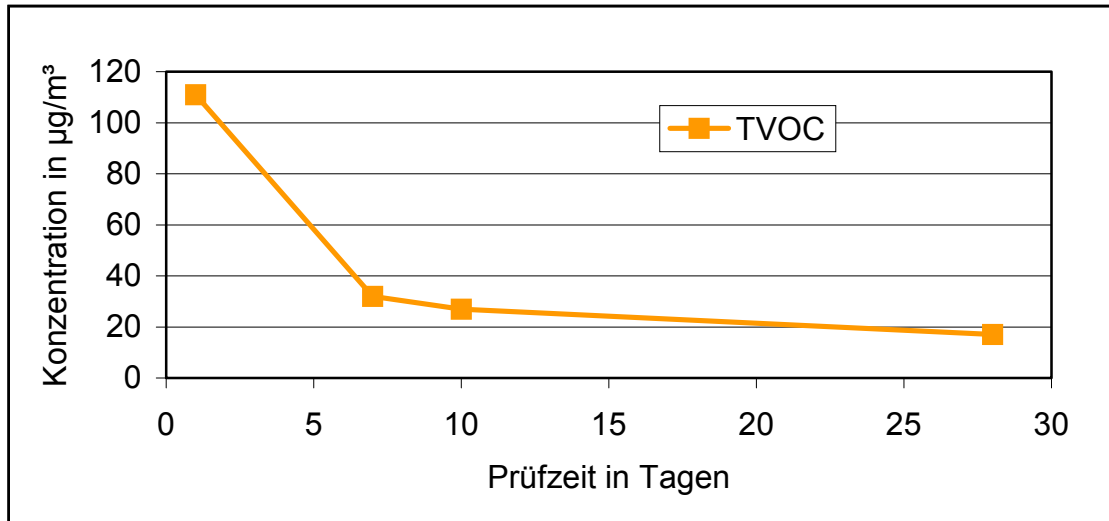


Abbildung 23: Verlauf der TVOC-Konzentration für PVC 1

Tabelle 19: Konzentrationen der Einzelsubstanzen für PVC 1

PVC 1	24h	7.Tag	10.Tag	28.Tag
	Konzentration in µg/m³			
Propylenglykol	35	< BG	< BG	< BG
Cyclohexanol	10	3	3	2
2-Ethylhexanol	44	20	16	10
2-Ethylhexylacetat	13	5	4	3
Tetradekan	5	2	2	1
Pentadekan	4	2	2	1
TVOC	111	32	27	17
TSVOC	0	0	0	0

3.1.2.4 PVC 2

Bei dem PVC 2 handelte es sich um ein homogenes Material mit einer Stärke von ca. 1,5 mm. Der Verlauf der TVOC- und der TSVOC-Konzentration ist in Abbildung 24 dargestellt. Der TVOC-Wert setzte sich aus 3 Einzelsubstanzen sowie einer Reihe von nicht identifizierbaren VOCs ($n>10$) zusammen, der TSVOC-Wert aus mehr als 5 nicht identifizierbaren Substanzen. Obwohl es sich hierbei nach Angaben des Herstellers um ein frisch produziertes Material handelte, war kaum ein Abklingen der TVOC-Konzentration festzustellen.

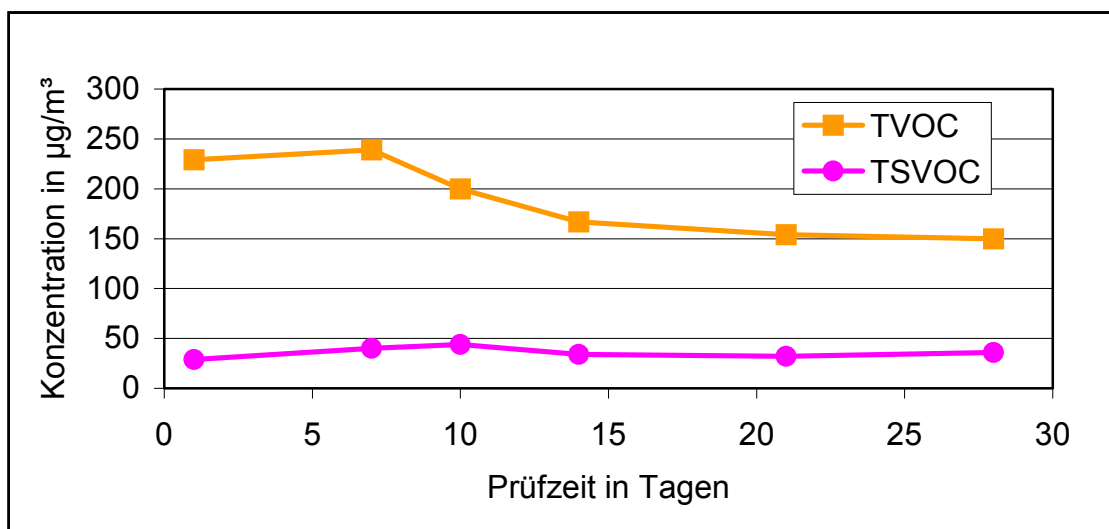


Abbildung 24: Verlauf der TVOC- und der TSVOC-Konzentration für PVC 2

Tabelle 20: Konzentrationen der Einzelsubstanzen für PVC 2

PVC 2	24h	7.Tag	10.Tag	14.Tag	21.Tag	28.Tag
	Konzentration in µg/m³					
2-Ethylhexanol	6	5	4	3	3	3
2-Ethylhexansäure	96	104	77	73	65	60
VOCs (n~13)	83	93	85	65	60	62
N-Methylpyrrolidon	44	37	34	26	26	25
TVOC	229	239	200	167	154	150
SVOCs (n~8)	29	40	44	34	32	36
TSVOC	29	40	44	34	32	36

3.1.2.5 PVC 3

3.1.2.6 PVC 4

Bei dem PVC 4 handelte es sich um ein heterogenes Material mit einer Stärke von ca. 0,5 mm. Der Verlauf der TVOC- und der TSVOC-Konzentration ist in Abbildung 26 dargestellt. Der TVOC-Wert setzte sich aus 9 Einzelsubstanzen zusammen. Dazu kamen einige nicht identifizierbare VOCs. Den TSVOC-Wert bildeten einige nicht identifizierbare SVOCs. Die Substanz mit den höchsten Konzentrationen war Phenol (416 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nach 24 h). Obwohl auch dieser Belag im Handel eingekauft wurde und ähnliche Substanzen emittierte wie PVC 3, war im Vergleich mit PVC 3 ein schnelleres Abklingen der Konzentrationswerte festzustellen.

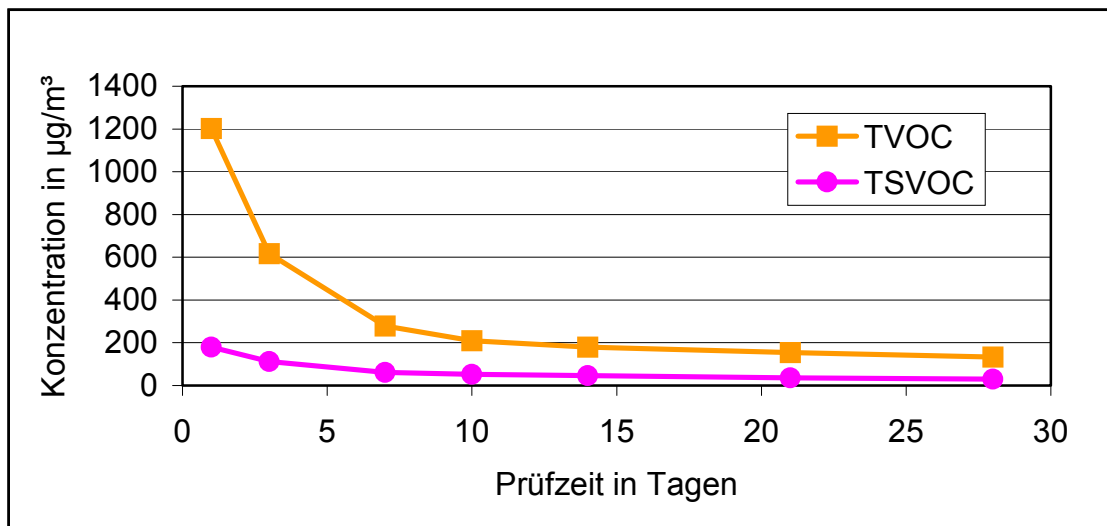


Abbildung 26: Verlauf der TVOC- und TSVOC-Konzentration für PVC 4

Tabelle 22: Konzentrationen der Einzelsubstanzen für PVC 4

PVC 4	24h	3.Tag	7.Tag	10.Tag	14.Tag	21.Tag	28.Tag
	Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$						
Trimethylbenzole	78	46	23	19	18	15	14
Phenol	416	218	88	59	55	44	37
2-Ethylhexanol	35	17	8	6	4	5	4
2-Ethylhexansäure	39	16	5	5	4	2	3
Butyldiglykol	213	100	41	30	26	25	20
VOCs (n>19)	296	134	63	51	39	35	32
Tetradekan	15	6	3	1	2	2	1
Pentadekan	8	4	2	1	1	1	1
1-Hexadecen	38	26	17	13	11	9	9
TXIB	64	50	28	24	20	16	13
TVOC	1202	617	278	209	180	154	134
SVOCs (n>10)	180	112	62	53	47	36	30
TSVOCs	180	112	62	53	47	36	30

3.1.2.7 PVC 5

Bei dem PVC 5 handelte es sich um einen CV-Belag mit einer Stärke von ca. 2 mm. Der Verlauf der TVOC- und der TSVOC-Konzentration ist in Abbildung 27 dargestellt. Der TVOC-Wert setzte sich aus 6 Einzelsubstanzen und 23 nicht identifizierbaren VOCs zusammen. Bemerkenswert war eine sehr hohe Konzentration von TXIB (2,2,4-Trimethyl-1,3-pentandioldiisobutyrat) von 1251 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nach 24 h und 539 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nach 28 Tagen. Der TSVOC-Wert enthielt mehrere Alkylbenzole.

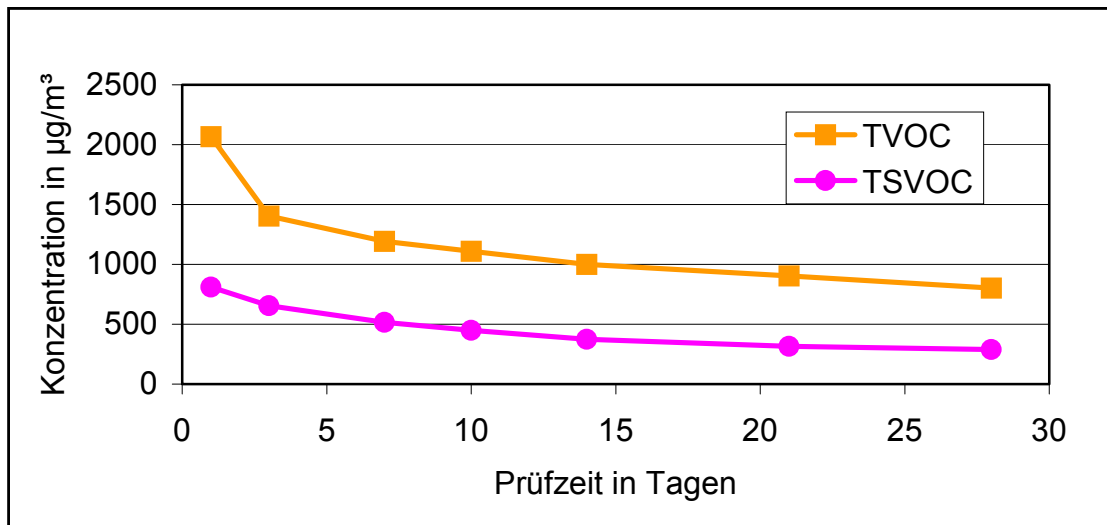


Abbildung 27: Verlauf der TVOC- und der TSVOC-Konzentration für PVC 5

Tabelle 23: Konzentrationen der Einzelsubstanzen für PVC 5

PVC 5	24h	3.Tag	7.Tag	10.Tag	14.Tag	21.Tag	28.Tag
	Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$						
MIBK	111	65	53	45	39	32	30
Dekan	55	35	28	25	23	20	16
Undekan	44	28	22	20	18	16	13
Butyldiglykol	123	75	40	48	44	35	31
N-Methylpyrrolidon	45	30	17	20	15	13	15
VOCs (n~23)	438	308	273	253	221	175	159
TXIB	1251	863	760	698	641	614	539
TVOC	2067	1404	1193	1109	1001	905	803
SVOCs (Alkylbenzole, n~8)	811	656	516	450	373	315	289
TSVOC	811	656	516	450	373	315	289

3.1.2.8 Teppich 1

Bei dem Teppich 1 handelte es sich um einen Teppich mit Chemiefaservlies als Trägermaterial und Textilrücken (Chemiefaser, gewebt). Der Verlauf der TVOC-Konzentration ist in Abbildung 28 dargestellt. Der TVOC-Wert setzte sich dabei aus 2 Einzelsubstanzen (Cyclohexanol und 4-Phenylcyclohexen) und einigen nicht identifizierbaren VOCs zusammen.

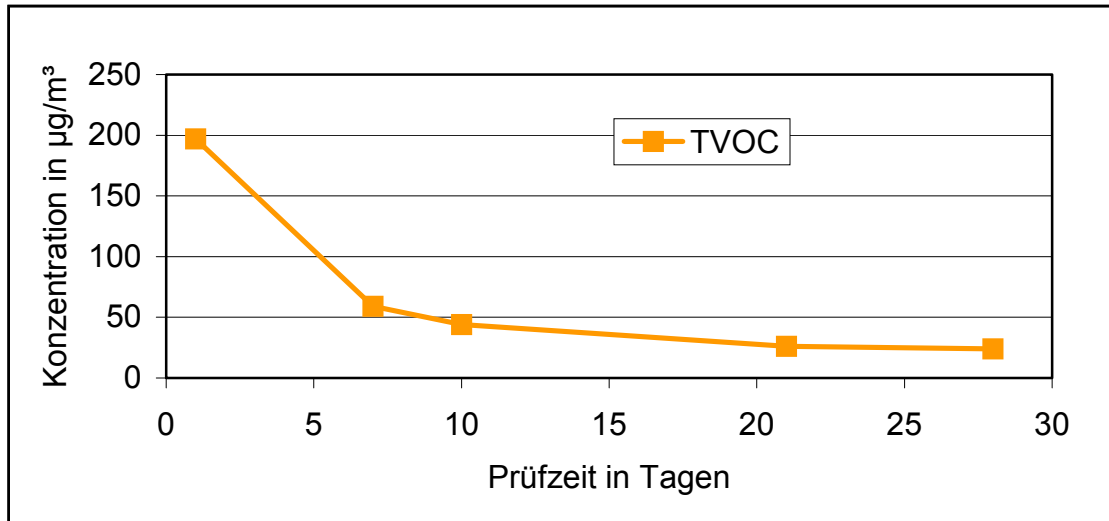


Abbildung 28: Verlauf der TVOC-Konzentration für Teppich 1

Tabelle 24: Konzentrationen der Einzelsubstanzen für Teppich 1

Teppich 1	24h	7.Tag	10.Tag	21.Tag	28.Tag
	Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$				
Cyclohexanol	18	5	5	2	2
VOCs (n>10)	104	21	11	5	4
4-Phenylcyclohexen	75	33	28	19	18
TVOC	197	59	44	26	24
TSVOC	0	0	0	0	0

3.1.2.9 Teppich 2

Bei dem Teppich 2 handelte es sich um einen Teppich aus Polypropylen/Polyester (70%/30%) mit Polypropylen-Bandgewebe als Trägermaterial und Textilrücken (Chemiefaservlies, vernadelt). Der Verlauf der TVOC- und der TSVOC-Konzentration ist in den Abbildung 29 dargestellt. Der TVOC-Wert setzte sich aus 7 Einzelsubstanzen, der TSVOC aus 5 Alkylbenzolen zusammen. Teppich 2 zeigte hohe Konzentrationen an Ethylenglykol und 3 Propylenglykolderivaten. Mit einem TVOC-Wert von $1653 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zeigte Teppich 2 die höchste Anfangskonzentration aller untersuchten Teppiche. Nach 28 Tagen betrug der TVOC-Wert nur noch $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Alkylbenzole (SVOCs) zeigten über den Prüfzeitraum dagegen eine fast konstante Emission.

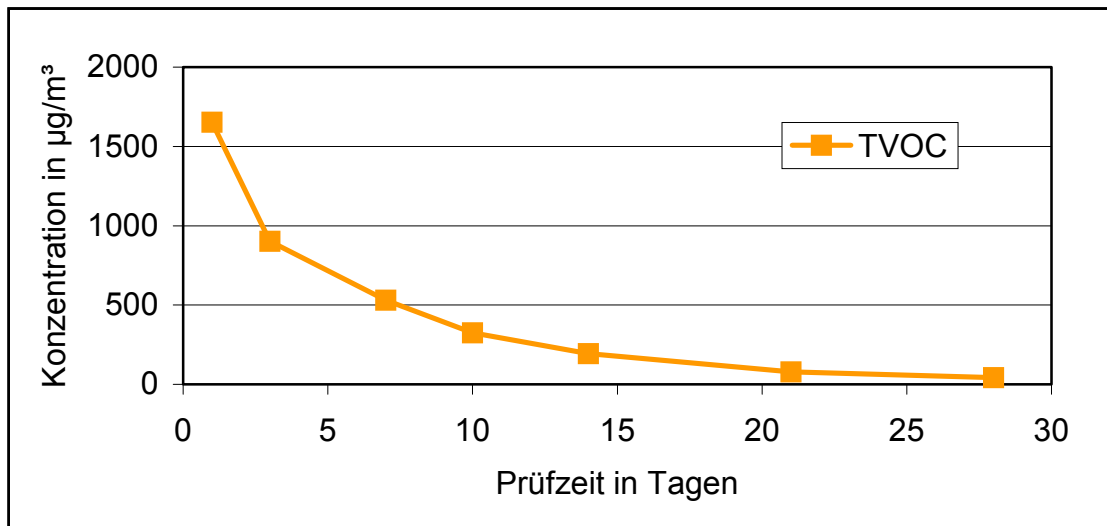


Abbildung 29: Verlauf der TVOC-Konzentration für Teppich 2

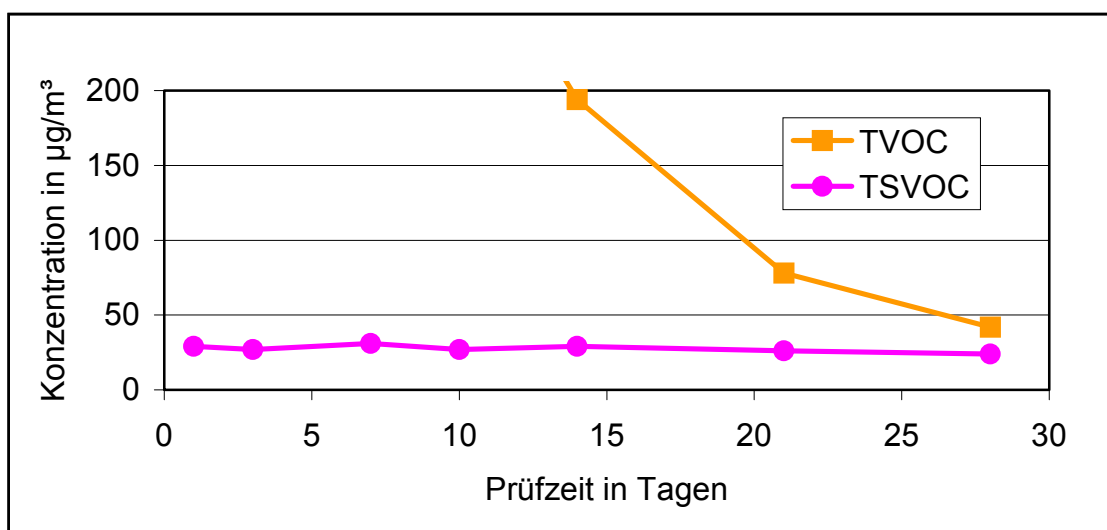


Abbildung 30: Verlauf der TSVOC-Konzentration für Teppich 2

Tabelle 25: Konzentrationen der Einzelsubstanzen für Teppich 2

Teppich 2	24h	3.Tag	7.Tag	10.Tag	14.Tag	21.Tag	28.Tag
	Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$						
Ethylenglykol	759	340	153	79	34	< BG	< BG
Diethylenglykol	13	7	6	3	2	< BG	< BG
Propylenglykolderivate (n=3)	738	449	297	190	117	54	28
2-Butanol,3,3'-oxybis-	34	23	16	10	7	3	2
4-Phenylcyclohexen	109	83	58	43	34	21	12
TVOC	1653	902	530	325	194	78	42
SVOC (5 Alkylbenzole)	29	27	31	27	29	26	24
TSVOC	29	27	31	27	29	26	24

3.1.2.10 Teppich 2b

Bei dem Teppich 2b handelte es sich um einen Teppich aus Polypropylen/Polyester (70%/30%) mit Polypropylen-Bandgewebe als Trägermaterial und Textilrücken (Chemiefaservlies, vernadelt). Der Teppich 2b entsprach von der Handelsbezeichnung sowie vom Aussehen und Material dem Teppich 2. Er wurde aber ca. 8 Monate später eingekauft. Der Verlauf der TVOC-Konzentration und der TSVOC-Konzentration ist in Abbildung 31 dargestellt. Der Vergleich der gefundenen Einzelsubstanzen von Teppich 2b mit denen von Teppich 2 zeigte bis auf die SVOCs (Alkylbenzole) keine Übereinstimmung.

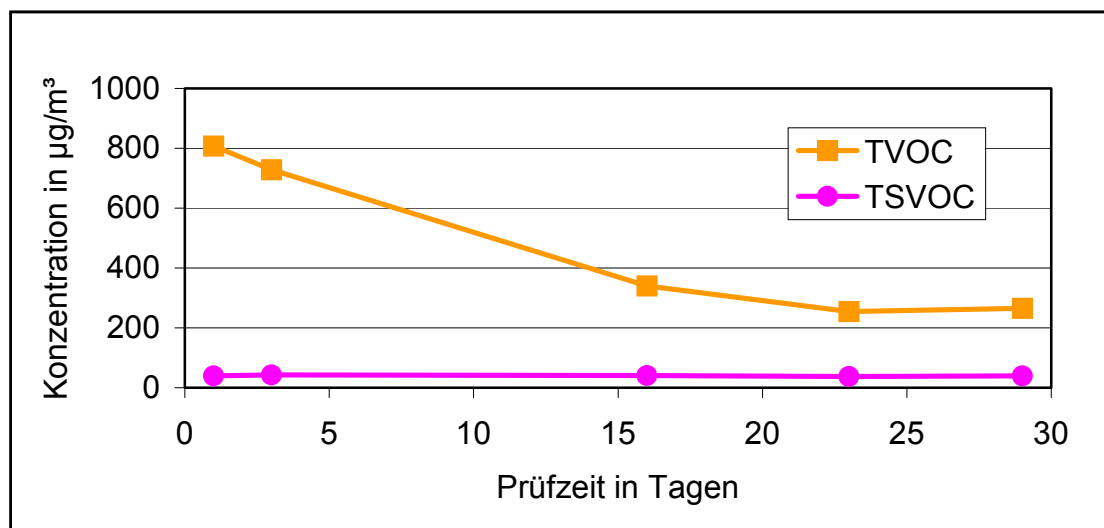


Abbildung 31: Verlauf der TVOC-Konzentration für Teppich 2b

Tabelle 26: Konzentrationen der Einzelsubstanzen für Teppich 2b

Teppich 2b	24h	3.Tag	16.Tag	23.Tag	29.Tag
	Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$				
Dodekan	6	4	< BG	< BG	< BG
Tridekan	32	29	9	5	4
4-Phenylcyclohexen	13	11	4	2	1
Tetradekan	39	36	21	22	14
VOCs (n>30)	710	640	300	220	240
TXIB	8	8	6	6	6
TVOC	808	728	340	255	265
SVOCs (5 Alkylbenzole)	40	43	41	37	40
TSVOC	40	43	41	37	40

3.1.2.12 *Teppich 4*

Bei dem Teppich 4 handelte es sich um einen Teppich aus Polyamid mit Polypropylen-Bändchengewebe plus Faservliesauflage als Trägermaterial und Latex-Planschaum als Rückenaustrüstung. Für Teppich 4 wurden nur am 1. und 28. Tag Emissionsmessungen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 28 dargestellt. Es wurden nur 3 Einzelsubstanzen gefunden. Teppich 4 zeigte die geringsten Emissionen aller Bodenbeläge. Am 28. Tag konnten keine Emissionen nachgewiesen werden.

Tabelle 28: Ergebnisse der Emissionsprüfung an Teppich 4

Teppich 4	24h	28.Tag
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
4-Phenylcyclohexen	3	< BG
1-Dodecen	3	< BG
BHT	2	< BG
TVOC	8	0
TSVOC	0	0

3.1.2.13 *Teppich 5*

Bei dem Teppich 5 handelte es sich um einen Teppich aus Polyamid mit Chemiefaservlies als Trägermaterial und Textilrücken (Chemiefaser, gewebt). Auch für Teppich 5 wurden nur zwei Emissionsmessungen durchgeführt. Die gefundenen Substanzen und die Konzentrationen sind in Tabelle 29 aufgelistet. Auch aus Teppich 5 konnten nach 28 Tagen keine Emissionen nachgewiesen werden.

Tabelle 29: Ergebnisse der Emissionsprüfung an Teppich 5

Teppich 5	24h	28.Tag
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
4-Phenylcyclohexen	7	< BG
C7-Isomere	35	< BG
Ethylenglykol	104	< BG
Propylenglykol	59	< BG
2-Ethylhexanol	7	< BG
1-Dodecen	2	< BG
TVOC	214	0
TSVOC	0	0

3.1.2.14 Teppich 6

Bei dem Teppich 6 handelte es sich um einen Teppich aus Polyamid mit Chemiefaservlies als Trägermaterial und Textilrücken (Chemiefaser/Naturfaser gewebt). Der Verlauf der TVOC-Konzentration ist in Abbildung 33 dargestellt. Der TVOC-Wert setzte sich aus 7 Einzelsubstanzen zusammen. Hierbei machten Ethylen- und Propylenglykol sowie Caprolactam den Großteil der Emissionen aus. Obwohl die Anfangskonzentrationen nach 24 h geringer waren als bei Teppich 2, wurde Ethylenglykol aus Teppich 6 auch nach 28 Tagen noch gefunden.

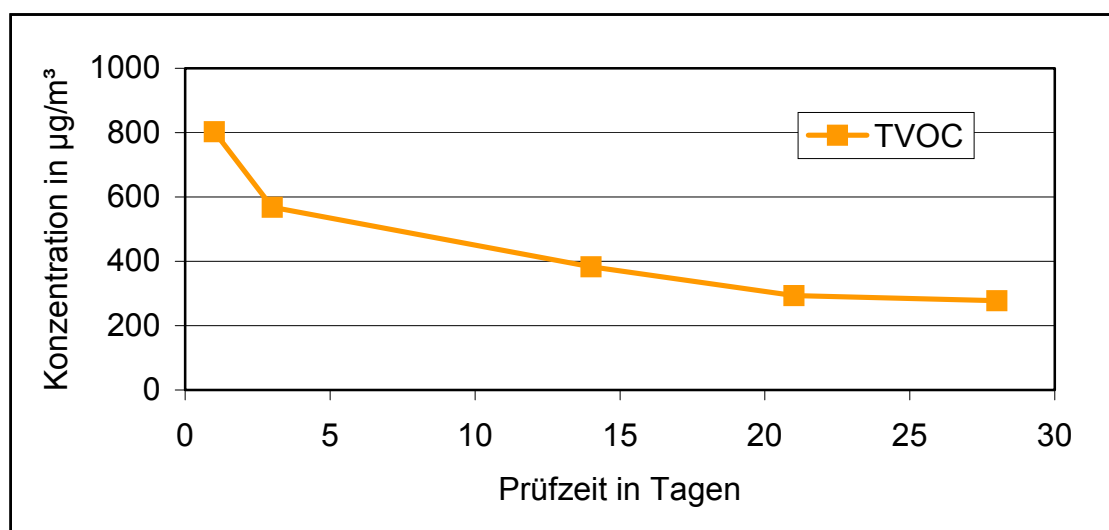


Abbildung 33: Verlauf der TVOC-Konzentration für Teppich 6

Tabelle 30: Konzentrationen der Einzelsubstanzen für Teppich 6

Teppich 6	24h	3.Tag	14.Tag	21.Tag	28.Tag
	Konzentration in µg/m³				
Ethylenglykol	224	188	150	103	94
Propylenglykol	299	256	134	92	83
unidentifizierte Substanz	30	< BG	< BG	< BG	< BG
unidentifizierte Substanz	16	10	< BG	< BG	< BG
Butyldiglykol	4	4	2	2	1
4-Phenylcyclohexen	14	9	5	4	3
Caprolactam	216	101	92	93	97
TVOC	803	568	383	294	278
TSVOC	0	0	0	0	0

3.1.2.15 Teppich 7

Bei dem Teppich 7 handelte es sich um einen Teppich aus Polyamid mit Polypropylen-Bandgewebe als Trägermaterial und Textilrücken (Chemiefaservlies vernadelt). Der Verlauf der TVOC- und der TSVOC-Konzentration ist in Abbildung 34 dargestellt. Der TVOC-Wert setzte sich aus 5 Einzelsubstanzen zusammen; es wurde ein SVOC gefunden.

