

TEXTE

35/2011

Sensorische Bewertung der Emissionen aus Bau- produkten

Integration in die Vergabegrundlagen für den Blauen
Engel und das Bewertungsschema des Ausschusses
zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Förderkennzeichen 37 07 62 300
UBA-FB 001500

Sensorische Bewertung der Emissionen aus Bauprodukten -

Integration in die Vergabegrundlagen für den Blauen Engel und das Bewertungsschema des Ausschusses zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten

von

Prof. Dr.-Ing. Birgit Müller
Dipl.-Ing. Jana Panašková
Dipl.-Ing. Maciej Danielak
Technische Universität, Berlin

Dr. rer. nat. Wolfgang Horn
Dr.-Ing. Oliver Jann
BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

Dipl.-Ing. Jana Panašková
Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller
Institute for Energy Efficient Buildings and Indoor Climate der RWTH,
Aachen

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

UMWELTBUNDESAMT

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter
<http://www.uba.de/uba-info-medien/4121.html>
verfügbar.

Die in der Studie geäußerten Ansichten
und Meinungen müssen nicht mit denen des
Herausgebers übereinstimmen.

ISSN 1862-4804

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 14 06
06813 Dessau-Roßlau
Tel.: 0340/2103-0
Telefax: 0340/2103 0
E-Mail: info@umweltbundesamt.de
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>
<http://fuer-mensch-und-umwelt.de/>

Redaktion: Fachgebiet III 1.4 Stoffbezogene Produktfragen
Simone Brandt, Anke Öhm, Dr. Wolfgang Plehn

Dessau-Roßlau, Juni 2011

Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA-FB 001500	2.	3.
4. Titel des Berichts Sensorische Bewertung der Emissionen aus Bauprodukten – Integration in die Vergabegrundlagen für den Blauen Engel und das Bewertungsschema des Ausschusses zur Gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Dr. Müller, Birgit; Panašková, Jana; Danielak, Maciej; Dr. Horn, Wolfgang; Dr. Jann, Oliver; Prof. Dr. Müller, Dirk		8. Abschlussdatum 28.02.2010
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Hermann-Rietschel-Institut der TU Berlin Marchstraße 4 10587 Berlin		9. Veröffentlichungsdatum 06.06.2011
		10. UFOPLAN-Nr. 3707 62 300
		11. Seitenzahl 134 + 108 (Anhang)
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt, Postfach 1406, 06813 Dessau-Roßlau		12. Literaturangaben 40
		13. Tabellen und Diagramme 14
		14. Abbildungen 96
15. Zusätzliche Angaben		
16. Zusammenfassung Emissionen aus Bauprodukten beeinträchtigen die Qualität der Innenraumluft erheblich. Mit Hilfe des AgBB-Schemas werden die Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) aus Bauprodukten bewertet. Die gesundheitliche Bewertung nach dem AgBB-Schema erfordert produktspezifische Messverfahren. Diese gibt es mittlerweile für eine Reihe von Produkten. Sie wurden durch Beteiligung verschiedener Forschungseinrichtungen und Messinstitute validiert und u. a. in die Vergabekriterien des Umweltzeichens Blauer Engel übernommen. Die Bewertung ist allerdings – mit zumeist niedrigeren Grenzwerten – strenger. VOC-Emissionen und Gerüche können beide zu gesundheitlichen Belastungen führen. So ist die sensorische Prüfung ein weiteres wichtiges Element bei der Bewertung von Bauprodukten und vorsorglich auch im AgBB-Schema verankert. Hauptziel des Projektes ist es, eine Methode der sensorischen Bewertung und Grenzen für die Vergabe des Blauen Engels und für das AgBB-Schema abzuleiten. Auf Grundlage der durchgeführten Untersuchungen (siehe Kapitel 5 Ergebnisse und Diskussion) wird als Bewertungsmethode die empfundene Intensität und die Hedonik vorgeschlagen. Die Ableitung der Grenzwerte für die sensorische Bewertung am 28. Tag erfolgt über die zusätzliche Befragung der Probanden im Rahmen der vorliegenden Studie nach der Zumutbarkeit einer Probe. Für den Blauen Engel könnte es je Produktgruppe unterschiedliche Grenzen der empfundenen Intensität und der Hedonik geben. Ein erster Vorschlag für mögliche Grenzen, hier zunächst einheitlich für alle Produktgruppen, ist für die empfundene Intensität 7 pi (5 pi + 2 pi als Sicherheit, Kapitel 5.1.5) und für die Hedonik -1 (0 +/-0,8, gerundet auf -1) (siehe dazu Abbildung 6-2).		
17. Schlagwörter Bauprodukt, Richtlinie, EU-Bauproduktenrichtlinie, Gesundheitsvorsorge, Schadstoff, Prüfverfahren, Kohlenwasserstoff, sensorische Untersuchung, Emission, Emissionsprüfkammer, Geruch, Sensorik, AgBB-Schema, Gesundheitliche Bewertung, Bewertungsverfahren, Kohlenwasserstoff, VOC, leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe, VVOC, VVOC, schwerflüchtige Kohlenwasserstoffe, SVOC, Geruchsvergleichsmaßstab, Bodenbeläge, Standardisierung, Zulassung, Umweltzeichen, Blauer Engel, Geruchmessverfahren, Akzeptanz, empfundene Intensität, Hedonik, Zumutbarkeit, emissionsarmes Produkt, flüchtige Emission, Produktkennzeichnung		
18. Preis	19.	20.

Report Cover Sheet

1. Report No. UBA-FB 001500	2.	3.
4. Report Title Sensory testing of emissions from construction products – Integration for Blue Angel mark and AgBB-Scheme		
5. Author(s), Family Name(s), First Name(s) Dr. Müller, Birgit; Panašková, Jana; Danielak, Maciej; Dr. Horn, Wolfgang; Dr. Jann, Oliver; Prof. Dr. Müller, Dirk		8. Report Date 28.02.2010
6. Performing Organisation (Name, Address) Hermann-Rietschel-Institut der TU Berlin Marchstraße 4 10587 Berlin		9. Publication Date 06.06.2011
		10. UFOPLAN-Ref. No. 3707 62 300
		11. No. of Pages 134 + 108
		12. No. of Reference 40
7. Funding Agency (Name, Address) Umweltbundesamt (Federal Environmental Agency) Postfach 1406, D-06813 Dessau-Roßlau		13. No. of Tables, Diagrams 14
		14. No. of Figures 96
		15. Supplementary Notes
16. Abstract Emissions from construction products impact the quality of indoor air considerably. The AgBB scheme is employed to evaluate the emissions of volatile organic compounds (VOC) from construction products. The hygienic evaluation according to the AgBB scheme requires product-specific measuring procedures. These exist for a range of products. They have been validated in co-operation with several research and testing institutes and have been included in the criteria for awarding the eco-label Blue Angel. The evaluation is, however, stricter and generally has lower limits. VOC emissions and odours can cause health problems so sensory testing is an important element in the evaluation of construction products and has – for reasons of precaution – been set down in the AgBB scheme. The main goal of the project is to derive a method of sensory evaluation and limits for awarding the Blue Angel and for the AgBB scheme. Based on the research conducted (see Chapter 5 Results and Discussion), perceived intensity and hedonics are suggested for the evaluation method. The derivation of limits for the sensory evaluation on the 28th day was effected in the present study through the additional questioning of the test subjects on the reasonability of a sample. For the Blue Angel, there could be different limits of perceived intensity and hedonic for each group of products. A preliminary suggestion for possible limits – here for all product groups – is a perceived intensity of 7 pi (5 pi + 2 pi as confidence coefficient, Chapter 5.1.5. “Minimum Requirements for the Size of Test Groups”) and -1 (0+/-0.8, rounded to -1) for the hedonic value (see Figure 6-1).		
17. Keywords construction product, directive, health care, pollutant, testing method, hydrocarbon, sensory testing, emission, emission test chamber, odour, AgBB scheme, health assessment, assessment procedure, volatile organic compounds, VOC, very volatile organic compounds, VVOC, semi volatile organic compounds, SVOC, thermal desorption, GC/MS, GC-ODP, odour standard of comparison, floor coverings, coverings, Blue Angel, odour evaluation, acceptability, perceived intensity, hedonic, reasonability, standardization, environmental sign, volatile emission, product labelling		
18. Price	19.	20.

Inhaltsverzeichnis

VORBEMERKUNG

1	EINLEITUNG UND ZIEL DES FORSCHUNGSVORHABENS	1
2	AUFGABENSTELLUNG	3
3	GRUNDLAGEN.....	5
3.1	Die Nase und die Geruchswahrnehmung	5
3.2	Emissionen aus Bauprodukten	8
3.2.1	AgBB-Schema.....	9
3.2.2	Anwendungen des AgBB-Schemas.....	11
3.3	Bewertungsmethoden zur Bestimmung der empfundenen Luftqualität.....	12
3.3.1	Empfundene Intensität.....	12
3.3.2	Akzeptanz	14
3.3.3	Hedonik.....	16
4	VERSUCHSAUFBAU UND VERSUCHSDURCHFÜHRUNG	17
4.1	Ablauf der Untersuchungen	17
4.2	Probenauswahl	20
4.3	Emissionsprüfkammern	22
4.4	Probennahme und Probendarbietung mit Tedlar® -Probebehälter.....	28
4.5	Probenvorbereitung	30
4.6	Sensorische Messungen.....	33
4.6.1	Probendengruppe mit Vergleichsmaßstab.....	33
4.6.2	Probendengruppe ohne Vergleichsmaßstab.....	36
4.7	Analytische Messungen	39
4.7.1	Analytik zur Messung der flüchtigen organischen Verbindungen	39
4.7.2	Analytik mit DNPH zur Messung leicht flüchtiger organischer Verbindungen.....	40
4.8	Sensorische und analytische Untersuchung von Bauprodukten	43
4.8.1	Überprüfung des Probebehälters.....	43
4.8.2	Aufbau eines einfachen Vergleichsmaßstabes	46
4.8.3	Vergleich der Probendarbietung mit Kammer und Probebehälter zur direkten Bewertung an der CLIMPAQ.....	47
4.8.4	Direkte Bewertung an der 5 m ³ -Kammer	48
4.8.5	Mindestanforderungen an die Größe der Probendengruppe.....	50
4.9	Sensorische und analytische Untersuchungen von Bauprodukten in einer 13 m ³ -Kammer	51
4.9.1	Untersuchung von Bauprodukten in der 13 m ³ -Kammer und im „realen“ Raum	51
4.9.2	Untersuchung von Kombinationen von Bauprodukten	52

4.10	Ableitung eines Bewertungsmaßstabes.....	53
5	ERGEBNISSE UND DISKUSSION.....	54
5.1	Sensorische und analytische Untersuchung von Bauprodukten	54
5.1.1	Überprüfung der Probebehälter	73
5.1.2	Aufbau eines einfachen Vergleichsmaßstabes	77
5.1.3	Vergleich der Probendarbietung mit Kammer und Probebehälter zur direkten Bewertung an der CLIMPAQ.....	78
5.1.4	Direkte Bewertung an der 5 m ³ -Kammer	88
5.1.5	Mindestanforderungen an die Größe der Probandengruppe.....	90
5.1.6	Sensorische und analytische Untersuchungen von Bauprodukten in einer 13 m ³ -Kammer	93
5.1.7	Untersuchung von Bauprodukten in der 13 m ³ -Kammer und im „realen“ Raum	93
5.1.8	Untersuchung von Kombinationen von Bauprodukten	97
5.2	Ableitung eines Bewertungsmaßstabes.....	102
5.2.1	Anforderungen an die Bewertungsmethode bezüglich der empfundenen Intensität	102
5.2.2	Vorschlag zur Definition der Zumutbarkeitsschwelle für die Zulassung von Bauprodukten.....	103
5.2.3	Ableitung einer Bewertungsmethode für den Blauen Engel	105
6	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....	111
7	LITERATUR.....	121
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	125
	TABELLENVERZEICHNIS	130
8	GLOSSAR	131
ANHANG		(109 SEITEN)
ANHANG 1	MITGLIEDER DES PROJEKTBEGLEITENDEN AUSSCHUSSES ...	A1
ANHANG 2	ÜBERSICHTSTABELLEN ÜBER DIE NACHGEWIESENEN VOC ...	A2
ANHANG 3	ERGEBNISSE DER VOC- UND GERUCHSMESSUNGEN FÜR ALLE KAMMERUNTERSUCHUNGEN.....	A5

Vorbemerkung

Die Autoren dieses Berichtes möchten hiermit ihren besonderen Dank dem Expertenkreis ausdrücken, der durch intensive und konstruktive Mitarbeit am Gelingen des Projektes wesentlich beteiligt war. Die Mitglieder sind im Anhang aufgeführt.

Weiterhin danken die Autoren Frau Sabine Kalus und Frau Elevation Juritsch (BAM), Florian Bräuer und weiteren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern (HRI), ohne deren unermüdliche Hilfe und gewissenhafte Bearbeitung, die Untersuchungen der Bauprodukte nicht möglich gewesen wären.

Ein besonderer Dank gilt auch der fachlichen Betreuung und intensiven Unterstützung durch die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Umweltbundesamtes.

Teilergebnisse des Vorhabens wurden schon vorab vorgestellt:

- Mull, B.; Horn, W.; Jann, O. 2010: Methode zur Bestimmung von flüchtigen Estern der Phthalsäure im Innenraum und in Emissionsmesskammern. Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft. Vol. 70. S. 93-97
- Horn, W., Panašková, J., Müller, B., Danielak, M., Jann, O., Plehn, W., Müller, D.: Labelling of building materials – A combination of emission tests with odour tests. HEMICPD Workshop Building Material Emissions To Indoor Air, January 21., 2010, Brussels, Belgium
- Müller, B., Panašková, J., Horn W., Jann O., Plehn, W., Müller, D.: Labelling of building materials – A combination of emission tests with odour tests. CERTECH Conference: Emissions and odours from materials, October 7.-8., 2009, Brussels, Belgium
- Horn, W., Müller, B., Panašková, J., Danielak, M., Jann O., Plehn, W., Müller, D.: Implementation of odour tests methods into labelling procedures of flooring materials. Proceedings of healthy buildings (HB 2009), September 13.-17., 2009, Syracuse, USA, Paper No. 356
- Müller, B., Danielak, M.; Zeidler, O., Jann, O., Horn, W., Müller, D., Panašková, J., Plehn, W.: Labelling of building materials – A combination of emission tests with odour tests. Proceedings of healthy buildings (HB 2009), September 13.-17., 2009, Syracuse, USA, Paper No. 323
- Müller, B.; Danielak, M.; Horn, W.; Jann, O.; Müller, D.; Panašková, J.; Plehn, W. 2009: Sensorische Bewertung der Emissionen aus Bauprodukten. Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft. Vol. 69. S. 246-250.
- Müller, B.; Panašková, J.; Müller, D.; Jann, O.; Horn, W.; Plehn, W.: Geruchlabel für Bauprodukte. WABOLU Innenraumlufttage 2009, Berlin.
- Horn, W., Jann, O., Müller, B., Danielak, M., Müller, D., Plehn, W.: Bauproduktprüfung und Geruch – Neue Entwicklungen im Rahmen von Label-Systemen. 11th Workshop "Odour and Emissions of Plastic Materials", März 30. – 31., 2009, Kassel

Plehn, W.; Müller, B.; Horn, W.: Prüfverfahren zur Prüfung von Gerüchen aus Baumaterialien. Fachtagung der Baubiologen „Gerüche in Innenräumen“, März 27. 2009, Fulda

Horn, W., Jann, O., Brödner, D., Kalus, S., Juritsch, E., Müller, B., Müller, D., Kasche, J.: Chemisch analytische Bewertung von Baustoffemissionen. Deutsche Kälte-Klima-Tagung 2008, November 20. – 21., 2008, Ulm

Müller, B.; Danielak, M.; Dahms, A.; Müller, D. ; Jann, O.; Horn, W. : Material Labels in Europa: Eine Kombination von Emissionstests und Sensorischen Untersuchungen. Deutsche Kälte-Klima-Tagung 2008, November 20. – 21., 2008, Ulm

Abkürzungsverzeichnis

Formelzeichen:

L	Beladungsfaktor [$\text{m}^2 \text{m}^{-3}$]	$\hat{\delta}$	Geschätzte Populationsvarianz
n	Luftwechselrate [h^{-1}]	SE	Standardfehler
Π	Perceived Intensity (Empfundene Intensität) [pi]	$t_{df, Konf}$	t-Wert für n-1 Freiheitsgrade
q	flächenspezifische Luftdurchflussrate [$\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$]	n	Stichprobenanzahl
\bar{x}	Stichprobenmittelwert		

Abkürzungen und Begriffe:

AirProbe	Probendarbietungs-einrichtung für Geruchsproben	NIK	niedrigste interessierende Konzentration
AgBB	Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten	4-PCH	4-Phenylcyclohexen
BG	Bestimmungsgrenze	r.F.	relative Luftfeuchtigkeit
CLIMPAQ	chamber for laboratory investigations of materials, pollution and air quality	SVOC	schwerflüchtige organische Verbindungen
DNPH	Dinitrophenylhydrazin	VOC	flüchtige organische Verbindungen
GC	Gaschromatograph	VVOC	sehr flüchtige organische Verbindungen
HPLC	Hochleistungsflüssigkeitschromatographie	TVOC	Summe aller VOC im Retentionsbereich C_6 bis C_{16}
K-Stoff	Kanzerogene Stoffe	Σ SVOC	Summe aller SVOC im Retentionsbereich C_{16} bis C_{22}
MS	Massenspektrometer	TDS	Thermodesorptionssystem
MIT	Methylisothiazolinon	TENAX	Polymer des 2,6-Diphenyl-p-phenylenoxids
n.b.	nicht bestimmt, nicht bestimmbar	PD	Prozentsatz Unzufriedenen (percentage dissatisfied)
ADAM	AgBB/DIBt Auswertemaske	R-Wert	Risikofaktor im AgBB-Schema, die Summe aller Quotienten aus den Einzelkonzentrationen pro NIK-Wert der VOC

1 EINLEITUNG UND ZIEL DES FORSCHUNGSVORHABENS

Emissionen aus Bauprodukten beeinträchtigen die Qualität der Innenraumluft erheblich. Mit Hilfe des AgBB-Schemas werden die Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) aus Bauprodukten bewertet. Die gesundheitliche Bewertung nach dem AgBB-Schema erfordert produktspezifische Messverfahren. Diese gibt es mittlerweile für eine Reihe von Produkten. Sie wurden durch Beteiligung verschiedener Forschungseinrichtungen und Messinstitute validiert und u. a. in die Vergabekriterien des Umweltzeichens Blauer Engel übernommen. Die Bewertung ist allerdings – mit zumeist niedrigeren Grenzwerten – strenger.

Da VOC-Emissionen häufig mit Gerüchen einhergehen, die auch zu gesundheitlichen Belastungen führen können, ist die sensorische Prüfung ein wichtiges Element bei der Bewertung von Bauprodukten und auch im AgBB-Schema verankert. Bislang kann dieser Aspekt noch nicht in die tatsächliche Bewertung eingebracht werden, da noch kein abgestimmtes und allgemein anerkanntes Verfahren zur Verfügung steht [1].

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, das entwickelte Geruchsmessverfahren im Forschungsvorhaben: Umwelt- und Gesundheitsanforderungen an Bauprodukte - Ermittlung und Bewertung der VOC-Emissionen und geruchlichen Belastungen (UFOPLAN-Nummer 202 62 320) [2] durch praktische Anwendung zu erproben und in das Schema des Ausschusses zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB-Schema) zu integrieren.

Der Blaue Engel – als freiwilliges Instrument des produktbezogenen Umweltschutzes – eignet sich für eine Einführung der Messung und Bewertung von Geruchsemissionen bei einer Produktgruppe. Auf der Grundlage dieser Erfahrungen ist zu prüfen, ob für eine spätere verbindliche Einführung von Geruchsmessungen Grenzen für die Zumutbarkeit von Geruchsemissionen aus Bauprodukten unter der Berücksichtigung der geruchlichen Auswirkung erarbeitet werden können.

Die Zumutbarkeit beschreibt die Höhe an noch tolerierbaren Belastungen, die eine Person von einem Geruch erfährt. Die Zumutbarkeit, als Begriff, wird unter anderem in Richtlinien des Baurechtes verwendet, weshalb sie in diesem Forschungsvorhaben für die sensorische Bewertung herangezogen wird. Die Zumutbarkeit wurde bisher nicht als Bewertungsmethode für die sensorischen

Untersuchungen verwendet. Bei der Frage der Zumutbarkeit müssen sich die Probanden lediglich entscheiden, ob sie die dargebotene Luft als tägliche Arbeitsumgebung als zumutbar empfinden oder nicht. Die Zumutbarkeit kann nicht mit der Akzeptanz gleichgesetzt werden, was sich in den Ergebnissen der Bewertung widerspiegelt.

Die Ergebnisse des Projektes dienen dazu, die gesundheitlichen Belastungen durch geruchliche Emissionen aus Bauprodukten zu senken und Verbraucherinnen und Verbraucher zu schützen. Mit der Einführung der Geruchsbewertung in die Vergabekriterien des Blauen Engels erhalten Verbraucherinnen und Verbraucher die Möglichkeit, gezielt nach gesundheitlich unbedenklichen und geruchsarmen Baustoffen zu fragen.

Der Geruch im Innenraum hat zudem einen wesentlichen Einfluss auf das Lüftungsverhalten des Nutzers und somit auf den Energiebedarf eines Gebäudes. Im Zuge der Energieeinsparverordnung werden Gebäude immer dichter gebaut. Ein Mindestluftwechsel wird bei der Energiebedarfsberechnung vorausgesetzt. Normen wie beispielsweise die DIN EN 15251 [3] geben Lüftungsraten für Nichtwohngebäude in drei Kategorien vor (nicht schadstoffarme, schadstoffarme und sehr schadstoffarme Gebäude), ohne genaue Angaben zu enthalten, was sich hinter diesen Kategorien verbirgt. Die Einführung einer Geruchsprüfung beim AgBB-Schema und bei den Kriterien des Blauen Engels könnte dazu beitragen, eine Auswahl geruchs- und emissionsarmer Bauprodukte zu ermöglichen. Das Lüftungsverhalten der Nutzer könnte derart beeinflusst werden, dass der Energiebedarf des Gebäudes nachhaltig gesenkt wird.

2 AUFGABENSTELLUNG

Zunächst werden 40 Bauprodukte (z. B. Belagsklebstoffe, Fußbodenbeläge, Dichtstoffe) sensorisch untersucht, wobei auch das Emissionsverhalten erfasst und nach dem AgBB-Schema ausgewertet wird. Die Messungen erfolgen jeweils am ersten, dritten, zehnten und 28. Tag. Im Hinblick auf die Ergebnisse und offenen Fragestellungen aus dem Forschungsvorhaben „Umwelt- und Gesundheitsanforderungen an Bauprodukte – Ermittlung und Bewertung der VOC-Emissionen und geruchlichen Belastungen (UFOPLAN-Nummer 202 62 320)“ [2], werden insbesondere folgende Aspekte betrachtet, die in den Kapiteln 4.8 Sensorische und analytische Untersuchung von Bauprodukten und 5.1 Sensorische und analytische Untersuchung von Bauprodukten dargelegt sind:

- Überprüfung des Probebehälters,
- Aufbau eines einfachen Vergleichsmaßstabes,
- Vergleich der Probendarbietung mit Hilfe von Emissionskammern gemäß DIN EN ISO 16000-9 [4] und Tedlar[®]-Probebehälter mit der im nordeuropäischen Raum verbreiteten Emissionskammer CLIMPAQ (Chamber for Laboratory Investigations of Materials, Pollution and Air Quality),
- Prüfung, ob eine direkte Bewertung des Abluftstroms an der 1m³ und/oder 5m³ Emissionskammer nach DIN EN ISO 16000-9 möglich ist,
- Mindestanforderung an die Größe der Probandengruppe ermitteln.

Mit Hilfe der Ergebnisse der sensorischen Messungen wird bezüglich der Intensität eine Anforderung an den Bewertungsmaßstab, ein Vorschlag zur Definition der Zumutbarkeitsschwelle für die Zulassung von Bauprodukten und eine Bewertungsmethode für den Blauen Engel (sowohl für Intensität als auch Hedonik) abgeleitet. Die Kapitel 4.8 Sensorische und analytische Untersuchung von Bauprodukten, Kapitel 4.10 Ableitung eines Bewertungsmaßstabes, Kapitel 5.1 Sensorische und analytische Untersuchung von Bauprodukten und 5.2 Ableitung eines Bewertungsmaßstabes geben diese Ableitungen wieder. Da die Bewertung einzelner Bauprodukte bisher keinen Aufschluss über die Geruchsbelastung in einem Raum gibt, da hier mehrere Bauprodukte unter anderen Bedingungen als in einer Emissionskammer gleichzeitig zur Luftverunreinigung beitragen, wird auch die Kombination von Bauprodukten in einem Prüfraum untersucht. Dabei wird zunächst ein Material in eine 13-m³ Kammer unter weitgehend normalen Raumbedingungen

eingebraucht. Untersucht wird, ob die gleiche chemische Zusammensetzung wie in den standardisierten Kammermessungen wieder gefunden wird. Anschließend werden auch Kombinationen von Bauprodukten in Emissionskammern untersucht. Die Messungen werden durchgeführt, um zu prüfen, ob eine Übertragbarkeit auf den Realraum möglich ist, da dort andere Bedingungen als in der Emissionskammer herrschen. So überlappen sich eine Vielzahl von Gerüchen aus verschiedenen Quellen, Gerüche können absorbiert werden andere Produkte wirken als Senke. Die Kapitel 4.9 „Sensorische und analytische Untersuchungen von Bauprodukten in einer 13 m³-Kammer“ und 5.1.6 „Sensorische und analytische Untersuchungen von Bauprodukten in einer 13 m³-Kammer“ stellen die Durchführung und Ergebnisse der Messungen sowie die Schlussfolgerungen daraus dar.

3 GRUNDLAGEN

3.1 DIE NASE UND DIE GERUCHSWAHRNEHMUNG

Die Nase befeuchtet und erwärmt die eingeatmete Luft. Gleichzeitig dient sie als Reflexorgan (z. B. Niesen bei Staubeintritt) und ist Sitz der Riechrezeptoren. Beim Atmen wird Luft über die Nasenhöhle eingesaugt und strömt anschließend in den Nasenraum. Dieser ist fast vollständig mit Schleimhaut ausgekleidet. Über den Nasenrachenraum gelangt die Luft in die tieferen Atemwege. Verantwortlich für die Geruchswahrnehmung ist die olfaktorische Region (Riechepithel, Riechkolben). Dieser Bereich ist ein ca. $2 \times 2,5 \text{ cm}^2$ (Deetjen, 1992 [5]) bis $2 \times 5 \text{ cm}^2$ (Schmidt, 2000 [6]) großer Bereich der Riechschleimhaut. Auf der Riechschleimhaut befinden sich die Geruchsrezeptoren, so genannte Zilien. Der Aufbau der Riechschleimhaut mit den Verbindungen zum Riechkolben ist in Abbildung 3-1 dargestellt. Die Riechschleimhaut setzt sich laut Schmidt aus den Riechsinneszellen, Stützzellen, Zilien, Riechköpfchen und einigen Drüsen zusammen.

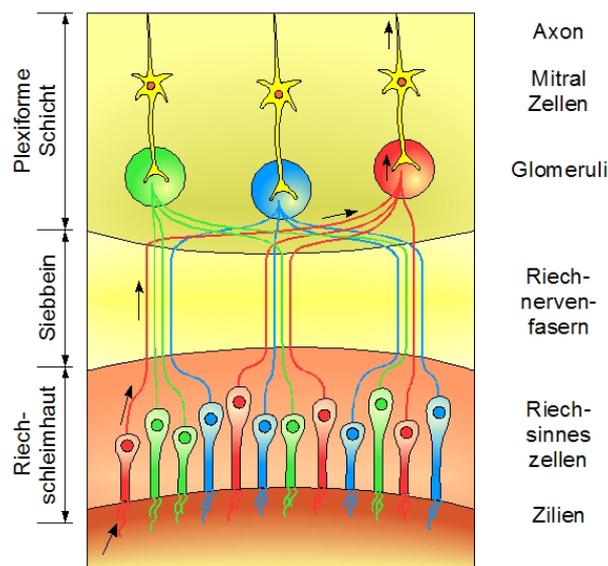


Abbildung 3-1: Schematischer Aufbau der Riechschleimhaut mit den Verbindungen zum Riechkolben

Nach Schmidt erzeugen die Geruchsrezeptoren (Zilien) elektrische Impulse und leiten diese über die Riechnervenfasern weiter. An der einzigen Schaltstelle (äußere plexiforme Schicht) zwischen den Rezeptoren und der Hirnrinde (innere plexiforme Schicht) werden die Geruchsinformationen gebündelt und auf eine Nervenzelle des Riechkolbens übertragen. Aus dem Riechkolben werden dann die Geruchsinformationen auf Nervenbahnen (Axone) zum Gehirn weitergeleitet. Im Zusammenspiel

mit anderen Hirnregionen (Thalamus, limbisches System) erkennt das Gehirn den Geruch. Bestehende Erinnerungen werden aktiviert und der ankommende Reiz wird integriert. Durch den Geruchssinn werden andere Funktionskreise des Menschen beeinflusst. So gibt es durch die enge Bindung an das limbische System eine stark emotionale Komponente der Geruchswahrnehmung. Es können bei der Geruchswahrnehmung sehr schnell Lust- bzw. Unlustgefühle geweckt werden. Diese Gefühle werden als hedonische Komponente der Geruchswahrnehmung bezeichnet.

Die Umwandlung der chemischen Duftreize in elektrische Signale (Transduktion) ist in Abbildung 3-2 dargestellt. Sie beginnt mit dem Kontakt eines Duftmoleküls mit einem spezifischen Rezeptorprotein in der Zilienmembran.

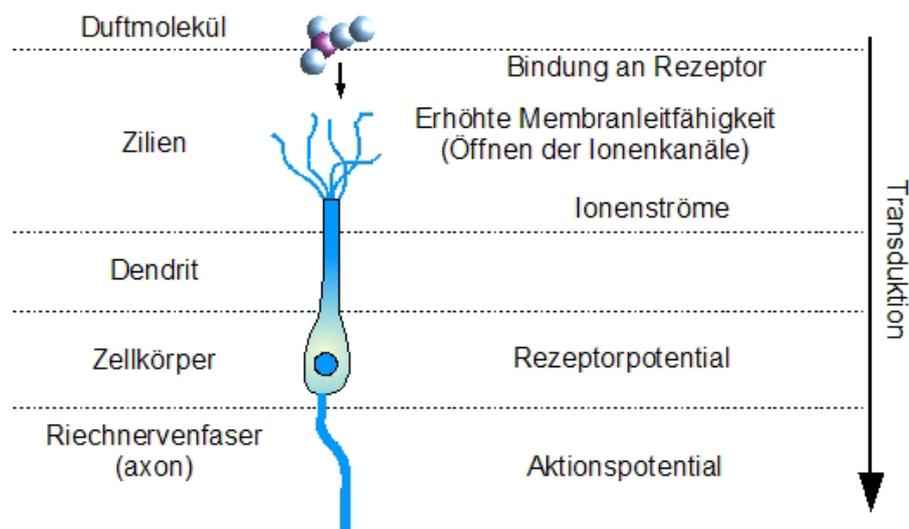


Abbildung 3-2: Signalweg eines Geruchsreizes

Mit der Bindung des Duftmoleküls an das Rezeptorprotein wird die Membranleitfähigkeit durch Öffnen von Ionenkanälen erhöht und ein Ionenstrom erzeugt (Na-Pumpe). Dieser Ionenstrom ruft eine Zellpolarisation hervor. Es entsteht ein Rezeptorpotential im Zellkörper, welches ein Aktionspotential hervorruft, das über das Axon weitergeleitet wird.

Schmidt beschreibt das Prinzip der Signalverstärkung in der Zilienmembran (vgl. Abbildung 3-2, Zilien). Kommt es zu einer Wechselwirkung zwischen Duftstoff und Rezeptor, wird der Verstärkungsmechanismus ausgelöst. Ein stimulierendes Guanylnukleotid (regulatorisches Protein) aktiviert das Enzym Adenylatcyclase, das wiederum die Konzentration des Botenstoffes cAMP (cyklisches Adenosinmonophosphat) in der Zelle erhöht. Geruchsstoffe können Tausende dieser Boten freisetzen. Die cAMP-Moleküle öffnen Kationenkanäle in der Zellmembran. Das Einströmen von Kationen (Natrium, Kalzium) durch diesen Kanal in die Zellen ruft ein Rezeptorpotential hervor.

Nach Deetjen et al. [5] befinden sich die Zilien in einer Schleimschicht, welche von den Geruchsmolekülen zunächst einmal durchdrungen werden muss. Dazu müssen die Geruchsstoffe ausreichend flüchtig und hinreichend wasserlöslich sein und eine gewisse Fettlöslichkeit aufweisen.

Durch das Einströmen der Kalzium- und Natriumionen in die Zelle erhöht sich dort deren Konzentration. Im Kanal können die Ionen gebunden werden, was zu einer Blockade des Kanals führt. Der Kanal schaltet sich selbst ab.

Der Geruch wird nicht mehr wahrgenommen. So kann der Prozess der Adaptation auf molekularer Ebene erklärt werden. Unter Adaptation versteht man den Vorgang der Gewöhnung an Gerüche und der damit verbundenen Reduktion der Empfindungsstärke. Nach längerem Verweilen in einer gleichen Umgebung werden Gerüche nicht mehr so intensiv oder gar nicht mehr wahrgenommen. Wird der Rezeptor nicht mehr gereizt, wird die ursprüngliche Natrium- und Kalziumkonzentration wieder hergestellt.

3.2 EMISSIONEN AUS BAUPRODUKTEN

Menschen brauchen eine Umwelt, in der sie gesund leben können. Einen Großteil ihrer Zeit verbringen Mitteleuropäer innerhalb von Gebäuden. Die Qualität der Luft in Innenräumen ist daher wichtig für die menschliche Gesundheit und das Wohlbefinden. Damit die Raumluft von vornherein wenig belastet wird, sollten Materialien und Gegenstände, die dort genutzt werden, emissionsarm sein, also möglichst wenige Schadstoffe ausdünsten [7]. Bauprodukte spielen eine wesentliche Rolle, weil ihre Auswahl häufig nicht im Ermessen der Raumnutzer liegt und weil sie meist großflächig in den Raum eingebracht werden. Unbestritten ist, dass die Gesundheit von Gebäudenutzern geschützt werden muss, unklar war aber noch, wie dieser Schutz im Einzelnen erreicht werden kann [1]. Die European Collaborative Action (ECA) "Indoor Air Quality and its Impact on Man" hat sich speziell mit den Fragen der Bewertung von VOC-Emissionen aus Bauprodukten beschäftigt. Das in Europa verfügbare Fachwissen zu den verschiedensten innenraumrelevanten Themen wird von den Experten der ECA (Europäische Union sowie Schweiz und Norwegen) aufgearbeitet und in Berichten zusammengefasst. Diese enthalten so konkrete Angaben, dass sie als "pränormativ" bezeichnet werden können. Als einen wesentlichen Meilenstein in der Bewertung von Emissionen aus Bauprodukten veröffentlichte die ECA den Bericht Nr. 18 "Evaluation of VOC Emissions from Building Products", in dem als Beispiel ein Bewertungsschema für Emissionen aus Fußbodenbelägen angegeben ist [8].

Eine Weiterentwicklung der Ansätze aus dem ECA-Bericht Nr. 18, zunächst auf nationalem Gebiet, mit dem Ziel einer Anwendung auch im Europäischen Rahmen, stellt das vom Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB) seit 2003 stetig weiterentwickelte AgBB-Schema dar. Der AgBB wurde 1997 von der Länderarbeitsgruppe Umweltbezogener Gesundheitsschutz (LAUG) der Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden (AOLG) ins Leben gerufen. Das AgBB-Schema (siehe Abbildung 3-3) formuliert ein Prüf- und Bewertungskonzept zu Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen aus Bauprodukten [1, 9]. Mit diesem werden adäquate Anforderungen an die Gesundheitsverträglichkeit von Bauprodukten gestellt, die zukünftig eine verlässliche Produktauswahl ermöglichen sollen. Diese Beurteilungsgrundlagen sind im Vorfeld umfassend mit zuständigen Herstellerkreisen, Fachinstitutionen sowie Behörden diskutiert worden.

3.2.1 AGBB-SCHEMA

Die Bewertung nach dem AgBB-Schema erfolgt durch Emissionskammermessungen an den Bauprodukten. Die entsprechenden Normen [4, 10, 11, 12] bilden die Grundlage für die Messungen. Gleichzeitig mit der Beladung der Kammer beginnt der Messzyklus. Eine Probenahme nach drei und eine nach 28 Messtagen werden für die Bewertung herangezogen. In Abbildung 3-3 ist das Ablaufschema dieser Bewertung dargestellt [1].

Die Tabelle 3-1 gibt Aufschluss darüber, in welchen Gruppen die flüchtigen organischen Komponenten jeweils zu berücksichtigen sind. Basis für die Retentionsbereiche der VOC ist die Elution auf einer unpolaren GC-Säule analog zur DIN ISO 16000-6 [10]. Neben dieser Norm sieht das AgBB-Schema für den Nachweis von Aldehyden, insbesondere für die NIK-Stoffe (NIK = Niedrigste Interessierende Konzentration) Butenal, Pentenal, Pentanal und Glutaraldehyd, auch die DIN ISO 16000-3 (DNPH*-Methode mit HPLC-Analyse) vor [11]. Mit dieser Methode lassen sich Aldehyde und Ketone selektiv und für kleinere Komponenten bis C₅ auch meist empfindlicher nachweisen. Die erste Prüfung findet nach drei Tagen statt. Zu diesem Zeitpunkt wird überprüft, ob der TVOC₃-Wert kleiner gleich 10 mg m⁻³ ist und die Konzentration kanzerogener Verbindungen kleiner als 0,01 mg m⁻³ ist. Werden diese beiden Anforderungen eingehalten, wird das Produkt weiter geprüft.

* DNPH = Dinitrophenylhydrazin

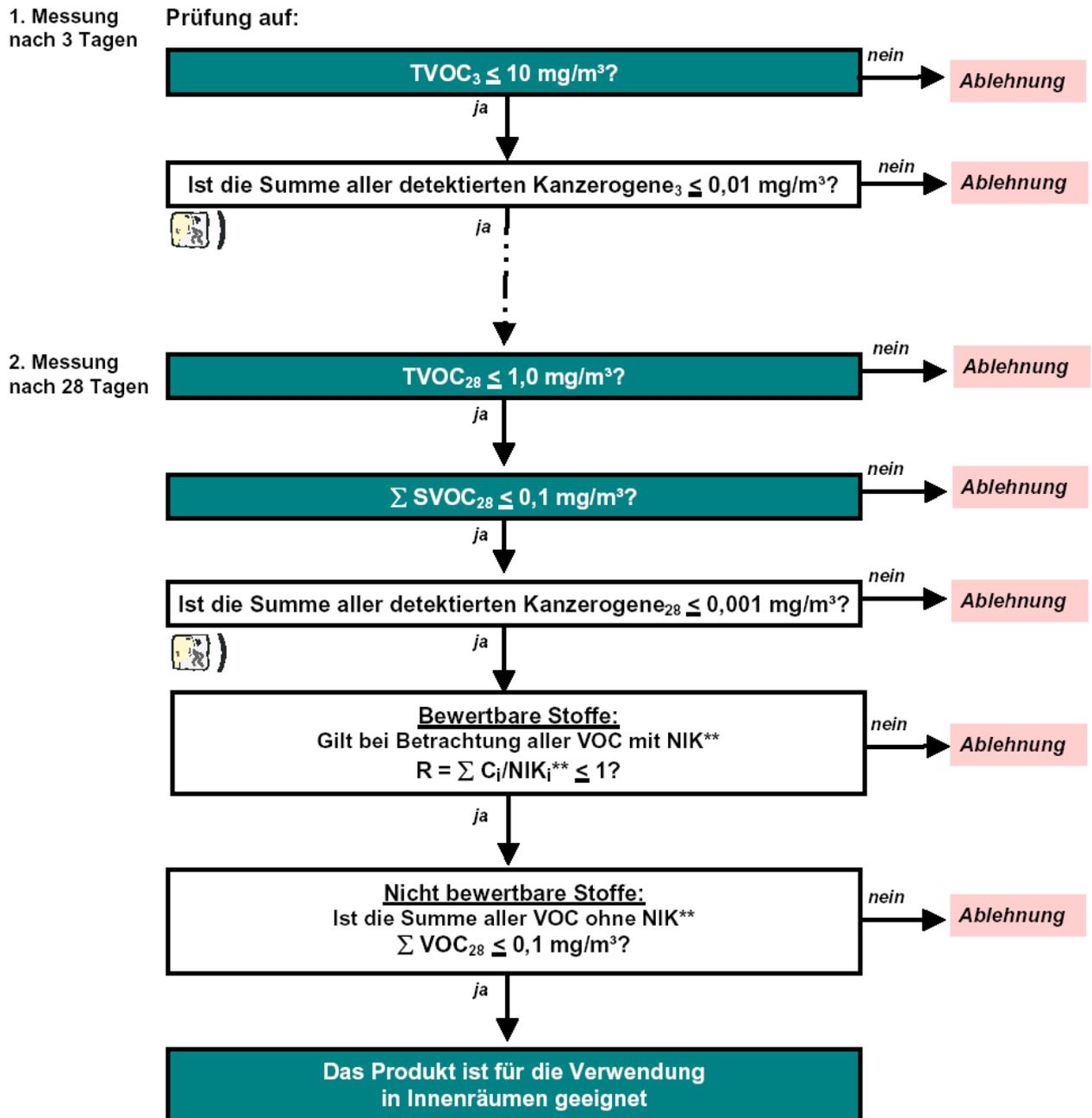


Abbildung 3-3: AgBB-Ablaufschema

Bei der zweiten Prüfung nach 28 Tagen werden weit mehr Parameter bewertet: $\text{TVOC}_{28} \leq 1,0 \text{ mg m}^{-3}$, $\Sigma \text{SVOC}_{28} \leq 0,1 \text{ mg m}^{-3}$ und weitere VOC, die mit Hilfe der NIK-Liste des AgBB-Schemas bewertet werden. Mit den NIK-Werten wird der R-Wert ermittelt ($R \leq 1$), indem die Quotienten aus Konzentration und NIK-Wert der jeweiligen Substanzen aufsummiert werden. Weiterhin werden die VOC, für die kein NIK-Wert vorliegt, deutlich schärfer bewertet, mit einem Summenwert von $\text{VOC}_{\text{ohne NIK}} \leq 0,1 \text{ mg m}^{-3}$. Auch die kanzerogenen VOC dürfen in Konzentrationen größer als $0,001 \text{ mg m}^{-3}$ nicht nachweisbar sein.

Eine Geruchsprüfung am 3. und 28. Tag ist im AgBB-Schema zwar vorgesehen, konnte bislang jedoch nicht in die tatsächliche Bewertung eingebracht werden. Das vorliegende Forschungsvorhaben macht einen Vorschlag für ein Geruchsmessverfahren zur Integrierung in das AgBB-Schema und die Vergabekriterien des Blauen Engels.

Tabelle 3-1: Definitionen der VOC im AgBB-Schema in Anlehnung an die DIN ISO 16000-6

VOC	alle Einzelstoffe im Retentionsbereich $C_6 - C_{16}$
TVOC	Summe aller Einzelstoffe $\geq 5 \mu\text{g m}^{-3}$ im Retentionsbereich $C_6 - C_{16}$
SVOC	alle Einzelstoffe im Retentionsbereich $> C_{16} - C_{22}$
Σ SVOC	Summe aller Einzelstoffe $\geq 5 \mu\text{g m}^{-3}$ im Retentionsbereich $> C_{16} - C_{22}$

3.2.2 ANWENDUNGEN DES AGBB-SCHEMAS

Vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) wurde das Schema bereits für Bodenbeläge in die Zulassungsgrundsätze eingearbeitet und auch für andere Produkte soll es in die Zulassungsverfahren integriert werden. [13, 14, 15, 16, 17] Das freiwillige Umweltzeichen Blauer Engel hat bei zahlreichen Bauprodukten und Einrichtungen für den Innenraum Emissionsmessungen in das Vergabeverfahren integriert. Die Anforderungen an die einzuhaltenden Werte sind deutlich schärfer als beim AgBB-Schema. [18, 19, 20]

Für die textilen Bodenbeläge ist bereits 1990 von der europäischen Teppichbodenindustrie das freiwillige GUT-Prüfsiegel (GUT: Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden e.V.) eingeführt worden [21]. Die Anforderungen an die Emissionen aus den Belägen sind in den ersten 7 Jahren schnell verschärft worden und lehnen sich heutzutage an das AgBB-Schema an, jedoch mit strengeren Anforderungen an die einzuhaltenden Produktemissionen. Seit 2006 gibt es auch ein Umweltzeichen Blauer Engel (RAL-UZ 128) für textile Bodenbeläge. 50 Produkte tragen bereits dieses Zeichen (Stand 03-2010). Ein weiterer potenzieller Emittent eines Fußbodenaufbaus ist der Belagsklebstoff [22]. Auch hier hat es schon früh freiwillige Bestrebungen der Industrie gegeben die Emissionen zu reduzieren, was zur Einführung des Eimcode-Systems führte [23, 24]. Auch für Belagsklebstoffe und andere Verlegewerkstoffe ist ein Umweltzeichen RAL-UZ 113 eingeführt worden. Aktuell sind 29 Produkte damit ausgezeichnet (Stand 03-2010).

3.3 BEWERTUNGSMETHODEN ZUR BESTIMMUNG DER EMPFUNDENEN LUFTQUALITÄT

VOC-Emissionen gehen häufig mit Geruchsempfindungen einher, die sensorische Prüfung ist daher als ein wichtiger Aspekt vorsorglich in das AgBB-Schema aufgenommen worden. Zwar existieren viele unterschiedliche Geruchsmessverfahren - siehe Fischer et al., 1998 [25] und ECA, 1999 [26] - aber bisher gab es noch kein allgemein anerkanntes Verfahren zur Geruchsbewertung von Bauprodukten. Zurzeit laufen jedoch Arbeiten in der Normung (ISO 16000-28, und VDI 4302 Blätter 1 bis 3), die die ersten Methoden zur sensorischen Bewertung von Bauprodukten festlegen werden.

Trotz der immer besseren Analysemöglichkeiten und der Entwicklung „künstlicher Nasen“ gelingt es bis heute nicht, die menschliche Nase bei der Bestimmung der empfundenen Luftqualität zu ersetzen. Gerüche entstehen aus einer Vielzahl chemischer Substanzen und längst sind nicht alle Stoffe erfasst, die beim Menschen eine Geruchsempfindung auslösen. Viele Tausend unterschiedliche Substanzen können in der Raumluft nachgewiesen werden, aber selbst mit einer quantitativen Bestimmung jedes Einzelstoffes könnte man keine Aussage über die Geruchswirkung einer Kombination treffen.

Es haben sich verschiedene Verfahren zur Bewertung der empfundenen Luftqualität etabliert, einige von ihnen wurden im Vorgängerprojekt [2] untersucht und ein Verfahren zur Bewertung von Bauprodukten ausgewählt: die Bewertung der empfundenen Intensität mit Vergleichsmaßstab. Im Zuge des neuen Vorhabens wird die empfundene Intensität mit Vergleichsmaßstab aber auch die Hedonik und die Akzeptanz abgefragt. Diese Verfahren und die dazugehörigen Fragestellungen werden im Folgenden erläutert. In Kapitel 4.6 „Sensorische Messungen“ wird auf die Durchführung der Messungen mit Probanden mit und ohne Vergleichsmaßstab eingegangen.