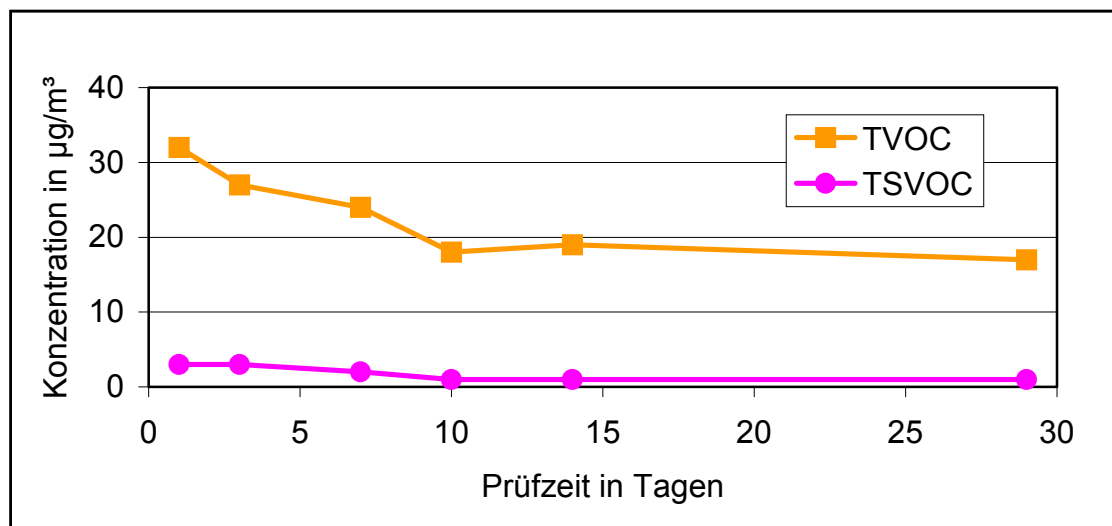


Abbildung 34: Verlauf der TVOC- und der TSVOC-Konzentration für Teppich 7

Tabelle 31: Konzentrationen der Einzelsubstanzen für Teppich 7

Teppich 7	24h	3.Tag	7.Tag	10.Tag	14.Tag	29.Tag
	Konzentration in µg/m³					
Cyclohexanol	4	2	2	1	1	1
2-Ethylhexanol	6	4	3	2	2	1
4-Phenylcyclohexen	9	10	8	8	7	6
Caprolactam	4	6	7	5	5	6
Phenoxyethanol	9	5	4	2	4	3
TVOC	32	27	24	18	19	17
Heptadekan	3	3	2	1	1	1
TSVOC	3	3	2	1	1	1

3.1.2.16 Teppich 8

Bei dem Teppich 8 handelte es sich um einen Teppich aus Polypropylen mit Polypropylen-Bandgewebe als Trägermaterial und Textilrücken (Chemiefaser-Gewebe). Der Verlauf der TVOC-Konzentration ist in Abbildung 35 dargestellt. Der TVOC-Wert setzte sich aus 6 Einzelsubstanzen zusammen. Hierbei fielen 2 Substanzen besonders auf. Zum einen Acrylsäure (Konzentration nach 24 h: 480 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, berechnet mit der Response von Essigsäure), zum anderen das Gemisch aus Chlormethylisothiazolon/Methylisothiazolon, welches hier im Gegensatz zu den Messungen an den Fußbodenklebern auch nach 29 Tagen noch mit 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ messbar war (Anfangswert nach 24 h: 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

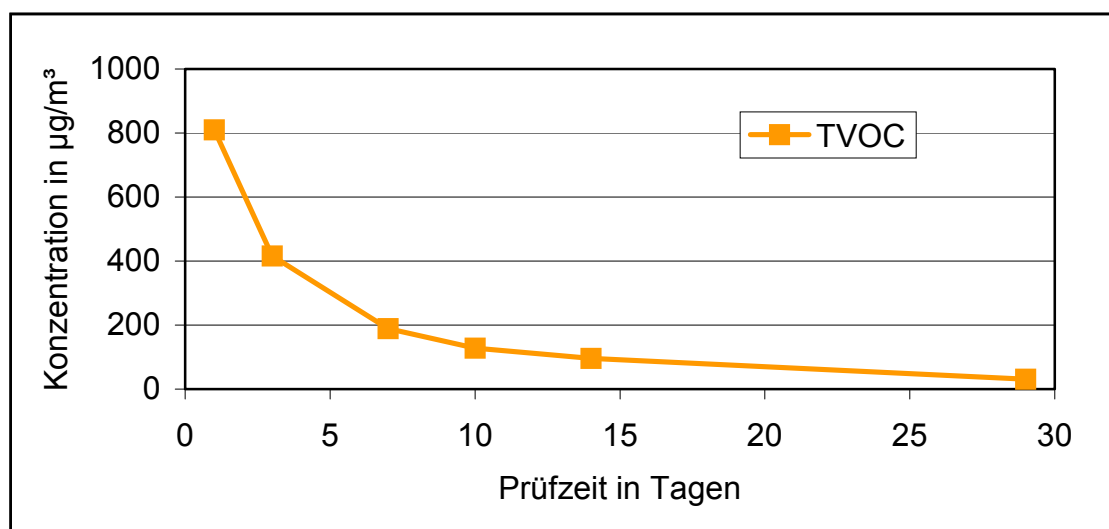


Abbildung 35: Verlauf der TVOC-Konzentration für Teppich 8

Tabelle 32: Konzentrationen der Einzelsubstanzen für Teppich 8

Teppich 8	24h	3.Tag	7.Tag	10.Tag	14.Tag	29.Tag
	Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$					
Ethylenglykol	120	42	< BG	< BG	< BG	< BG
Acrylsäure	480	215	72	41	30	7
unidentifizierte Substanz	31	19	14	7	7	< BG
Propylenglykolderivat	31	18	16	7	8	< BG
4-Phenylcyclohexen	58	51	37	33	23	15
CIT/MIT	90	71	50	40	28	9
TVOC	810	416	189	128	96	31
TSVOC	0	0	0	0	0	0

3.1.2.17 Teppich 9

Bei dem Teppich 9 handelte es sich um einen Wollteppich mit Jute-Gewebe als Träger- und Rückenmaterial. Der Verlauf der TVOC- und der TSVOC-Konzentration ist in Abbildung 36 dargestellt. Der TVOC-Wert setzte sich aus 10, der TSVOC aus 3 Einzelsubstanzen zusammen. Hierin ist, allerdings mit geringen Konzentrationswerten, auch ein Phosphorsäureester (PSE), wahrscheinlich ein Tributylphosphorsäureester enthalten, der unter anderem als Flammschutzmittel Verwendung findet.

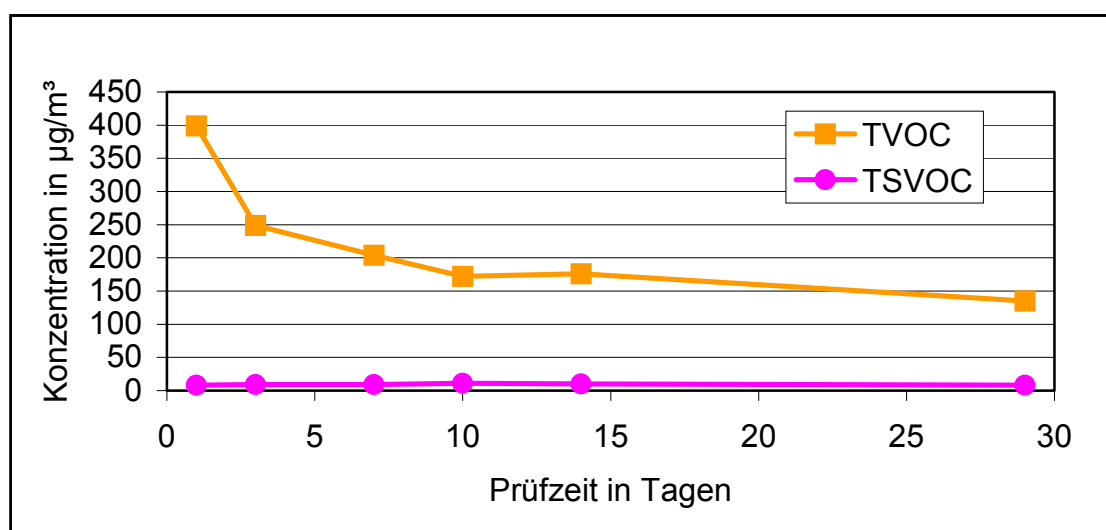


Abbildung 36: Verlauf der TVOC- und der TSVOC-Konzentration für Teppich 9

Tabelle 33: Konzentrationen der Einzelsubstanzen für Teppich 9

Teppich 9	24h	3.Tag	7.Tag	10.Tag	14.Tag	29.Tag
	Konzentration in µg/m³					
Essigsäure	270	180	165	140	150	120
Undekan	14	4	< BG	< BG	< BG	< BG
Benzaldehyd	67	21	7	6	4	2
Dodekan	11	7	3	1	1	< BG
Tridekan	10	7	4	3	2	< BG
Tetradekan	3	4	4	3	2	1
4-Phenylcyclohexen	13	14	10	8	6	2
Pentadekan	4	5	4	4	4	3
BHT	1	1	1	1	1	1
Hexadekan	6	6	6	6	6	6
TVOC	399	249	204	172	176	135
Heptadekan	4	4	4	5	5	5
Oktadekan	2	2	2	3	2	2
PSE	2	3	3	3	3	1
TSVOC	8	9	9	11	10	8

3.1.2.18 Teppich 10

Bei dem Teppich 10 handelte es sich um einen Wollteppich mit Polypropylen-Bandgewebe als Trägermaterial und einem Textilrücken aus Jute-Gewebe. Der Verlauf der TVOC- und der TSVOC-Konzentration ist in Abbildung 37 dargestellt. Der TVOC-Wert setzte sich aus 8, der TSVOC-Wert aus 4 Einzelsubstanzen zusammen. Auch hier konnte der bei Teppich 9 erwähnte Phosphorsäureester nachgewiesen werden.

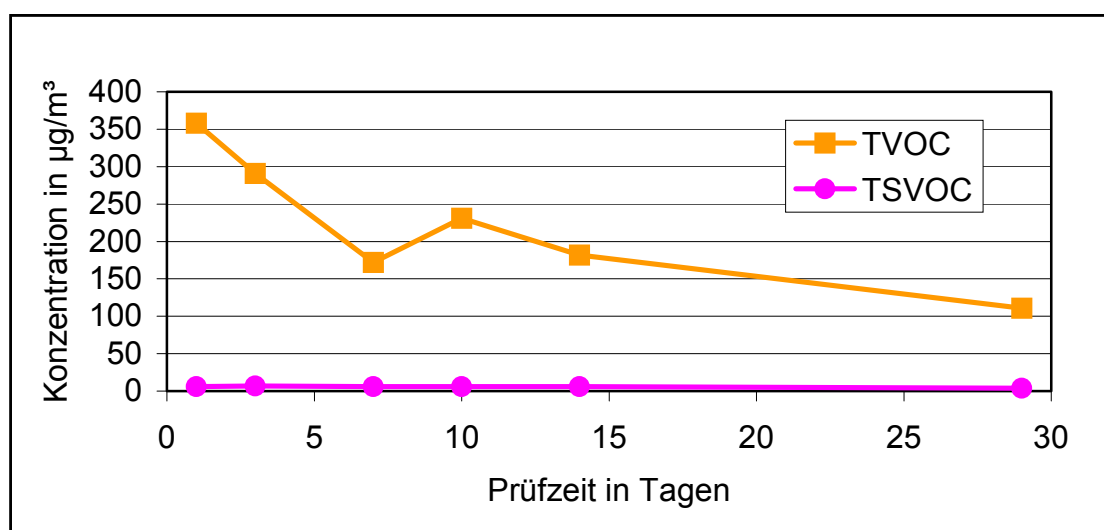


Abbildung 37: Verlauf der TVOC- und der TSVOC-Konzentration für Teppich 10

Tabelle 34: Konzentrationen der Einzelsubstanzen für Teppich 10

Teppich 10	24h	3.Tag	7.Tag	10.Tag	14.Tag	29.Tag
	Konzentration in µg/m³					
Essigsäure	315	260	155	215	170	105
Undekan	10	4	< BG	< BG	< BG	< BG
Dodekan	12	8	3	2	1	< BG
Tridekan	8	6	4	4	2	1
Tetradekan	1	1	1	1	1	< BG
4-Phenylcyclohexen	9	9	6	6	5	3
Pentadekan	1	1	1	1	1	1
Hexadekan	2	2	2	2	2	1
TVOC	358	291	172	231	182	111
Heptadekan	2	2	2	2	2	1
Oktadekan	2	2	2	2	2	1
PSE	1	2	1	1	1	1
Phthalat	1	1	1	1	1	1
TSVOC	6	7	6	6	6	4

3.1.2.19 Teppich 11

Bei dem Teppich 11 handelte es sich um ein Hartfasergewebe (Kokos) mit geprägtem Latexschaum als Rückenmaterial. Der Verlauf der TVOC-Konzentration ist in Abbildung 38 dargestellt. Aufgrund der sehr hohen Essigsäure-Konzentration, die auch kaum eine Abnahme zeigte, wies dieser Teppich die höchsten TVOC-Werte aller untersuchten Bodenbeläge auf.

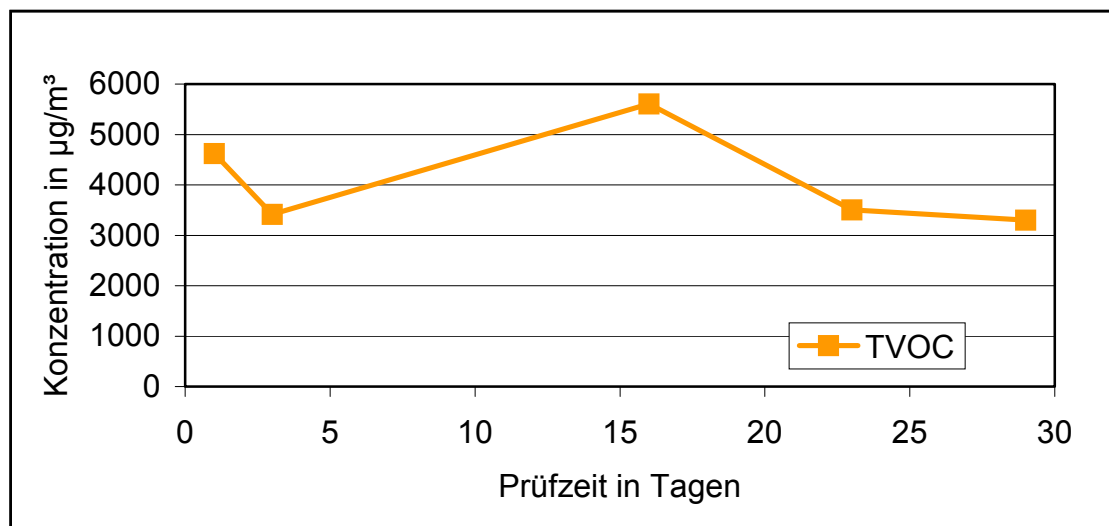


Abbildung 38: Verlauf der TVOC-Konzentration für Teppich 11

Tabelle 35: Konzentrationen der Einzelsubstanzen für Teppich 11

Teppich 11	24h	3.Tag	16.Tag	23.Tag	29.Tag
Naturfaser	Konzentration in µg/m³				
Essigsäure	4600	3400	5600	3500	3300
Furfural	1	1	< BG	< BG	< BG
Undekan	2	< BG	< BG	< BG	< BG
Dodekan	6	3	< BG	< BG	< BG
Tridekan	2	2	1	< BG	< BG
Oktansäure	5	2	1	1	< BG
Benzothiazol	3	2	1	1	1
Tetradekan	1	1	< BG	< BG	< BG
4-Phenylcyclohexen	2	2	1	< BG	< BG
BHT	2	2	2	1	1
Hexadekan	1	1	1	1	< BG
TVOC	4625	3416	5607	3504	3300
Heptadekan	1	1	1	1	< BG
Oktadekan	1	1	1	1	< BG
TSVOC	2	2	2	2	0

3.1.2.20 Teppich 12

Bei dem Teppich 12 handelte es sich um einen Teppich aus Polyamid mit Polypropylen-Bandgewebe als Trägermaterial und Latexplanschaum als Rückenmaterial. Der Verlauf der TVOC-Konzentration ist in Abbildung 39 dargestellt.

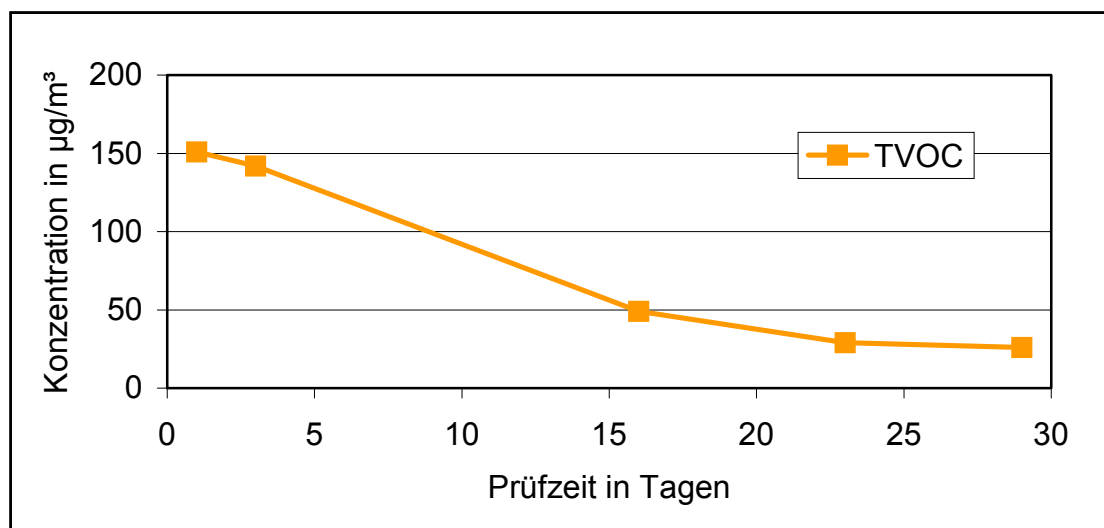


Abbildung 39: Verlauf der TVOC-Konzentration für Teppich 12

Tabelle 36: Konzentrationen der Einzelsubstanzen für Teppich 12

Teppich 12	24h	3.Tag	16.Tag	23.Tag	29.Tag
	Konzentration in µg/m³				
2-Ethylhexanol	5	3	1	< BG	< BG
Tridekan	9	9	5	1	1
Benzothiazol	3	3	1	1	2
4-Phenylcyclohexen	3	2	1	1	1
VOCs (n>20)	129	123	39	25	21
BHT	2	2	2	1	1
TVOC	151	142	49	29	26
TSVOC	0	0	0	0	0

3.1.2.21 Teppich 13

Bei dem Teppich 13 handelte es sich um einen Teppich aus Polyamid mit Polypropylen-Bandgewebe als Trägermaterial und Textiltrüben (Chemiefaservlies, vernadelt). Der Verlauf der TVOC-Konzentration ist in Abbildung 40 dargestellt.

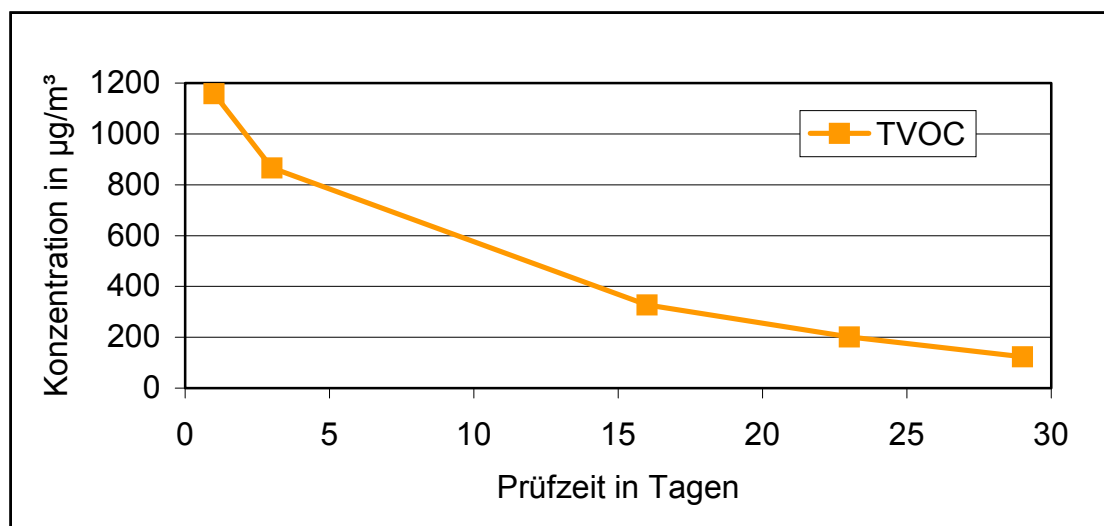


Abbildung 40: Verlauf der TVOC-Konzentration für Teppich 13

Tabelle 37: Konzentrationen der Einzelsubstanzen für Teppich 13

Teppich 13	24h	3.Tag	16.Tag	23.Tag	29.Tag
	Konzentration in µg/m³				
Ethylenglykol	150	140	30	30	20
Propylenglykol	260	260	90	70	40
2-Ethylhexanol	547	325	143	48	23
Dodekan	7	2	< BG	< BG	< BG
Tridekan	13	9	3	3	2
VOCs (n>20)	160	116	53	43	33
Tetradekan	13	9	5	5	4
4-Phenylcyclohexen	7	4	3	2	1
TXIB	2	1	1	1	1
TVOC	1159	866	328	202	124
TSVOC	0	0	0	0	0

3.1.2.22 Linoleum 1

Bei dem Linoleum 1 handelte es sich um homogenes Material mit Jutefaserrücken und einer Stärke von ca. 2 mm. Der Verlauf der TVOC-Konzentration ist in Abbildung 41 dargestellt. Der TVOC-Wert setzte sich aus 14 Einzelsubstanzen zusammen. Neben Essig- und Hexansäure waren dabei eine Reihe von Aldehyden zu finden.

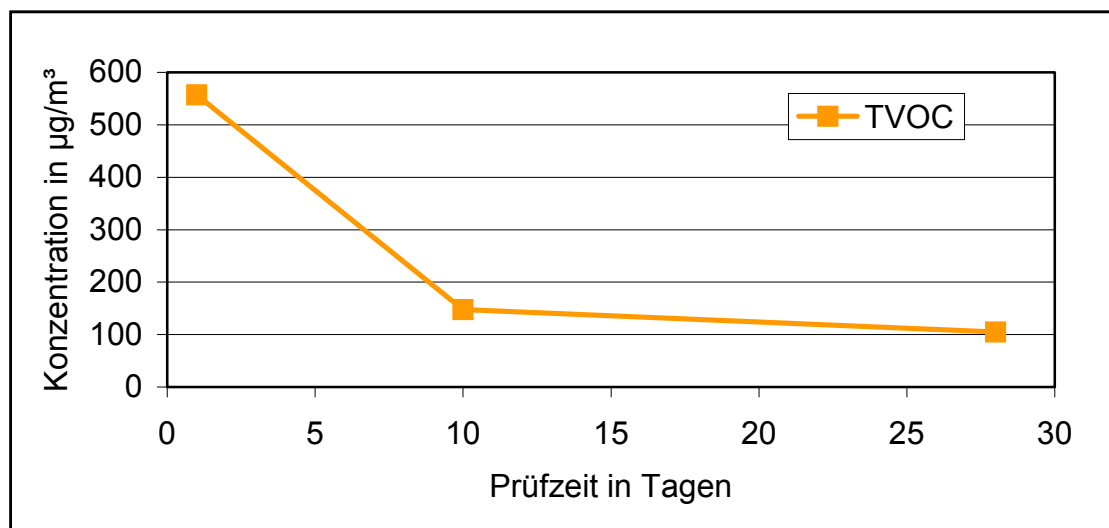


Abbildung 41: Verlauf der TVOC-Konzentration für Linoleum 1

Tabelle 38: Konzentrationen der Einzelsubstanzen für Linoleum 1

Linoleum 1	24h	10.Tag	28.Tag
	Konzentration in µg/m³		
Essigsäure	396	78	45
Hexanal	54	21	22
Hexansäure	42	17	14
Propylenglygolderivate	11	4	3
Oktanal	9	3	3
Tridekan	4	3	1
Nonanal	8	3	3
Oktenal	8	3	1
Tetradekan	3	2	1
Pentadekan	3	2	1
Dekenal	5	4	4
Hexadekan	6	5	5
Caprolacton	4	< BG	< BG
Undekenal	4	3	2
TVOC	557	148	105
Heptadekan	4	2	2
TSVOC	4	2	2

3.1.2.23 Linoleum 2

Bei dem Linoleum 2 handelte es sich um homogenes Material mit Jutefaserrücken und einer Stärke von ca. 2 mm. Der Verlauf der TVOC-Konzentration ist in Abbildung 42 dargestellt. Der TVOC-Wert setzte sich aus 10 Einzelsubstanzen zusammen. Wie bei Linoleum 1 waren dies meist organische Säuren und Aldehyde.

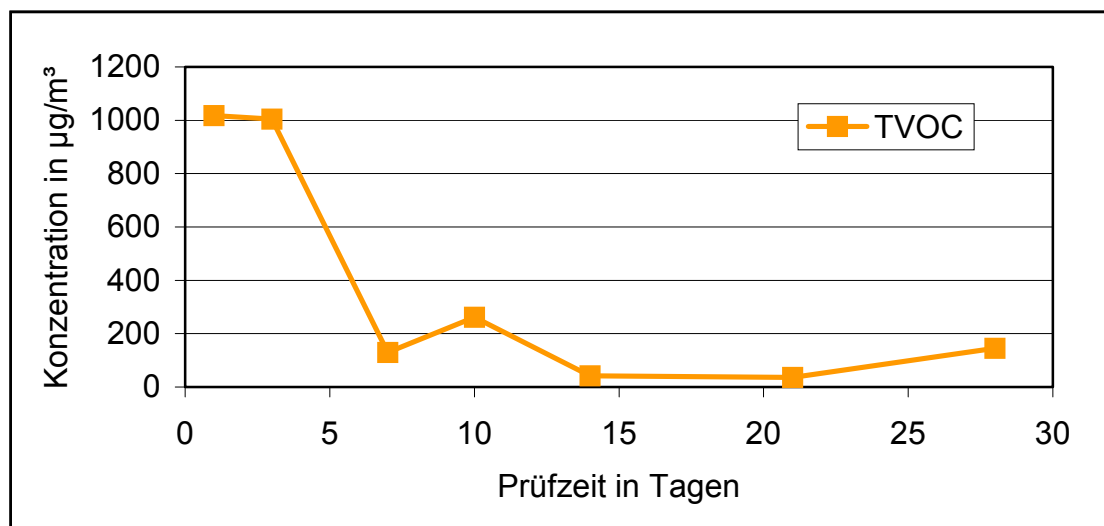


Abbildung 42: Verlauf der TVOC-Konzentration für Linoleum 2

Tabelle 39: Konzentrationen der Einzelsubstanzen für Linoleum 2

Linoleum 2	24h	3.Tag	7.Tag	10.Tag	14.Tag	21.Tag	28.Tag
	Konzentration in µg/m³						
Ameisensäure	397	402	65	73	< BG	< BG	< BG
Essigsäure	292	230	< BG	75	< BG	< BG	105
Propansäure	153	214	< BG	59	< BG	< BG	< BG
Hexanal	22	19	11	9	7	8	7
Hexansäure	84	86	37	33	24	17	22
Propylenglykoetherderivat	9	11	5	2	1	2	1
Nonanal	10	8	5	4	3	3	4
Oktansäure	16	22	4	5	5	4	4
Benzoessäure	29	7	0	0	0	0	0
2-Dekenal	6	5	3	2	2	2	2
TVOC	1018	1004	130	262	42	36	145
Dibutylphthalat	1	3	3	3	3	3	3
TSVOC	1	3	3	3	3	3	3

3.1.2.24 Linoleum 3

Bei dem Linoleum 3 handelte es sich um sich um homogenes Material mit Jutefaser-
rücken und einer Stärke von ca. 2 mm. Der Verlauf der TVOC-Konzentration ist in
Abbildung 43 dargestellt. Der TVOC-Wert setzte sich aus 10 Einzelsubstanzen zu-
sammen. Auch hier wurden wieder vorrangig organische Säuren und Aldehyde ge-
funden. Weiterhin wurden 3 SVOCs gefunden.

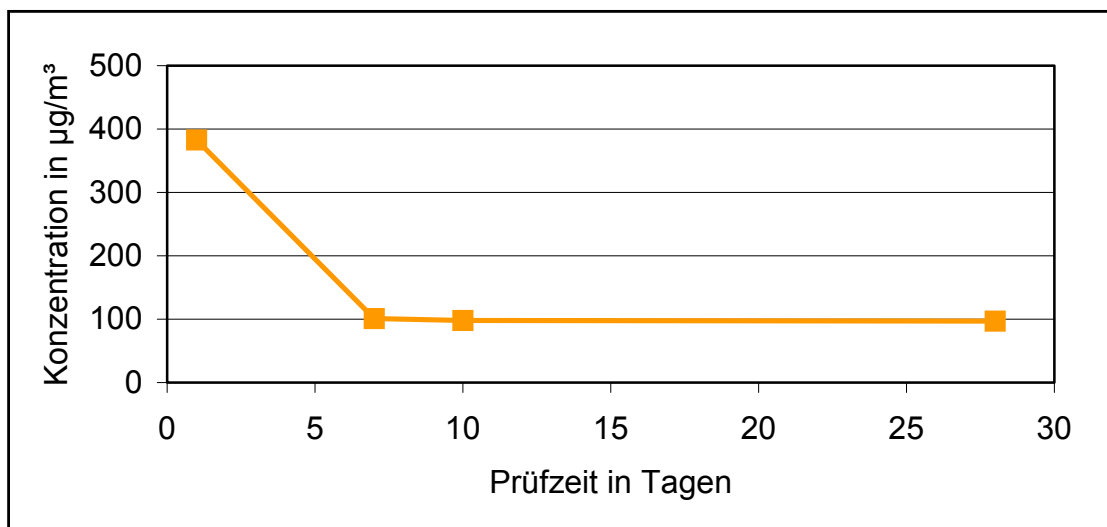


Abbildung 43: Verlauf der TVOC-Konzentration für Linoleum 3

Tabelle 40: Konzentrationen der Einzelsubstanzen für Linoleum 3

Linoleum 3	24h	3.Tag	7.Tag	10.Tag	14.Tag	21.Tag	28.Tag
	Konzentration in µg/m³						
Essigsäure	255	< BG	53	59	< BG	< BG	61
Pentanal	5	2	1	1	1	1	2
Hexanal	27	11	9	9	10	10	9
Hexansäure	36	19	9	8	3	4	6
Propylenglykolderivate	10	7	5	5	4	5	6
Oktanal	4	2	1	1	1	1	1
Nonanal	6	2	2	1	2	2	1
Oktansäure	4	3	2	2	2	1	2
Dekenal	4	2	2	2	2	2	1
Hexadekan	15	9	6	3	6	4	3
TVOC	366	57	90	91	31	30	92
Dodekanal	4	2	2	2	1	2	1
Heptadekan	10	6	4	3	4	3	2
Oktadekan	3	3	5	2	2	2	2
TSVOC	17	11	11	7	7	7	5

3.1.2.25 Polyolefin

Bei dem Polyolefin-Belag handelte es sich um ein homogenes Material mit einer Stärke von ca. 1,5 mm. Der Verlauf der TVOC-Konzentration ist in Abbildung 44 dargestellt. Der TVOC-Wert enthielt in diesem Fall nur eine Substanz, und zwar N-Methylpyrrolidon.

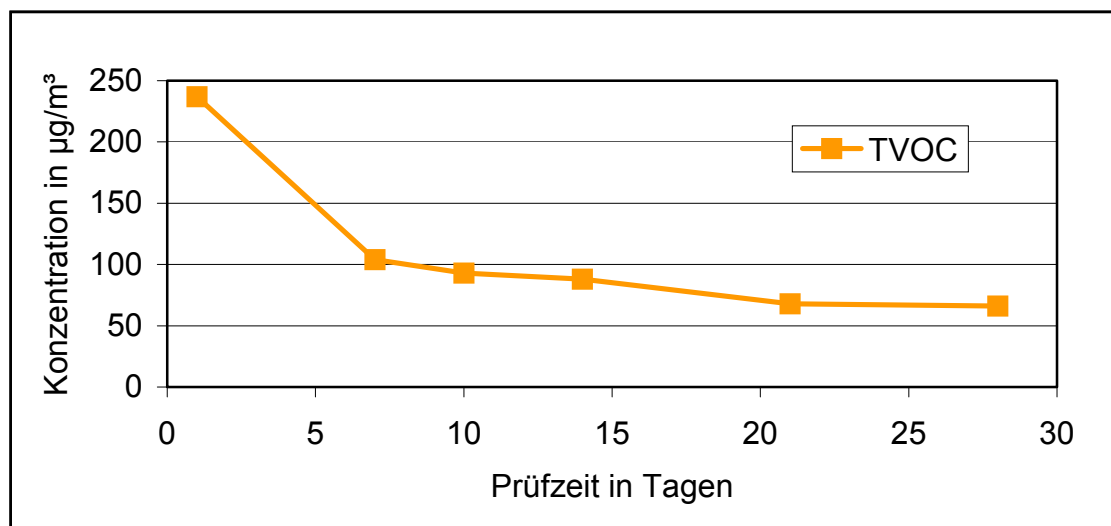


Abbildung 44: Verlauf der TVOC-Konzentration für den Polyolefin-Belag

Tabelle 41: Konzentrationen der Einzelsubstanzen für den Polyolefin-Belag

Polyolefin	24h	7.Tag	10.Tag	14.Tag	21.Tag	28.Tag
	Konzentration in µg/m³					
N-Methylpyrrolidon	237	104	93	88	68	66
TVOC	237	104	93	88	68	66
TSVOC	0	0	0	0	0	0

3.1.2.26 Kautschuk

Bei dem Kautschuk-Belag handelte es sich um ein heterogenes Material mit einer Stärke von ca. 1,5 mm. Der Verlauf der TVOC-Konzentration ist in Abbildung 45 dargestellt. Der TVOC-Wert setzte sich aus 10 Einzelsubstanzen zusammen, wobei Benzothiazol die Hauptkomponente war.

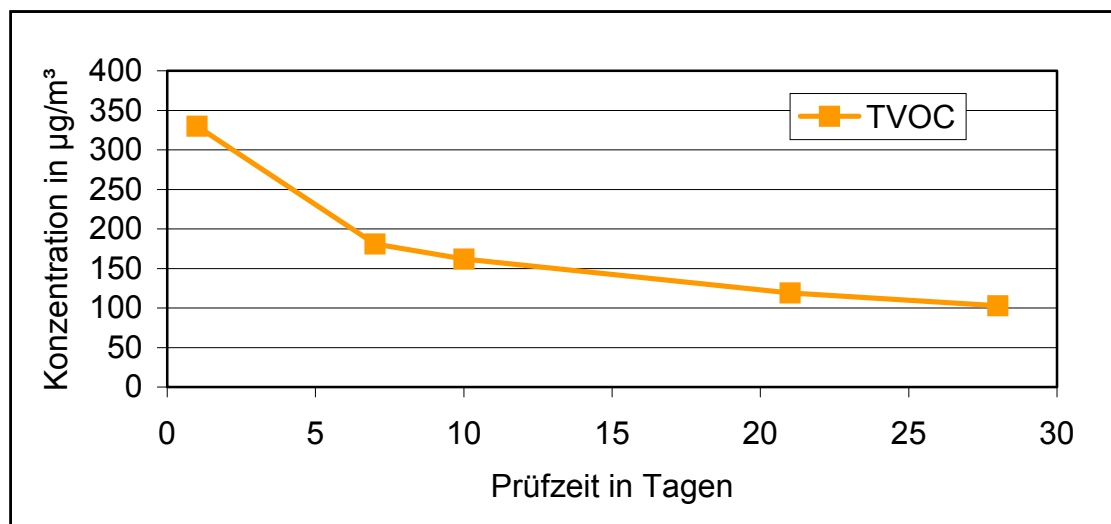


Abbildung 45: Verlauf der TVOC-Konzentration für den Kautschuk-Belag

Tabelle 42: Konzentrationen der Einzelsubstanzen für den Kautschuk-Belag

Kautschukbelag	24h	7.Tag	10.Tag	21.Tag	28.Tag
	Konzentration in µg/m³				
Styrol	20	8	7	4	3
unidentifizierte Substanz	44	25	23	15	13
Cyclohexanon	10	5	4	3	2
Benzaldehyd	20	7	4	4	3
Naphthalin	11	6	5	3	3
Tetradekan	2	2	2	2	1
Benzothiazol	209	117	106	79	69
Pentadekan	2	1	1	1	1
Sesquiterpen	6	4	4	3	3
BHT	6	6	6	5	5
TVOC	330	181	162	119	103
TSVOC	0	0	0	0	0

3.1.3 Komplettaufbauten

Einige bereits einzeln vermessene Produkte wurden hier als Komplettaufbauten geprüft. Für die Komplettaufbauten wurden 2 cm dicke Estrichplatten mit Abmessungen von 20 cm x 25 cm angefertigt, die vor der Verwendung mindestens 4 Wochen bei 23°C und 50 % r.F. gelagert wurden. Die Grundierung (siehe Abschnitt 3.1.1.14) wurde mit einem Pinsel unverdünnt mit 100 g/m² aufgestrichen, 1 Stunde später wurde die Spachtelmasse (siehe Abschnitt 3.1.1.15) ca. 2 mm hoch aufgegossen. Dazu wurde am Rand der Estrichplatte umlaufend selbstklebende Aluminiumfolie ca. 1 cm hochstehend angeklebt. Dieser Aufbau trocknete über Nacht, dann wurde die

Aluminiumfolie entfernt und der Kleber 36 (siehe Abschnitt 3.1.1.11) mit 300 g/m² aufgebracht. Die 3 verschiedenen Bodenbeläge (Teppich 1, Linoleum 1, PVC 1; siehe Abschnitte 3.1.2.8, 3.1.2.22, 3.1.2.3) wurden 15 min später aufgeklebt, danach wurden die BAM-Emissionszellen aufgesetzt. Der Gesamtaufbau ist in Abbildung 5 zu sehen.

3.1.3.1 Verbundsystem Grundierung/Spachtelmasse/Kleber36

Parallel zu den Komplettaufbauten wurde auch ein Verbundsystem aus Grundierung, Spachtelmasse und Kleber 36 auf Estrich ohne Fußbodenbelag vermessen, um Substanzen erfassen zu können, die eventuell durch das alleinige Vermischen der Verlegewerkstoffe entstehen könnten. Es wurden aber nur Substanzen gefunden, die den Einzelmaterialien zugeordnet werden konnten. Diese Substanzen sind in Tabelle 43 aufgelistet.

Tabelle 43: Aus dem Verbundsystem emittierende Substanzen und ihre Konzentrationen

Kleber 36	24h	10.Tag	28.Tag
auf Spachtelmasse/Grundierung	Konzentration in µg/m ³		
Aceton	45	120	103
Butanol	281	37	5
Essigsäure	250	46	< BG
Butylether	32	1	0
α-Pinen	82	14	1
Butylacetat	19	1	0
2-Ethylhexanol	502	52	14
Ethanol, 2,2'oxybis-	< BG	5	2
2-Ethylhexylacetat	39	3	1
α-Terpineol	82	12	2
Glykolether	129	51	20
Phenoxypropanol	47	26	7
TVOC	1508	368	155
SVOCs	165	91	55
TSVOC	165	91	55

Im wesentlichen handelte es sich hierbei um die aus dem Kleber festgestellten Verbindungen, die bis auf Aceton und Butanol beim Verbundsystem in geringeren Konzentrationen vorlagen.

3.1.3.2 Komplettaufbau Teppich

Tabelle 44 zeigt die Konzentrationen für die Substanzen aus dem Komplettaufbau Teppich (Grundierung, Spachtelmasse, Kleber 36, Teppich 1). Die Substanzen, die für den Teppich 1 (siehe Tabelle 24) allein nachgewiesen wurden (Cyclohexanol, VOC, Phenylcyclohexen), wurden hierbei mit fast gleichen Konzentrationen gefunden. Die anderen Substanzen stammen vom Kleber 36, wobei aus dem Komplettaufbau die schwerer flüchtigen VOCs α -Terpineol und Phenoxypropanol sowie die SVOC (nicht identifizierbar) des Klebers nicht gefunden wurden. Dafür konnte Dioxan nachgewiesen werden, welches vermutlich aus dem Kleber stammt, aber bei der Klebermessung nach 24 h schon vollständig emittiert war. Butanol zeigt nach 24 h nochmals eine Erhöhung im Vergleich zum Verbundsystem (siehe Tabelle 43). Die Emission von Ethylhexanol ist im Gegensatz dazu nach 24 h stark vermindert, zeigt aber nach 28 Tagen denselben Wert wie aus dem Verbundsystem.

Tabelle 44: Substanzen aus dem Teppich-Komplettaufbau mit Konzentrationen

Teppich 1 Komplettaufbau	24h	10.Tag	28.Tag
	Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
Aceton	73	56	88
Butanol	484	55	13
Dioxan	51	3	<BG
Butylether	44	3	1
α -Pinen	84	15	2
Butylacetat	29	2	<BG
Cyclohexanol	18	5	2
β -Pinen	26	6	1
VOC	126	34	12
2-Ethylhexanol	76	45	18
2-Ethylhexylacetat	4	3	1
4-Phenylcyclohexen	74	28	12
TVOC	1089	255	150
TSVOC	0	0	0

Abbildung 46 zeigt den Vergleich der Emissionen aus den Einzelmaterialien, dem System Kleber/Spachtelmasse/Grundierung und dem Komplettsystem mit Teppich als Balkendiagramm. Das Verbundsystem wies geringere Emissionen auf, als die Summe der Einzelmaterialien (Grundierung, Spachtelmasse, Kleber). Die Emissionen aus dem Komplettaufbau (Teppich als Deckschicht) lagen noch einmal niedriger.

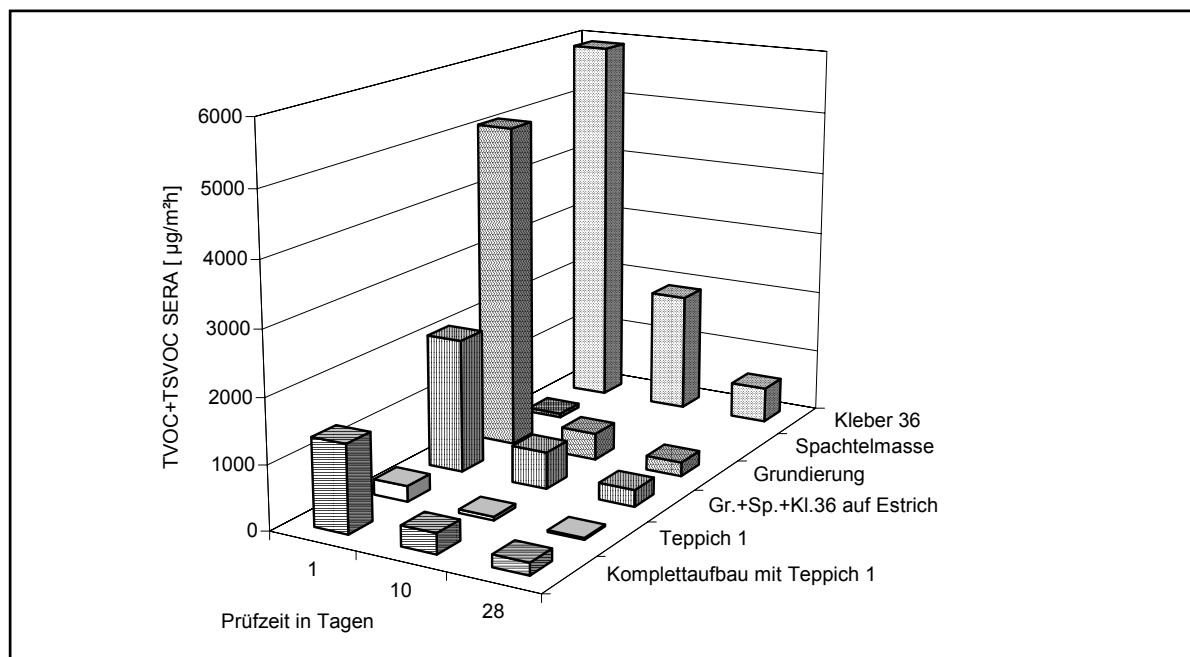


Abbildung 46: Vergleich der Emissionen aus Einzelmaterialien und dem Komplettanbau mit Teppich 1

3.1.3.3 Komplettanbau PVC

Der Komplettanbau mit PVC zeigte die gleichen Emissionen (Substanzen und Konzentrationen siehe Tabelle 45) wie der PVC-Belag als Einzelmaterial (siehe Tabelle 19). Es fand eine vollständige Versiegelung durch den Belag statt, auch nach über 200 Tagen konnten für das hier untersuchte System keine Emissionen aus den unteren Schichten des Aufbaus nachgewiesen werden.

Tabelle 45: Substanzen aus dem PVC-Komplettanbau mit Konzentrationsangaben

PVC 1	24h	10.Tag	28.Tag
Komplettanbau	Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
Propylenglykol	34	<BG	<BG
Cyclohexanol	7	3	2
2-Ethylhexanol	39	16	13
2-Ethylhexylacetat	11	4	4
Tetradekan	4	2	3
Pentadekan	3	2	3
TVOC	98	27	25
TSVOC	0	0	0

3.1.3.4 Komplettaufbau Linoleum

Ebenso wie bei dem Komplettaufbau mit PVC konnten aus dem Komplettaufbau mit Linoleum keine Emissionen aus den darunter liegenden Verlegewerkstoffen festgestellt werden. Die Emissionen des Linoleum-Komplettaufbaus, die in Tabelle 46 aufgeführt sind, entsprachen denen aus der Untersuchung des Einzelmaterials Linoleum (siehe Tabelle 38).

Tabelle 46: Substanzen aus dem Linoleum-Komplettaufbau mit Konzentrationen

Linoleum Komplettaufbau	24h	10.Tag	28.Tag
	Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
Essigsäure	112	130	65
Hexanal	54	19	19
Hexansäure	31	22	16
Glykolether	10	4	3
Oktanal	9	4	3
Tridekan	4	1	1
Nonanal	8	3	3
Oktenal	3	1	1
Tetradekan	4	1	1
Pentadekan	3	1	1
Dekenal	7	3	3
Hexadekan	5	4	3
Undekenal	4	3	3
TVOC	254	196	122
Heptadekan	4	2	3
TSVOC	4	2	3

3.1.3.5 System Kleber 12 / PVC

Durch die Ergebnisse aus Kapitel 3.1.3.3 und 3.1.3.4 stellte sich die Frage nach der grundsätzlichen Durchlässigkeit der elastischen Bodenbeläge. Im Expertenkreis wurde angemerkt, dass diese Bodenbeläge eine Durchlässigkeit gerade für polare Substanzen wie Glykolether zeigen müssten. Deshalb wurde ein Versuch durchgeführt, bei dem Kleber 12 (siehe Tabelle 11), der Butyldiglykol und N-Methylpyrrolidon als Hauptemissionen aufwies, auf einer Glasplatte mit einem 2 mm dicken PVC-Belag abgedeckt wurde. Mit Hilfe einer aufgesetzten BAM-Emissionszelle wurde über einen Zeitraum von mehr als 100 Tagen der Luftraum über dem PVC auf diese Substanzen untersucht. In Abbildung 47 sind die Konzentrationsverläufe dargestellt. Es zeigte

sich, dass tatsächlich eine Permeation von Butyldiglykol und N-Methylpyrrolidon durch den PVC-Belag auftrat. Butyldiglykol konnte dabei nach 20 Tagen in der Zelle gemessen werden, N-Methylpyrrolidon wurde nach 62 Tagen nachgewiesen.

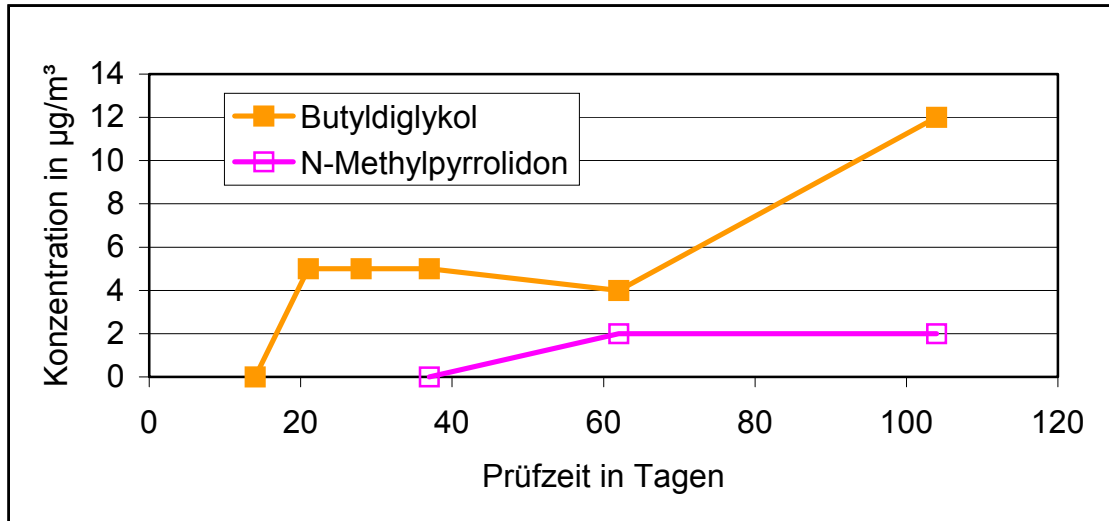


Abbildung 47: Permeation von Butyldiglykol und N-Methylpyrrolidon durch PVC

3.1.4 Sekundäremissionen

Als Sekundäremissionen werden Emissionen von Substanzen bezeichnet, die erst durch chemische Reaktion im Material oder der Innenraumluft entstehen. Abhängig von der Art der Reaktion können solche Emissionen zeitverzögert auftreten.

In den nachfolgenden Kapiteln werden Emissionen aus zwei der untersuchten Kleber beschrieben, die erst nach mehreren Wochen auftraten. Dabei wurden in beiden Fällen gleichartige Substanzen gefunden. In einem weiteren Versuch wurde Kleber 4 mit einem Teppich auf einer Glasplatte abgedeckt, auch hierbei traten die Sekundäremissionen auf.

3.1.4.1 Sekundäremissionen aus Fußbodenklebern

Bei den Untersuchungen an den EC-1 Klebern konnten bei 2 Klebern Sekundäremissionen nachgewiesen werden. Hierbei handelte es sich um Carbonylverbindungen (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, Ok-

tanal, 2-Oktanon, Nonanal, 2-Octenal, Dekanal, 2-Nonenal, 3-Isopropylbenzaldehyd, Propionsäure, Buttersäure, Valeriansäure, Hexansäure und Heptansäure. Dabei ist anzumerken, dass die Säuren zeitverzögert erst einige Wochen nach den entsprechenden Aldehyden auftraten. Auffällig war, dass die Heptansäure die höchsten Konzentrationen aufwies (Anstieg bis $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$, siehe Abbildung 48).

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. Abbildung 48 zeigt den Konzentrationsverlauf am Beispiel von Hexanal bzw. Heptanal und den entsprechenden Säuren Hexan- bzw. Heptansäure aus Kleber 4 (siehe Abschnitt 3.1.1.6). Die Aldehyde traten dabei zuerst nach 46 Tagen auf, zeigten einen Konzentrationsanstieg über 30 Tage und danach einen Konzentrationsabfall. Die Hexansäure zeigte zeitversetzt einen ähnlichen Verlauf, bei der Heptansäure dagegen war vom ersten Auftreten nach 56 Tagen bis zum 154. Tag ein Konzentrationsanstieg zu beobachten.

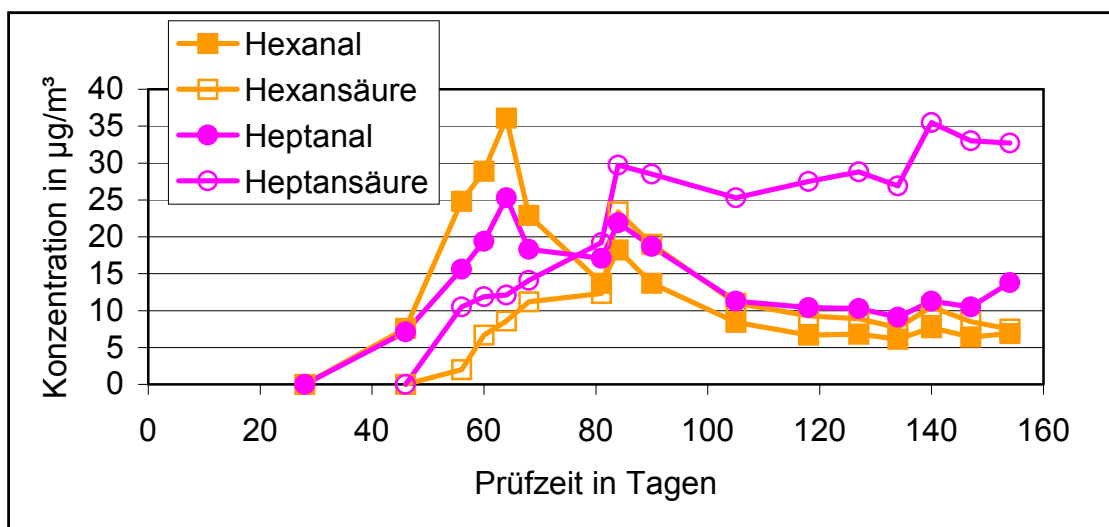


Abbildung 48: Konzentrationsverlauf ausgesuchter Aldehyde und Säuren, die als Sekundäremissionen auftraten, bei Kleber 4

Bei den Emissionsmessungen an Kleber 6 (siehe Abschnitt 3.1.1.7) konnten die Aldehyde schon innerhalb der Prüfzeit von 28 Tagen nachgewiesen werden. Auch hier traten zeitverzögert wieder entsprechende Säuren auf, mit ebenfalls den höchsten

Konzentrationen für Heptansäure. Die Konzentrationsverläufe für einige Sekundäremissionen aus Kleber 6 sind in Abbildung 49 dargestellt.

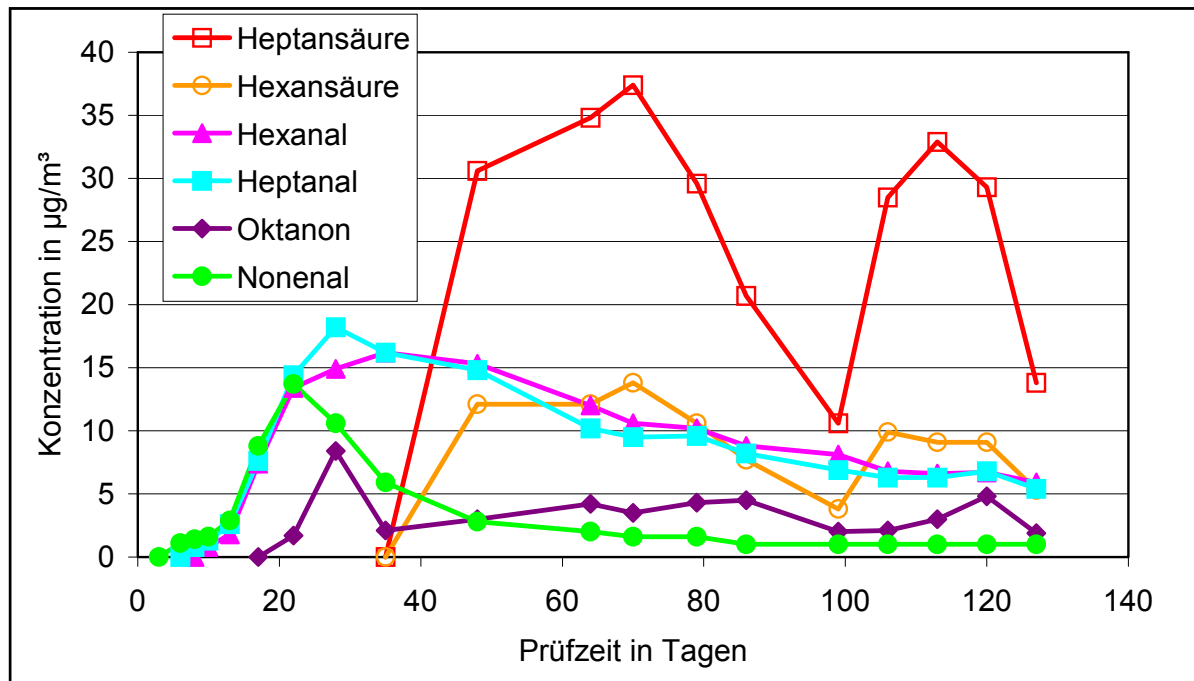


Abbildung 49: Konzentrationsverläufe einiger Sekundäremissionen aus Kleber 6

3.1.4.2 Sekundäremissionen aus dem System Kleber/Teppich

Die Sekundäremissionen von Aldehyden und organischen Säuren traten auch bei einer Versuchsreihe auf, bei der Kleber 4 mit einem Teppich bedeckt wurde (Glasplatte als Untergrund) und parallel dazu noch einmal der Kleber 4 alleine auf Glasplatte als Untergrund vermessen wurde (siehe Abbildung 50). Heptanal und Heptansäure traten bei diesem Wiederholungsversuch für den Kleber 4 diesmal früher auf, was mit der Alterung des Klebers im Topf seit der ersten Emissionsmessung über 8 Monate zu erklären sein könnte. Die Emission von Heptanal (stellvertretend für die anderen Aldehyde) aus dem System Kleber/Teppich trat zeitgleich wie im Parallelversuch ohne Teppich auf. Die Heptansäure dagegen trat später auf, und zeigte einen deutlich langsameren Konzentrationsanstieg als im Versuch ohne Teppich. Nach 100 Tagen ist die Emission von Heptansäure bei beiden Versuchen gleich, wobei im Versuch ohne Teppich ein Abklingen zu beobachten war, im Gegensatz zum Versuch mit Teppich, wo bis zum 104. Tag ein Anstieg zu verzeichnen war.

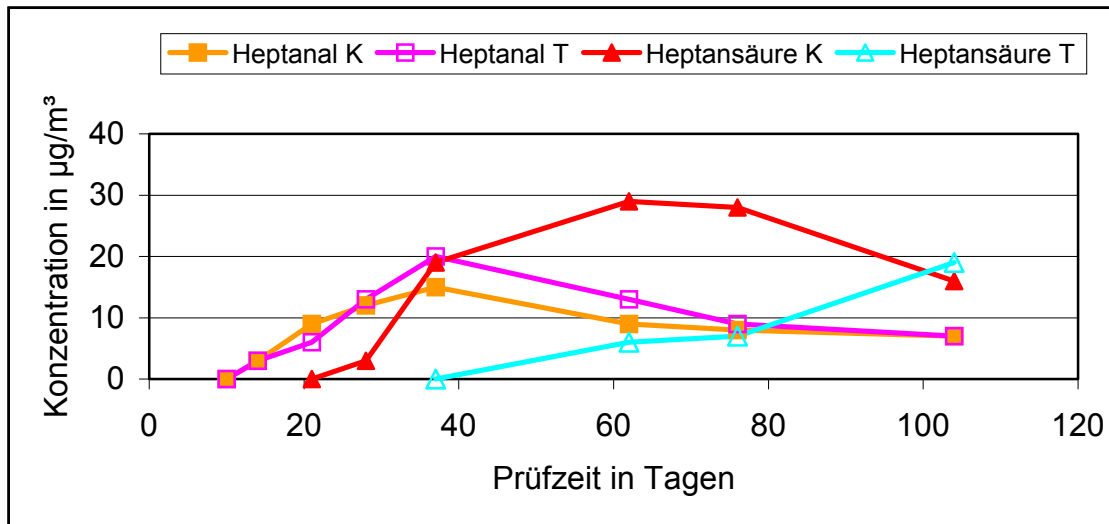


Abbildung 50: Vergleich der Sekundäremissionen aus Kleber 4 mit (T) und ohne (K) Teppichbedeckung

Die Quelle dieser Sekundäremissionen ist noch nicht abschließend 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 [46].

Deshalb wurde für einen Versuch ein Kleber mit 3 % Tallharzfettsäureestern (Jodzahl 131), welche für Fußbodenkleber teilweise zu Einsatz kommen, angereichert. Dann wurde der Kleber ohne Tallharzester über 86 Tage mit dem angereicherten Kleber parallel in Emissionsmesszellen untersucht. Aus dem mit Tallharzfettsäureestern angereicherten Kleber konnten nur sehr geringe Emissionen (ca. $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) an Hexanal und Nonenal ab dem 51. Tag nachgewiesen werden. Ein Anstieg dieser beiden Substanzen oder das Auftreten von anderen Substanzen wurden bis zum 86. Tag nicht beobachtet.

3.1.4.3 Komplettaufbauten nach Entfernung der Bodenbeläge

An den drei Komplettsystemen wurden Messungen nach Entfernen der Bodenbeläge durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt liefen die Versuche 204 Tage und die Gesamtemission aller 3 Aufbauten war auf unter $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ abgeklungen. Nach der Entfernung der Bodenbeläge stiegen die VOC-Emissionen aus dem verbliebenen Ver-

bundsystem besonders im Falle von PVC und Linoleum, welche eine starke Ab-sperrwirkung gegenüber dem darunter liegendem Verbundsystem zeigten, wieder stark an. Während 19 Stunden nach Entfernen des Teppichbodens beispielweise für Ethylhexanol eine Konzentration von $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ermittelt wurde, emittierte der Bodenaufbau ohne Linoleum $291 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und der Bodenaufbau ohne PVC $1096 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dies überstieg sogar die Konzentration aus dem Kontroll-Bodenaufbau ohne Bodenbelag nach 24 Stunden. Außerdem wurden eine Reihe von Substanzen gefunden, die weder Bestandteil der Emissionen aus dem Komplettaufbau noch aus den Einzelmaterialeien waren. Hiervon konnte allerdings nur Nonanol identifiziert werden. Die Gesamtkonzentration dieser Substanzen betrug $788 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (berechnet als Cyclodekänäquivalent).

Aus dem Bodenaufbau ohne Linoleum wurden nach 19 Stunden typische Linoleum-emissionen wie Aldehyde und Carbonsäuren gefunden, allerdings traten daneben auch die Alkohole von Pentanol bis Oktanol auf. Interessanterweise war dabei die Konzentration an Pentanol, Heptanol und Oktanol größer als die der entsprechenden Aldehyde, im Gegensatz zum Hexanol, welches in viel geringerer Konzentration als Hexanal emittierte. Obwohl Nonanal von allen Aldehyden die höchste Konzentration ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) aufwies, konnte Nonanol nicht nachgewiesen werden. Als zusätzliche Sekundäremissionen wurden noch zwei nicht genau zu identifizierende Propylenglykol-derivate nachgewiesen.

3.2 Untersuchungen für die Entwicklung des Prüfverfahrens

3.2.1 Probenherstellung

Die Probenherstellung sollte einen Einfluss auf die resultierenden Konzentrationen in der Prüfkammer haben. Um die Auswirkungen unterschiedlicher Herstellungsverfahren abschätzen zu können, wurden Versuchsreihen mit unterschiedlicher Auftragsmenge (Schichtdicke) und Auftragsart sowie unterschiedlichem Trägermaterial durchgeführt.

3.2.1.1 Einfluss des Untergrundes (Trägermaterial)

Für diese Untersuchung wurde Kleber 22 (siehe Abschnitt 3.1.1.9) nach GEV-Methode auf eine Glasplatte und parallel dazu in der gleichen Art und Weise auf eine 4 Wochen lang klimatisierte Estrich-Platte aufgetragen. In Abbildung 51 sind die Verläufe der TVOC- und der TSVOC-Konzentrationen dargestellt. Während die TVOC-Werte des Klebers auf Estrich deutlich geringer ausfallen, zeigt sich beim Vergleich der TSVOC-Werte kein Unterschied.