3.3.1 EMPFUNDENE INTENSITÄT

Die Probanden können die empfundene Intensität I unter Einsatz eines Vergleichsmaßstabes bestimmen. Im Gegensatz zur Akzeptanzmethode (siehe Kapitel 3.3.2 „Akzeptanz“) mit Probanden ohne Vergleichsmaßstab wird durch den Vergleich mit verschiedenen vorgegebenen Intensitäten des Referenzstoffes Aceton die Intensität der in der Luft enthaltenen Geruchsstoffe bestimmt.

Das Riechvermögen variiert von Mensch zu Mensch. Durch die Verwendung von Vergleichsquellen für die Geruchsstärke wird erreicht, dass der Einfluss der subjektiven Wahrnehmung auf das Versuchsergebnis reduziert wird, da alle

Mitglieder der Versuchsgruppe die Qualität der Luft anhand des gleichen Maßstabs bewerten.

Die Probanden greifen zur Beurteilung der empfundenen Intensität unbekannter Proben auf einen Vergleichsmaßstab aus Aceton-Luft-Gemischen zurück. Der konstruktive Aufbau des Vergleichsmaßstabs ist in Abbildung 3-4 dargestellt.

Der Vergleichsmaßstab ist im Wesentlichen aus drei Teilen aufgebaut: Probeluffführung, Acetonquelle und Dosiereinrichtung. Die luftberührten Bauteile sind aus den weitgehend geruchsneutralen Materialien Edelstahl, Glas oder Polytetrafluorethylen (PTFE) gefertigt.

Die Probelufführung ist über einen Flansch an eine geeignete, geruchsneutrale Luftversorgung angeschlossen. Für einen einwandfreien Betrieb müssen konstant zwischen $0,9$ und $1,0 \text{ l s}^{-1}$ pro Meilenstein (bei sechs Meilensteinen zwischen $5,4$ und $6,0 \text{ l s}^{-1}$) durch die Probelufführung gefördert werden. Die Konstant-Acetonquelle besteht aus einer druckfesten Waschflasche und einer Kühleinrichtung. Die Waschflasche wird mit synthetischer Luft versorgt. Die Druckluft wird durch die mit Aceton gefüllte Waschflasche gefördert und angereichert. Die Kühlung verhindert eine Übersättigung der Druckluft und somit eine anschließende Kondensation im Leitungssystem. Über einen Zellulosefilter wird mögliches Acetonaerosol aus dem Aceton-Luft-Gemisch abgeschieden.

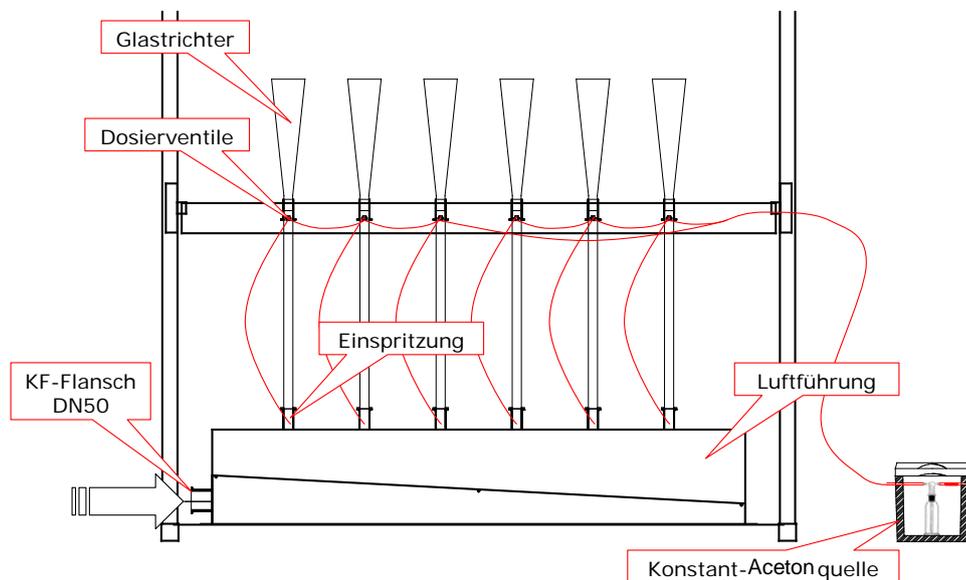


Abbildung 3-4: Aufbau des Vergleichsmaßstabs

Über eine Schlauchverteilung werden die insgesamt sechs Trichter mit dem konstanten Aceton-Luft-Gemisch versorgt. Je ein Dosierventil regelt die der Probeluft zugeführte Menge des Aceton-Luft-Gemisches in einem Bereich von Null bis 1150 mg m^{-3} .

Die Konstruktion der Zuführung gewährleistet eine gleichmäßige Durchmischung des Acetons in der Probeluft. Ist die Versorgung des Meilensteins mit konstantem Luftvolumenstrom und konstanter Druckluft sichergestellt, wird die gewünschte Acetonmenge über die Dosierventile eingestellt. Die eingestellten Konzentrationen sind mit einem geeigneten Messgerät zu überprüfen.

Der verwendete Vergleichsmaßstab besteht aus Aceton-Luft-Gemischen, die Abstufung ist im hier betrachteten Messbereich linear in Bezug auf die Acetonkonzentration. Die Einheit der empfundenen Intensität ist pi. Sechs unterschiedliche, fest eingestellte Acetonkonzentrationen im Bereich zwischen 20 mg m^{-3} (0 pi) und 320 mg m^{-3} (15 pi) erleichtern den Probanden die Orientierung bei der Bestimmung der empfundenen Intensität einer unbekannt Probe. Es ist möglich auch höhere Konzentrationen am Vergleichsmaßstab einzustellen. Wenn Proben mit deutlich höheren Intensitäten als 15 pi auftreten, sollten entsprechende Vergleichswerte zur Verfügung gestellt werden. Die Werte von Π sind an den Trichtern vermerkt.

Die Vergleichsskala für die Intensität ist durch folgende Punkte festgelegt:

- $0 \text{ pi} = 20 \text{ mg Aceton /m}^3_{\text{Luft}}$
- Bei $20 \text{ mg Aceton /m}^3_{\text{Luft}}$ können 50 % der Probanden einen Geruch wahrnehmen. Es handelt sich dabei um die Geruchsschwelle für Aceton.
- Konzentrationen für 1 bis n pi folgen aus einer linearen Abstufung der Acetonkonzentrationen.

3.3.2 AKZEPTANZ

Bei einer Bestimmung der Luftqualität über die Abfrage der Akzeptanz werden die Probanden nach ihrer Zufriedenheit befragt, wenn sie sich vorstellen, sie wären dieser Luft längere Zeit ausgesetzt. Für diese Befragung wird aus Gründen der statistischen Sicherheit eine größere Anzahl an Probanden (siehe dazu auch Kapitel 5.1.5 „Mindestanforderungen an die Größe der Probandengruppe“) benötigt, um Ergebnisse mit geringer Standardabweichung und kleinen Konfidenzintervallen (siehe Teil Auswertung im Kapitel 4.6.1 „Probandengruppe mit Vergleichsmaßstab“ und 4.6.2 „Probandengruppe ohne Vergleichsmaßstab“) zu erreichen. Das

durchschnittliche Empfinden der Normalbevölkerung soll sich im Ergebnis widerspiegeln. Dafür wird ein Probandenkollektiv bestehend aus ca. 40 Personen benötigt. Die Frage zur Akzeptanz der dargebotenen Luftprobe kann auf zwei unterschiedliche Arten erfolgen. Die eine Variante ist eine Ja-Nein-Abfrage, bei der die Probanden lediglich entscheiden müssen, ob sie die Luftprobe akzeptieren oder nicht. Daraus lässt sich dann ein PD-Wert (Percentage Dissatisfied) in %, als Verhältnis der Anzahl aller unzufriedenen Personen (mit nein bewertet) zu allen befragten Personen, berechnen (Formel 3-1).

Formel 3-1: Berechnung des PD-Wertes

$$PD = \frac{\text{Anzahl der unzufriedenen Personen}}{\text{Anzahl aller befragten Personen}} \cdot 100 \%$$

Neben der direkten Ermittlung des PD-Wertes kann in der zweiten Variante bei einer differenzierteren Betrachtung der Grad der Unzufriedenheit berücksichtigt werden. Die bewertende Person beurteilt die Akzeptanz von "klar unakzeptabel" bis "klar akzeptabel".

Die Probanden geben Ihre Bewertung durch eine Markierung auf der Skala (Abbildung 3-5) ab. Der so ermittelte Wert wird als Akzeptanz bezeichnet. Zur Ermittlung des Akzeptanz-Werts werden beide Skalenteile in jeweils 10 Stufen unterteilt (von -1 oder -10 ("klar unakzeptabel") bis +1 oder +10 ("klar akzeptabel")). Die Probanden sehen die Unterteilung der Skala nicht und können den Schieber (siehe im Kapitel 4.6.2 „Probandengruppe ohne Vergleichsmaßstab“ die Abbildung 4-20) der Skala beliebig verschieben. Die Berechnung des PD-Werts erfolgt hierbei aus der Anzahl der Bewertungen im negativen Akzeptanzbereich bezogen auf die Anzahl aller Bewertungen. Eine weitere Möglichkeit den PD-Wert in % der Gruppe zu bestimmen, wenn nur der Mittelwert der Akzeptanz (Akz_{arithm}) bekannt ist, hat Gunarssen [27] hergeleitet (Formel 3-2).

Formel 3-2: Berechnung des PD-Wertes

$$PD = \frac{\exp(-0,18 - 5,28 \cdot Akz_{arithm})}{(1 + \exp(-0,18 - 5,28 \cdot Akz_{arithm}))} \cdot 100 \%$$

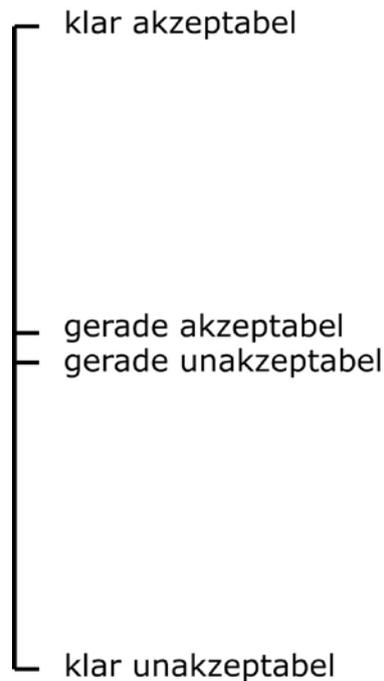


Abbildung 3-5: Akzeptanz Skala

3.3.3 HEDONIK

Die emotionale Wirkung des Geruchs wird durch die hedonische Note dargestellt. Sie beschreibt, ob ein Geruchseindruck als angenehm oder als unangenehm empfunden wird. Die hedonische Note eines Geruchs stellt die mittlere Bewertung einer Probandengruppe dar. Zur Beurteilung der hedonischen Geruchswirkung wird die in Abbildung 3-6 dargestellte Skala verwendet. Zur Vermeidung unterschiedlicher Deutungen werden die Endpunkte und die Mitte der bipolaren Skala semantisch belegt.



Abbildung 3-6: Hedonik Skala

Die Bewertung erfolgt anhand der 9-stufigen Skala von „äußerst unangenehm“ (-4) bis „äußerst angenehm“ (+4).

4 VERSUCHSAUFBAU UND VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Im Folgenden werden zunächst die für alle Versuche gültigen versuchstechnischen Aufbauten, Methoden und Abläufe erläutert (Kapitel 4.1 „Ablauf der Untersuchungen“ bis 4.7 „Analytische Messungen“). Im Anschluss daran werden in Kapitel 4.8 „Sensorische und analytische Untersuchung von Bauprodukten“ die versuchsspezifischen Aufbauten und Durchführungen dargestellt.

4.1 ABLAUF DER UNTERSUCHUNGEN

Die Messungen erfolgen jeweils parallel in den Emissionskammern vom Typ „CLIMPAQ“ im Luftqualitätslabor des HRI und bei der BAM in 24-Liter-Kammern. Ausgewählte Proben werden auch bei der BAM in einer CLIMPAQ untersucht. Die Proben sind gemäß DIN EN ISO 16000-11 vorbereitet und gelagert. Die sensorischen und analytischen Prüfungen werden am dritten (zweiten), achten (siebten), fünfzehnten (vierzehnten) und neunundzwanzigsten (achtundzwanzigsten) und optional am ersten Tag durchgeführt. Die Verschiebung der Bewertungstage von den ursprünglichen, hier in Klammern gezeigten Tagen, hängt mit dem Beladungstag und mit den festen Anwesenheitstagen der Probandengruppen zusammen.

Die sensorische Prüfung findet mit zwei Probandenkollektiven (mit und ohne Vergleichsmaßstab) statt. Neben der Akzeptanz und der empfundenen Intensität werden auch die Hedonik und die Zumutbarkeit der Proben bestimmt. Der Ablauf ist in Abbildung 4-1 dargestellt. Die Bewertungen der Probanden ohne Vergleichsmaßstab erfolgen immer am Mittwoch, also an den Versuchstagen zwei, neun, sechzehn und dreißig.

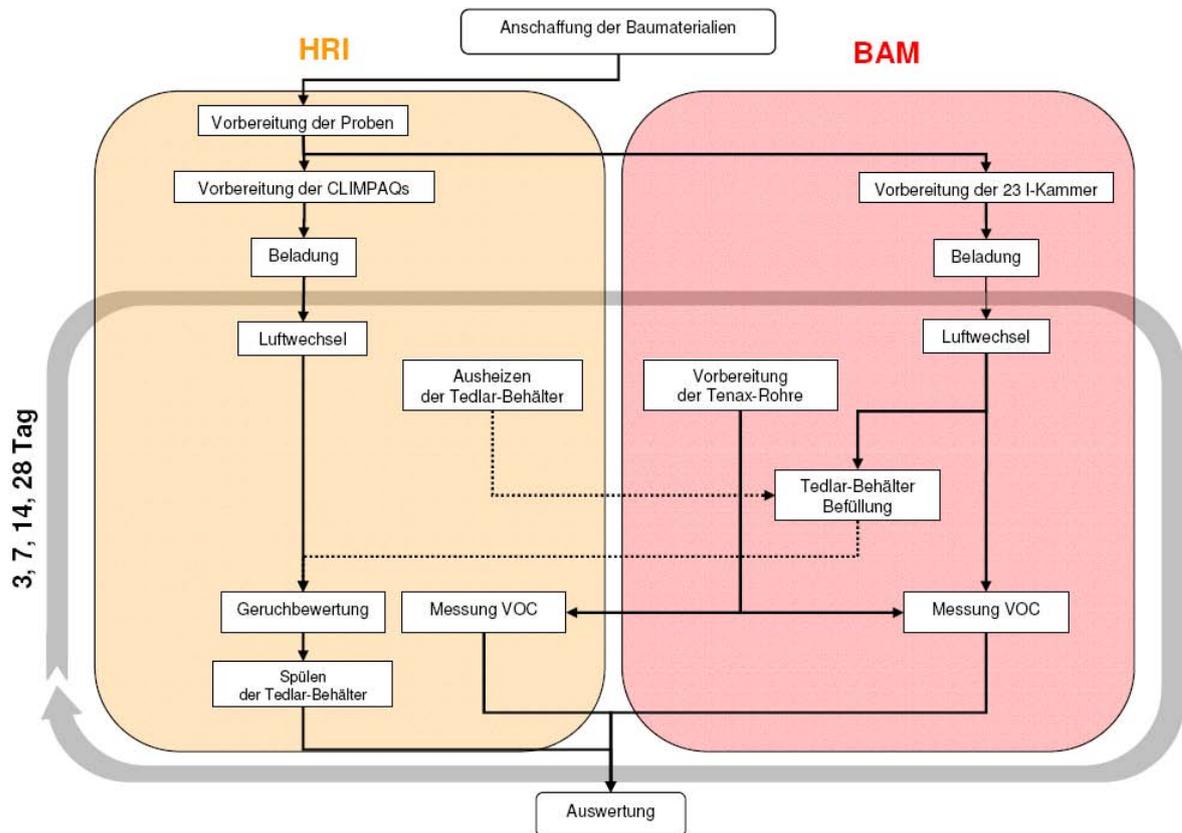


Abbildung 4-1: Ablauf der Arbeitsschritte bei den Messungen

Damit die Messergebnisse vergleichbar sind, muss bei den Messungen die gleiche flächenspezifische Durchflussrate q eingestellt werden. Die Bauprodukte mit den Nummern 3900, 3901, 3915, 3916, 3948, 3949, 3950 und 3951 werden mit einem q von $1,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ untersucht. Bei einem Beladungsfaktor von $L = 0,8 \text{ m}^2 \text{ m}^{-3}$ und einem Durchfluss von $0,9 \text{ l s}^{-1}$ ergibt sich eine Fläche von $2,6 \text{ m}^2$. Das entspricht 10 doppelseitigen Materialstücken mit Maßen von $0,65 \text{ m} \times 0,2 \text{ m}$. Die große Materialdichte in der CLIMPAQ führt zu Problemen bei der Beladung und könnte zusätzlich zu einer ungleichmäßigen Durchströmung der Proben führen. Deswegen wird ab Bauprodukt Nummer 3974 mit einem q von $2,00 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ gearbeitet. Das entspricht 6 Doppelplatten von $0,65 \text{ m} \times 0,2 \text{ m}$ mit einer Gesamtfläche von $1,6 \text{ m}^2$ und einem Durchfluss von $0,85 \text{ l s}^{-1}$. Bei den Messungen ab Nummer 4100 wird ein q von $1,56 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ gewählt. Dieses q liegt näher an dem vorgeschriebenen q von $1,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Es war somit möglich, mit 8 Doppelplatten im CLIMPAQ zu arbeiten.