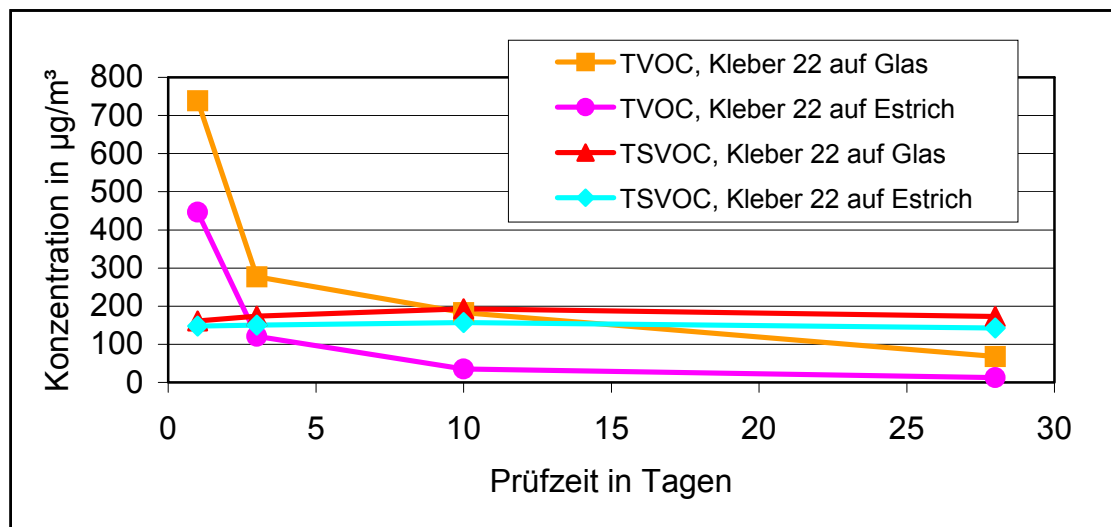


Abbildung 51: Verlauf der TVOC- und TSVOC-Konzentrationen für Kleber 22 auf Glas und Estrich

In einem weiteren Versuch wurde Kleber 36 auf eine Glasplatte (siehe Abschnitt 3.1.1.11) und parallel dazu auf einen ausgehärteten Untergrund aus Estrich, Grundierung und Spachtelmasse aufgetragen. In Abbildung 52 sind die Verläufe der TVOC-Konzentrationen dargestellt. Die Emissionen aus dem Kleber auf der Glasplatte waren auch hierbei deutlich höher. Beim Vergleich der Einzelsubstanzen der Emission ergab sich der größte Unterschied bei der Essigsäure, die bei der Messung auf Glas die Hauptkomponente war. Anscheinend wurde diese Substanz im alkalischen Medium der Spachtelmasse besonders gut zurückgehalten, wahrscheinlich sogar neutralisiert. Aber auch die anderen Substanzen zeigten eine Verminderung der Emissionsrate zwischen 20 und 35 Prozent. Eine Erklärung für diese Verminderung ist eine Adsorption der Substanzen an bzw. in der Spachtelmasse, die an der inerten Glasplatte nicht auftritt.

Wie bei Kleber 22 ist auch bei Kleber 36 für die TSVOC-Konzentrationen kaum ein Unterschied festzustellen (Abbildung 53).

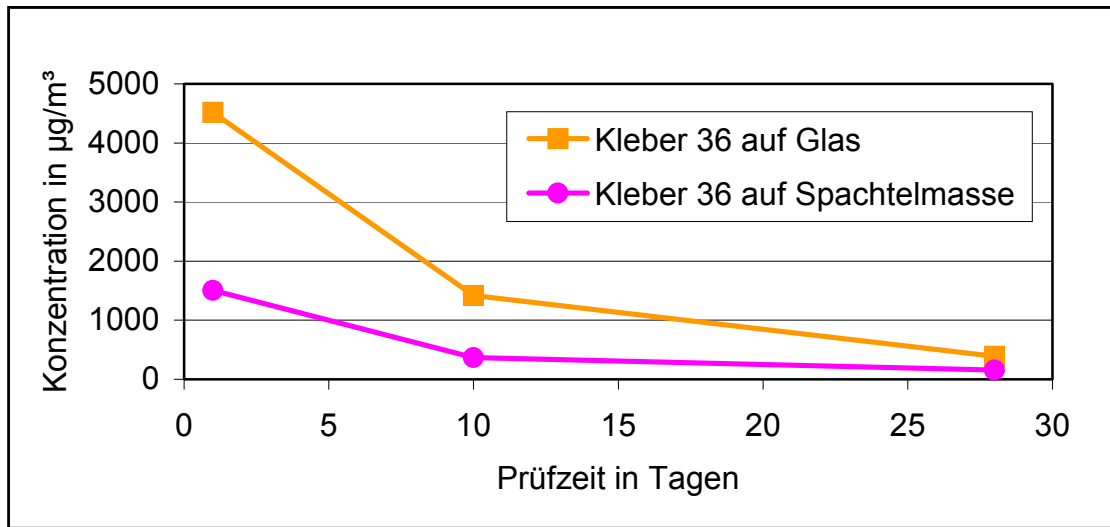


Abbildung 52: Verlauf der TVOC-Konzentration für Kleber 36 auf Glas und auf Spachtelmasse

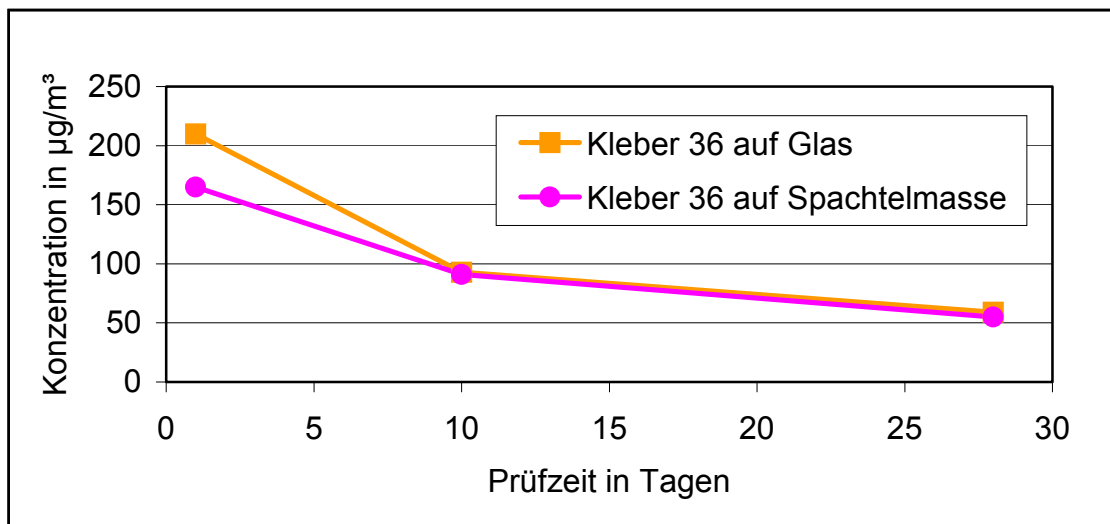


Abbildung 53: Verlauf der TSVOC-Konzentration für Kleber 36 auf Glas und auf Spachtelmasse

3.2.1.2 Einfluss der Auftragsmenge

Um den Einfluss der Auftragsmenge bzw. der Schichtdicke zu charakterisieren, wurden mit einem Rakel drei verschiedene Schichtdicken auf Glasplatten aufgebracht. Die eingestellten Soll-Schichtdicken waren dabei 150 μm , 300 μm und 450 μm . Durch Abwiegen der belegten Glasplatten wurden die entsprechenden Auftragsmengen mit 200 g/m^2 , 300 g/m^2 und 400 g/m^2 ermittelt, wobei die Auftragsmengen genauer zu bestimmen waren als die Rakeleinstellung.

In Abbildung 54 und Abbildung 55 sind die Ethylhexanolkonzentrationen (Hauptkomponente) für die unterschiedlichen Auftragsmengen dargestellt. Es ist eine Abhängigkeit der Konzentration von der Auftragsmenge zu erkennen. Über den gesamten Zeitraum von 28 Tagen war die Ethylhexanolkonzentration für die größte Auftragsmenge am höchsten und für die geringste Auftragsmenge am kleinsten. Dabei ergab sich aber keine Verdoppelung der Konzentration durch die Verdoppelung der Auftragsmenge.

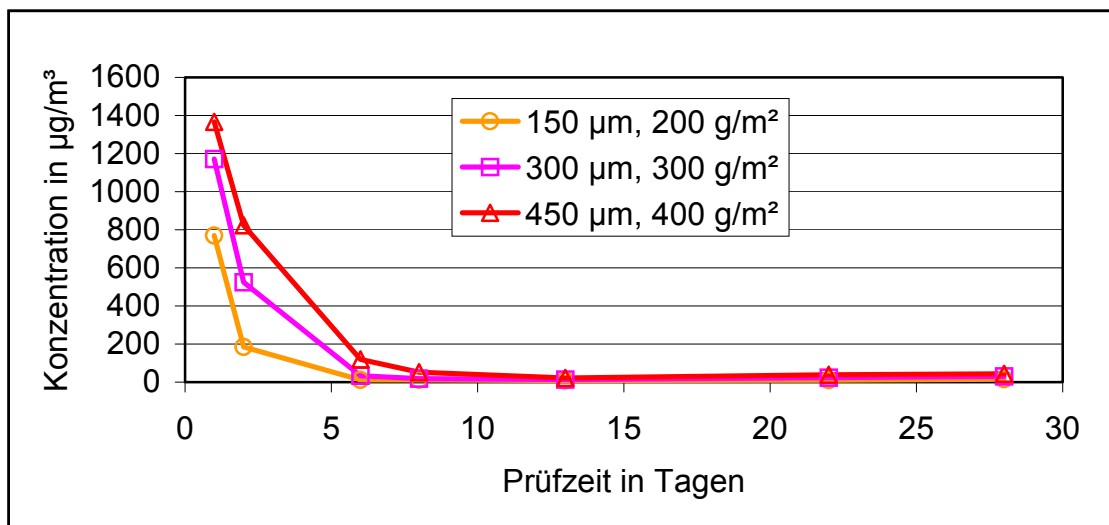


Abbildung 54: Verlauf der Ethylhexanol-Konzentration für unterschiedliche Auftragsmengen von Kleber 6

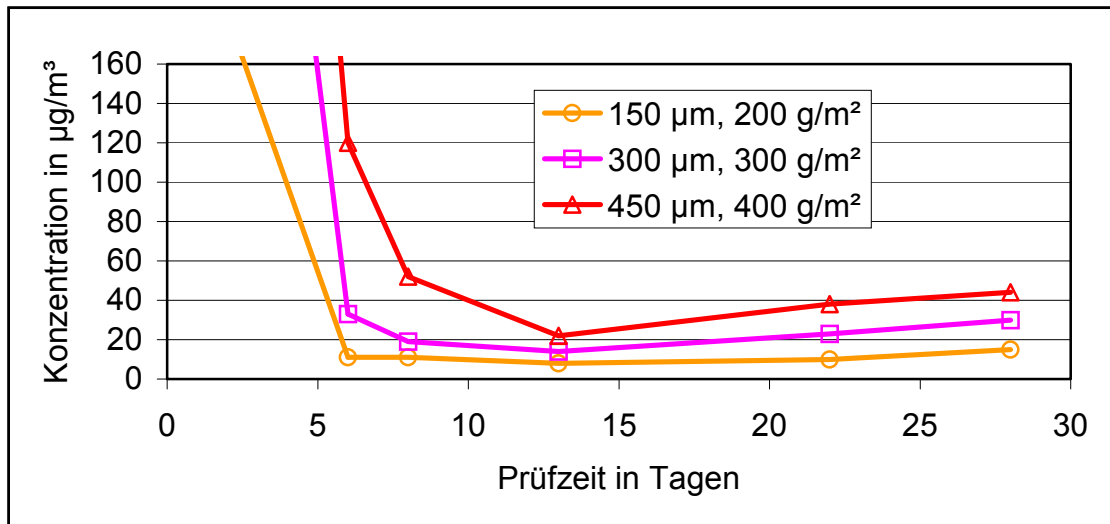


Abbildung 55: Verlauf der Ethylhexanol-Konzentration für unterschiedliche Auftragsmengen von Kleber 6 (andere Skalierung)

Die für die einzelnen Prüftage ermittelten Ethylhexanolkonzentrationen wurden auf eine Auftragsmenge von 300 g/m² normiert und sind in Abbildung 56 vergleichend dargestellt. Für die Normierung wurden die Konzentrationen für 200 g/m² und 400 g/m² mit dem Faktor 1,5 (300/200) bzw. dem Faktor 0,75 (300/400) multipliziert. Es zeigte sich, dass bei der Normierung die Konzentration für eine Auftragsmenge von 200 g/m² niedriger ausfallen würde als für 300 g/m². Eine Normierung der Konzentration für eine Auftragsmenge von 400 g/m² auf 300 g/m² ergab höhere Werte.

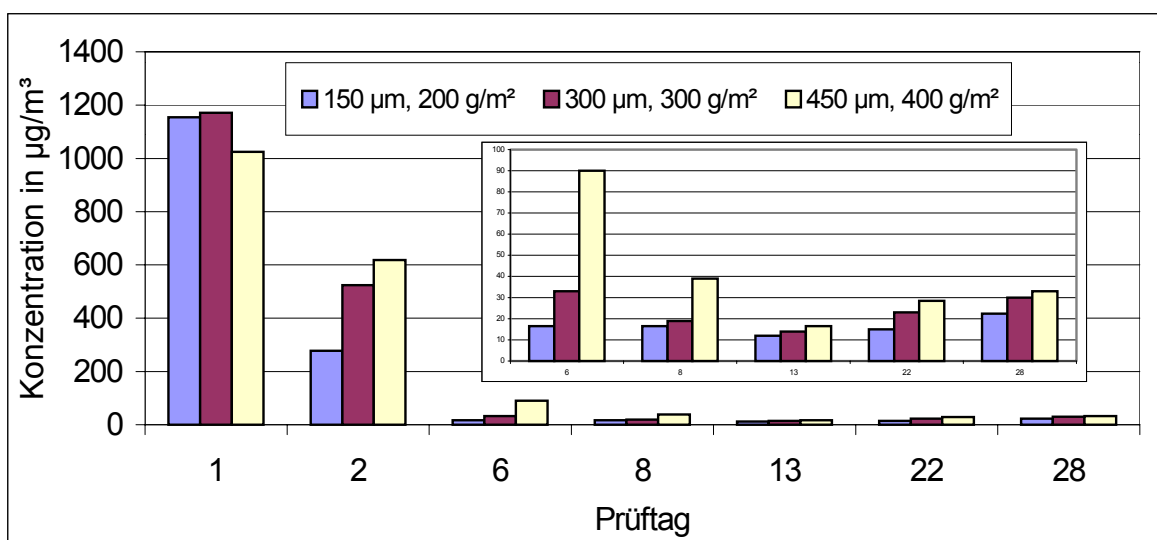


Abbildung 56: Ethylhexanol-Konzentration bei Normierung unterschiedlicher Auftragsmengen auf 300 g/m²

3.2.1.3 Einfluss der Auftragsart

Für die Untersuchungen zum Einfluss der Auftragsart wurde Kleber 6 einmal mittels Zahnpachtel (B 1) und einmal mittels Raketel auf Glasplatte aufgebracht, wobei die Auftragsmenge in beiden Fällen mit 300 g/m^2 gleich war. Der Konzentrationsverlauf für die Hauptkomponente Ethylhexanol ist in Abbildung 57 dargestellt.

Aufgrund der übereinstimmenden Abklingkurve konnte ein Einfluss der Auftragsart nicht festgestellt werden.

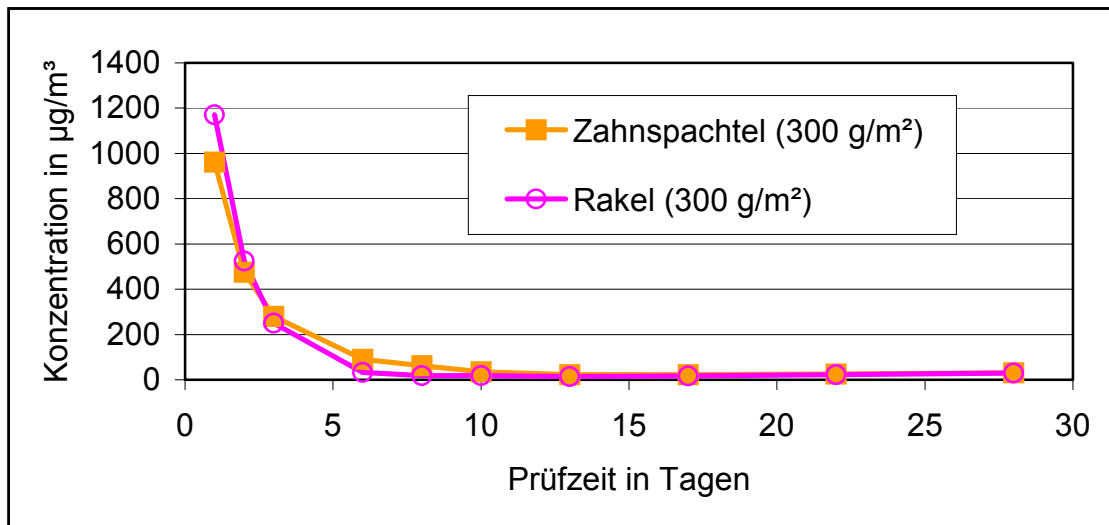


Abbildung 57: Verlauf der Ethylhexanol-Konzentration bei unterschiedlicher Auftragsart von Kleber 6

3.2.2 Vergleich von Kammer- mit Zellenmessungen

Für einen Vergleich der Emissionen in unterschiedlichen Prüfkammern bzw. Messzellen wurde Kleber 1 parallel in einer 1-m³-Kammer (Heraeus, Edelstahl), einer 20-l-Kammer (BAM, Glas), der FLEC (Edelstahl) und der 1-l-BAM-Emissionsmesszelle (Glas) vermessen. Die BAM-Zelle wurde hierbei noch ohne Ventilator betrieben. Die flächenspezifische Luftdurchflussrate war bei allen vier Versuchsreihen auf $q = 1,25 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ eingestellt.

Die Verläufe der TVOC-Konzentrationen in den vier Prüfkammern bzw. Prü fzellen (siehe Abbildung 58) zeigten eine sehr gute Übereinstimmung. Die Standardabweichungen vom Mittelwert der Einzeltagesmessungen lagen bei maximal 11 Prozent. Nur für den 24-Stunden-Wert wurde eine größere Abweichung (21 %) berechnet.

Diese Standardabweichungen liegen im Bereich der Standardabweichung der gesamten Prüfmethodik, so dass von einer sehr guten Übereinstimmung der Emissionsmessungen an den eingesetzten unterschiedlichen Kammern ausgegangen werden konnte.

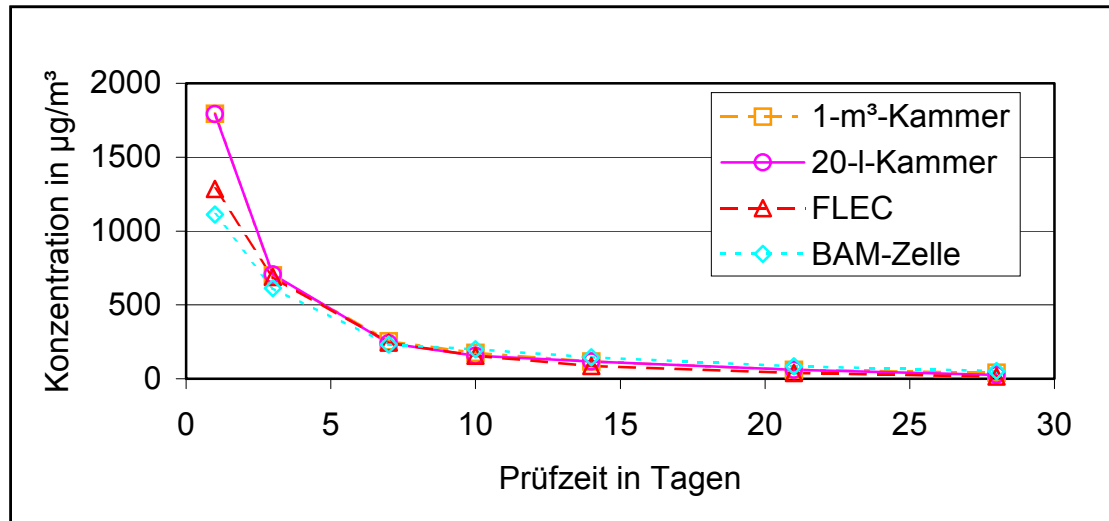


Abbildung 58: Vergleich der TVOC-Konzentrationen bei Messungen für Kleber 1 an unterschiedlichen Kammern mit $q = 1,25 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$

Beim Vergleich der Emissionsmessungen an Kleber 1 mit unterschiedlichen Prüfkammern oder Messzellen war eine gute Übereinstimmung der Messwerte für die TVOC-Konzentration festzustellen. Im Gegensatz dazu wurden für einzelne Substanzen größere Abweichungen gefunden. Für die weiteren Versuche wurden deshalb die BAM-Emissionsmesszellen zur Optimierung der Luftdurchmischung mit Ventilatoren wie in den 20-l-Kammern ausgestattet.

Auch für einen PVC-Belag wurden vergleichende Messungen an der 20-l-Kammer, der FLEC und der BAM-Messzelle (mit Ventilator) durchgeführt. Hierbei wurde die flächenspezifische Luftdurchflussrate ebenfalls für alle drei Messreihen auf $q = 1,25 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ eingestellt. Abbildung 59 zeigt die TVOC-Konzentrationen im Vergleich, Abbildung 60 zeigt den Vergleich der TSVOC-Konzentrationen.

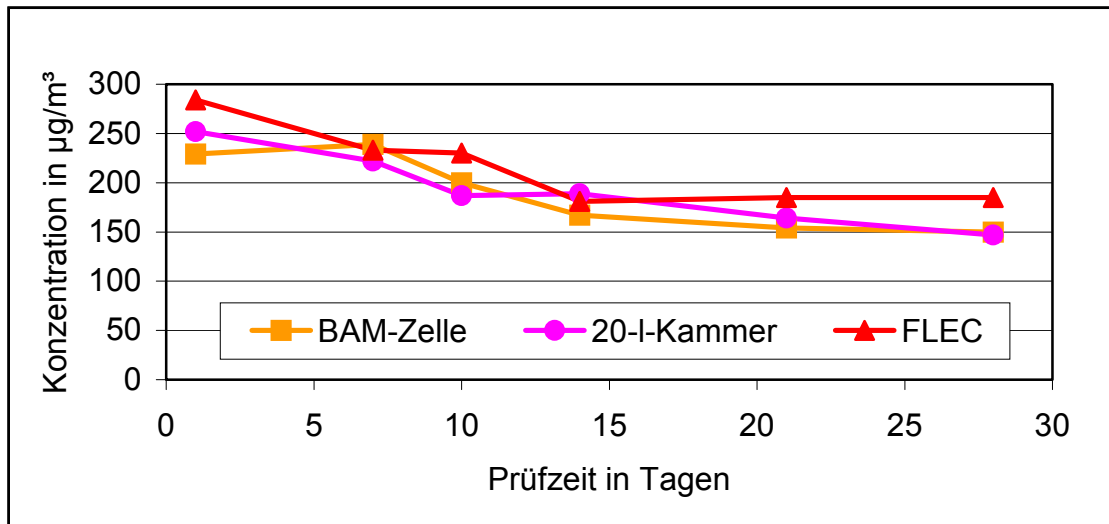


Abbildung 59: Vergleich der TVOC-Konzentrationen bei Messungen für PVC 2 an unterschiedlichen Kammern mit $q = 1,25 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$

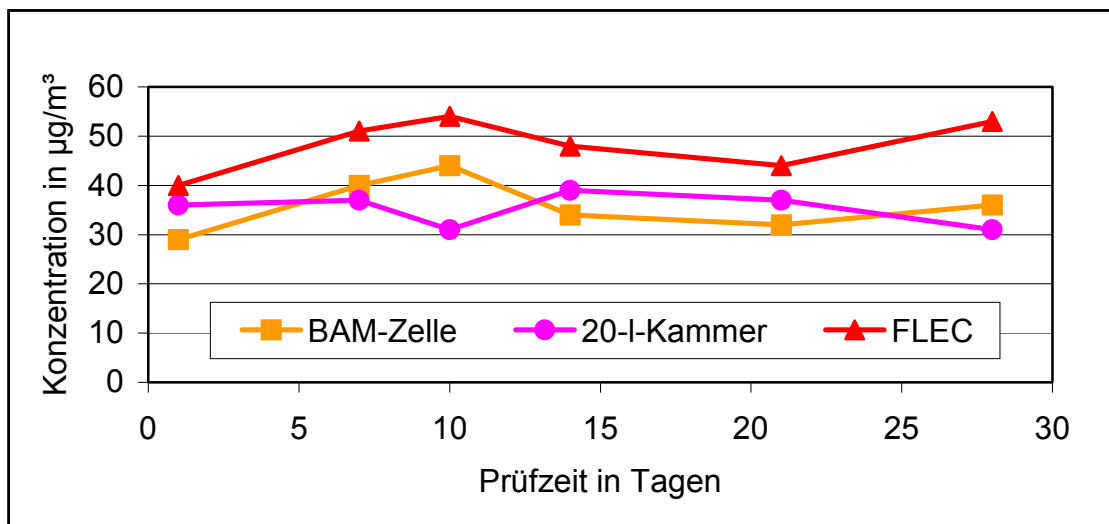


Abbildung 60: Vergleich der TSVOC-Konzentrationen bei Messungen für PVC 2 an unterschiedlichen Kammern mit $q = 1,25 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$

Es zeigte sich auch für die Untersuchungen an PVC 2 eine gute Vergleichbarkeit der TVOC-Ergebnisse beim Einsatz unterschiedlicher Prüfkammern. Die Standardabweichung vom Mittelwert der Einzeltagesmessungen betrug maximal 11 Prozent.

Für den TSVOC-Wert ergab sich eine mittlere Standardabweichung von 17 %. Dabei zeigten die BAM-Zelle und die 20-l-Kammer eine gute Übereinstimmung, die FLEC

ergab etwas höhere TSVOC-Werte. Dies könnte mit dem in Abschnitt 2.1.5 beschriebenen Verhältnis von emittierender Fläche zu Wandfläche zusammenhängen, welches für die BAM-Emissionszelle und die 20-l-Kammer mit 0,27 den gleichen Wert aufweist, während die FLEC ein „besseres“ Verhältnis von näherungsweise 1 aufweist.

3.2.3 Vergleich von Messungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten

Hierbei werden die TVOC- und TSVOC-Konzentrationen der Prüfkammermessungen nach 24 Stunden und 10 Tagen mit denen nach 28 Tagen in Hinblick auf den Versuch einer Ableitung von Langzeitemissionen aus Kurzzeitmessungen verglichen. In Abschnitt 3.2.3.1 und Abschnitt 3.2.3.2 (Abbildungen 61 bis 68) sind diese Vergleiche für die Fußbodenkleber und Bodenbeläge dargestellt.

Bei den Klebstoffmessungen besteht zwischen 24 Stunden- und 28 Tage-Kammerwert kaum ein systematischer Zusammenhang. Dies gilt auch für den Vergleich der Prüfkammermesswerte nach 10 und 28 Tagen. Hier zeigt sich, dass die untersuchten Kleber ein sehr unterschiedliches Abklingverhalten haben.

Der Vergleich der Messungen an den Bodenbelägen ergibt ebenfalls keine guten Korrelationen, allenfalls für die PVC-Beläge könnte eine Vorhersage des 28 Tage-wertes aus dem 10 Tagewert möglich sein (Abbildung 66).

3.2.3.1 Fußbodenkleber

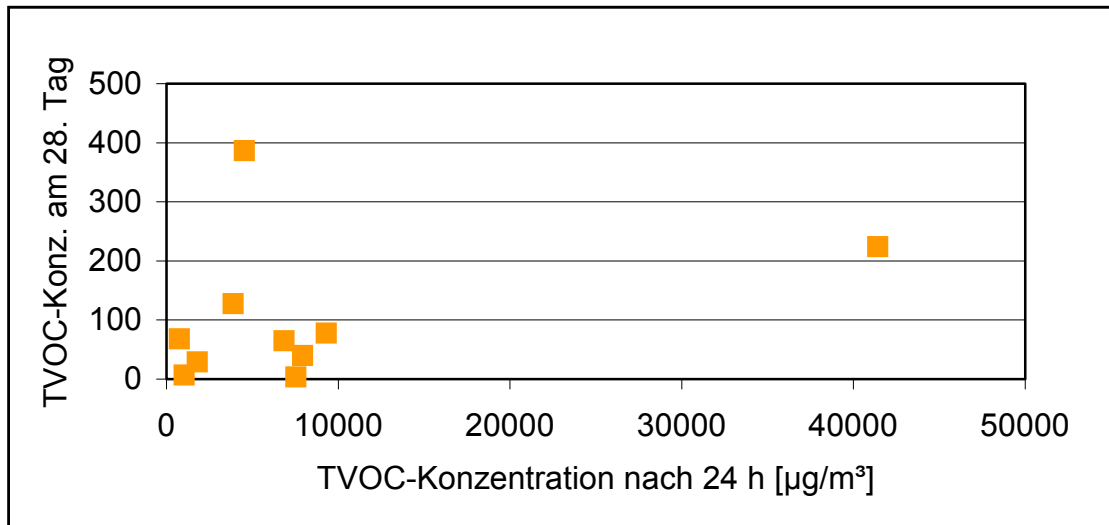


Abbildung 61: Vergleich der TVOC-Konzentration für Fußbodenkleber nach 24 h und 28 Tagen

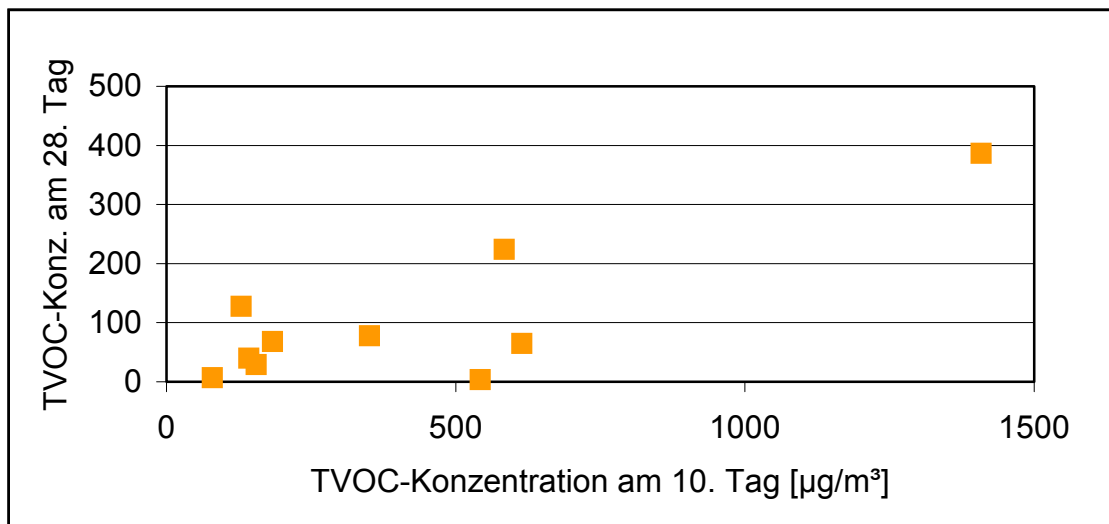


Abbildung 62: Vergleich der TVOC-Konzentration für Fußbodenkleber nach 10 und 28 Tagen

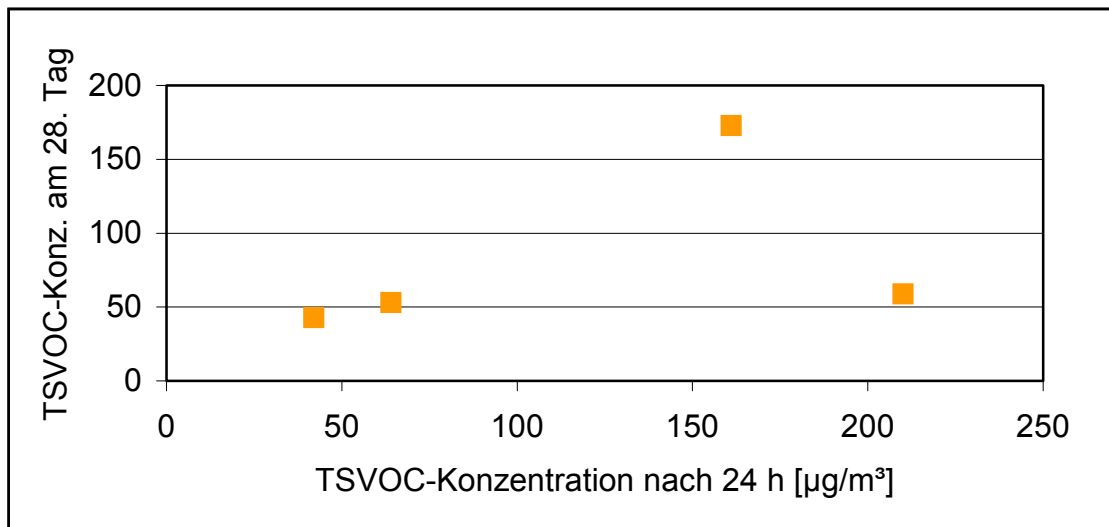


Abbildung 63: Vergleich der TSVOC-Konzentration für Fußbodenkleber nach 24 h und 28 Tagen

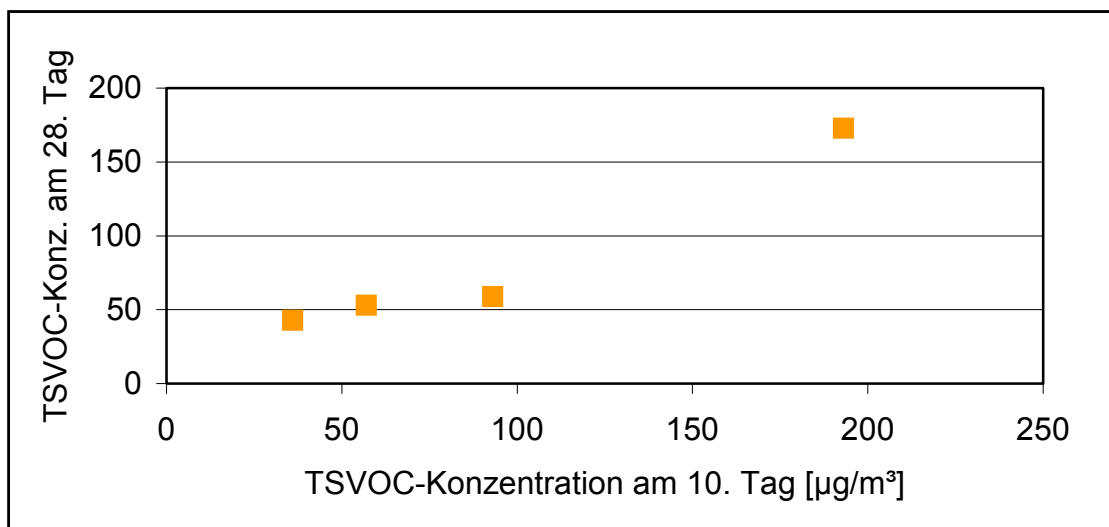


Abbildung 64: Vergleich der TSVOC-Konzentration für Fußbodenkleber nach 10 und 28 Tagen

3.2.3.2 Bodenbeläge

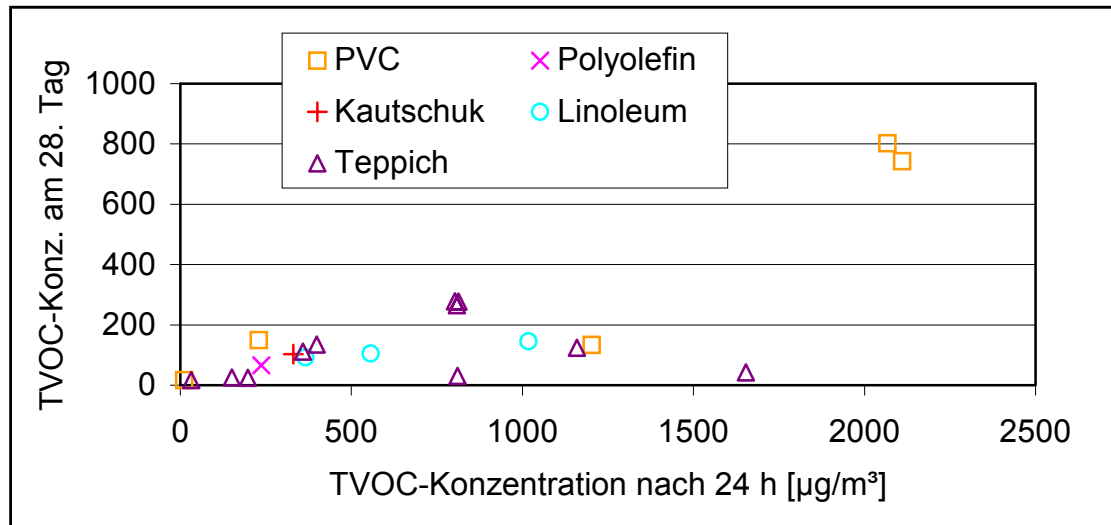


Abbildung 65: Vergleich der TVOC-Konzentration für Bodenbeläge nach 24 h und 28 Tagen

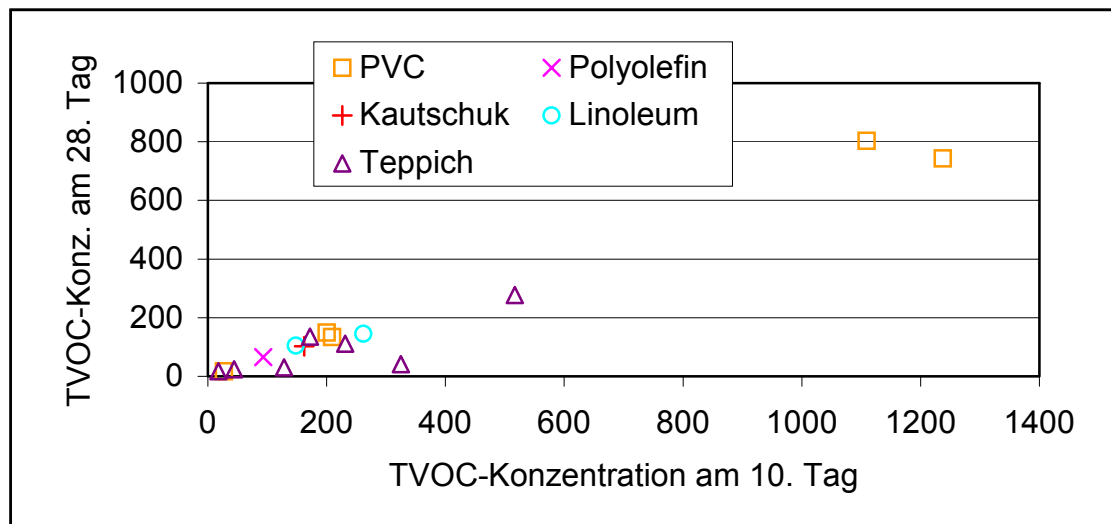


Abbildung 66: Vergleich der TVOC-Konzentration für Bodenbeläge nach 10 und 28 Tagen

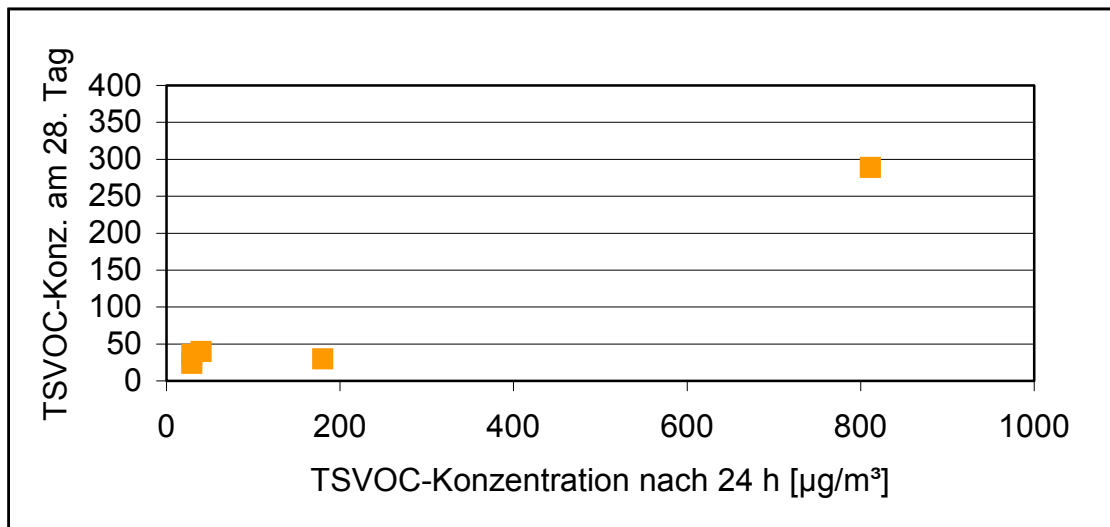


Abbildung 67: Vergleich der TSVOC-Konzentration für Bodenbeläge nach 24 h und 28 Tagen

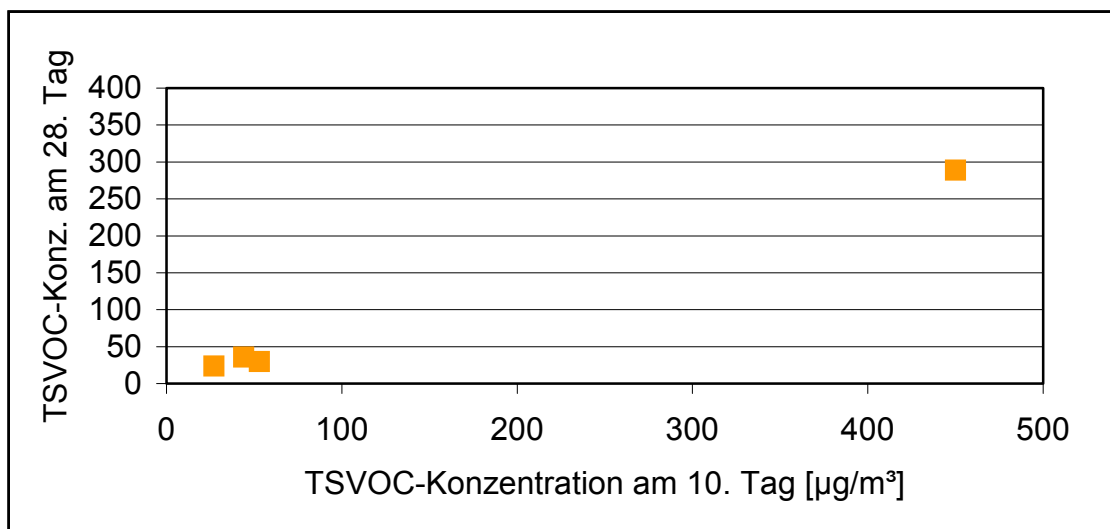


Abbildung 68: Vergleich der TSVOC-Konzentration für Bodenbeläge nach 10 und 28 Tagen

3.2.4 Vergleich der Direkt-TDS mit Kammermessungen nach 24 h

Für die Kleber, für die Prüfkammermessungen durchgeführt wurden, konnte ein Vergleich mit den Ergebnissen der Direkt-Thermodesorption (siehe Abschnitt 2.2.2) vorgenommen werden. Hierbei stand die Frage im Vordergrund, inwieweit es möglich ist aus der Screening-Methode Vorhersagen auf das Emissionsverhalten in der Prüfkammer zu machen. Um die Messwerte vergleichen zu können, wurden die bei der Direkt-TDS gefundenen Substanzen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ angegeben. Dies geschah, indem der Heliumstrom durch das Glasrohr über die Dauer der Direkt-TDS als Probenahmevolumen angesehen wurde. Dieses Volumen betrug 250 ml, also ein Viertel der Luftprobenahme nach 24 h an der Prüfkammer. Die bei der Direkt-TDS abgegebene Substanzmenge wurde deshalb mit dem Faktor 4 multipliziert und dann mit der Prüfkammerkonzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ verglichen. Die Abbildungen 48 bis 51 zeigen am Beispiel der Kleber 1 bis 4 die Gegenüberstellung aller Substanzen, die bei der Direkt-TDS nach 1 h oder der Prüfkammermessung nach 24 h nachgewiesen wurden. Die Konzentrationsberechnung erfolgte hierbei für alle Substanzen aus Vereinfachungsgründen - es handelte sich um einen relativen Vergleich - als Cyclodekanäquivalent. Insgesamt konnte eine gute Vergleichbarkeit der beiden Methoden festgestellt werden. Zum einen wurden mit der Direkt-TDS und der Prüfkammermessung im wesentlichen die gleichen Substanzen nachgewiesen, zum anderen stimmten auch die berechneten Konzentrationen mit den gemessenen Konzentrationen gut miteinander überein. Dabei ist zu beachten, dass diese in beiden Fällen als Cyclodekanäquivalent angegebenen Konzentrationen große Abweichungen zu den „wahren“ Substanzkonzentrationen haben können, die bei den Prüfkammermessungen mit den jeweiligen individuellen Responsefaktoren ermittelt wurden.

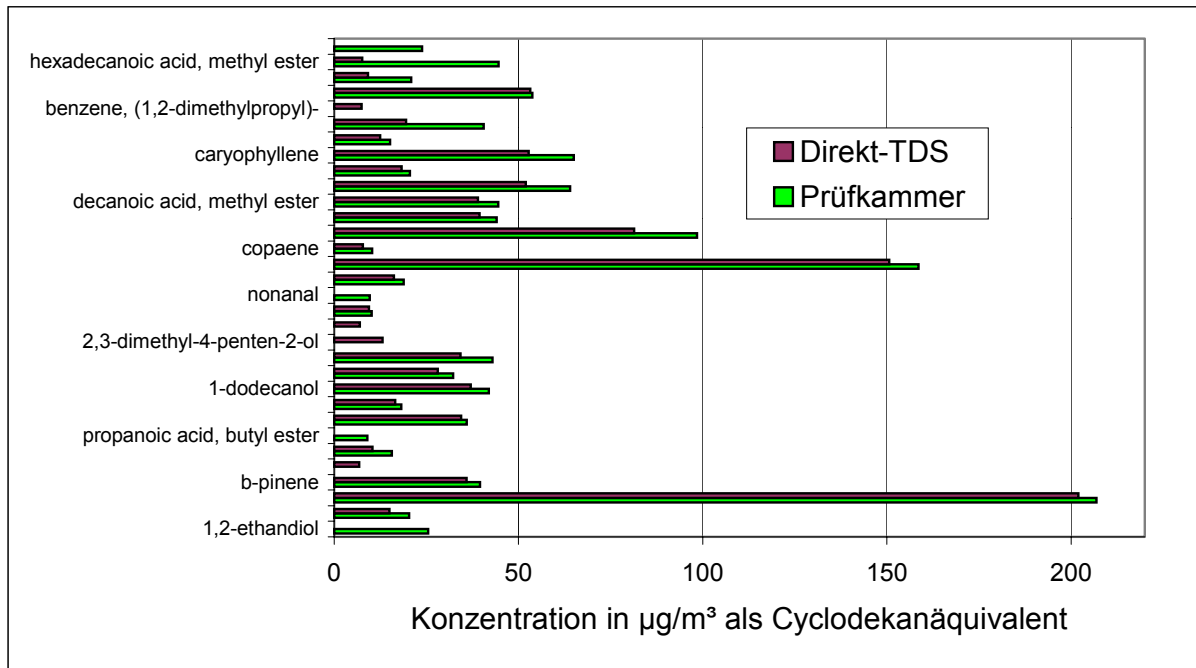


Abbildung 69: Vergleich von Direkt-TDS und Prüfkammer-Konzentration für Kleber 1

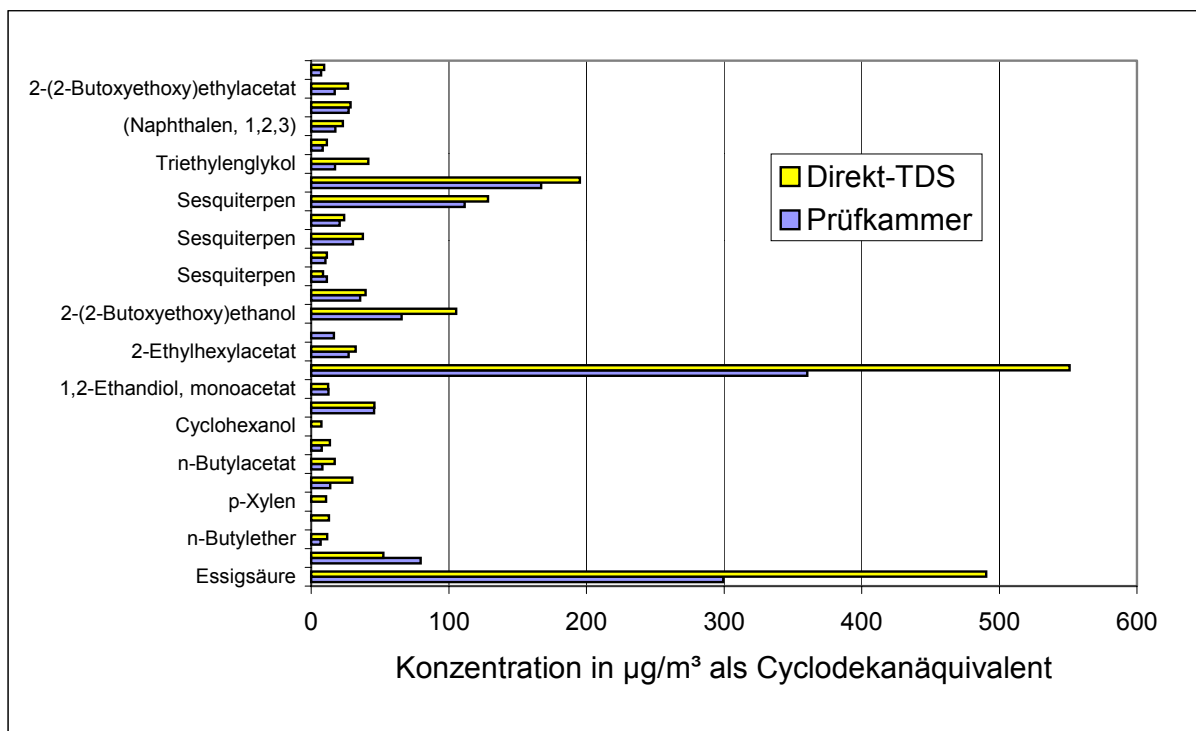


Abbildung 70: Vergleich von Direkt-TDS und Prüfkammer-Konzentration für Kleber 2

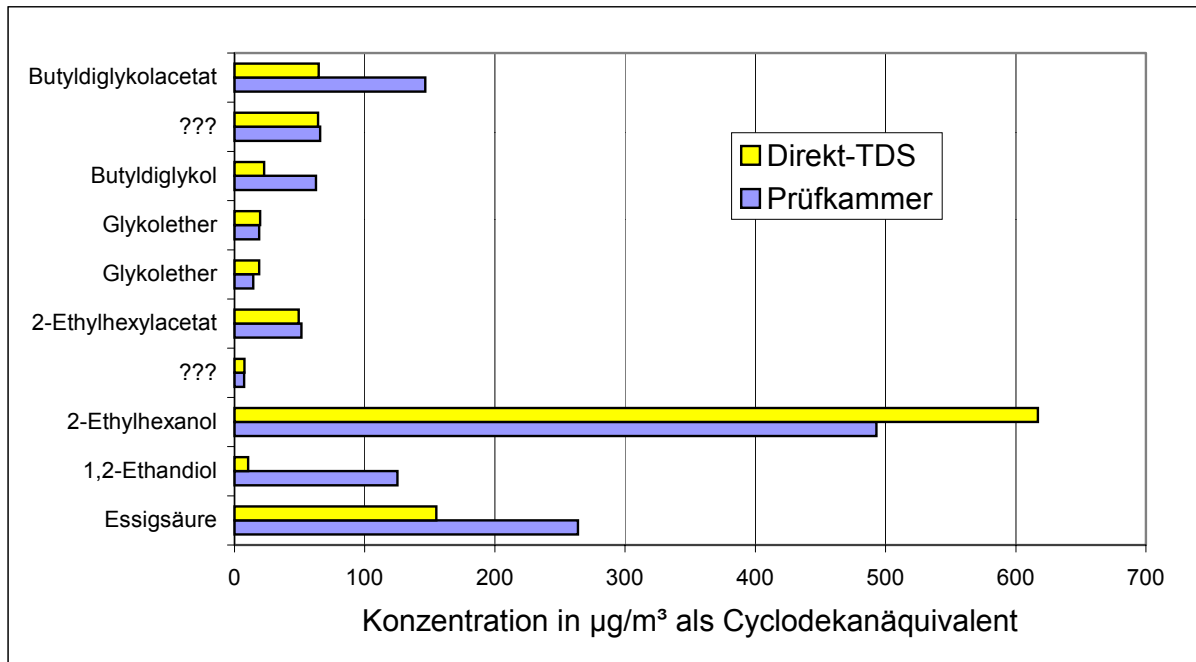


Abbildung 71: Vergleich von Direkt-TDS und Prüfkammer-Konzentration für Kleber 3

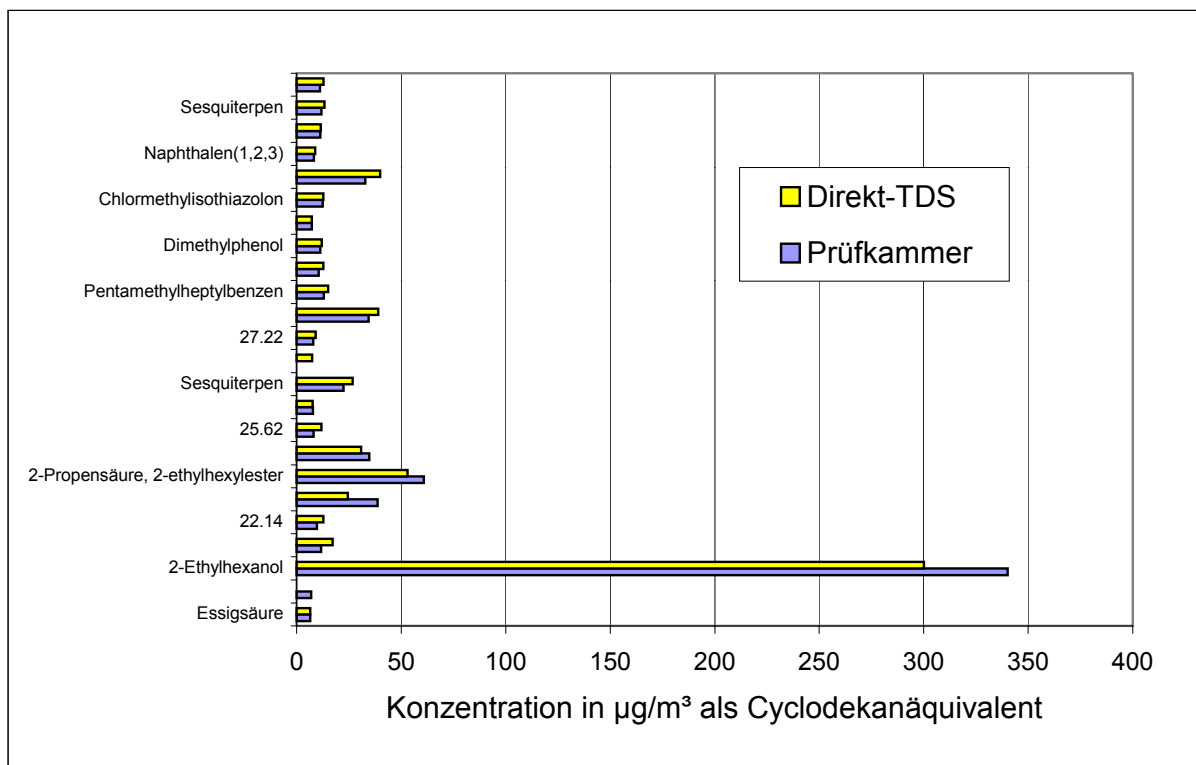


Abbildung 72: Vergleich von Direkt-TDS und Prüfkammer-Konzentration für Kleber 4

4 Auswertung und Diskussion der Versuchsergebnisse

In Tabelle 47 und Tabelle 48 sind als Übersicht alle Substanzen aufgelistet, die auch nach 28 Tagen bei den Emissionsmessungen in den Prüfkammern nachzuweisen waren. Tabelle 47 zeigt die aus den untersuchten Verlegewerkstoffen (9 Kleber, 1 Grundierung, 1 Spachtelmasse) emittierten Substanzen, wobei diese nach der Häufigkeit (n) ihres Auftretens geordnet sind, mit ihren Konzentrationen am 28. Tag. In Tabelle 48 sind die Substanzen aufgelistet, die aus den untersuchten Bodenbelägen (14 Teppiche, 5 PVC-Beläge, 3 Linoleumbeläge, 1 Polyolefinbelag, 1 Kautschukbelag) emittierten, ebenfalls geordnet nach ihrer Häufigkeit (n) des Auftretens und mit den Konzentrationsangaben vom 28. Tag der Prüfkammermessung.

Die Anzahl der Substanzen aus den Bodenbelägen ist deutlich größer als die aus den Verlegewerkstoffen. Dies ist mit unterschiedlichen Emissionen aus den verschiedenen Typen von Bodenbelägen (PVC, Teppich, Linoleum, Polyolefin, Kautschuk) zu erklären. Außerdem wurden auch mehr Bodenbeläge (24) als Verlegewerkstoffe (13) 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. Als nächstes müssten die unidentifizierten Substanzen genannt werden. Bei sechs Klebern wurden auch noch nach 28 Tagen nicht zu identifizierende Substanzen gefunden. In der Tabelle 47 ist der Summenwert dieser Substanzen für die sechs Kleber in der letzten Zeile eingetragen, da es sich hierbei nicht um Einzelsubstanzen handelte. 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.

An Position 2 und 3 stehen mit Caryophyllen bzw. α -Caryophyllen zwei Sesquiterpene, deren Auftreten die Verwendung von natürlichen Ausgangsprodukten bei der Herstellung einiger Fußbodenkleber deutlich macht.

Tabelle 47: Substanzen aus den Verlegewerkstoffen, geordnet nach ihrer Häufigkeit n am 28. Tag (für Kleber 4 am 22.Tag)

Substanzen aus Verlegewerkstoffen (n=13*)	CAS-Nr.	n	Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$							Mittelwert	Median
Ethylhexanol	104-76-7	7	36	22	21	18	14	7	2	17,1	18,0
Caryophyllen	508-02-1	4	13	10	2	1				6,5	6,0
α -Caryophyllen	6753-98-6	3	8	3	2					4,3	3,0
Butyldiglykol	112-34-5	3	4	1	1					2,0	1,0
Essigsäure	64-19-7	2	230	71						150,5	150,5
Phenoxypropanol	770-35-4	2	54	15						34,5	34,5
Spathulenol	77171-55-2	2	17	9						13,0	13,0
Butyldiglykolacetat	124-17-4	2	15	1						8,0	8,0
Caryophyllenoxid	1139-30-6	2	6	4						5,0	5,0
CIT/MIT 26172-55-4/	2682-20-4	2	4	1						2,5	2,5
Propylenglykoletherderivat		1	158							158,0	158,0
Limonen	5989-27-5	1	86							86,0	86,0
Methylpalmitat	112-39-0	1	30							30,0	30,0
Ethanol, 2,2'oxybis	111-46-6	1	19							19,0	19,0
Heptanal	111-71-7	1	18							18,0	18,0
Hexanal	66-25-1	1	15							15,0	15,0
Dimethylphthalat	131-11-3	1	15							15,0	15,0
Methylaurat	111-82-0	1	14							14,0	14,0
Methylmyristat	124-10-7	1	13							13,0	13,0
2-Nonenal	18829-56-6	1	11							11,0	11,0
Phenoxyethanol	112-99-6	1	11							11,0	11,0
Butanol	71-36-3	1	11							11,0	11,0
2-Octanon	111-13-7	1	8							8,0	8,0
Longifolen	475-20-7	1	7							7,0	7,0
Copaen	3856-25-5	1	6							6,0	6,0
α -Terpineol	10482-56-1	1	5							5,0	5,0
Sesquiterpen	483-76-1	1	3							3,0	3,0
Ethylhexylacetat	103-09-3	1	3							3,0	3,0
Sesquiterpen	1137-12-8	1	1							1,0	1,0
α -Pinen	80-56-8	1	1							1,0	1,0
Σ unidentifizierte Substanzen		6	173	59	53	46	40	7		63,0	49,5

* 11 Fußbodenkleber, 1 Grundierung, 1 Spachtelmasse

An Position 4 der Tabelle 47 steht Butyldiglykol, welches bei 3 der 9 Kleber gefunden wurde. 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 Butyldiglykolkonzentration festzustellen. Aufgrund seines hohen Gehaltes an Butyldiglykol wurde Kleber 12 für das Verbundsystem mit PVC 1 auf Glasplatte verwendet.

Aus diesem Kleber/PVC-Verbundsystem wurden nach 104 Tagen $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Butyl-diglykol ermittelt.

An Position 5 ist die Essigsäure aufgeführt, die im Durchschnitt die höchsten Konzentrationen aller Substanzen nach 28 Tagen aufwies. Dies galt teilweise auch für die Konzentrationen während der gesamten Prüfdauer. Die Kleber 2, 12 und 36 lagen mit ihrem 10-Tages-TVOC-Wert über dem für eine EC-1 Kennzeichnung zugelassenen Wert von $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dies lag sicherlich auch daran, dass bei den hier beschriebenen Untersuchungen besonders auf die Essigsäure geachtet wurde, die eine relativ hohe Nachweisgrenze besitzt, und aufgrund einer schlechten Empfindlichkeit im Massenspektrometer wahrscheinlich in vielen Fällen nicht oder nicht korrekt in die Quantifizierung einbezogen wird, was zu einem Minderbefund der Emissionen führt.

Die am häufigsten gefundene Substanz aus den Bodenbelägen ist das 4-Phenylcyclohexen (siehe Tabelle 48), 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.

Die Essigsäure steht wie bei den Klebern an Position 3, Quellen hierfür waren Lino-leum, zwei Wollteppiche und der 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 auch bei den Bodenbelägen häufig beobachtet werden. Die Summenwerte dieser Substanzen sind in der letzten Zeile der Tabelle 48 aufgeführt.