Eine direkte Bewertung an den 24-L-Kammern ist nicht möglich, da der Volumenstrom zu gering ist, um direkt an der Kammer eine sensorische Bewertung durchführen zu können. Zusätzlich kann es sein, dass die Umgebungsluft der 24-L-Kammern für eine sensorische Bewertung nicht geeignet ist, da der Raum, in dem die 24-L-Kammern platziert sind, stark nach den zu bewertenden Bauprodukten

riecht. Die Probeluft wird daher mit einem 300-L-Tedlar[®]-Behälter aus Polyvinylfluorid* (siehe Kapitel 4.8.1 „Überprüfung des Probebehälters“) aus der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) zum Luftqualitätslabor des Fachgebiets Heiz- und Raumluftechnik (HRI) transportiert.

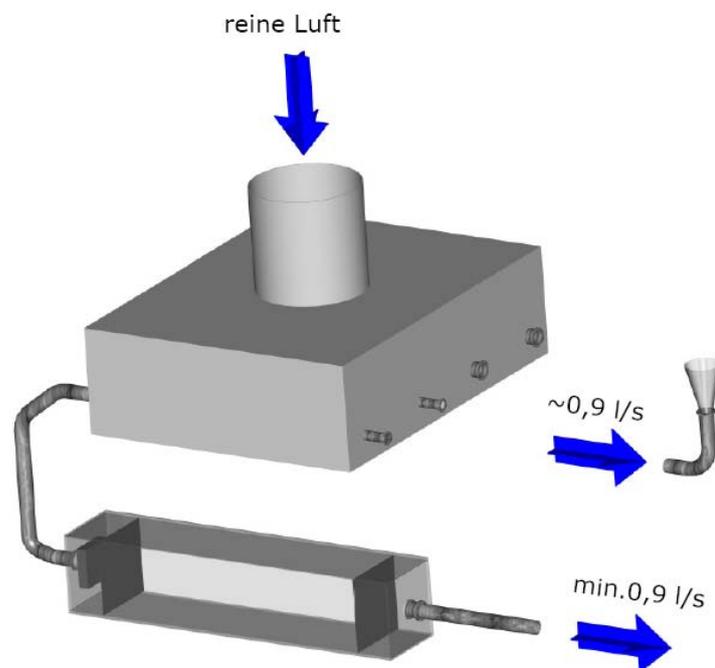


Abbildung 4-2: Belüftung der CLIMPAQ

Im Luftqualitätslabor des Fachgebiets Heiz- und Raumluftechnik (HRI) gelangt die aufbereitete Außenluft in den Verteilerkasten und wird von dort an die Kammern verteilt. Die Einstellung der Volumenströme erfolgt über Blenden. In Abbildung 4-2 ist diese Verteilung für eine Kammer beispielhaft dargestellt.

Die Messungen erfolgen an den Tagen 3 (2), 8 (7), 15 (14) und 29 (28) nach Beladung der Kammer. Für einen Versuchstag wird folgender Versuchsablauf standardisiert:

- Kurz vor der Befüllung der Tedlar[®]-Behälter werden die Behälter ausgeheizt, wodurch der Eigengeruch des Behälters eliminiert ist. Anschließend werden die Behälter zur BAM transportiert.

* gefertigte Behälter aus Polyvinylfluorid der Firma DuPont, die auch mit dem Handelsnamen "Tedlar" bezeichnet werden

- Die TENAX® Röhren werden von der BAM zum HRI transportiert.
- Die Tedlar®-Behälter werden bei der BAM direkt an die 24-Liter-Kammern angeschlossen und über Nacht befüllt (Abbildung 4-3).
- Die befüllten Tedlar®-Behälter werden innerhalb von 3 Stunden zum Luftqualitätslabor des HRI transportiert.
- Gleichzeitig wird bei der BAM und am HRI die VOC-Probenahme mit Hilfe von TENAX® Röhren durchgeführt. In der BAM erfolgt diese in 24-L-Kammern und bei Bedarf an der CLIMPAQ, am HRI an der CLIMPAQ und an den Tedlar®-Behältern.
- Eine Probandengruppe bewertet mit oder ohne Vergleichsmaßstab die Probeluft aus den Tedlar®-Behältern und direkt an den CLIMPAQ des HRI.



Abbildung 4-3: Befüllung der Behälter

4.2 PROBENAUSWAHL

Alle Produkte, die in diesem Vorhaben untersucht werden, sind im Fachhandel entweder im Geschäft oder per Katalogbestellung beschafft worden. Das Datum der Herstellung lässt sich somit in der Regel nicht ermitteln. Von Vorteil ist jedoch, dass die Produkte zum gleichen Zeitpunkt erworben und untersucht werden, zu dem sie auch der Endverbraucher erhalten würde.

Im Vorhaben sollten auch viele Produkte mit Umweltzeichen oder sonstigen Kennzeichen untersucht werden, die die emissionsarmen Eigenschaften der

Produkte hervorheben. Fast alle untersuchten Bodenbelagsklebstoffe tragen das Ecode Zeichen mit der Einstufung EC1 oder das Umweltzeichen Blauer Engel. Bei den anderen im Projekt untersuchten Produktgruppen ist dies nur bei einem Teil der Produkte der Fall. Die wesentlichen Produkttypen sind textile Bodenbeläge (Teppichböden), nichttextile, elastische Bodenbeläge (PVC, Linoleum, Kautschukbeläge), ein Hartbelag (Parkettboden), ein Fertigestrich, Belagsklebstoffe zur Fixierung von Bodenbelägen sowie eine Dichtmasse und eine Ausgleichmasse. Im Bereich der Bodenbeläge werden das Übereinstimmungszeichen (Ü-Zeichen) des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt), das Zeichen der Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichböden (GUT-Zeichen) und das Umweltzeichen Blauer Engel zur Auswahl der Produkte herangezogen. Ferner werden Bodenbeläge untersucht, die das freiwillige finnische Zeichen M1 tragen, welches emissionsarme Bauprodukte erhalten können, oder das dänische Zeichen Danish Indoor Climate Label (DACL). Letztere wurden ausgewählt, da nur solche Produkte ausgezeichnet werden können, die auch Anforderungen an den Geruch einhalten. Die Bewertung von Produkten nach dem in diesem Projekt vorgeschlagenen Messverfahren wird so vergleichbar mit anderen Bewertungen.

Die untersuchten Bauprodukte sind in Tabelle 4-1 aufgelistet. Alle Bauprodukte werden sensorisch und fast alle auch analytisch bewertet (s. Kapitel 5.1 Sensorische und analytische Untersuchung von Bauprodukten).

Tabelle 4-1: Übersicht zu den untersuchten Bauprodukten

Nummer	Bauprodukt	CLIMPAQ HRI	q HRI	24-L Kammer	CLIMPAQ BAM	q BAM
2008-3900	Bodenbelag aus PVC	X	1,25	X		1,25
2008-3901	Teppichboden	X	1,25	X		1,25
2008-3915	Bodenbelag aus Kautschuk	X	1,25	X		1,25
2008-3916	Teppichboden	X	1,25	X		1,25
2008-3948	Bodenbelag aus Kautschuk	X	1,25	X		1,25
2008-3949	Ausgleichmasse	X	1,25	X		1,25
2008-3950	Belagsklebstoff	X	1,88	X	X	1,88
2008-3951	Teppichboden	X	1,25	X		1,25
2008-3974	Teppichboden	X	2			
2008-3975	Teppichboden	X	2			
2008-3976	Teppichboden	X	2	X	X	2
2008-3977	Belagsklebstoff	X	2	X		2
2008-3978	Belagsklebstoff	X	2	X	X	2
2008-4003	Belagsklebstoff	X	2			
2008-4004	Bodenbelag aus PVC	X	2			
2008-4005	Bodenbelag aus Kautschuk	X	2			
2008-4014	Linoleum	X	2	X		2

Tabelle 4-1: Übersicht zu den untersuchten Bauprodukten (Fortsetzung)

Nummer	Bauprodukt	CLIMPAQ HRI	q HRI	24-L Kammer	CLIMPAQ BAM	q BAM
2008-4015	Bodenbelag aus PVC	X	2	X	X	2
2008-4026	Dichtmasse aus Acryl	X	44	X	X	44
2009-4033	Belagsklebstoff	X	2	X		2
2009-4039	Linoleum	X	2			
2009-4040	Belagsklebstoff	X	2			
2009-4041	Teppichboden	X	2			
2009-4061	Belagsklebstoff	X	2	X		2
2009-4073	Estrich	X	7,24	X		
2009-4074	Teppichboden	XXX	7,24 / 7,24 / 1,7	X		7,24
2009-4101	Bodenbelag aus PVC	X	1,56	X	X	1,56
2009-4141	Teppichboden	X	1,56			
2009-4159	Parkett	X	1,56	X		1,56
2009-4161	Bodenbelag aus PVC	X	1,56	X		1,56
2009-4162	Bodenbelag aus PVC			X		1,56
2010-4199	Bodenbelag aus PVC	X	1,56			
2010-4290	Belagsklebstoff			X		1,25

4.3 EMISSIONSPRÜFKAMMERN

Die Untersuchungen der Emissionen der Bauprodukte werden mit Hilfe von Emissionsprüfkammern nach DIN EN ISO 16000-9 durchgeführt und dauern gemäß dieser Norm und dem AgBB-Schema im Regelfall 28 Tage. Die verwendeten Kammern bestehen aus Glas oder Edelstahl und haben ein Volumen von ca. 24 Liter, 44 Liter, 5 m³ und 13 m³. Die Proben verbleiben während der gesamten Versuchsdauer von 28 Tagen in den Kammern (keine Auslagerung).

Für die Bestimmung der Emissionen in Kammern sind neben definierten Parametern wie Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, flächenspezifische Luftdurchflussrate und Luftströmungsgeschwindigkeit, weitergehende Anforderungen an die Emissionsprüfkammern zu stellen:

- Inerte Kammerwände [Glas oder Edelstahl (poliert)] zur Minimierung von Wandeffekten,
- Manteltemperierung zur Minimierung von zeitlichen und räumlichen Temperatur-Gradienten,
- Minimierung von Dichtungsmaterialien, die Eigenemissionen aufweisen sowie Adsorptions- und Desorptionseffekte verursachen können,
- Reinstluftversorgung (VOC- und staubfrei),
- Reinstwasserversorgung (VOC- und partikelfrei),

- Einstellung eines möglichst großen Quellen-/Senkenverhältnis, was wichtig ist für die Bewertung der schwerer flüchtigen Verbindungen.

Bis auf die 13-m³ Kammer, die einem "realen" Raum gleichen soll, werden alle Emissionsprüfkammern gemäß den ISO-Normen DIN EN ISO 16000-9 [4], und 16000-11 [12] unter den Standard-Klimabedingungen von T = 23 °C und r.F. = 50 % betrieben.

24-L-Kammern:

Die 24-L-Emissionsprüfkammern basieren auf Exsikkatoren in Anlehnung an DIN 55 666 [28] und sind weiter optimiert worden. Sie sind mit Zu- und Ablufführung, sowie mehreren Probenahmestutzen versehen, die sich zum einen in Tubusform am Exsikkator selbst und zum anderen in einem plangeschliffenen Edelstahlring zwischen Boden und Deckel des Exsikkators befinden (siehe Abbildung 4-4). Die Luftströmungsgeschwindigkeit wird über einen Propeller eingestellt, der über eine Magnetkupplung mit dem außen liegenden, drehzahlgeregelten Motor verbunden ist. Für die Lagerung der Propellerwelle in der Magnetkupplung kommen kammerseitig spezielle gedichtete Kugellager zum Einsatz, die nach sorgfältiger Reinigung der Oberflächen keine nachweisbaren Emissionen aufweisen. Die Einstellung des Luftwechsels wird mit Hilfe eines Nadelventils und eines Schweb-Durchflussmessers vorgenommen und mittels Strömungsmessrohren kontrolliert, die kontinuierlich den Durchfluss protokollieren. Die Abdichtung des Flansches zwischen Exsikkator, Edelstahlring und Deckel erfolgt nur durch den Planschliff, der durch zwei gegeneinander verschraubte Metallringe fixiert wird. Für die Luftprobenahme können an den Probenahmestutzen des Edelstahlringes Probenahmerohre mit Außendurchmessern von sechs Millimetern angeschlossen werden, parallel zur Zuluft lassen sich auch Rohre mit 14 Millimeter Außendurchmesser anschließen. Die Kammern entsprechen den Anforderungen der DIN EN ISO 16000-9 [4]. Diese Kammern werden im weiteren Verlauf des Berichtes 24-L-Kammern (oder in den Diagrammen 24LK und EXSI_BAM aus Tedlar[®]-Behältern) genannt.

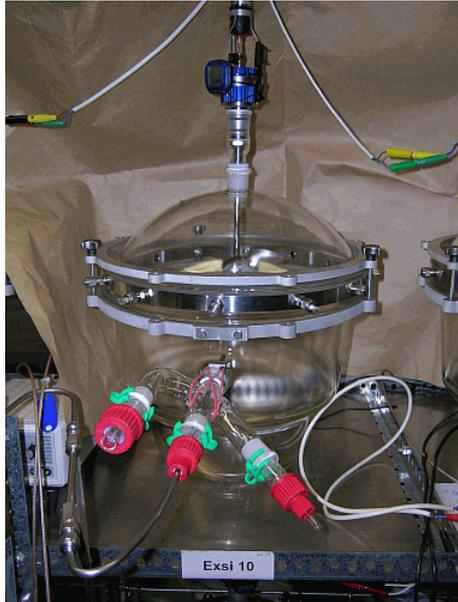


Abbildung 4-4: 24-L-Kammer



Abbildung 4-5: CLIMPAQ (44-L-Kammer)

CLIMPAQ (44-L-Kammer):

Die CLIMPAQ ist eine spezielle Testkammer, die seit einigen Jahren verstärkt in Untersuchungen der empfundenen Luftqualität eingesetzt wird. Der Name „CLIMPAQ“ ist eine Abkürzung für den englischen Begriff ‚**C**hamber for **L**aboratory **I**vestigations of **M**aterials, **P**ollution and **A**ir **Q**uality‘. Die Testkammern wurden 1994 von Gunnarsen, Nielsen und Wolkoff [29] an der Technischen Universität Dänemark in Kopenhagen entwickelt. Wie in allen Untersuchungen von Produktemissionen werden zum Bau dieser Testkammern Materialien verwendet, die selbst nur äußerst geringe Eigenemissionen besitzen.