Tabelle 48: Substanzen aus den Bodenbelägen geordnet nach ihrer Häufigkeit n am 28. Tag

Substanzen aus Bodenbelägen (n=24*)	CAS-Nr.	n	Konzentration in µg/m³										Mittelwert	Median
4-Phenylcyclohexen (T)	4994-16-5	10	18	15	12	6	3	3	2	1	1	1	6,2	3,0
Tetradekan (T, L, P, K)	629-59-4	7	14	4	1	1	1	1	1				3,3	1,0
Essigsäure (T, L)	64-19-7	6	3330	120	105	105	61	45					627,7	105,0
Pentadekan (T, L, P, K)	629-62-9	6	3	1	1	1	1	1					1,3	1,0
TXIB (T, P)	6846-50-0	5	539	13	6	5	1						112,8	6,0
Ethylhexanol (T, P)	104-76-7	5	23	10	4	3	1						8,2	4,0
Heptadekan (T, L)	629-78-7	5	5	2	2	1	1						2,2	2,0
Tridekan (T, L)	629-50-5	5	4	2	1	1	1						1,8	1,0
Butyldiglykol (T, P)	112-34-5	4	229	31	20	1							70,3	25,5
Propylenglykolderivate (T, L)		4	28	6	3	1							9,5	4,5
Hexadekan (T, L)	544-76-3	4	6	5	3	1							3,8	4,0
BHT (T, K)	128-37-0	4	5	1	1	1							2,0	1,0
Alkylbenzole (T)		3	289	40	24								117,7	40,0
Caprolactam (T)	105-60-2	3	97	7	6								36,7	7,0
Benzothiazol (T, K)	95-16-9	3	69	2	1								24,0	2,0
Hexanal (L)	66-25-1	3	22	9	7								12,7	9,0
Hexansäure (L)	142-62-1	3	22	14	6								14,0	14,0
Dekanal (L)	112-31-2	3	4	2	1								2,3	2,0
Nonanal (L)	124-19-9	3	4	3	1								2,7	3,0
Cyclohexanol (T, P)	108-93-0	3	2	2	1								1,7	2,0
Oktadekan (T, L)	593-45-3	3	2	2	1								1,7	2,0
Ethylenglykol (T)	107-21-1	2	94	20									57,0	57,0
Propylenglykol (T)	57-55-6	2	83	40									61,5	61,5
Ethylhexansäure (P)	149-57-5	2	60	3									31,5	31,5
Phenol (P)	108-95-2	2	37	37									37,0	37,0
N-Methylpyrrolidon (P, Po)	872-50-4	3	66	25	15								35,3	25,0
Oktansäure (L)	124-07-2	2	4	2									3,0	3,0
Benzaldehyd (T, K)	100-52-7	2	3	2									2,5	2,5
Oktanal (L)	124-13-0	2	3	1									2,0	2,0
Phosphorsäureester (T)		2	1	1									1,0	1,0
2-Butanon (P)	78-93-9	1	166										166,0	166,0
Butoxyethanol (P)	111-76-2	1	99										99,0	99,0
Toluol (P)	108-88-3	1	39										39,0	39,0
Xylol (P)		1	32										32,0	32,0
MIBK (P)	108-10-1	1	30										30,0	30,0
Dodekanol (P)	112-53-8	1	19										19,0	19,0
Benzylalkohol (P)	100-51-6	1	18										18,0	18,0
Dekan (P)	124-18-5	1	16										16,0	16,0
Ethylbenzol (P)	100-41-4	1	15										15,0	15,0
Trimethylbenzole (P)		1	14										14,0	14,0
Butyldiglykolacetat (P)	124-17-4	1	13										13,0	13,0
Undekan (P)	1120-21-4	1	13										13,0	13,0
Hexadecen (P)	629-73-2	1	9										9,0	9,0
CIT/MIT (T) 26172-55-4/	2682-20-4	1	9										9,0	9,0
Acrylsäure (T)	79-10-7	1	7										7,0	7,0
Ethylhexylacetat (P)	103-09-3	1	3										3,0	3,0
Phenoxyethanol (T)	112-99-6	1	3										3,0	3,0
Styrol (K)	100-42-5	1	3										3,0	3,0
Naphthalin (K)	91-20-3	1	3										3,0	3,0
Dibutylphthalat (L)	84-74-2	1	3										3,0	3,0
2-Butanol, 3,3'-oxybis (T)	54305-61-2	1	2										2,0	2,0
Cyclohexanon (K)	108-94-1	1	2										2,0	2,0
Undekenal (L)	112-45-8	1	2										2,0	2,0
Pentanal (L)	1576-87-0	1	2										2,0	2,0
Oktenal (L)	2548-87-0	1	1										1,0	1,0
Dodekanal (L)	112-54-9	1	1										1,0	1,0
Σ unidentifizierte Substanzen		9	240	159	98	71	62	33	21	13	4		77,9	62,0

* 14 Teppichbeläge (T), 3 Linoleumbeläge (L), 5 PVC-Beläge (P), 1 Polyolefinbelag (Po), 1 Kautschukbelag (K)

In Tabelle 49 sind beispielhaft einige der untersuchten Verlegewerkstoffe und Bodenmaterialien sowie Materialkombinationen nach dem AgBB-Schema vom Oktober 2000 (siehe Abschnitt 1.4) ausgewertet worden. Diese Auswertung wurde auch im Hinblick auf eine eventuelle Einführung eines Umweltzeichens für Verlegewerkstoffe durchgeführt, für welches das AgBB-Schema die Basis einer Vergabe sein könnte.

Die hellgrau unterlegten Felder bedeuten dabei eine Einstufung als „brauchbar“, mittelgraue stehen für „empfehlenswert“ und dunkelgraue Felder zeigen „nicht brauchbare“ Produkte an.

Ein Umweltzeichen könnte möglicherweise nur für die empfehlenswerten Materialien vergeben werden.

Von den hier ausgewerteten 21 Materialien oder Materialkombinationen waren 3 nicht brauchbar, 10 brauchbar und 8 empfehlenswert (Stand des AgBB-Bewertungsschemas und der NIK-Werte: Oktober 2000).

Tabelle 49: Auswertung nach dem AgBB-Bewertungsschema

Produkt	TVOC 3d	TVOC 28d	SVOC 28d	Konz.	VOC 28d	Konz.	R	ohne NIK	Ergebnis	NIK
Teppich 2	909	45	Benzen,(1-ethylundekyl)- (IS)	11	1-Propanol,2-(2-hydroxypropoxy)- (IS)	16	0,015	16		800
			Benzen,(1-methyldodecyl)- (IS)	24	nicht identifiziert (IS)	12		12		
				35	Summe VOC ohne NIK (1-5 µg/m³)	40	0,015	28		
					Summe					
PVC 3	1.441	634	TXIB	5	2-Butanon	166	0,166			1000
			nicht identifiziert (IS)	19	Toluol	39	0,039			1000
					Propylenglykol	2	0,0005			4000
					Ethylbenzen	15	0,015			1000
					Xylen	6	0,006			1000
					Xylen	19	0,019			1000
					2-Butoxyethanol (IS)	48	0,048			1000
					Phenol (IS)	6	0,015			400
					Cyclohexanon	36	0,036			1000
					Benzaldehyd	9		9		
					Benzylalkohol (IS)	7		7		
					Butoxyethoxyethanol	229	0,229			1000
					Butoxyethoxyethylacetat	13		13		
					nicht identifiziert (IS)	20		20		
				24	Summe VOC ohne NIK (1-5 µg/m³)	615	0,5735	49		
					Summe					
PVC 2	223*	147	nicht identifiziert (IS)	36	Ethylhexansäure (IS)	60		60		800
					1-Methyl-2-pyrrolidinon	25	0,03125			
					nicht identifiziert (IS)	62		62		
				36	Summe VOC ohne NIK (1-5 µg/m³)	147	0,03125	122		
Kautschuk	300*	93	BHT	5	Summe	69		69		
			Sesquiterpen (IS)	3	Benzothiazol	13		13		
					nicht identifiziert (IS)	1				
				8	Summe VOC ohne NIK (1-5 µg/m³) (n=1)	83		82		
Polyolefin	237*	66			Summe	66	0,0825			800
					1-Methyl-2-pyrrolidinon	66				
				0	Summe VOC ohne NIK (1-5 µg/m³)	66	0,0825	0		
					Summe					

< 1000	< 200
< 10.000	< 1.000

* 24 h Wert

< 20
< 100

< 1	< 20
	< 100

Tabelle 49: Fortsetzung

Kleber	TVOC 3d	TVOC 28d	SVOC 28d	Konz.	VOC 28d	Konz.	R	ohne NIK	Ergebnis	NIK
1	706	28	Tetradekansäuremethylester Hexadekansäuremethylester	30	Phenoxyethanol	11	-	11		
				13	Dodekansäuremethylester	14	-	14		
				43	Summe VOC ohne NIK (1-5 µg/m³) (n=3)	3	-	3		
					Summe	28	0,00	28		
2	2.509	64	-	0	Ethylhexanol	36	0,04	-		1000
					Longifolen	7	0,01	-		1000
					Caryophyllen	10	0,01	-		1000
					Summe VOC ohne NIK (1-5 µg/m³) (n=6)	11	-	11		
3	1.926	40	-	0	Summe	64	0,05	11		
					Ethylhexanol	21	0,02	-		1000
					Butoxyethoxyethylacetat	15	-	15		
					Summe VOC ohne NIK (1-5 µg/m³) (n=1)	4	-	4		
6	1.248	128	-	0	Summe	40	0,02	19		
					Aceton	61	0,01	-		6000
					Hexanal	16	0,04	-		400
					Heptanal	20	0,05	-		400
					Ethylhexanol	18	0,02	-		1000
					2-Nonenal	10	0,17	-		60
					Summe VOC ohne NIK (1-5 µg/m³) (n=1)	3	-	3		
					Summe	128	0,28	3		
12	3.373	4	-	0	keine		0,00	0		
					Summe VOC ohne NIK (1-5 µg/m³) (n=3)		-	4		
					Summe	0	0,00	4		
					Acetophenon	14	-	14		
22	277	68	Phenol, 2(1-phenylethyl) Unbekannte, n > 20 Summe	173	Phenoxypropanol	54	-	54		
					Summe VOC ohne NIK (1-5 µg/m³)		-	-		
					Summe	68	0,00	68		
					Ethylhexanol	26	0,03	-		1000
23	593	26	Unbekannte, n > 17	53	Summe VOC ohne NIK (1-5 µg/m³)		-	-		
					Summe	26	0,03	0		

< 1000
< 10.000

< 20
< 100

< 1
< 20
< 100

Tabelle 49: Fortsetzung

Produkt	TVOC 3d	TVOC 28d	SVOC 28d	Konz.	VOC 28d	Konz.	R	ohne NIK	Ergebnis
Kleber 36	4520*	390	nicht identifiziert (IS)	59	Aceton	89	0,0148		
					Butanol	11	0,011		
					Essigsäure	230	0,92		
					Ethylhexanol	14	0,014	19	
					Ethanol 2,2oxybis (IS)	19		5	
					a- Terpineol	5		15	
					Phenoxypropanol	15			
PVC 1	111*	17		59	Summe VOC ohne NIK (1-5 µg/m³)	383	0,9598	39	
					Ethylhexanol	10	0,01		
				0	Summe VOC ohne NIK (1-5 µg/m³)	10	0,01	0	
					Summe				
PVC 1 Komplett	98*	25		0	Ethylhexanol	13	0,013		
					Summe VOC ohne NIK (1-5 µg/m³)	13	0,013	0	
				0	Summe				
				2	Essigsäure	45	0,18		
Linoleum	549*	103	Undekenal (IS)	2	Hexanal	22	0,055		
			Heptadekan	2	Hexansäure	14	0,0467		
					Summe VOC ohne NIK (1-5 µg/m³) (n=1)	3		3	
				4	Summe	84	0,2817	3	
				3	Essigsäure	65	0,26		
Linoleum Komplett	250*	119	Undekenal (IS)	3	Hexanal	19	0,0475		
			Heptadekan	3	Hexansäure	16	0,0533		
					Summe VOC ohne NIK (1-5 µg/m³) (n=1)	3		3	
				6	Summe	103	0,3608	3	
Teppich 1	197*	24		0	4-PCH	18	0,0225	4	
					Summe VOC ohne NIK (1-5 µg/m³) (n=1)	4			
					Summe	22	0,0225	4	
					Aceton	88	0,0147		
Teppich 1 Komplett	1089*	150			Butanol	13	0,013		
					Ethylhexanol	18	0,018		
					4-PCH	12	0,015		
					nicht identifiziert (IS)	12		12	
					Summe VOC ohne NIK (1-5 µg/m³)				
				0	Summe	143	0,0607	12	
Spachtel- masse	52*	0			Summe VOC ohne NIK (1-5 µg/m³)	0			
				0	Summe			0	
				15	nicht identifiziert (IS)	158		158	
Grundierung unverdünn	4012*	158	Dimethylphthalat nicht identifiziert (IS)	4	Summe VOC ohne NIK (1-5 µg/m³)	158		158	
				19	Summe	158	0	158	
				< 20					< 20
				< 10.000					< 100

* 24 h Wert

5 Zusammenfassung

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden 11 Fußbodenbelagskleber, eine Grundierung, eine Spachtelmasse, 14 Teppiche, 5 PVC-Beläge, drei Linoleum-Beläge, ein Kautschukbelag und ein Polyolefinbelag über einen Zeitraum von mindestens 28 Tagen mittels Prüfkammer- bzw. Prü fzellenmessungen auf ihr Emissionsverhalten untersucht.

Die Emissionsmessungen an den Einzelmaterialien Kleber und Bodenbelag sollten einen Einblick in die möglichen Emissionen (Substanzen und Konzentrationen) und deren zeitlichen Verlauf geben. Es zeigte sich, dass die untersuchten EC-1 Kleber die Anforderungen für die Klassifizierung im wesentlichen einhielten ($< 500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nach 10 Tagen, ein EC-1 Kleber wies nach 10 Tagen ca. $1500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aufgrund hoher Essigsäureemission auf), die Anfangskonzentrationen nach 24 h aber sehr unterschiedlich waren.

Bei den Bodenbelägen, die durch unterschiedliche Typen vertreten waren (PVC, Teppich, Linoleum, Polyolefin, Kautschuk) ist ein Vergleich der Emissionen aufgrund der geringen Anzahl von Prüfungen pro Typ nur eingeschränkt möglich. Dazu kommt, dass in den meisten Fällen keine zuverlässigen Angaben zum Alter der Bodenbeläge gemacht werden konnten. Es handelte sich aber um Produkte, wie sie aktuell in Innenräumen zur Anwendung kommen würden. Im Durchschnitt wiesen die heterogenen PVC-Beläge die höchsten Emissionen auf, bei den Teppichen wurden die geringsten Konzentrationen gefunden (insbesondere nach 28 Tagen).

Eine Auswertung von 21 untersuchten Materialien oder Materialkombinationen nach dem AgBB-Schema ergab 3 nicht brauchbare, 10 brauchbare und 8 empfehlenswerte Produkte (siehe Tabellen auf Seite 104 bis 106; Stand des AgBB-Bewertungsschemas und der NIK-Werte: Oktober 2000).

Bei zwei Messungen an Bodenbelagsklebern, die über einen Prüfzeitraum von mehr als 120 Tagen weitergeführt wurden, konnte das Auftreten von Sekundäremissionen beobachtet werden. Hierbei traten zuerst Aldehyde wie z.B. Hexanal auf, einige Zeit später wurden dann auch die entsprechenden organischen Säuren nachgewiesen, wobei die Heptansäure die höchsten Konzentrationen aufwies.

Die Entstehung dieser Sekundäremissionen könnte mit einem Einsatz von Tallharzen bzw. Tallölen in den Klebern zusammenhängen, da diese teilweise ungesättigte Fett-

säuren enthalten, die oxidativ zu Aldehyden gespalten werden können, welche wiederum weiter zu Carbonsäuren oxidieren können.

Außerdem wurden die Emissionen aus 7 Materialkombinationen ermittelt. Dazu gehörten drei Komplettaufbauten aus Estrich, Grundierung, Spachtelmasse und Kleber mit den Belägen Teppich, PVC und Linoleum sowie 4 Verbundsysteme. Dies waren: Verbundsystem Estrich/Grundierung/Spachtelmasse/Kleber, Verbundsystem Glasplatte/Kleber/Teppich, Verbundsystem Glasplatte/Kleber/PVC und das Verbundsystem Estrich/Kleber.

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 wurden aus dem Teppich-Komplettaufbau auch Emissionen aus unteren Schichten gefunden.

Dabei konnte aus dem Teppich-Komplettaufbau eine Substanz nachgewiesen werden, welche bei den Untersuchungen der Einzelmaterialien nicht auftrat. Einige Substanzen wurden aus dem Teppich-Komplettaufbau in der Anfangsphase der Prüfung (24 h-Wert) in höheren Konzentrationen bestimmt als bei den Einzelmaterialien.

Schwerflüchtige Substanzen (SVOC), die aus dem System Kleber/Spachtelmasse/Grundierung noch emittierten, wurden anscheinend durch den Teppich zurückgehalten. Auch nach über 200 Tagen waren sie nicht nachweisbar.

Die Emissionen aus allen drei Komplettaufbauten waren geringer als die Summe der Emissionen der Einzelmaterialien.

Ergänzende Untersuchungen wurden durchgeführt zur Vergleichbarkeit der Emissionsmessungen in unterschiedlichen Prüfkammern (Volumen 1 m³ und 0,02 m³) bzw. Messzellen (Volumen 1 l und 0,035 l [FLEC]).

Hierbei wurde eine gute Vergleichbarkeit festgestellt, wobei definierte Randbedingungen festgelegt waren (flächenspezifische Luftdurchflussrate $q = 1,25 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$; Klima: 23°C, 50 % relative Luftfeuchte; Schmalflächen-/Rückseitenversiegelung).

Des Weiteren wurden Versuche durchgeführt, um die Auswirkungen unterschiedlicher Probenherstellung (Trägermaterial, Auftragsmenge, Auftragsart) auf die Emissionen aus den Fußbodenklebern abschätzen zu können.

Beim Einsatz von Estrich oder Spachtelmasse als Trägermaterial für die Kleber wurden beim untersuchten Systemaufbau geringere Emissionen gemessen als bei Versuchen mit Glasplatten als Trägermaterial. Bei unterschiedlicher Auftragsmenge/Schichtstärke ergeben sich ebenfalls unterschiedliche Emissionsraten (auch nach Normierung), wogegen die Auftragsart (Rakel oder Zahnspachtel) bei gleicher Auftragsmenge (300 g/m^2) vergleichbare Emissionen ergab.

Als Screening-Methode zum schnellen Überblick über das mögliche Emissionspotential wurde die Direkt-Thermodesorption an 42 Fußbodenklebern eingesetzt.

Ein Vergleich der in Prüfkammern nach 24 Stunden gemessenen Emissionen mit den Werten der Direkt-Thermodesorption ergab gute Übereinstimmungen. Eine Aussage über das Langzeit-Emissionsverhalten von Klebern ist aber weder mit dem 24-Stunden Kammer-/Zellenwert, noch mit der direkten Thermodesorption möglich.

Für Bodenbeläge ließ sich die direkte Thermodesorption nicht sinnvoll einsetzen, da aufgrund der geringen Probengröße die Emission aus den Schmalflächen und der Rückseite zu groß ist.

6 Literatur

1 Wilke O., Jann O., Brödner D.: Investigations on the emission behavior of low-emitting adhesives for flooring materials, Proceedings of Healthy Buildings 2000, Helsinki, Vol. 4, 391-396.

2 Wilke O.: VOC-Emissionen aus Verlegewerkstoffen, Bodenbelägen und Fußbodenaufbauten, 18. TKB-Fachtagung, Frankfurt am Main, 2002.

3 Wilke O., Jann O., Brödner D.: VOC- and SVOC-emissions from adhesives, floor coverings and complete floor structures, Proceedings of Indoor Air 2002, Monterey, Vol. 1, 962-967.

4 Wilke O., VOC-Emissionen aus Fußbodenaufbauten, Fussboden Technik, 3 (2002), 30-33.

5 Konzeption der Bundesregierung zur Verbesserung der Luftqualität in Innenräumen. Bundesumweltministerium, September 1992, Bonn.

6 Bundesgesundheitsblatt 43 (Heft 5), 323-327 (2000)

7 ECA-Report No. 2, Formaldehyde Emission from Wood Based Materials: Guideline for the determination of steady state concentrations in test chambers. EUR 12196 EN, April 1989.

8 ECA-Report No. 6, Strategy for Sampling Chemical Substances in Indoor Air. EUR 12617 EN, December 1989.

9 ECA-Report No. 8, Guideline for the Characterization of Volatile Organic Compounds Emitted from Indoor Materials and Products Using Small Test Chambers. EUR 13593 EN, 1991.

10 ECA-Report No. 10, Effects of Indoor Air Pollution on Human Health. EUR 14086 EN, 1991.

11 ECA-Report No. 13, Determination of VOCs emitted from indoor materials and products – Interlaboratory comparison of small chamber measurements.
EUR 15054 EN, 1993.

12 ECA-Report No. 18, Evaluation of VOC Emissions from Building Products – Solid Flooring Materials.
EUR 17334 EN, 1997.

13 ECA-Report No. 19, Total Volatile Organic Compounds (TVOC) in Indoor Air Quality Investigations.
EUR 17675 EN, 1997.

14 Bundesgesundheitsblatt 39 (Heft 11), 422-426 (1996)

15 Bundesgesundheitsblatt 39 (Heft 11), 416-421 (1996)

16 Bundesgesundheitsblatt 40 (Heft 7), 234-236 (1997)

17 Bundesgesundheitsblatt 40 (Heft 8), 278-284 (1997)

18 Bundesgesundheitsblatt 40 (Heft 11), 425-428 (1997)

19 Bundesgesundheitsblatt 41 (Heft 1), 9-12 (1998)

20 Bundesgesundheitsblatt 41 (Heft 9), 392-398 (1998)

21 Bundesgesundheitsblatt 42 (Heft 2), 168-173 (1999)

22 Bundesgesundheitsblatt 43 (Heft 7), 505-512 (2000)

23 Bundesgesundheitsblatt 45 (Heft 3), 300-306 (2002)

24 Bundesgesundheitsblatt, im Druck (2003)

25 Plehn W., Marutzky R., Salthammer T.: Einflüsse auf das Wohnklima. In: Informationsdienst Holz – Wohngesundheit im Holzbau. Herausgeber: Deutsche Gesellschaft für Holzforschung, München und Forstabsatzfond, Bonn, März 1998.

26 Møhlhave L.: Volatile Organic Compounds, Indoor Air Quality and Health. Indoor Air, 4 (1991): 357-376.

27 Møhlhave L., Clausen G.: The use of TVOC as an indicator in IAQ investigations, Proceedings of Indoor Air 1996, Vol. 2, 37-46.

28 Seifert B.: Regulating Indoor Air, Proceedings of the 5th International Conference on Indoor Air Quality and Climate - Indoor Air '90: 35 - 49.

29 Seifert B.: Richtwerte für die Innenraumluft, Bundesgesundheitsblatt 1999, 42, 270-278.

30 Internationale Vornorm ISO/CD 16000-6: Indoor air and emission test chamber air- determination of VOCs; active sampling on TENAX TA, Thermal desorption and gas chromatography, November 2000.

31 GEV-Prüfmethode, Stand November 2001, Gemeinschaft Emissionskontrollierte Verlegewerkstoffe e.V., Ivo-Beucker-Str. 43, 40237 Düsseldorf

32 GuT-Methode Nr. 8, Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden, Schönebergstr. 2, 52068 Aachen

33 Deutsches Institut für Bautechnik, DIBt-Mitteilungen 32 (2001) 1, 3-12

34 Europäische Vornorm ENV 13999-1: Kurzzeit-Verfahren zum Messen der Emissionseigenschaften von lösemittelarmen oder lösemittelfreien Klebstoffen nach der Applikation – Teil 1: Allgemeines Verfahren, Dezember 2001

35 Europäische Vornorm ENV 13419-1: Bauprodukte – Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen – Teil 1: Emissionsprüfkammer-Verfahren, Oktober 1999.

36 Europäische Vornorm ENV 13419-2: Bauprodukte – Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen – Teil 2: Emissionsprüfzellen-Verfahren, Oktober 1999.

37 Europäische Vornorm ENV 13419-3: Bauprodukte – Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen – Teil 3: Verfahren zur Probenahme, Lagerung der Proben und Vorbereitung der Prüfstücke, Oktober 1999.

38 Jann O.: Vergleichende Untersuchungen über die Formaldehydemission von Holzwerkstoffen in Prüfkammern. Teil 1 und 2.

Forschungsbericht 106 04 122, UBA-FB 96-034.

UBA-Texte 23/96, Umweltbundesamt, Berlin, 1996.

39 Jann O., Wilke O., Brödner D.: Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Ermittlung der Emission flüchtiger organischer Verbindungen aus beschichteten Holzwerkstoffen und Möbeln.

UBA-Texte 74/99, Umweltbundesamt, Berlin, 1999.

40 Jann O., Wilke O., Walther W., Ullrich D.: Entwicklung eines standardisierbaren Prüfverfahrens zur Bestimmung des Eintrages von Holzschutzmittel-Wirkstoffen aus behandeltem Holz, Altholz und daraus hergestellten Holzwerkstoffen in die Luft.

UBA-Projekt-Nr. 126 06 003, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Abschlußbericht, Berlin, 1997.

UBA-Texte 51/99, Umweltbundesamt, Berlin, 1999.

41 Meyer U., Möhle K., Eyerer P. et al.: Entwicklung, Bau und Inbetriebnahme einer 1 m³-Bauteilmeßkammer zur Bestimmung von Emissionen aus Endprodukten. Staub - Reinhaltung der Luft 54, 1994: 137 - 142.

42 Wolkoff P, Clausen P.A., Nielsen, P.A. et al.: Field and Laboratory Emission Cell: FLEC. Proceedings of Healthy Buildings/IAQ 1991, 160-165.

43 Prüfverfahren für Holzwerkstoffe.

Bundesgesundheitsblatt 34, 10 (1991), 488 - 489.

Materialprüfung 33, 11 - 12 (1991), 324 - 325.

44 DIN 55 666, Prüfung von Formaldehyd emittierenden Beschichtungen, Melaminschaumstoffen und Textilien, Bestimmung der Ausgleichskonzentration an Formaldehyd in einem kleinen Prüfraum, April 1995.

45 Jann O., Wilke O.: Möglichkeiten und Grenzen bei der Bestimmung von SVOC-Emissionen aus Materialien und Produkten. VDI-Berichte Nr. 1656, 2002, 357-367.

46 Belitz H.-D., Grosch W., Lehrbuch der Lebensmittelchemie, Springer-Verlag

Anhang

Erläuterungen der Abkürzungen, Maßeinheiten, Symbole

4-PCH	4-Phenylcyclohexen
A	Emissionsfläche [m ²]
AD	Außendurchmesser
AgBB	Ausschuss für die gesundheitliche Bewertung von Bauprodukten
BAM	Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung
BG	Bestimmungsgrenze
BHT	2,6-Di-tert-butyl-4-methylphenol (butyliertes Hydroxytoluol)
Bq	Becquerel
c	Konzentration einer Substanz in der Luft [µg/m ³]
CV	cushion vinyl
CIT/MIT	Chlorisothiazolon/Methylisothiazolon
d	Tag
ECA	European Collaborative Action
EC-1	Emissionsklasse „sehr emissionsarm“ nach EMICODE
ENV	europäische Vornorm
EMICODE	geschütztes Zeichen der GEV zur Klassifizierung von emissionskontrollierten Verlegewerkstoffen
FLEC	Field and Laboratory Emission Cell
GC-MS	Gaschromatograph mit Massenspektrometer als Detektor
GEV	Gemeinschaft emissionskontrollierter Verlegewerkstoffe
GuT	Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppich
h	Stunde
IRK	Innenraumlufthygiene-Kommission
IS	interner Standard
KAS	Kaltaufgabesystem
L	Produktbeladungsfaktor (Raumbeladung), $L = A/V$ [m ² /m ³]
MW	Mittelwert
n	Luftaustauschrate bzw. Luftwechsel [1/h]
NIK	niedrigste interessierende Konzentration
POM	Organic compounds associated with particulate matter or particulate organic matter überwiegend staubgebunden oder staubförmig auftretende schwerflüchtige organische Verbindung

ppm	parts per million
PVC	Polyvinylchlorid
PSE	Phosphorsäureester
q	flächenspezifische Luftdurchflussrate, $q = n/L$ [m^3/m^2h]
RAL	Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V. (vormals <u>R</u> eichs <u>a</u> usschuss <u>L</u> ieferbedingungen)
r.F.	Relative Luftfeuchtigkeit [%]
SER_a(t)	flächenspezifische Emissionsrate [$\mu g/m^2h$]
SVOC	Semi volatile organic compound mittel (schwer) flüchtige organische Verbindung
t	Zeit [h, d]
T	Temperatur [$^{\circ}C$]
Tenax TA	Handelsnahme des Adsorbermaterial
TDS	Thermodesorption
TSVOC	Total semi volatile organic compounds
TVOC	Total volatile organic compounds
TXIB	2,2,4-Trimethyl-1,3-pentandiol-diisobutyrat
UBA	Umweltbundesamt
UZ	Umweltzeichen
v	Luftströmungsgeschwindigkeit [m/s]
V	(Kammer-, Raum-)Volumen [m^3]
°V	Luftvolumenstrom [m^3/h]
VOC	Volatile organic compound, flüchtige organische Verbindung
VVOC	Very volatile organic compound sehr (leicht) flüchtige organische Verbindung
WHO	Weltgesundheitsorganisation

Mitarbeiter des projektbegleitenden Expertenkreises

Herr Dr. Augustin
Textiles & Flooring Institute
Aachen

Herr Dr. Bremer
Landesgesundheitsamt Mecklenburg-Vorpommern
Greifswald

Herr Burmeister
Armstrong-DLW AG, Abt. TAL
Bietigheim-Bissingen

Herr Dr. Krieg
ECO-Umweltinstitut
Köln

Frau Kristandt
Verbraucher-Zentrale Niedersachsen
Hannover

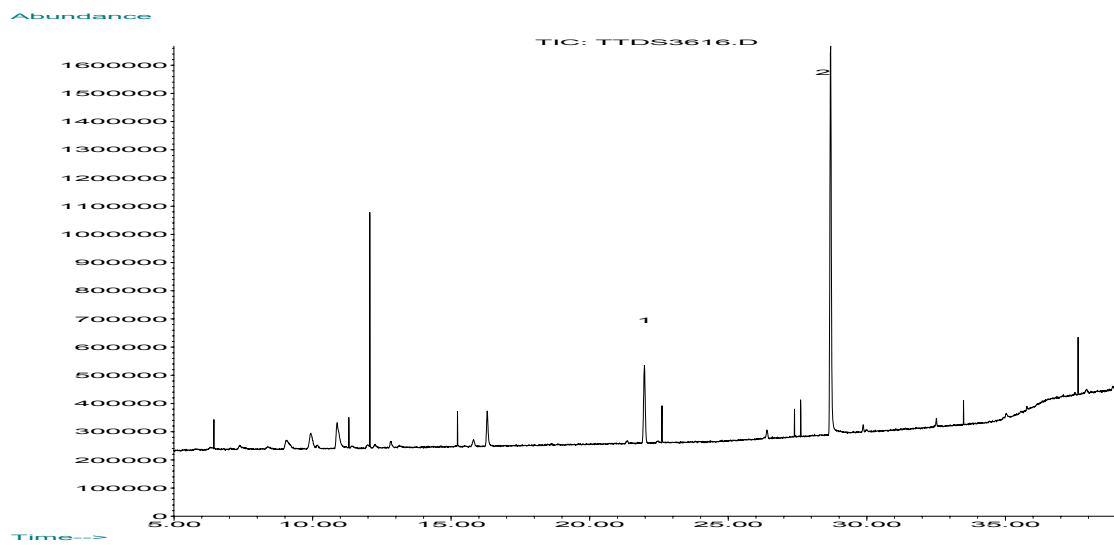
Herr Oppl
MILJÖ-Chemie
Hamburg

Herr Dr. Windhövel
Henkel Bautechnik, Bereich ACA-T-PE/AWT
Düsseldorf

Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung:
Frau Brödner, Labor IV.22
Herr Dr. Jann, Labor IV.22
Herr Dr. Wilke, Labor IV.22

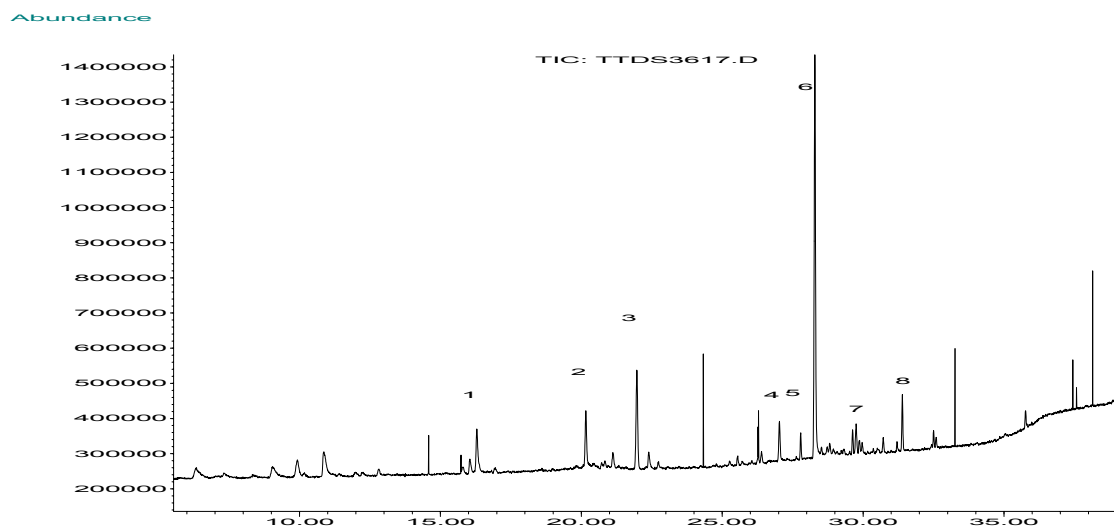
Umweltbundesamt:
Frau Däumling, FG II 2.2
Frau Hirsch, FG III 1.4
Herr Dr. Plehn, FGL III 1.4
Herr Dr. Thurner, FG III 1.3
Herr Dr. Ullrich, FGL II 2.3

Chromatogramm-Beispiele



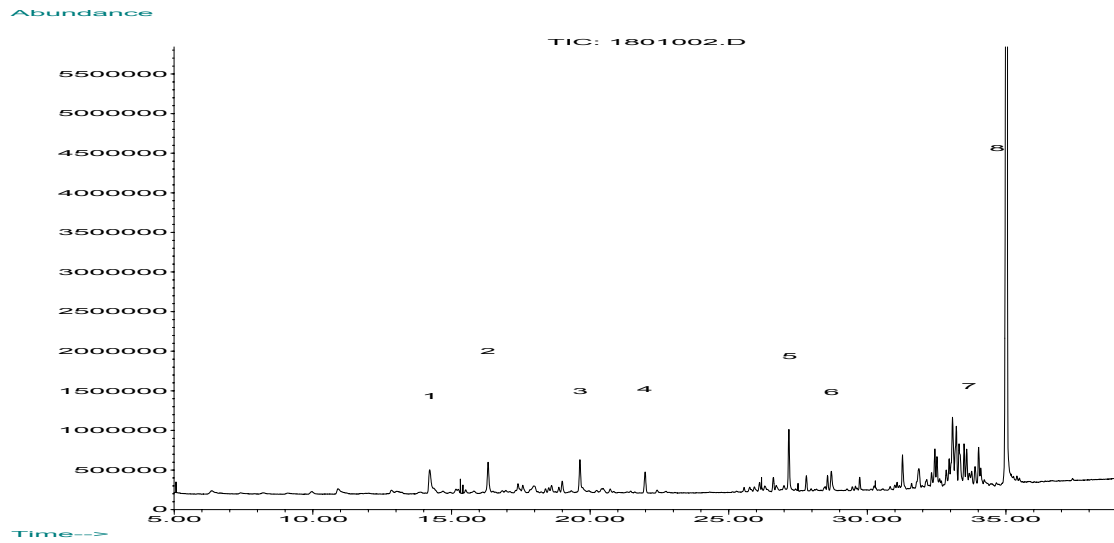
Polyolefin-Belag, 28.Tag

1: Cyclodekan (interner Standard), 2: N-Methylpyrrolidon



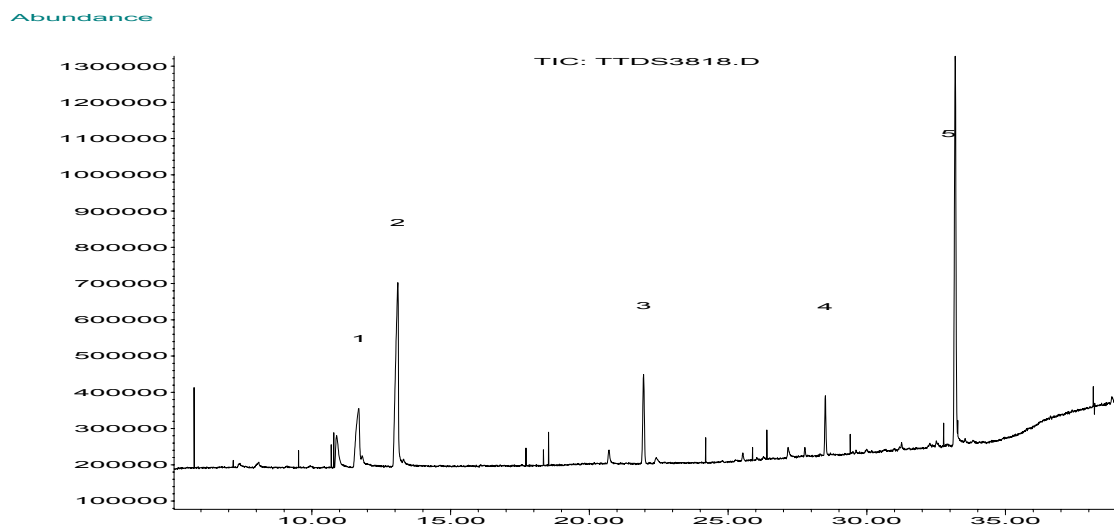
Kautschuk-Belag, 28.Tag

1: Styrol, 2: VOC, 3: Cyclodekan (interner Standard), 4: Naphthalen, 5: Tetradekan,
6: Benzothiazol,
7: Sesquiterpen, 8: BHT



PVC 5, 28.Tag

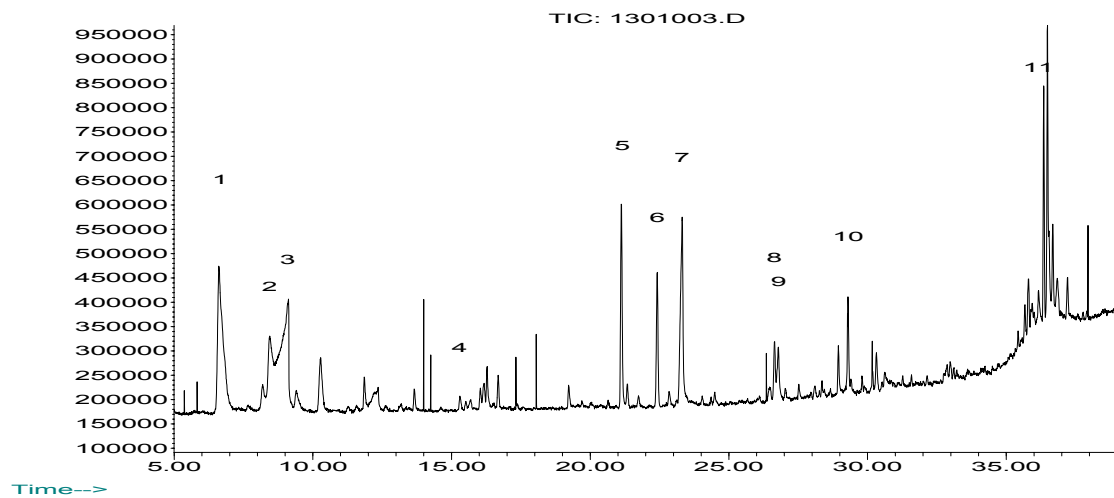
1: MIBK, 2: Dekan, 3: Undekan, 4: Cyclodekan (interner Standard), 5: Butyldiglykol, 6: N-Methylpyrrolidon, 7: SVOCs, 8: TXIB



Teppich 6, 28. Tag

1: Ethylenglykol, 2: Propylenglykol, 3: Cyclodekan (interner Standard), 4: 4-PCH, 5: Caprolactam

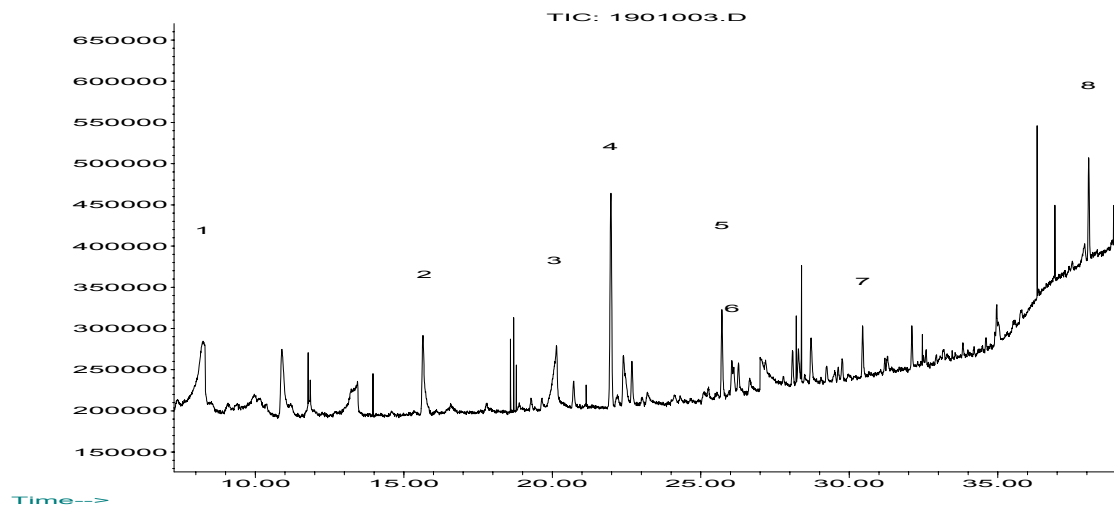
Abundance



Kleber 36, 28. Tag

1: Aceton, 2: Butanol, 3: Essigsäure, 4: α -Pinen, 5: Ethylhexanol, 6: Cyclodekan (interner Standard),
 7: Ethanol,2,2'-oxybis, 8: Ethylhexylacetat, 9: α -Terpineol, 10: Phenoxypropanol, 11: SVOCs

Abundance



Linoleum 2, 28. Tag

1: Essigsäure, 2: Hexanal, 3: Hexansäure, 4: Cyclodekan (interner Standard), 5: Nonanal,
 6: Oktansäure, 7: Decenal, 8: Dibutylphthalat

Ergebnisse der Direkt-Thermodesorption von Fußbodenklebern

Die Konzentrationsangaben in der ersten Spalte stehen für identifizierte Substanzen, in der zweiten Spalte sind die Konzentrationen der nicht identifizierbaren Substanzen aufgeführt. Die fett gedruckten Zahlen stehen für die Summen der identifizierten und nicht identifizierbaren Substanzen, sowie der Gesamtsumme. Die Prozentangabe steht für den Anteil der nicht identifizierbaren Substanzen an der Gesamtsumme. Die Konzentrationsangaben sind hierbei alle als Cyclodekanäquivalent gemacht.

Kleber 5				
Peak	Rt [min]	Verbindung	Konzentration µg/m³	
1	5.17	Acetic acid	37	
2	10.54	n-Butyl ether	11	
3	13.59	Cyclohexanol	19	
4	14.88	2-Propenoic acid, butyl ester	17	
5	16.19	???		11
6	17.83	1-Hexanol, 2-ethyl-	19	
7	18.06	Butanoic acid, butyl ester	10	
8	20.52	???		11
9	22.93	???		17
10	23.33	Acetic acid, 2-ethylhexyl ester	89	
11	25.35	???		113
12	27.29	Longifolene	12	
13	28.49	CIT/MIT	38	
			252	152
				404
				38%

Kleber 6				
Peak	Rt [min]	Verbindung	Konzentration µg/m³	
1	5.25	Acetic acid	52	
2	10.55	n-Butyl ether	8	
3	12.08	.alpha.-Pinene	9	
4	13.60	Cyclohexanol	14	
5	14.89	2-Propenoic acid, butyl ester	14	
6	16.19	???		18
7	17.85	1-Hexanol, 2-ethyl-	350	
7	18.07	Butanoic acid, butyl ester	9	
8	20.51	???		12
9	22.93	???		17
10	23.35	Acetic acid, 2-ethylhexyl ester	68	
11	23.43	3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha.,.al	58	
12	24.60	Ethanol, 2-(2-butoxyethoxy)-	12	
13	25.17	2-Propenoic acid, 2-ethylhexyl ester	128	
14	25.36	???		133
15	27.76	Caryophyllene	21	
16	28.03	???		8
17	28.48	CIT/MIT	46	
			789	188
				977
				19%

Kleber 7				
Peak	Rt [min]	Verbindung	Konzentration µg/m³	
1	5.77	1-Butanol	67	
2	8.27	Toluene	11	
3	10.51	n-Butyl ether	192	
4	11.30	Ethylbenzene	47	
5	12.45	Acetic acid, butyl ester	18	
6	12.91	p-Xylene	9	
7	13.37	Benzene, (1-methylethyl)-	17	
8	14.42	Benzene, propyl-	14	
9	14.87	2-Propenoic acid, butyl ester	246	
10	15.23	Propanoic acid, butyl ester	77	
11	17.82	1-Hexanol, 2-ethyl-	10	
12	18.04	Butanoic acid, butyl ester	50	
13	19.31	Benzaldehyde	13	
14	20.22	???		9
15	25.14	2-Propenoic acid, 2-ethylhexyl ester	59	
16	28.01	???		17
17	28.47	CIT/MIT	20	
			850	26
				876
				3%

Kleber 8		Verbindung	Konzentration		
Peak	Rt [min]		µg/m³		
1	4.79	Triethylamine	44		
2	5.25	Acetic acid	134		
3	5.64	Triethylamine	200		
3	10.54	n-Butyl ether	19		
4	11.78	m-Xylene	21		
5	12.89	p-Xylene	9		
6	13.56	Cyclohexanol	7		
7	15.21	Propanoic acid, butyl ester	15		
8	16.14	???		8	
9	16.48	Phenol	7		
10	16.74	???		9	
11	18.66	Benzene, 4-ethyl-1,2-dimethyl-	11		
12	19.35	???		14	
13	19.53	???		23	
14	21.23	???		22	
15	23.04	???		18	
16	23.58	???		35	
17	24.14	???		14	
18	24.45	???		92	
19	24.72	???		83	
20	24.88	???		12	
21	25.14	???		189	
22	25.34	???		33	
23	25.81	???		8	
24	26.17	???		16	
25	27.11	???		9	
26	32.87	???		58	
27	34.06	???		80	
			467	723	1190
				61%	

Kleber 9		Verbindung	Konzentration		
Peak	Rt [min]		µg/m³		
1	4.79	???	14		
2	5.25	Acetic acid	156		
3	5.81	1-Butanol	26		
4	9.99	Propylene Glycol	29		
5	10.55	n-Butyl ether	86		
6	11.32	Ethylbenzene	21		
7	12.48	Acetic acid, butyl ester	14		
8	13.40	Benzene, (1-methylethyl)-	8		
9	13.60	Cyclohexanol	22		
10	14.48	Benzene, propyl-	119		
11	14.89	2-Propenoic acid, butyl ester	57		
12	15.24	Propanoic acid, butyl ester	37		
13	16.19	???		23	
14	17.83	1-Hexanol, 2-ethyl-	300		
15	20.53	???		12	
16	22.94	???		14	
17	23.37	Acetic acid, 2-ethylhexyl ester	170		
18	25.24	2-Propenoic acid, 2-ethylhexyl ester	1308		
19	25.36	???		182	
20	27.14	???		15	
21	27.22	???		30	
22	27.78	???		22	
23	28.49	CIT/MIT	42		
			2409	298	2707
				11%	

Kleber 10			
Peak	Rt [min]	Verbindung	Konzentration µg/m³
1	5.25	Acetic acid	146
2	10.00	1,2-Propanediol	37
3	10.54	n-Butyl ether	24
4	11.34	Ethylbenzene	9
5	13.60	Cyclohexanol	30
6	14.89	2-Propenoic acid, butyl ester	36
7	15.23	Propanoic acid, butyl ester	7
8	16.20	???	24
9	17.86	1-Hexanol, 2-ethyl-	377
10	20.52	???	20
11	22.93	???	29
12	23.37	Acetic acid, 2-ethylhexyl ester	284
13	25.24	2-Propenoic acid, 2-ethylhexyl ester	1460
14	25.36	???	281
15	27.14	???	22
16	27.21	???	44
17	27.78	???	24
18	28.49	CIT/MIT	23
			2433
			444
			2877
			15%

Kleber 11			
Peak	Rt [min]	Verbindung	Konzentration µg/m³
1	5.25	Acetic acid	36
2	17.86	1-Hexanol, 2-ethyl-	122
3	22.80	Tridecane	18
4	22.90	???	13
5	23.35	Acetic acid, 2-ethylhexyl ester	22
6	23.44	???	8
7	24.65	Tridecane, 2-methyl-	10
8	24.86	Undecane, 3-methyl-	10
9	25.24	2-Propenoic acid, 2-ethylhexyl ester	69
10	25.42	Tetradecane	181
11	25.58	???	12
12	25.59	???	10
13	26.52	???	21
14	26.63	???	8
15	26.74	???	19
16	26.84	???	25
17	27.00	???	46
18	27.31	Longifolene	12
19	27.44	Pentadecane	134
20	28.31	???	13
21	28.5	CIT/MIT	55
22	28.61	???	19
23	29.1	Hexadecane	29
24	29.19	???	10
25	29.28	???	9
26	29.68	???	17
27	30.18	???	44
28	36.8	Dibutyl phthalate	19
			717
			274
			991
			28%

Kleber 12			
Peak	Rt [min]	Verbindung	Konzentration µg/m³
1	5.25	Acetic acid	14
2	10.25	Propylene Glycol	451
3	14.92	Ethanol, 2-butoxy-	16
4	16.8	Undecane	7
5	17.34	1-Acetoxy-2-propanol	12
6	17.86	1-Hexanol, 2-ethyl-	531
7	19.86	Dodecane	19
8	22.78	Tridecane	13
9	23.35	Acetic acid, 2-ethylhexyl ester	327
10	24.8	Ethanol, 2-(2-butoxyethoxy)-	5087
11	25.22	2-Propenoic acid, 2-ethylhexyl ester	91
12	25.39	???	428
13	26.17	2-Pyrrolidinone, 1-methyl-	1150
14	26.45	???	15
15	26.63	???	10
16	27.14	???	84
17	27.21	???	99
18	27.77	???	65
19	28.48	CIT/MIT	135
20	29.14	???	11
21	29.26	???	7
22	29.66	???	17
23	29.88	???	7
24	30.16	???	34
25	33.93	Isopropyl Myristate	14
		7867	777
			8644
			9%

Kleber 13			
Peak	Rt [min]	Verbindung	Konzentration µg/m³
1	3.30	2-Propanol, 2-methyl-	18
2	4.79	???	8
3	5.82	Acetic acid	42
4	5.82	1-Butanol	9
5	10.55	n-Butyl ether	24
6	13.60	Cyclohexanol	24
7	14.89	2-Propenoic acid, butyl ester	35
8	15.24	Propanoic acid, butyl ester	18
9	15.92	Acetamide	29
10	16.23	???	35
11	17.89	1-Hexanol, 2-ethyl-	554
12	18.09	Butanoic acid, butyl ester	19
13	20.54	???	23
14	22.93	???	22
15	23.36	Acetic acid, 2-ethylhexyl ester	127
16	24.46	Benzene, 1-methoxy-4-(2-propenyl)-	19
17	24.60	Ethanol, 2-(2-butoxyethoxy)-	40
18	25.18	2-Propenoic acid, 2-ethylhexyl ester	15
19	25.33	???	147
20	26.18	2-Pyrrolidinone, 1-methyl-	23
21	26.51	α-Terpineol	9
22	27.30	Longifolene	28
23	27.78	???	7
24	28.49	CIT/MIT	25
25	36.79	Dibutyl phthalate	9
		1067	242
			1309
			18%

Kleber 14			
Peak	Rt [min]	Verbindung	Konzentration µg/m³
1	5.25	Acetic acid	29
2	10.54	n-Butyl ether	12
3	13.68	Cyclohexanol	10
4	14.91	2-Propenoic acid, butyl ester	19
5	15.23	Propanoic acid, butyl ester	7
6	16.24	???	7
7	17.86	1-Hexanol, 2-ethyl-	175
8	18.06	Butanoic acid, butyl ester	10
9	20.55	???	9
10	22.93	???	6
11	23.35	Acetic acid, 2-ethylhexyl ester	65
12	25.35	???	92
13	27.31	Longifolene	13
14	28.51	CIT/MIT	28
		368	114
			482
			24%

Kleber 16				
Peak	Rt [min]	Verbindung	Konzentration µg/m³	
1	5.64	Acetic acid	80	
2	10.58	n-Butyl ether	8	
3	13.63	Cyclohexanol	15	
4	14.93	2-Propenoic acid, butyl ester	14	
5	15.92	Acetamide	13	
6	16.24	???		13
7	17.96	1-Hexanol, 2-ethyl-	382	
8	18.11	Butanoic acid, butyl ester	10	
9	20.56	???		11
10	22.96	???		20
11	23.40	Acetic acid, 2-ethylhexyl ester	89	
11	25.38	???		139
12	26.54	α-Terpineol	7	
13	27.24	???		8
14	27.32	Longifolene	20	
15	27.81	???		10
16	28.50	CIT/MIT	41	
24	33.96	Isopropyl Myristate	45	
			724	201
				925
				22%

Kleber 17				
Peak	Rt [min]	Verbindung	Konzentration µg/m³	
1	5.94	Acetic acid	275	
2	10.23	Propylene Glycol	45	
3	10.57	n-Butyl ether	23	
4	11.37	Ethylbenzene	8	
5	13.56	Cyclohexanol	26	
6	14.92	2-Propenoic acid, butyl ester	19	
7	15.26	Propanoic acid, butyl ester	7	
8	15.97	Acetamide	22	
9	16.29	???		49
10	17.41	1-Acetoxy-2-propanol	7	
11	17.96	1-Hexanol, 2-ethyl-	1153	
11	18.95	2-Ethyl-5-methylpyridine	13	
12	20.55	???		48
13	21.37	???		14
14	22.20	1-Propanol, 2-(2-hydroxypropoxy)-	11	
15	22.96	???		32
16	23.34	Acetic acid, 2-ethylhexyl ester	357	
17	24.06	???		6
18	25.27	2-Propenoic acid, 2-ethylhexyl ester	1552	
19	25.41	???		329
20	27.17	???		23
21	27.24	???		49
22	27.80	???		39
23	28.50	CIT/MIT	53	
24	30.55	???		7
			3571	596
				4167
				14%

Kleber 18				
Peak	Rt [min]	Verbindung	Konzentration µg/m³	
1	6.02	Acetic acid	1575	
2	10.13	Propylene Glycol	14	
3	14.92	2-Propenoic acid, butyl ester	85	
4	17.87	1-Hexanol, 2-ethyl-	7	
5	28.50	CIT/MIT	40	
7	33.9	Isopropyl Myristate	7	
			1728	
				0%

Kleber 19				
Peak	Rt [min]	Verbindung	Konzentration	
			$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
1	5.25	Acetic acid	352	
2	8.47	1,2-Ethanediol	14	
3	9.97	1,2-Propanediol	30	
4	10.55	n-Butyl ether	15	
5	13.57	Cyclohexanol	13	
6	14.87	2-Propenoic acid, butyl ester	31	
7	15.21	Propanoic acid, butyl ester	8	
8	15.88	Acetamide	57	
9	16.18	???		15
10	17.85	1-Hexanol, 2-ethyl-	449	
11	18.04	Butanoic acid, butyl ester	9	
12	20.49	???		9
13	22.89	???		15
14	23.33	Acetic acid, 2-ethylhexyl ester	144	
15	25.18	2-Propenoic acid, 2-ethylhexyl ester	655	
16	25.33	???		117
17	26.48	α -Terpineol	6	
18	27.11	???		7
19	27.18	???		18
20	27.26	Longifolene	18	
21	27.75	???		13
22	28.46	CIT/MIT	26	
			1827	194
				10%
				2021

Kleber 22				
Peak	Rt [min]	Substanz	Konzentration	
			$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
1	18.02	Ethanol, 2-butoxy-	12	
2	23.04	Ethanol, 2,2'-oxybis-	37	
3	28.82	Ethanol, 2-phenoxy-	26	
4	29.20	Propanol, 3-phenoxy-	458	
5	30.44	???		25
6	34.22	Naphthalene, 1,2,3-trimethyl-4-propenyl-,	15	
7	34.86	???		13
8	34.87	???		10
9	35.48	Phenol, 2 (1 phenylethyl)-	39	
10	35.71	???		24
11	36.26	???		31
12	36.39	???		79
13	37.39	???		19
			587	201
				26%
				788

Kleber 23				
Peak	Rt [min]	Substanz	Konzentration	
			$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
1	7.59	Acetic acid	66	
2	8.28	1-Butanol	17	
3	13.38	n-Butyl ether	10	
4	20.97	1-Hexanol, 2-ethyl-	158	
5	26.31	Acetic acid, 2-ethylhexyl ester	19	
6	26.51	α -Terpineol	10	
7	31.25	???		12
			280	12
				4%
				292

Kleber 24				
Peak	Rt [min]	Substanz	Konzentration	
	min		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
1	7.59	Acetic acid	157	
2	8.28	1-Butanol	13	
3	13.41	n-Butyl ether	93	
4	15.44	Acetic acid, butyl ester	23	
5	18.02	Ethanol, 2-butoxy-	61	
6	18.26	Propanoic acid, butyl ester	38	
7	20.97	1-Hexanol, 2-ethyl-	740	
8	23.13	Ethanol, 2,2'-oxybis-	123	
9	26.32	Acetic acid, 2-ethylhexyl ester	74	
10	28.01	???	43	
11	28.25	???	34	
12	28.84	Ethanol, 2-phenoxy-	13	
13	35.33	???	34	
14	35.72	???	33	
15	36.26	???	49	
16	36.39	???	131	
			1335	324
			20%	1659

Kleber 25				
Peak	Rt [min]	Substanz	Konzentration	
	min		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
1	20.97	1-Hexanol, 2-ethyl-	304	
2	26.01	???	9	
3	26.32	Acetic acid, 2-ethylhexyl ester	42	
4	29.19	1-Propanol, 3-phenoxy-	217	
5	30.45	???	9	
6	34.22	Naphthalene, 1,2,3-trimethyl-4-propenyl, (	22	
7	34.86	1H-Indene, 2,3-dihydro-1,1,3-trimethyl-3 p	18	
8	35.49	Phenol, 2-(1-phenylethyl)-	107	
9	36.39	???	131	
			710	149
			17%	859

Kleber 26				
Peak	Rt [min]	Substanz	Konzentration	
	min		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
1	8.17	Acetic acid	352	
2	12.84	Propylene Glycol	64	
3	20.98	1-Hexanol, 2-ethyl-	295	
4	26.33	Acetic acid, 2-ethylhexyl ester	231	
5	27.87	2-Propenoic acid, 2-ethylhexyl ester	18	
6	28.02	???	295	
7	28.83	Ethanol, 2-phenoxy-	136	
8	29.62	???	93	
9	30.17	???	54	
10	31.12	CIT/MIT	15	
			1111	442
			28%	1553

Kleber 27				
Peak	Rt [min]	Substanz	Konzentration	
	min		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
1	7.58	Acetic acid	75	
2	23.06	Ethanol, 2,2'-oxybis-	30	
3	28.77	Benzene, 3-cyclohexen-1-yl-	15	
4	29.21	1-Propanol, 3-phenoxy-	9	
5	36.39	???	24	
			129	24
			16%	153

Kleber 28			
Peak	Rt [min]	Substanz	Konzentration µg/m³
1	8.04	Acetic acid	134
2	13.40	n-Butyl ether	8
3	20.99	1-Hexanol, 2-ethyl-	239
4	23.13	Ethanol, 2,2'-oxybis-	141
5	26.33	Acetic acid, 2-ethylhexyl ester	15
6	28.26	???	11
7	29.20	1-Propanol, 3-phenoxy-	11
8	35.72	???	17
9	36.27	???	22
10	36.40	???	51
11	36.59	???	14
12	36.74	???	11
13	37.40	???	12
			548 138 686
			20%

Kleber 29			
Peak	Rt [min]	Substanz	Konzentration µg/m³
		keine Emission festgestellt	0

Kleber 30			
Peak	Rt [min]	Substanz	Konzentration µg/m³
1	8.04	Acetic acid	259
2	11.36	1,2-Ethanediol	19
3	13.40	n-Butyl ether	11
4	20.97	1-Hexanol, 2-ethyl-	365
5	22.74	???	12
6	23.14	Ethanol, 2,2'-oxybis-	203
7	26.30	Acetic acid, 2-ethylhexyl ester	31
8	27.99	???	20
9	28.24	???	13
10	28.75	Benzene, 3-cyclohexen-1-yl-	12
11	29.20	1-Propanol, 3-phenoxy-	387
12	30.48	Triethylene glycol	12
13	35.70	???	23
14	36.24	???	32
15	36.37	???	69
16	36.72	???	31
			1299 200 1499
			13%

Kleber 31			
Peak	Rt [min]	Substanz	Konzentration µg/m³
1	13.04	Propylene Glycol	51
2	20.95	1-Hexanol, 2-ethyl-	184
3	26.31	Acetic acid, 2-ethylhexyl ester	281
4	28.00	???	179
5	29.65	???	100
6	30.16	???	30
			516 309 825
			37%

Kleber 38			
Peak	Rt [min]	Verbindung	Konzentration µg/m³
1	9.04	Acetic acid	2292
2	16.28	Camphene	26
3	21.13	Hexylene Glycol	154
4	27.84	Ethanol, 2-(2-butoxyethoxy)-	28726
5	29.02	Neoisolongifolene	79
6	29.10	Sesquiterpen	99
7	29.46	Longifolene-(V4)	233
8	27.72	Sesquiterpen	2787
9	29.90	Longifolene-(I2)	130
10	30.06	???	212
11	30.17	???	3527
12	30.36	Sesquiterpen	58
13	30.68	Sesquiterpen	251
14	30.91	δ-Selinene	199
15	31.38	Ethanol, 2-(2-butoxyethoxy)-, acetate	14859
16	31.79	???	172
17	31.91	???	244
18	34.49	???	51
19	35.54	???	72
20	36.03	???	36
21	36.20	???	93
			49893 4407 54300
			9%

Prüfverfahren

Fassung 2002-07-26_BAM

Verfahren zur Prüfung der Emission flüchtiger organischer Verbindungen für die Umweltzeichenvergabe

nach RAL-UZ ...

(Umweltzeichen für emissionsarme Bodenbelags-Klebstoffe und andere Verlegewerkstoffe)

Übersicht

1. Definitionen
2. Geräte
3. Prüfmateriale
4. Messung in der Emissionsprüfkammer bzw. Emissionsprüfzelle
5. Luft-Probenahme und Analysenverfahren
6. Auswertung und Prüfbericht
7. Prüfinstitute
8. Literatur

Anhang Beispiel für ein erprobtes Messverfahren

1. Definitionen

Emissionsprüfkammer

Abgeschlossenes Behältnis mit geregelten Betriebsparametern zur Bestimmung der flüchtigen organischen Verbindungen, die von Bauprodukten emittiert werden.

Emissionsprüfzelle

Tragbare Vorrichtung zur Bestimmung von flüchtigen organischen Verbindungen, die von Bauprodukten emittiert werden. Die Emissionsprüfzelle wird auf der Oberfläche des Prüfstückes angebracht, so dass dieses zu einem Teil der Emissionsprüfzelle wird.

Flächenspezifische Luftdurchflussrate (q [$\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$])

Verhältnis zwischen der Luftdurchflussrate und der emittierfähigen Fläche des Prüfstückes.

Luftaustauschrate (n [h^{-1}])

Das Verhältnis des Reinluftvolumens, das stündlich in die Emissionsprüfkammer eingebracht wird, zum freien Volumen der Emissionsprüfkammer, das in identischen Einheiten zu bestimmen ist, ausgedrückt in Luftwechseln pro Stunde.

Luftdurchflussrate ($^\circ V$ [m^3/h])

Luftvolumen, das der Emissionsprüfkammer pro Zeiteinheit zugeführt wird.

Luftgeschwindigkeit (v [m/s])

Luftgeschwindigkeit über der Oberfläche des Prüfstück (Abstand 10 mm).