In diesem Projekt werden vier CLIMPAQs am HRI und eine bei der BAM eingesetzt. Der leicht modifizierte Aufbau dieser Kammer ist der Abbildung 4-6 zu entnehmen. Das Volumen beträgt ca. 44 Liter. Der Großteil der kinetischen Energie der Zuluft wird sofort nach Eintritt in die Kammer an einer Prallplatte abgebaut. Dahinter befindet sich das erste von zwei Laminarisatorblechen. Dieses sorgt für eine gleichmäßige Verteilung des Volumenstromes über den gesamten Kammerquerschnitt. Die eigentliche Testkammer - mit dem zu untersuchenden Material - ist der Raum zwischen den beiden Laminarisatoren. Die Luftversorgung der Kammern am HRI erfolgt über eine raumluftechnische Anlage mit einem Feinstaubfilter der Klasse F6 am Lufteintritt und einem Aktivkohlefilter vor dem Eintritt in die Kammern. Die Temperierung der Luft erfolgt nicht direkt im Luftstrom sondern

außerhalb über Heizkapillarrohrmatten an der Außenseite der Luftkanäle. Damit soll verhindert werden, dass die Luft durch mögliche Einbauten geruchlich belastet wird. Die Luftkanäle sind aus Glas; die Gehäuse der Anlage aus Edelstahl. Die Temperatur und Luftfeuchtigkeit werden gesteuert.

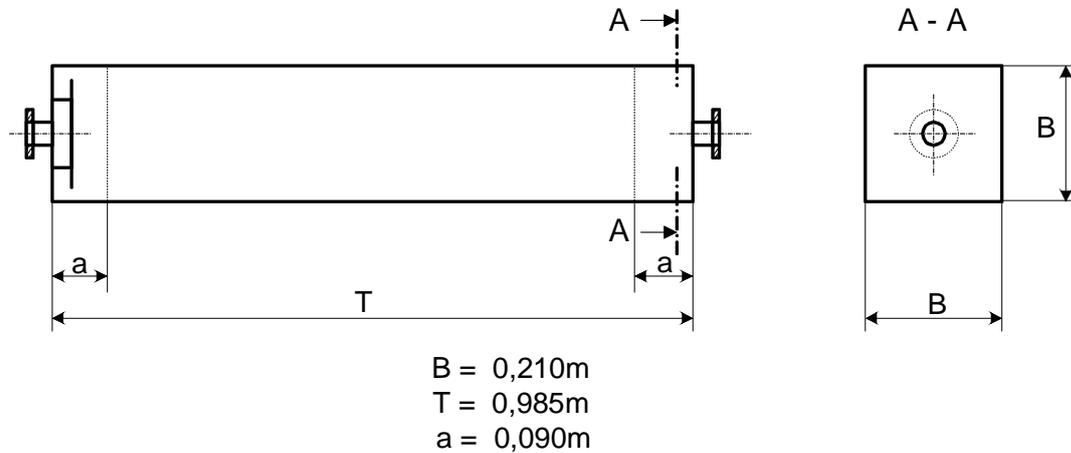


Abbildung 4-6: Schematischer Aufbau einer CLIMPAQ

Am Ausgang der Testkammer ist die Luft durch Emissionen aus dem zu untersuchenden Material verändert und wird direkt von einer Probandengruppe bewertet. Zusätzlich erfolgt eine analytische Bestimmung der Emissionen.



Abbildung 4-7: Foto einer verwendeten CLIMPAQ am HRI

5 m³-Kammer:

Diese Kammer ist gemäß DIN EN ISO 16000-9 [4] aufgebaut (siehe Abbildung 4-8). Sie besteht aus einer inneren Kammer aus poliertem Edelstahl, wobei die Temperierung der Kammer über eine Manteltemperierung erreicht wird. Die Luftbewegung in der inneren Kammer wird durch einen mobilen Lüfter realisiert. Für das Ausheizen der Kammer (bis zu 200°C) wird dieser Lüfter gegen ein mobiles Ausheizsystem getauscht. Die Dampfbefeuchtungseinheit erlaubt einen Feuchtebereich von ca. 10 % bis 90 % relativer Feuchte bei 23 °C. Die Parameter wie Luftwechsel, Temperatur und Feuchte der Kammer werden permanent kontrolliert, geregelt und protokolliert. Die Kammer lässt sich mit einer Luftwechselrate im Bereich von ca. 0,2 bis 5 h⁻¹ betreiben.



Abbildung 4-8: 5 m³-Kammer mit geöffneter Tür

13 m³-Kammer:

Das Luftqualitätslabor des HRI hat zwei Kammern mit einem Volumen von 13 m³ die als Vergleichsräume dienen. Für dieses Vorhaben werden die Kammern sowohl für die Nachbildung eines realen Fußbodenaufbaus als auch zur Untersuchung einer Kombination der Bodenbeläge verwendet. Im letzteren Fall wird der Boden der Kammer mit ausgeheizter Tedlar[®]-Folie ausgekleidet, um so eine Emissionskammer zu erhalten. Eine schematische Darstellung einer 13 m³-Kammer ist der Abbildung 4-9 zu entnehmen.

Der Wandaufbau besteht aus einer außen liegenden Aluminiumplatte, einer 4 cm dicken Dämmung und einer tapezierten Gipskartonplatte. Eine zwischen Dämmung

und Innenwand liegende Dampfsperre sorgt für einen luftdichten Abschluss des Raums. Tür und Fensterkonstruktion sind in einer luftdichten Ausführung eingebaut. Die Kammern sind nicht nach DIN EN ISO 16000-9 errichtet, sondern sollen einem „realen“ Raum entsprechen. Es ist möglich, diese mit einem beliebigen Bodenaufbau und bei Bedarf auch mit Möbeln auszustatten.

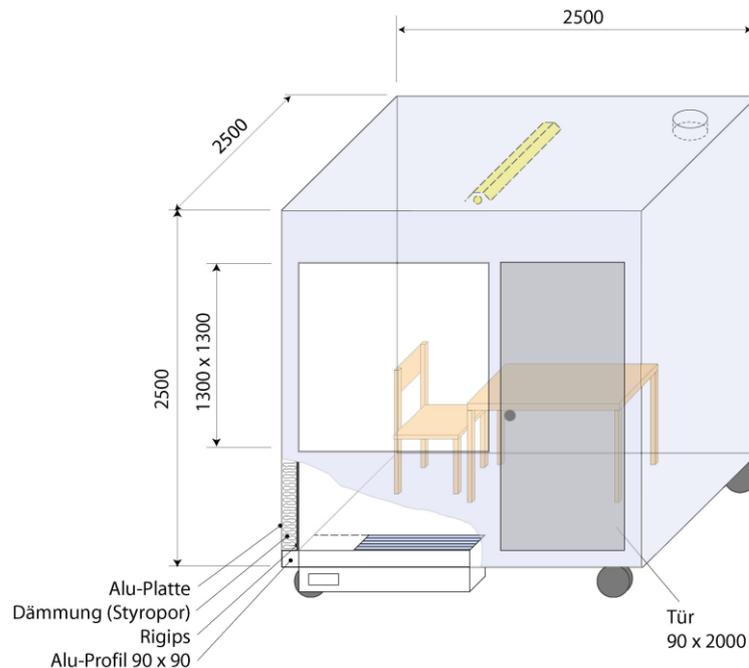


Abbildung 4-9: Schematischer Aufbau der 13 m³-Kammer

Die Versuchsräume werden über Unterflurlüftungsgeräte mit einem integrierten Wärmeübertrager mit frischer Luft versorgt. Die Außenluft wird mit einem Taschenfilter der Klasse F6 gereinigt und durch einen Zentralventilator zu den jeweiligen Unterflurlüftungsgeräten der Versuchsräume gefördert. In den Unterflurlüftungsgeräten ist ein weiterer F6 Filter eingebaut. Ein definierter Volumenstrom der Abluft wird durch Edelstahlrohre in die Prüfkabine des Luftqualitätslabors geleitet. Am Ende der Rohre sind Bewertungstrichter aus Glas angeschlossen. An den Glastrichtern erfolgt die Bewertung der Luft aus den Versuchsräumen durch die Probanden, so dass diese die Versuchsräume nicht direkt betreten (Blindversuch).

4.4 PROBENNAHME UND PROBENDARBIETUNG MIT TEDLAR® -PROBEBEHÄLTER

Für die Geruchsprobenahme wurden von Müller [30] zahlreiche Kunststoff-Materialien auf deren Eignung hin untersucht. Als universelles Material hat sich dabei Tedlar® herausgestellt. Dieser auf Polyvinylfluorid basierende thermoplastische Kunststoff zeichnet sich durch hohe Inertheit und minimale Permeation von VOC aus. Aus diesem Material wurden ca. 300 Liter fassende, kissenförmige Behälter geschweißt, die das Kernstück des vom HRI entwickelten Probenahme- und Probegabesystems bilden: dem AirProbe (Abbildung 4-10). Um die Probeluft nicht zu beeinflussen, werden die Behälter vor und nach der Verwendung mehrere Stunden bei ca. 80 °C ausgeheizt.



Abbildung 4-10: AirProbe bei der Probenahme

Mit den vorbehandelten Tedlar®-Behältern (Abbildung 4-11) ist es möglich, über einen längeren Zeitraum Probeluft zu sammeln. Die Probeluft kann unter kontrollierten Randbedingungen gelagert, transportiert und anschließend einer Probandengruppe zur sensorischen Bewertung dargeboten werden.

Der AirProbe wird mit den Tedlar®-Behältern bestückt, die vor Ort gegen weitere Behälter gewechselt werden können, was eine mehrfache Probenahme und -darbietung ermöglicht. Das Gerät ist zur Probendarbietung so konstruiert, dass beim Entleeren des Tedlar®-Behälters die Probeluft ausschließlich mit den weitgehend geruchsneutralen Materialien Edelstahl, Glas und PTFE in Berührung kommt. Bei einem vollen Behälter und einem für die sensorische Prüfung notwendigem Probeluftvolumenstrom von 0,7 bis 0,9 l s⁻¹ ist es möglich, eine Probandengruppe von bis zu 15 Personen mit Probeluft zu versorgen.



Abbildung 4-11: Tedlar®-Behälter mit Probeluft gefüllt

Alle für den Transport der Emissionsluft verwendeten Tedlar®-Behälter werden direkt nach ihrer Benutzung für drei Stunden unter permanenter Luftzufuhr in einem speziellen, selbstkonstruierten Ausheizschrank (Abbildung 4-12) ausgeheizt. So ist die Möglichkeit der Wiederverwendbarkeit gegeben, da mögliche, an das Material adsorbierte VOC entfernt werden. Die Behälter werden dann luftleer und geschlossen gelagert. Vor den nächsten Probenahmen werden die Behälter noch einmal acht Stunden bei 80 °C ausgeheizt. Durch diese intensive Behandlung ist kaum ein Geruch wahrnehmbar (siehe dazu Kapitel 5.1.1 „Überprüfung der Probebehälter“).

Probebehälter können immer dann eingesetzt werden, wenn der Volumenstrom aus den Kammern für eine sensorische Bewertung nicht ausreicht. Dies ist der Regelfall, da für sensorische Untersuchungen ein Volumenstrom von $0,6 - 1 \text{ ls}^{-1}$ benötigt [31] wird. Ein weiteres Einsatzgebiet ist gegeben, wenn das Labor, in dem eine sensorische Bewertung durchgeführt werden soll, einen zu starken Eigengeruch aufweist. Auch bei der sensorischen Bewertung realer Räume können Probebehälter eingesetzt werden, da Probanden die Luft geruchlich belasten und damit beeinflussen könnten (sie würden selbst eine Verunreinigungsquelle darstellen). Möglicherweise ist es auch aus Sicht der Nutzer nicht erwünscht, dass Probanden die Räume betreten, da sie z. B. Arbeitsabläufe in einem Betrieb stören könnten.

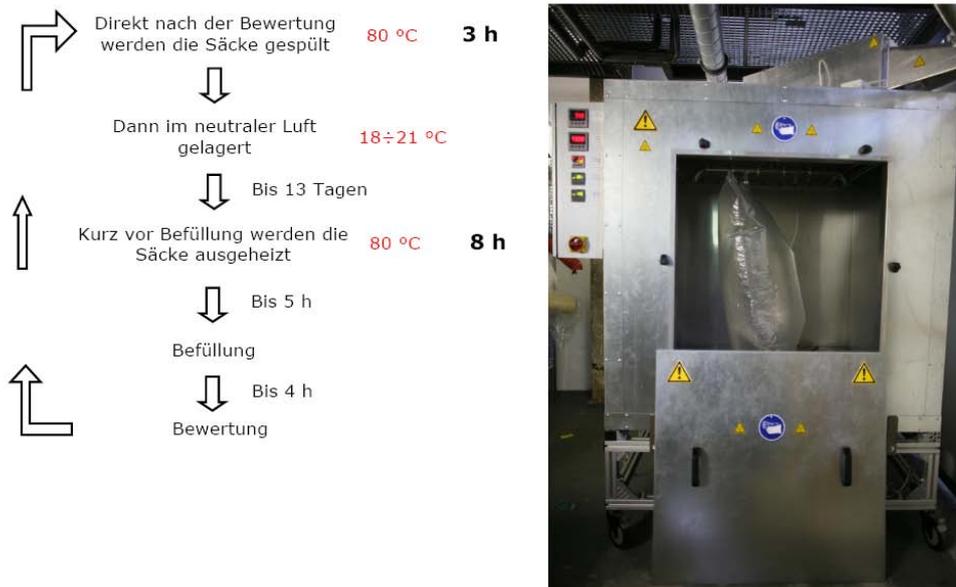


Abbildung 4-12: Verlauf der Behandlung der Tedlar®-Behälter und des Ausheizschrankes

4.5 PROBENVORBEREITUNG

Vor der eigentlichen Untersuchung werden die Bauprodukte bei 23 °C und 50 % r.F. originalverpackt gelagert. Je nach Produkttyp werden für die Emissionsuntersuchungen verschiedene Probenvorbereitungen durchgeführt, die im Folgenden beschrieben werden.

Bei Fußbodenbelägen sollte nach Norm DIN EN ISO 1600-9 [4] mit einer flächenspezifischen Emissionsrate (q) von $1,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ gearbeitet werden. Dies ist allerdings im Vorhaben nicht möglich, da die eingesetzten Kammern vom Typ CLIMPAQ bestimmungsgemäß mit einem sehr hohen Luftvolumenstrom gefahren (ca. $3,6 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$) werden und demgegenüber nur ein relativ kleines Kammervolumen von 44 l besitzen. Die Dicke der Proben ist daher mit ca. 10 bis 15 Millimetern stark limitiert. Um nun die Emissionsergebnisse der verschiedenen Kammern vergleichen zu können, ist es nötig, alle Kammern mit der gleichen etwas höheren Emissionsrate zu betreiben.

Teppichböden:

Für den Kammerversuch werden die Schmalflächen der Prüfmuster mit selbstklebender Aluminiumfolie abgeklebt. Für die Untersuchung in der CLIMPAQ werden sie dann Rücken an Rücken gelegt, am Rand mit selbstklebender Aluminiumfolie verbunden und stehend eingebracht. In die 24-L-Kammern werden für die

Untersuchungen zumeist zwei Platten eingebracht, die auf der Rückseite mit Aluminiumfolie kaschiert und am Rand mit selbstklebender Folie versehen sind.

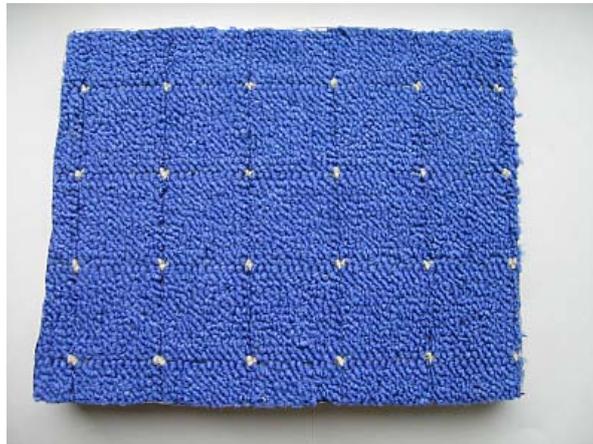


Abbildung 4-13: Ein für die Kammermessung zugeschnittener Teppichboden

Teppichböden werden üblicherweise als Rollenware angeboten. Für das Vorhaben werden möglichst viele Meter der Ware beschafft, um die Anforderungen an die Beprobung dieses Produktes gemäß der DIN EN ISO 16000-11 [12] zu erfüllen. Das exakte Alter der Proben ist nicht bekannt. Die in die Kammer eingebrachten Proben werden möglichst aus der Mitte der Rollenware herausgeschnitten. Die Teppichböden können wegen ihrer Dicke von ca. 1 cm in der CLIMPAQ nicht mit der erforderlichen Beladung von $1,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ eingebracht werden. So wären z. B. für ein q von $1,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ bei einem Volumenstrom von ca. $3,6 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ 16 Proben mit einer Fläche von $60 \times 20 \text{ cm}^2$ nötig. Bei einer Dicke von ca. 1 cm lässt sich diese Probenmenge nicht mehr in der CLIMPAQ platzieren. Daher wurde mit einem erhöhten q gearbeitet (siehe dazu 4.1 „Ablauf der Untersuchungen“).

Bodenbeläge aus PVC und Linoleum:

Diese Produkte werden analog zu den Teppichböden vorbereitet. Da sie zumeist eine Dicke von wenigen Millimetern haben, lassen sich auch in der CLIMPAQ höhere Beladungen realisieren.

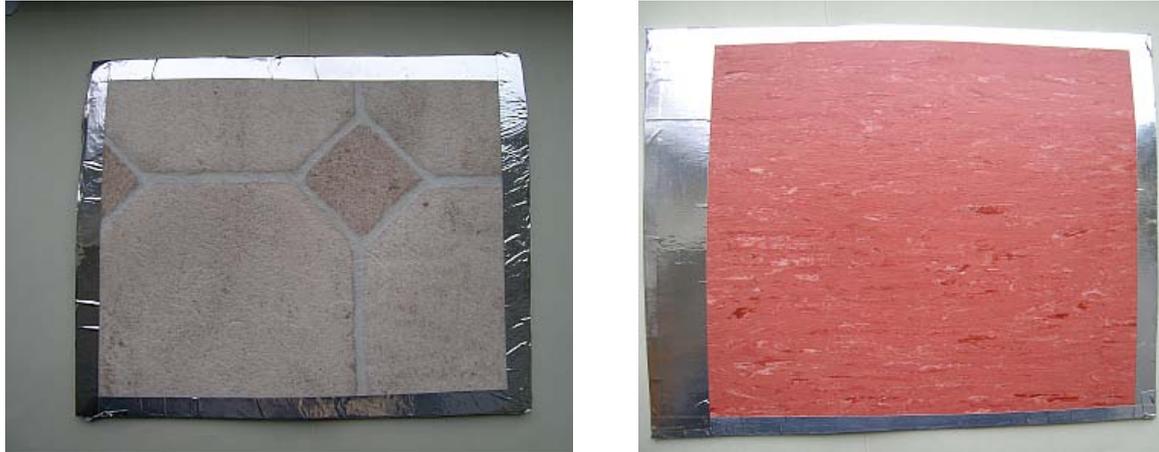


Abbildung 4-14: Zwei für die 24-L-Kammern vorbereitete PVC-Proben

Parkett:

Bei Parkett werden komplette Verpackungseinheiten erworben, die zumeist ein bis zwei Quadratmeter des Materials enthalten. Die Untersuchungen werden mit einem q von $1,56 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ durchgeführt.

Belagsklebstoffe:

Die untersuchten Belagsklebstoffe werden mit einem Zahnpachtel auf bis zu acht Glasplatten für die CLIMPAQ und auf zwei für die 24-L-Kammern aufgetragen. Die so beschichteten Platten werden nach einer kurzen Antrocknungszeit von ca. einer Stunde in die Kammer eingebracht.

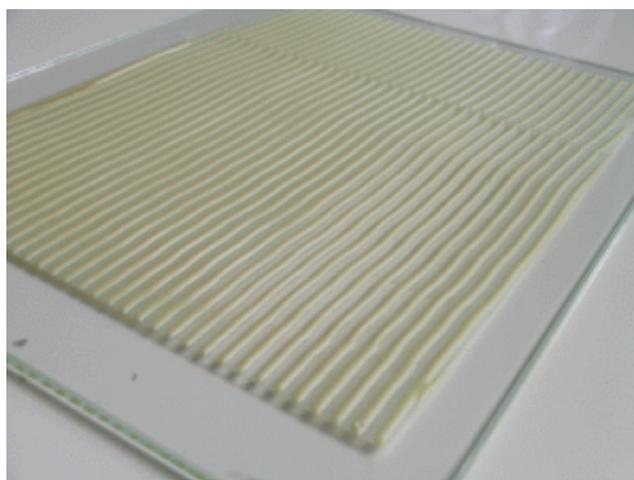


Abbildung 4-15: Auftrag eines Belagsklebstoffes auf eine Glasplatte

4.6 SENSORISCHE MESSUNGEN

Die sensorische Prüfung der Bauprodukte wird mit einer Probandengruppe mit und ohne Vergleichsmaßstab im Luftqualitätslabor des HRI durchgeführt. Für die Versuche (siehe Kapitel 5.1.4 „Direkte Bewertung an der 5 m³-Kammer“) finden die Bewertungen durch Probanden mit Vergleichsmaßstab einmalig direkt an den Emissionskammern im Labor der BAM statt.

Im Luftqualitätslabor des HRI sind unter anderem zwei Glasräume [32]. Einer dient als Aufenthaltsbereich für die Probanden zwischen den Bewertungen und im anderen werden die Bewertungen durchgeführt. Die Räume sind direkt miteinander verbunden. Im Bewertungsraum befinden sich die Trichter, die über Glasverrohrungen mit den Emissionsprüfkammern verbunden sind. Die Probanden werden zum Riechen und Bewerten einzeln eingelassen. Es ist ihnen untersagt, sich zwischen den Messungen darüber auszutauschen. Beide Räume werden über eine Klimaanlage mit der gleichen Luft versorgt, die auch die CLIMPAQs speist und deren luftberührende Bauteile aus Glas oder Edelstahl gefertigt sind. Die Probanden haben keinen visuellen Kontakt mit den dargebotenen Proben und bekommen auch keine Information über die zu bewerteten Proben. Die Probe ist für die Probanden eine Blackbox. Im Folgenden werden die Versuchsabläufe für die Probanden mit und ohne Vergleichsmaßstab erläutert.

4.6.1 PROBANDENGRUPPE MIT VERGLEICHSMASSTAB

Als Probandengruppe, die mit Vergleichsmaßstab arbeitet, stehen 15 Personen zur Verfügung, die in einem Eingangstest ausgewählt werden und während ihrer Zeit als Proband mehrere Trainingsphasen durchlaufen. Für jede Messung stehen aus dieser Gruppe neun bis 14 Probanden zur Verfügung.

Die Gruppe arbeitet mit einer Referenz - dem Vergleichsmaßstab - (Kapitel 3.3.1 „Empfundene Intensität“) und bewertet die Geruchsstärke „empfundene Intensität Π “ mit der Einheit pi (perceived intensity).

Jeder Versuchstag beginnt mit einer Bewertungsreihe unterschiedlicher Acetonkonzentrationen. Die Probandengruppe erhält so Gelegenheit, sich an die Umgebungs- und Versuchsbedingungen des Versuchstages zu gewöhnen. Der Versuchsleiter stellt hierzu am Vergleichsmaßstab eine Acetonkonzentration ein, die innerhalb der verfügbaren Vergleichskonzentrationen zwischen ein bis 15 pi liegt.

Anschließend bewerten die Probanden die Bauprodukte hinsichtlich ihrer empfundenen Intensität. Um die Prüfung zu erleichtern und die Messergebnisse vergleichbar zu machen, beziehen sie sich dabei auf ihre Erfahrungen mit dem Vergleichsmaßstab. Jeder Proband trägt den von ihm ermittelten Wert in eine Datenerfassungssoftware ein (Abbildung 4-16). Dieser kann entgegen der Bewertungen der Akzeptanz und Hedonik auch über die 15 pi hinausgehen. Die Skala ist nicht begrenzt. Wird festgestellt, dass die Bewertungen der Produkte deutlich über 15 pi liegen, sollte eine höhere Vergleichskonzentration eingestellt werden.

Abbildung 4-16: Oberfläche der Datenerfassungssoftware für die Bewertung der empfundenen Intensität durch Probanden mit Vergleichsmaßstab

Die Probanden mit Vergleichsmaßstab werden zusätzlich nach der Hedonik (Kapitel 3.3.3 „Hedonik“) gefragt. Siehe dazu Abbildung 4-17.

Abbildung 4-17: Oberfläche der Datenerfassungssoftware für die Bewertung der Hedonik durch Probanden mit Vergleichsmaßstab

Die Bewertungen werden in einer Textdatei als Rohdaten abgelegt und anschließend automatisiert ausgewertet.

Auswertung:

Für jeden ermittelten Wert der empfundenen Intensität und Hedonik wird ein arithmetisches Mittel aus den Einzelbewertungen des Probandenkollektivs gebildet. Neben dem Mittelwert werden bei jedem Bauprodukt, die Standardabweichung, Median, 5 %-, 25 %-, 75 %-, und 95 %iger Quantil (Abbildung 4-18 zeigt beispielhaft die Auswertung des Belagsklebstoffes Nummer 3978), wie auch der 90 %ige Vertrauensbereich bestimmt. Die Breite der Bereiche zwischen den entsprechenden Quantilen stellt ein Maß für die Güte der Bewertung dar. Die Abbildung 4-19 zeigt

schematisch die Verteilung und die Quantile. So dargestellte Ergebnisse der sensorischen Auswertung zeigen auf einen Blick, ob die Bewertung „gut“ oder „schlecht“ und die Streuung symmetrisch oder asymmetrisch ist. Das graue Feld beinhaltet 50 % allen Bewertungen. Der 90 %ige Vertrauensbereich (Formel 4-3 zeigt die Berechnung der oberen und unteren Grenze) ist der Bereich um den ermittelten, geschätzten Mittelwert, in dem mit 90 %iger Sicherheit der tatsächliche Mittelwert einer Grundgesamtheit (von Probanden) liegen wird. Er stellt ein Maß für die Güte der Bewertung dar. Zur Berechnung des 90 %igen Konfidenzintervalls sind Stichprobenmittelwert (\bar{x}), geschätzte Populationsvarianz (siehe Formel 4-1), Standardfehler (siehe Formel 4-2) und die t-Werte für n-1 Freiheitsgrade ($t_{df, Konf}$) notwendig, welche aus Tabellen abgelesen werden können [33].

Formel 4-1: Berechnung der geschätzten Populationsvarianz

$$\hat{\delta} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Formel 4-2: Berechnung des Standardfehlers

$$SE = \hat{\delta}_{\bar{x}} = \frac{\hat{\delta}}{\sqrt{n}}$$

Formel 4-3: Berechnung der unteren und oberen Grenze des Konfidenzintervalls

$$\text{ObereGrenze} : \bar{x} - \hat{\delta}_{\bar{x}} \cdot t_{df, Konf}$$

$$\text{UntereGrenze} : \bar{x} + \hat{\delta}_{\bar{x}} \cdot t_{df, Konf}$$

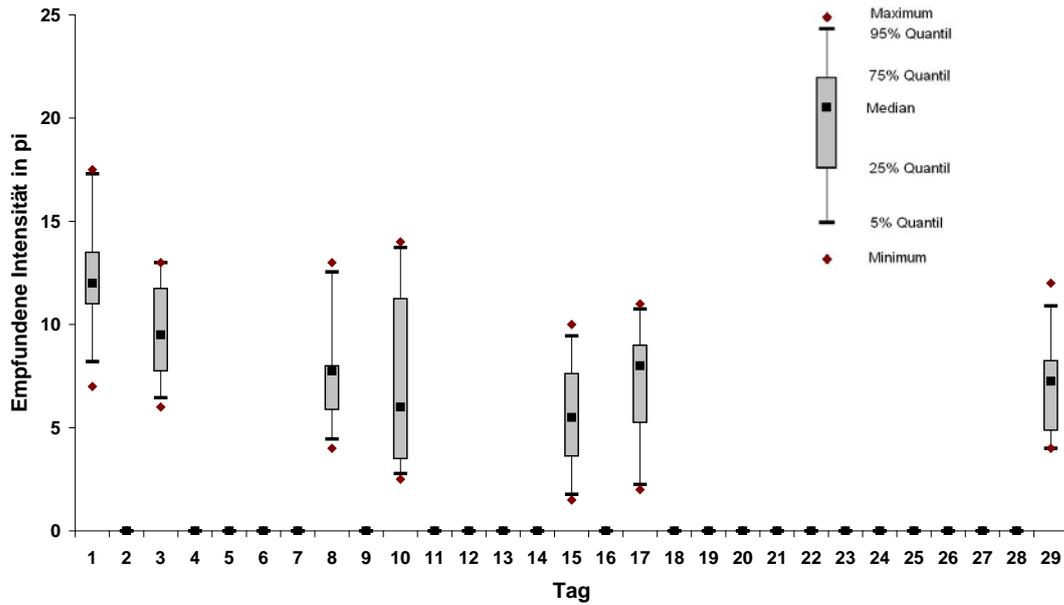


Abbildung 4-18: Auswertung des Bauproduktes 3978 (Belagsklebstoff)

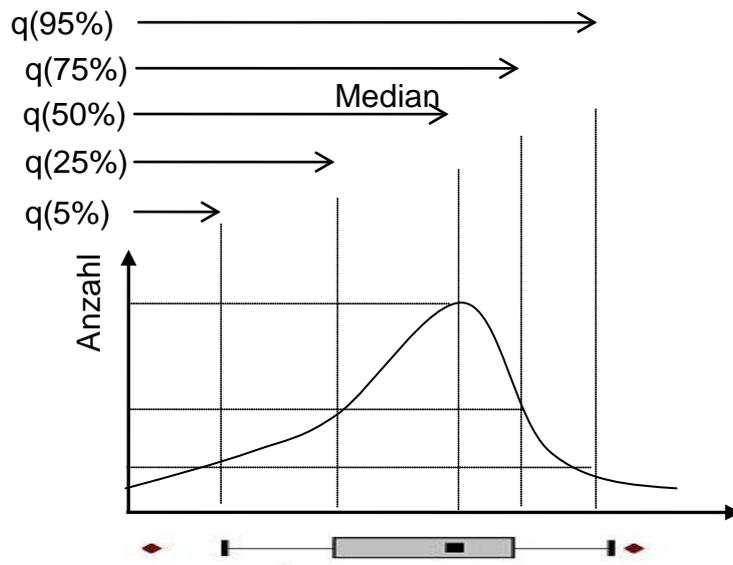


Abbildung 4-19: Verteilung der Quantile

4.6.2 PROBANDENGRUPPE OHNE VERGLEICHSMASSTAB

Als Probandengruppe ohne Vergleichsmaßstab steht dem HRI eine größere Personengruppe von ca. 50 Personen insgesamt zur Verfügung. An den jeweiligen Versuchstagen standen 17 bis 25 Personen für die Messung zur Verfügung.

Probanden ohne Vergleichsmaßstab bewerten die Akzeptanz, die Hedonik und die Zumutbarkeit der Probe. Die Zumutbarkeit, als Begriff, wird unter anderem in Richtlinien des Baurechtes verwendet, weshalb sie in diesem Forschungsvorhaben für die sensorische Bewertung herangezogen wird. Die Zumutbarkeit wurde bisher nicht als Bewertungsmethode für die sensorischen Untersuchungen verwendet. Bei der Frage der Zumutbarkeit müssen sich die Probanden lediglich entscheiden, ob sie die dargebotene Luft als tägliche Arbeitsumgebung als zumutbar empfinden oder nicht. Die Zumutbarkeit kann nicht mit der Akzeptanz gleichgesetzt werden, was sich in den Ergebnissen der Bewertung widerspiegelt.

Die Datenerfassung der Probanden ohne Vergleichsmaßstab läuft ebenfalls durch eine Erfassungssoftware. In Abbildung 4-20 ist die für die Probanden sichtbare Oberfläche dargestellt.

The screenshot shows a software interface for data collection, divided into four numbered sections:

- Section 1:** Gender selection (radio buttons for Männlich and Weiblich) and name input (Macedj, Name).
- Section 2:** Hedonic scale from "Äußerst unangenehm" to "Äußerst angenehm" with a "neutral" marker.
- Section 3:** Acceptability scale from "klar unakzeptabel" to "klar akzeptabel" with "gerade akzeptabel" and "gerade unakzeptabel" markers.
- Section 4:** A checkbox for "Ich halte die Luftqualität als tägliche Arbeitsumgebung für unzumutbar!" which is checked.