Produktbeladungsfaktor (L [m²/m³])

Verhältnis der emittierfähigen Oberfläche des Prüfstück und dem freien Emissionsprüfkammervolumen.

Prüfstück

Teil der Probe, der für die Emissionsprüfung in einer Emissionsprüfkammer besonders vorbereitet wurde, um das Emissionsverhalten des zu untersuchenden Materials oder Produktes zu simulieren.

Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC, Total Volatile Organic Compounds)

Die Summe der Konzentrationen der identifizierten und nicht identifizierten flüchtigen organischen Verbindungen, die zwischen n-Hexan und n-Hexadekan eluieren, einschließlich dieser Verbindungen.

Flüchtige organische Verbindungen (VOC, Volatile Organic Compounds)

Generell: Organische Verbindungen, die von dem Prüfstück emittiert und in der Kammerluft nachgewiesen werden. Hier, im Sinne dieses Prüfverfahrens, die identifizierten und nicht identifizierten organischen Verbindungen, die zwischen n-Hexan und n-Hexadekan eluieren, einschließlich dieser Verbindungen.

SVOC (Semi volatile organic compounds)¹

Schwerer flüchtige organische Verbindungen (identifiziert und nicht identifiziert), die nach n-Hexadekan eluieren.

TSVOC (Summe der schwerer flüchtigen organischen Verbindungen)

Summe der Konzentrationen der identifizierten und nicht identifizierten schwerer flüchtigen organischen Verbindungen, die nach n-Hexadekan eluieren.

2. Geräte

- Geräte für den Auftrag des Prüfmateri als
- Glasplatten:
 - Größe abhängig vom Volumen der Emissionsprüfkammer bzw. Fläche der Emissionsprüfzelle bei einer flächenspezifischen Luftdurchflussrate von 1,25 m³/m²h;
 - entfettende Reinigung vor Beginn der Prüfung durch geeignetes Verfahren, das keinen Blindwert zur Folge hat;
 - Blindwertkontrolle der Glasplatten vor Prüfbeginn.

¹ Es ist davon auszugehen, dass schwerflüchtige organische Verbindungen mit heutigen modernen Analysengeräten (z.B. Gerstel, Perkin-Elmer) bis zu einer dem Dokosan (C22-Alkan, Siedepunkt 369 °C) vergleichbaren Flüchtigkeit problemlos quantitativ bestimmt werden können. Für noch schwerer flüchtige organische Verbindungen werden nach dem derzeitigen Kenntnisstand mit der Methode der Tenax-Probenahme und anschließender Thermodesorption zunehmend Schwierigkeiten auftreten. Für die Anwendung anderer Probenahme- und Analysenverfahren liegen bisher nicht ausreichende Erfahrungen vor. Vgl. [5]

- Glasschalen mit planebenem Boden (z.B. Petrischalen) bzw. Glasplatten mit Rand:
 - Größe abhängig vom Volumen der Emissionsprüfkammer bzw. Fläche der Emissionsprüfzelle bei einer flächenspezifischen Luftdurchflussrate von 1,25 m³/m²h;
 - entfettende Reinigung vor Beginn der Prüfung durch geeignetes Verfahren, das keinen Blindwert zur Folge hat;
 - Blindwertkontrolle der Glasschalen vor Prüfbeginn.
- Schablone für Prüfkörper-Herstellung (ggf. auch nicht emittierendes Klebeband, Glasrand oder Edelstahlschablonen)

- Zahnspachtel TKB B1

Die Zahnung hat eine Dreieckskerbung mit folgenden Abmessungen:

Maß			Toleranz
a	Kerbenabstand / Zahnbreite	2,7 mm	- 0,2 mm
b	Kerbenbreite / Zahnlückenbreite	2,3 mm	+ 0,2 mm
c	Kerbentiefe / Zahnlückentiefe	2,0 mm	+ 0,15 mm
γ	Kerbenwinkel	55 °	+/- 0,5 °

- Emissionsprüfkammer, Emissionsprüfzelle , siehe 4.
- Systeme für Luftprobenahme
- Adsorbentien für Luftprobenahme gemäß 5.
- Kapillargaschromatograph mit Thermodesorptionseinheit, gekoppelt an ein Massenspektrometer mit Auswerteeinheit
- Flüssigkeitschromatograph mit Dioden-Array-Detektor.

3. Prüfmateriäl

3.1 Auswahl

Zur Prüfung sind Muster auszuwählen, deren Produktion maximal 8 Wochen zurückliegt. Die Verantwortung für die Anlieferung frischen Prüfmateriäls liegt beim Auftraggeber der Prüfung. In der Regel wird ein Muster im Originalgebinde angeliefert, der Inhalt vom Prüflabor homogenisiert und eine Rückstellprobe entnommen. Das Herstellungsdatum ist anzugeben.

3.2 Herstellung des Prüfkörpers

Gebrauchsfertige Verlegewerkstoffe werden im Anlieferungszustand geprüft. Andere sind nach Herstellerangabe anzumischen.

Je nach Art des zu prüfenden Verlegewerkstoffes werden die Prüfkörper auf unterschiedliche Weise hergestellt.

Die Herstellung des Prüfkörpers soll exakt gemäß den nachfolgenden Vorgaben erfolgen.

3.2.1 Vorstriche/Grundierungen

sind bei der Anwendung flüssige Verlegewerkstoffe, die zur Vorbereitung von Untergrundoberflächen verwendet werden. Hierzu gehören z.B. auch leitfähige Vorstriche und Anti-Rutsch-Beschichtungen.

3.2.1.1 Vorgehensweise bei wässrigen Produkten

Probe homogenisieren. Falls keine verbindliche Herstellerangabe über den Trockenrückstand der angelieferten Probe vorliegt, Trockenrückstand in Anlehnung an ISO 1625 durch Trocknen einer separaten Teilprobe bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz ermitteln. Probe auf Basis des vom Hersteller angegebenen, ersatzweise des eigens ermittelten Trockenrückstandes mit VOC-freiem Wasser auf 10 % Trockenrückstand einstellen und homogenisieren. Soviel der ggf. verdünnten Probe in eine gewogene Glasschale (siehe 2.) gießen, dass diese mit 100 +/- 5 g/m² beladen ist. Durch Schwenken der Schale den Boden gleichmäßig benetzen. Schale unmittelbar danach in die Prüfkammer überführen. Nach der Prüfung durch Zurückwiegen sicherstellen, dass das Gewicht des in der Prüfkammer getrockneten Probenfilms bei den vorgesehenen 10 +/- 1 g/m² liegt.

3.2.1.2 Vorgehensweise bei wasserfreien Produkten

Probenkomponenten wie oben beschrieben homogenisieren und ggf. im vom Hersteller angegebenen Mischungsverhältnis homogen anmischen. Eine unverdünnte Probenmenge von 100 +/- 5 g/m² sinngemäß wie oben beschrieben prüfen.

3.2.2 Spachtelmassen

sind pulverförmige Verlegewerkstoffe, die nach dem Anmischen mit Wasser erhärten und zum Spachteln von Untergründen Verwendung finden. Hierzu gehören z. B. Zement- und Gipsspachtelmassen.

Spachtelmassen auf Dispersions- oder Reaktionsharzbasis sind wie Klebstoffe zu prüfen (siehe 3.2.3).

Vorgehensweise:

Probe nach Angaben des Herstellers mit VOC-freiem Wasser homogen anmischen, ca. 5 Minuten stehen lassen und erneut durchrühren. Eine 3 mm dicke gleichmäßige Schicht der angemischten Probe vollflächig auf eine Glasplatte (siehe 2.) auftragen und mit einem glatten Spachtel abziehen. Dazu Rand der Beladungsfläche mittels emissionsfreier Hilfsbegrenzung (z.B. Glasrand oder Edelstahlrahmen als Schablone) ausreichend hoch abgrenzen. Prüfkörper unverzüglich nach Herstellung zusammen mit emissionsfreier Hilfsbegrenzung in die Prüfkammer überführen.

3.2.3 Bodenbelag- und Parkettklebstoffe

sind bei der Anwendung flüssige bis pastöse Verlegewerkstoffe, die zur Herstellung eines festen Haftverbundes zwischen Belag und Untergrund verwendet werden. Hierzu gehören z.B. auch Kontaktklebstoffe und Fixierungen.

3.2.3.1 Vorgehensweise bei gebrauchsfertigen Klebstoffen

Die Probe ist zu homogenisieren. Anschließend wird die Probe im Gewichtsüberschuss auf der vorgewogenen Glasplatte (siehe 2., Beispiele siehe 4.) vorgelegt und mit einem Zahnschachtel TKB B 1 durch einmaliges Abziehen (Anstellwinkel ca. 60 °) gleichmäßig verteilt, so dass sich eine auf der vollen Fläche gleichmäßig strukturierte Probenoberfläche ergibt. Danach ist die Glasplatte zurückzuwiegen und die Auftragsmenge zu dokumentieren. Die Auftragsmenge muss möglichst genau 300 g/m² betragen. Ein Toleranzbereich von 300 ± 50 g/m² kann akzeptiert werden. Sollte dieser Toleranzbereich unter- oder überschritten werden, muss ein neuer Prüfkörper hergestellt werden. Durch Erhöhung des Anstellwinkels des Spachtels wird die Auftragsmenge erhöht, durch Verminderung des Anstellwinkels wird die Auftragsmenge verringert. Der gesamte Probenauftrag soll innerhalb von 3 Minuten durchgeführt werden. Der/die Prüfkörper sind unmittelbar nach der Herstellung in die Prüfkammer überführen.

3.2.3.2 Vorgehensweise bei 2-Komponentenklebstoffen und Pulverklebstoffen

Die Probe ist nach Angaben des Herstellers homogen anzumischen. Bei Einsatz von Wasser ist dessen VOC-Freiheit zu kontrollieren. Die Herstellung des Prüfkörpers erfolgt sinngemäß wie unter 3.2.3.1 beschrieben.

3.2.4 Unterlagen

sind "Flächengebilde", die unter Nutzbelägen zum Einsatz kommen. Hierzu gehören z.B. Dämmunterlagen, haftklebstoffbeschichtete Unterlagen, Verlegeplatten u.ä.

3.2.4.1 Vorgehensweise bei Bahnenware

Bei Bahnenware wird die Rolle mindestens 2 Rollenumwicklungen weit abgerollt. Bei breiten Bahnen wird ein Muster mit einer Fläche von mindestens 1 m² aus der Mitte der Bahn entnommen. Bei schmalen Bahnen (< 1 m Breite) erfolgt die Entnahme über die gesamte Rollenbreite auf einer für die Prüfung ausreichenden Länge. Soweit möglich werden die Muster entgegen der normalen Rollrichtung aufgerollt und vorzugsweise mit Klammern fixiert. Sie werden doppelt in Aluminiumfolie gewickelt und in unbedruckter, luftdichter Polyethylen- oder Polypropylenfolie verpackt. In jeder Folie darf nur ein Muster enthalten sein. Von der Probenentnahme bis zur luftdichten Verpackung darf höchstens 1 Stunde vergehen. Im Prüflabor wird das Muster unmittelbar vor Beginn der Prüfung ausgepackt und wie in 4. beschrieben in die Kammer eingebracht. Alle offenen Ränder werden mit einem inerten Material, z.B. gering emittierendem Klebeband oder Aluminiumfolie abgedichtet.

Die Emissionen der verwendeten Randabdeckungen sind vor Prüfbeginn zu ermitteln und zu dokumentieren.

3.2.4.2 Vorgehensweise bei Plattenware

Plattenware wird vorzugsweise in einer handelsüblichen Packungseinheit (aber zusätzlich in Aluminiumfolie und in Polyethylen- oder Polypropylenfolie verpackt) versandt. Im Prüflabor wird das Muster unmittelbar vor Beginn der Prüfung ausgepackt. Das Probenmaterial wird aus der Mitte der Packung entnommen. Der Prüfkörper wird entweder auf die für die Prüfung erforderliche Größe geschnitten oder zusammengefügt. Alle offenen Ränder werden mit einem inerten Material, z.B. gering emittierendem Klebeband oder Aluminiumfolie abgedichtet.

Die Emissionen der verwendeten Randabdeckungen sind vor Prüfbeginn zu ermitteln und zu dokumentieren.

4. Messung in der Emissionsprüfkammer bzw. Emissionsprüfzelle

Die Prüfkammern/-zellen haben den in [1] beschriebenen Anforderungen zu entsprechen. Dies bedeutet insbesondere:

- Reinstluftversorgung
-(VOC- und Staubfrei)
- Reinstwasserversorgung
- Kammer-/Zellenwände aus Glas oder Edelstahl
- Weitest gehender Verzicht auf Dichtungsmaterialien
- Manteltemperierung empfohlen

Folgende Prüfbedingungen sind in Analogie zu [1] einzuhalten:

Temperatur (T)	23 °C	± 1 K
Relative Luftfeuchtigkeit (r.F.)	50 % r.F.	± 5 % r.F.
flächenspezifische Luftdurchflussrate (q) ²	1,25	± 3 %
Luftströmungsgeschwindigkeit (v)	0,1 - 0,3 m/s	

Vor der Beladung ist eine Blindwertbestimmung in der Kammer/Zelle durchzuführen. Der Blindwert für die Einzelsubstanzen darf 2 µg/m³, für kanzerogene (C) Substanzen 0,5 µg/m³ nicht überschreiten. Die Summe der Blindwerte der Einzelsubstanzen darf 10 µg/m³ nicht überschreiten. Für die Blindwertbestimmung der Prüfkammer/Prüfzelle ist der Adsorber-Blindwert zu ermitteln und abzuziehen.

Die Prüfkammer-/Prüfzellenmessung muss über den gesamten Prüfzeitraum durchgängig erfolgen, eine Auslagerung der Proben ist nicht zulässig.

Folgende Randbedingungen für die Kammer-/Zellenbeladung haben sich als geeignet erwiesen, wobei sicherzustellen ist, dass die Prüfkörper für die Kammermessung allseitig gleichmäßig luftumströmt sind (Prüfkörper nicht auf den Kammerboden legen):

² Die Festlegung dieser flächenspezifischen Luftdurchflussrate erfolgt nach [1, Anhang B] unter der Zugrundelegung einer Bodenfläche von 7 m² und einem Luftwechsel (n) von 0,5/h in einem Raum mit 17,4 m³ Volumen. Aus der Bodenfläche mit 7 m² und dem Raumvolumen von 17,4 m³ errechnet sich eine Raumbeladung (L) von 0,4 m²/m³. Daraus ergibt sich $q = n/L = 1,25 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$.

Bodenbelag-, Parkettklebstoffe:

1 m³ - Kammer: 8 Glasplatten (à 220 mm x 270 mm), Kleberauftrag 200 x 250 mm (einseitig) = 0,4 m²
(Luftwechsel = 0,5 h⁻¹ (Luftvolumenstrom = 0,5 m³/h), Raumbeladung = 0,4 m²/m³)

225 l - Kammer: 1 Glasplatte à 300 mm x 300 mm (einseitig) = 0,09 m²
(Luftwechsel = 0,5 h⁻¹ (Luftvolumenstrom = 0,112 m³/h), Raumbeladung = 0,4 m²/m³)

20 l - Kammer: 2 Glasplatten (à 220 mm x 270 mm), Kleberauftrag 200 x 250 mm (einseitig) = 0,1 m²
(Luftwechsel = 6,25 h⁻¹ (Luftvolumenstrom = 0,125 m³/h), Raumbeladung = 5 m²/m³)

Emissionsmesszelle (z.B. BAM [4]): 1 Glasplatte (min. 200 mm Kantenlänge bzw. Durchmesser), Kleberauftrag kreisförmig, 140 mm Durchmesser = 0,0154 m²
(Luftwechsel = 19,2 h⁻¹ (Luftvolumenstrom = 0,0192 m³/h), Raumbeladung = 15,4 m²/m³)

Vorstriche, Spachtelmassen und Grundierungen:

1 m³ - Kammer: 8 Petrischalen mit Durchmesser 250 mm = 0,393 m²
(Luftwechsel = 0,49 h⁻¹ (Luftvolumenstrom = 0,49 m³/h), Raumbeladung = 0,393 m²/m³)

225 l - Kammer: 1 Petrischale 300 mm x 300 mm = 0,09 m²
(Luftwechsel = 0,5 h⁻¹ (Luftvolumenstrom = 0,112 m³/h), Raumbeladung = 0,4 m²/m³)

20 l - Kammer: 1 Petrischale mit Durchmesser 250 mm = 0,049 m²
(Luftwechsel = 3,06 h⁻¹ (Luftvolumenstrom = 0,061 m³/h), Raumbeladung = 2,45 m²/m³)

Emissionsmesszelle (z.B. BAM [4]): 1 Petrischale mit Innen-Durchmesser 115 mm = 0,0104 m². Diese ist auf eine ebene und inerte Unterlage (Glasplatte, siehe oben) zu stellen. Die Zelle wird mit gleichmäßigem Abstand vom Rand der Petrischale auf die Glasplatte aufgesetzt.
(Luftwechsel = 13 h⁻¹ (Luftvolumenstrom = 0,013 m³/h), Raumbeladung = 10,4 m²/m³)

Unterlagen:

1 m³ - Kammer: Die Unterlagen sind mit Abmaßen von 270 mm x 220 mm zuzuschneiden. Acht Prüfkörper sind Rückseite an Rückseite mit selbstklebender Aluminiumfolie umlaufend und überlappend (1 cm) zusammen zu kleben. Es resultiert eine Emissionsoberfläche von 0,4 m².
(Luftwechsel = 0,5 h⁻¹ (Luftvolumenstrom = 0,5 m³/h), Raumbeladung = 0,4 m²/m³)

225 l - Kammer: Die Unterlagen sind mit Abmaßen von 320 mm x 170 mm zuzuschneiden. Zwei Prüfkörper sind Rückseite an Rückseite mit selbstklebender Aluminiumfolie umlaufend und überlappend (1 cm) zusammen zu kleben. Es resultiert eine Emissionsoberfläche von 0,09 m².
(Luftwechsel = 0,5 h⁻¹ (Luftvolumenstrom = 0,112 m³/h), Raumbeladung = 0,4 m²/m³)

20 l - Kammer: Die Unterlagen sind mit Abmaßen von 270 mm x 220 mm zuzuschneiden. Zwei Prüfkörper sind Rückseite an Rückseite mit selbstklebender Aluminiumfolie umlaufend und überlappend (1 cm) zusammen zu kleben. Es resultiert eine Emissionsoberfläche von 0,1 m².
(Luftwechsel = 6,25 h⁻¹ (Luftvolumenstrom = 0,125 m³/h), Raumbeladung = 5 m²/m³)

Emissionsmesszelle (z.B. BAM [4]): Die Unterlagen sind mit Abmaßen von min. 200 mm Kantenlänge bzw. Durchmesser zuzuschneiden und auf eine ebene und inerte Unterlage (Glasplatte, siehe oben) zu legen. Auf diese Fläche wird die Zelle aufgesetzt. Es resultiert eine Emissionsoberfläche von 0,0177 m².
(Luftwechsel = 22,1 h⁻¹ (Luftvolumenstrom = 0,0221 m³/h), Raumbeladung = 17,7 m²/m³)

5. Luftprobenahme- und Analysenverfahren

Für VOC und SVOC ist die Probenahme mittels Tenax bei anschließender Thermodesorption nach [2] und Auswertung mittels GC/MSD durchzuführen.

Für Formaldehyd und Acetaldehyd erfolgt die Probenahme auf Silicagel oder auf Filtern, die mit Dinitrophenylhydrazin (DNPH) imprägniert sind, oder in einer wässrigen Lösung von DNPH. Belegte DNPH-Filter müssen spätestens 2 Tage nach der Probenahme desorbiert werden, um Minderbefunde für Formaldehyd zu vermeiden. Die Desorption wird mit Acetonitril vorgenommen, die Trennung und Identifizierung mittels HPLC/UV. Bei Anwendung eines Dioden-Array-Detektor erfolgt die Quantifizierung bei 1 oder 2 signifikanten Wellenlängen (siehe DIN ISO 16000-3 [3]).

Die Probenahme für Formaldehyd und Acetaldehyd erfolgt nach 24 ± 2 h.

Die Probenahme für VOC und SVOC ist mindestens zu folgenden Zeitpunkten (jeweils mindestens als Doppelbestimmung) nach der Kammerbeladung vorzunehmen:

- 3. Tag nach Beladung (72 ± 3 Stunden)
- 28. Tag nach Beladung.

Es wird empfohlen, dazwischen an mindestens 3 weiteren Tagen Probenahmen durchzuführen, da hieraus ergänzende Informationen über die Emissionsdynamik bzw. das Alterungsverhalten gewonnen werden können, die dem Hersteller im Rahmen der Weiterentwicklung von Produkten wichtige Hinweise geben können. Die durch zusätzliche Probenahmen gewonnenen Analysenergebnisse können darüber hinaus zur Verminderung der Messunsicherheit beitragen, da sie ergänzende Daten für die weitergehende Substanz-Identifizierung und -Quantifizierung liefern. Des weiteren ergibt sich hierdurch die Möglichkeit, die Prüfung vorzeitig abubrechen, wenn die in Abschnitt 6., Auswertung, beschriebenen Kriterien eingehalten werden.

Das im Anhang beschriebene Probenahme- und Analysenverfahren ist für ein breites Spektrum emittierbarer Verbindungen geeignet. Eine Auflistung von Verbindungen, die bei Emissionsmessungen von Bauprodukten auftreten können, ist DIN ISO 16000-6 (Anhang A) [2] zu entnehmen.

Es sind möglichst alle Substanzen zu identifizieren und über die aus der Kalibrierung ermittelten relativen Responsefaktoren zum internen Standard (Toluol, deuteriert) individuell zu quantifizieren. Für jeden Messtag ist die Summe (TVOC) aus allen identifizierten und mit $\geq 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ quantifizierten Werten zu bilden, deren Retentionszeit zwischen Hexan und Hexadekan liegt. Für schwerer flüchtige Verbindungen (SVOC), das heißt, Verbindungen, deren Retentionszeit größer als die von Hexadekan ist, ist ebenfalls die Summe (TSVOC) aus allen identifizierten und mit $\geq 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ quantifizierten Werten zu bilden.

Wenn Substanzen nicht identifizierbar sind oder der relative Responsefaktor nicht ermittelt werden kann, ist die Quantifizierung unter Annahme des Responsefaktors (RF) des internen Standards durchzuführen.

Falls der Anteil nicht identifizierbarer und/oder exakt quantifizierbarer Substanzen zum Ende der Prüfung mehr als $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ beträgt (berechnet mit dem Responsefaktor des internen Standards Toluol [deuteriert]), kann kein UZ vergeben werden.

Hiervon ausgenommen werden können $\geq \text{C}_3$ -Benzole und Iso-Aliphatengemische, wenn diese einzeln oder als Summe, quantifiziert mit dem Responsefaktor von deuteriertem Toluol, mehr als $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ betragen. Die Berechnung des R-Wertes erfolgt dann mit dem NIK-Wert von Toluol.

Für die Zuordnung von nicht identifizierbaren Verbindungen zu VOC oder SVOC ist das Kriterium der Retentionszeit zu Hilfe zu nehmen. Eluiert eine unbekannte Verbindung hinter Hexadekan ist diese als schwerflüchtige organische Verbindung (SVOC) anzusehen.

6. Auswertung und Prüfbericht

Die Messwerte werden auf die Standardbedingungen (bei Klebstoffen 300 g/m², bei Spachtelmassen 3 mm Schichtdicke, bei wässrigen Vorstrichen/Grundierungen 10 g/m², bei wasserfreien Vorstrichen/Grundierungen 100 g/m²) wie folgt normiert:

Klebstoffe, Vorstriche, Grundierungen:

Ergebnis (µg/m³) = Messwert (µg/m³) x Standardauftrag (g/m²) / realer Auftrag (g/m²)

Spachtelmassen:

Ergebnis (µg/m³) = Messwert (µg/m³) x 3 (mm) / reale Schichtstärke (mm)

Es sind die Einzelsubstanzen ($\geq 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) mit ihren Konzentrationswerten anzugeben. Werden die emittierten Substanzen auch im Kammerblank nachgewiesen (max. $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, bzw. $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für C-Stoffe), so ist aus Gründen der Verfahrensvereinfachung die Blankkonzentration vom ermittelten Konzentrationswert des Prüfkörpers abzuziehen. Für die Gesamtkonzentration und die Konzentration der Einzelsubstanzen sind mindestens die am 3. und 28. Tag ermittelten Konzentrationswerte anzugeben.

Zur Angabe des TVOC-Wertes ist die Summe der Konzentrationswerte aus allen identifizierten und nicht identifizierten mit $\geq 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ quantifizierten Substanzen zu bilden, deren Retentionszeit zwischen n-Hexan und n-Hexadekan liegt.

Zur Angabe des TSVOC-Wertes ist die Summe der Konzentrationswerte aus allen identifizierten und nicht identifizierten mit $\geq 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ quantifizierten Substanzen zu bilden, deren Retentionszeit größer als die von n-Hexadekan ist.

Für die Bewertung der identifizierten VOC, deren Konzentration mehr als $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ beträgt, ist der Quotient aus dem Konzentrationswert und dem sogenannten NIK-Wert (vgl. [6]) gemäß folgender Berechnungsformel zu ermitteln:

$$R = \sum C_i / \text{NIK}_i$$

Die in die Berechnungsformel einzusetzenden NIK-Werte sind der Tabelle in [6] zu entnehmen.

Die Prüfung kann vorzeitig abgebrochen werden (frühestens am 7. Tag nach Beladung), wenn an vier aufeinanderfolgenden Messtagen die zulässigen Emissionswerte und R jeweils nicht überschritten werden und während dieses Zeitraumes für keine der nachzuweisenden Substanzen ein Konzentrationsanstieg um mehr als $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ feststellbar ist, ermittelt aus der linearen Regressionsfunktion über 4 Messtage. Die Anforderungen des Umweltzeichens sind dann als erfüllt zu betrachten.

Im Prüfbericht ist die vollständige Prüfung sowie die vollständige Auswertung für das Produkt zu dokumentieren.

Hierbei sind insbesondere folgende Angaben aufzunehmen:

- Hersteller,
- Genaue Produktbezeichnung (incl. Charge, Produktionsdatum, Festkörpergehalt (bei Vorstrichen, Grundierungen),
- Herstelldatum, Eingangsdatum
- Art der Verpackung,
- Untersuchungsdatum/-zeitraum,
- Herstellung der Prüfstücke (Abmessungen, ggf. Mischvorgang, Auftragsmenge, Art des Auftragsverfahrens {verwendetes Auftragsgerät}),
- Untersuchungsbedingungen (Typ und Größe Kammer, Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Luftwechsel bzw. Luftvolumenstrom, Raumbeladung, flächenspezifische Luftdurchflussrate, Zeitpunkt und Dauer der Luftprobenahme, Volumen und Volumenstrom der Luftprobenahme),
- Name, CAS-Nr. und Konzentration der identifizierten VOC, sowie Konzentration der nicht identifizierten VOC, vom 3. und 28.Tag und deren Summe (TVOC₃ und TVOC₂₈)
- Name, CAS-Nr. und Konzentration der identifizierten SVOC, sowie Konzentration der nicht identifizierten SVOC vom 28.Tag und deren Summe (TSVOC₂₈),
- Name, CAS-Nr. und Konzentration der identifizierten C-Stoffe, und deren Summe, vom 3. und 28.Tag
- Berechneter R-Wert vom 28. Tag
- Angabe der Formaldehyd- und Acetaldehyd-Konzentration nach 24 Stunden

7. Prüfinstitute

Die Emissionsprüfung darf nur von geeigneten Instituten durchgeführt werden.

Prüfinstitute sind als geeignet anzusehen, wenn sie über die notwendigen apparativen Einrichtungen und ein Qualitätsmanagementsystem verfügen (bzw. für den Bereich dieser Prüfungen akkreditiert sind) und über die erfolgreiche Teilnahme an einschlägigen Rundversuchen ihre Befähigung zur Durchführung dieser Prüfungen nachgewiesen haben. Der Nachweis über die Einhaltung dieser Anforderungen ist gegenüber der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Fachgruppe „Umweltrelevante Material- und Produkteigenschaften/Emissionen aus Materialien“, zu erbringen.

8. Literatur

1. DIN V ENV 13419-1: Bauprodukte. Bestimmung der Emission flüchtiger organischer Verbindungen (VOC). Teil 1: Emissionsprüfkammer-Verfahren. Deutsche Fassung ENV 13419-1: 1999.
DIN V ENV 13419-2: Bauprodukte. Bestimmung der Emission flüchtiger organischer Verbindungen (VOC). Teil 2: Emissionsprüfzellen-Verfahren. Deutsche Fassung ENV 13419-2: 1999.
2. DIN ISO 16000-6: Innenraumluftverunreinigungen. Teil 6: Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern. Probenahme auf TENAX TA, thermische Desorption und Gaschromatographie/MSD bzw. FID (ISO/DIS 16000-6:2000). Entwurf November 2000.
3. DIN ISO 16000-3: Innenraumluftverunreinigungen. Teil 3: Messen von Formaldehyd und anderen Carbonylverbindungen. Probenahme mit einer Pumpe (ISO/DIS 16000-3:2000). Entwurf November 1999.
4. Untersuchung und Ermittlung emissionsarmer Klebstoffe und Bodenbeläge. UBA-Projekt-Nr. 298 95 308, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Abschlußbericht (im Druck), Berlin, 2002.
5. Jann, O., Wilke, O.: Möglichkeiten und Grenzen bei der Bestimmung von SVOC-Emissionen aus Materialien und Produkten. VDI-Kolloquium „Neuere Entwicklungen bei der Messung und Beurteilung der Luftqualität“, 11.-13.06.2002, Schwäbisch Gmünd, VDI-Bericht 1656 p:357 -367, VDI-Verlag, 2002
6. N.N.: Vorgehensweise bei der Beurteilung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) aus Bauprodukten. DIBt-Mitteilungen 32 (2001) 1: 3 – 12. Deutsches Institut für Bautechnik (2001).
oder Umweltbundesamt: <http://www.umweltdaten.de/down-d/voc.pdf> (S. 12 -17)

Anhang zum Prüfverfahren

Beispiel für ein erprobtes Messverfahren (vgl. [2])

Probenahmerohre: Tenax TA (Rohrlänge 178 mm, AD 6 mm, ID 4 mm, 200 mg Tenax TA (60-80 mesh) mit Glaswollstopfen); Probenahmefluss 1 l (100 ml/min). Vor der Probenahme sind die Tenax-Rohre mit Toluol (deuteriert) als internem Standard, gelöst in Methanol zu spiken.

Die Kalibrierung erfolgt, indem die Kalibriersubstanzen, gelöst in Methanol, auf gesonderte Tenax-Rohre aufgegeben (gespikt) werden, und zur Simulation einer Probenahme an einer leeren Kammer 1 l Probeluft abgesaugt wird, wobei gleichzeitig das vom Spiken auf dem Tenax verbliebene Methanol desorbiert wird.

Analysensystem: Thermodesorption/Kaltaufgabesystem Gerstel TDS-2 / KAS-3 (Programm 40-280°C mit 40°C/min, halten 5 min bei 280°C / Kryofokussierung bei -150 °C, Aufheizen mit 10°C/s auf 290°C / He-Fluss 35 ml/min)

HP GC 5890 II + / HP-MSD 5972 (Säule HP 1; 60 m; 0,25 mm; 0,25 µm; Temperaturprogramm 40°C für 4 min, 5°C/min auf 140°C, 10°C/min auf 240°C, 25°C/min auf 290°C, halten für 3 min / MSD: scan 25 - 400; 1,9 scans/sec; 300°C; NBS-75K - Datenbank)

Mit dem beschriebenen Verfahren lassen sich auch schwerer flüchtige Verbindungen, wie z.B. Hexadekansäuremethylester, Dimethylphthalat, Dibutylphthalat und alkylierte Benzole (Alkylgruppe > C9) nachweisen, siehe auch [5].