Abbildung 4-20: Oberfläche der Datenerfassungssoftware für die Probanden ohne Vergleichsmaßstab

Nach der Angabe ihres Namens und Geschlechts beantworteten die Probanden folgende Fragen:

Frage 2: Wie bewerten Sie den Geruchseindruck der Luftprobe?

Frage 3: Wie akzeptabel empfinden Sie die Luftprobe bei der Vorstellung, Sie sind dieser Luft für längere Zeit ausgesetzt?

Frage 4: Ich halte die Luftqualität als tägliche Arbeitsumgebung **für unzumutbar!**

Auswertung:

Eine Probandengruppe ohne Vergleichsmaßstab bewertet die Akzeptanz, die Hedonik und die Zumutbarkeit der Bauprodukte meistens am 2., 9., 16., und 30.Tag. Da auch dieses Probandenkollektiv nur an einem festen Termin, an einem Wochentag für die Bewertung der Bauprodukte am HRI anwesend ist, weichen die Bewertungstage von denen im AgBB-Schema angegebenen ab. Genauere Tagangaben sind im Anhang zu finden. Dieses Probandenkollektiv wird erst ab der neunten Probe (Bauprodukt Nummer 3974) herangezogen, weil im Antrag nur mit dem Probandenkollektiv mit dem Vergleichsmaßstab geplant wurde. Aus versuchstechnischen Gründen erschien das Heranziehen einer Probandengruppe ohne Vergleichsmaßstab für sinnvoll. Für die Akzeptanz und Hedonik werden das arithmetische Mittel, die Standardabweichung und der 90 %ige Konfidenzintervall (Vertrauensbereich) der Gruppe aus den Einzelbewertungen ermittelt. Aus dem Mittelwert der Akzeptanz wird der PD-Wert (siehe Formel 3-2 in Kapitel 3.3.2 „Akzeptanz“) in Prozent berechnet.

Die Zumutbarkeit eines Bauproduktes ergibt sich aus dem Quotienten der Anzahl der positiven Antworten (d. h. Luftprobe wird als zumutbar bewertet) zur Anzahl aller Antworten. Das Ergebnis wird in Prozent angegeben (Formel 4-4).

Formel 4-4: Berechnung der Zumutbarkeit

$$\text{Zumutbarkeit} = \frac{\text{Anzahl der positiven Antworten}}{\text{Anzahl aller Antworten}} \cdot 100 \%$$

4.7 ANALYTISCHE MESSUNGEN

4.7.1 ANALYTIK ZUR MESSUNG DER FLÜCHTIGEN ORGANISCHEN VERBINDUNGEN

Die VOC-Probenahme aus der Emissionsprüfkammerluft erfolgt nach DIN ISO 16000-6 [10]. Die Luftprobe wird auf ein mit TENAX® TA gefülltes Glasrohr gezogen (ähnlich Abbildung 4-21). Vor den Probenahmen werden die TENAX® Röhrchen mit 20 ng Cyclodekan in 1 µl Methanol als internem Standard beaufschlagt. Das Probenahmenvolumen liegt bei 0,2 l bis 5 l. Der Probenahmenvolumenstrom beträgt 100 ml min^{-1} und wird mit einer FLEC-Pumpe der Firma Chematec oder einem selbst konstruierten Pumpenwagen, der aus einer Membranpumpe mit hochwertigen Massendurchflussreglern hergestellt ist (siehe Abbildung 4-22), realisiert.

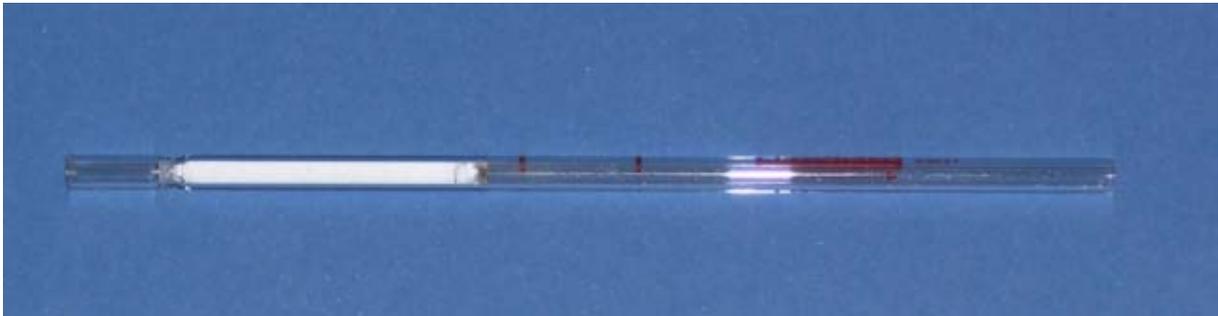


Abbildung 4-21: TENAX® Röhrchen für die Adsorption von VOC

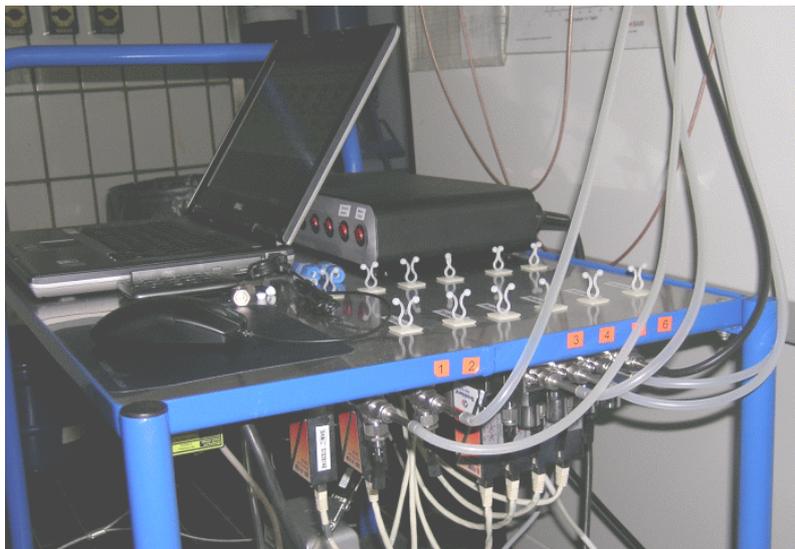


Abbildung 4-22: Pumpenstand für die Probenahme an den Emissionsprüfkammern

Chromatographiebedingungen:

Injektor (Thermodesorption (TDS)):

- TDS-System Gerstel TDS – 2, splitlos
- Starttemperatur 30 °C
- Temperaturprogramm 30 °C/min auf 260 °C für 5 min; mit 30 °C/min auf 300 °C für 10 min
- Kaltaufgabesystem Gerstel KAS – 4, elektronisch geregelt, splitlos 1 min
- Temperaturprogramm -120 °C mit 12 °C/s auf 300 °C isotherm für 3 min
- Liner desaktiviertes Glasrohr mit Glas- oder Quarzwollefüllung

Gaschromatograph:

- GC-System Agilent 6890
- Säulentyp RXI 5 (Dimethyl-Polysiloxan)
- Säulendimensionen 60 m, 0,25 mm, 0,25 µm
- Säulenfluss 1,4 ml/min (constant flow)
- Ofenprogramm 40 °C 8 min, 10 °C/min auf 150 für 1 min mit 8 °C/min auf 300 °C für 5 min

Detektor:

- MS-System Agilent MSD 5973
- Temperaturzonen Zone 1 (150 °C/Quadrupol), Zone 2 (230 °C/Quelle)
- MS-Bedingungen Solvent-Delay: 5 min; Massenbereich 25 – 550 u
- Substanzidentifizierung Massenspektrenbibliothek NIST-02

Mit der TENAX-Methode lassen sich die meisten VOC sammeln und mit dem oben beschriebenen Verfahren detektieren. Ausgehend von den kleinsten Kalibrierstandards werden die Bestimmungsgrenzen abgeschätzt. Für die meisten VOC kann eine Bestimmungsgrenze von 1-2 ng µl⁻¹ erreicht werden. Durch eine Erhöhung der Probenahmemenge bei Komponenten mit einer höheren Bestimmungsgrenze, lassen sich auch von diesen Komponenten niedrigere Konzentrationen um 1 µg m⁻³ erhalten. Einige wenige – meist polare – Verbindungen erreichen mit dem hier eingesetzten Verfahren höhere Bestimmungsgrenzen.

4.7.2 ANALYTIK MIT DNPH ZUR MESSUNG LEICHT FLÜCHTIGER ORGANISCHER VERBINDUNGEN

Aldehyde und Ketone, darunter Formaldehyd, lassen sich sehr empfindlich mit 2,4-Dinitrophenylhydrazin (DNPH) nachweisen (DIN ISO 16000-3 [11]). Die resul-

tierenden Reaktionsprodukte aus Aldehyden und Ketonen mit DNPH werden mit der Hochdruckflüssigkeitschromatographie (HPLC) quantifiziert. Sinnvollerweise werden zu diesem Zweck Festphasen-Sammler eingesetzt, die mit der Derivatisierungsreagenz beschichtet sind (DNPH auf Kieselgel). Für die Untersuchungen im Forschungsvorhaben werden kommerzielle Sammelkartuschen der Firma Supelco verwendet.

Nach der Probenahme mit einer FLEC-Pumpe oder dem Pumpenwagen von meistens 30 oder 60 Liter Luft mit einer Sammelrate von 500 ml/min, werden die beladenen Kartuschen im Kühlschrank bei ca. 6 – 8 °C gelagert und zur Aufarbeitung mit 1,5 ml Acetonitril extrahiert. Das resultierende Eluat wird direkt mit der HPLC vermessen, wobei die Analyse mit folgenden Geräten und Parametern erfolgt:

- HPLC:: HP1100 der Firma Agilent (ehem. Hewlett Packard) bestehend aus binärer Pumpe, Probengeber, Säulen, Thermostat, Vakuumentgaser und Dioden Array Detector (DAD)
- Säule: ULTRASEP ES ALD 125 x 2,5 mm, 3 µm + Vorsäule
- Säulentemperatur: 30 °C
- Pumpenprogramm:

	Solv. A	Solv. B	Flow	Zeit
			ml/min	min
Start:	25 %	75 %	0,6	15
	30 %	70 %	0,6	20
	57 %	43 %	0,3	26
	52,4 %	47,6 %	0,3	32
	80 %	20 %	0,6	42
	25 %	75 %	0,6	50
	25 %	75 %	0,6	55
- Lösemittel: Solv. A = Acetonitril
Solv. B = 0,9 L Wasser + 0,1 L Tetrahydrofuran
- Flow: 0,200 ml/min
- Injektionsvolumen: 5 µl
- Wellenlänge: 365 nm für die Quantifizierung
- Auswertung: HP Chem Station for LC Systems Rev.A.05.01



Abbildung 4-23: DNPH-Probenahme-Kartusche für Aldehyde und Ketone

Die mit dieser Methode kalibrierten Substanzen sind:

Formaldehyd, Acetaldehyd, Aceton, Propanal, Butanal, Benzaldehyd, Pentanal, Hexanal, Heptanal, Oktanal, Nonanal, Dekanal, Pentenal, Hexenal, Heptenal, Oktenal, Nonenal, Dekenal, Undecenal, Dodekenal, Cyclohexanon und Crotonaldehyd.

Mit der hier beschriebenen Vorgehensweise lassen sich Bestimmungsgrenzen von $0,2$ bis $1 \text{ ng } \mu\text{l}^{-1}$ realisieren, wobei die kleineren Bestimmungsgrenzen unter $1 \text{ ng } \mu\text{l}^{-1}$ sich auf die kurzkettigeren Aldehyde und Ketone, wie Formaldehyd, Acetaldehyd und Aceton, beziehen. Die Bestimmungsgrenzen sind für Standard-Lösungen angegeben; bei Realproben können diese auch etwas höher sein. Unter der Annahme einer Probenahmemenge von 60 Liter Luft entsprechen diese Bestimmungsgrenzen Konzentrationen von 1 bis $5 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$.

4.8 SENSORISCHE UND ANALYTISCHE UNTERSUCHUNG VON BAUPRODUKTEN

Im Folgenden werden die durchgeführten Untersuchungen gemäß Kapitel 2 „Aufgabenstellung“ beschrieben.

4.8.1 ÜBERPRÜFUNG DES PROBEBEHÄLTERS

Der Probebehälter aus Tedlar® wurde bereits im ersten Forschungsvorhaben eingesetzt. Nicht in allen Fällen konnte ein Eigengeruch des Behälters ausgeschlossen werden, da eine einheitliche Handhabung des Behältermaterials nicht gewährleistet werden konnte. Die Parameter für die Vorbereitung der Probebehälter sind in einem neuen Ausheizsystem festzulegen. Neue Folienmaterialien werden geprüft.

Zur Überprüfung der Probebehälter werden fünf neue in Tabelle 4-2 aufgelisteten Materialien auf ihre Permeationseigenschaften hin untersucht.

Tabelle 4-2: Untersuchte Folien

1	PE-Folie
2	Tedlar® TR 20 TG
3	Tedlar® TR 10 GB
4	Kapton® Polyimidfolie 250 FN
5	Polyethylenfolie mit Aluschicht

Der schematische Aufbau der Apparatur zur Bestimmung des Permeationsverhaltens von Polymerfolien unter Umgebungsbedingungen ist in Abbildung 4-24 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Apparatur durch die zu untersuchende Folie in zwei Bereiche geteilt wird. In Teil (1) des Versuchsaufbaus werden die Substanzen eingebracht. Er wird im Folgenden „vor der Folie“ (1) genannt. Der Teil des Aufbaus, in dem keine Substanzen eingebracht werden, wird „hinter der Folie“ (2) genannt. Beide Seiten des Versuchsaufbaus werden mit Reinstluft durchspült und durchmischt, um stationäre Verhältnisse einstellen zu können. Auf beiden Seiten des Aufbaus wird eine gleichmäßige Konzentrationsverteilung durch die eingebauten Propeller erzeugt. Die kontaminierte Luft wird aus beiden Kammerteilen abgeführt. Zur Probenahme der Luft ist jeweils eine Messstelle in den beiden Kammern vorgesehen. Konkret besteht der Aufbau aus je zwei gleichen Planflanschdeckeln (DN 150) mit den notwendigen Anschlüssen und einem länglichen Tubus dessen

beide Enden ebenfalls mit je einem Planflansch versehen sind. Die für diese Apparatur verwendeten Materialien sind Glas, Edelstahl oder Teflon®. Für die Zuleitung der Reinstluft werden gereinigte und entfettete Kupfer- und Edelstahlrohre verwendet.

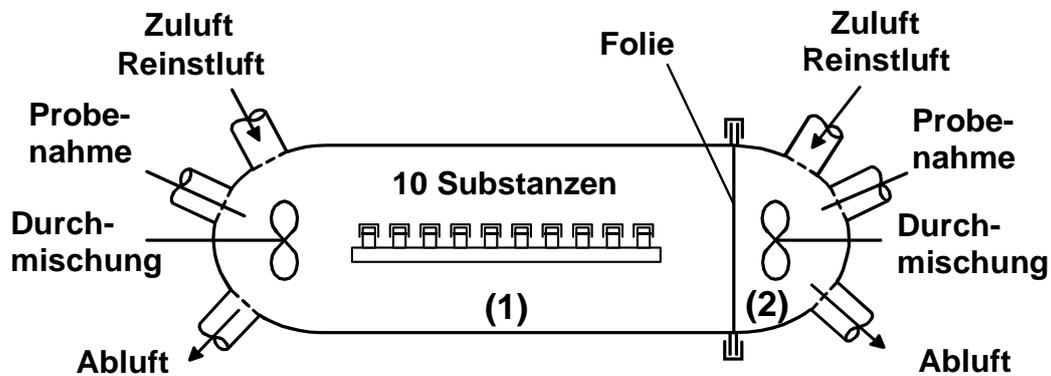


Abbildung 4-24: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus zur Ermittlung des Permeationsverhaltens der Polymerfolien

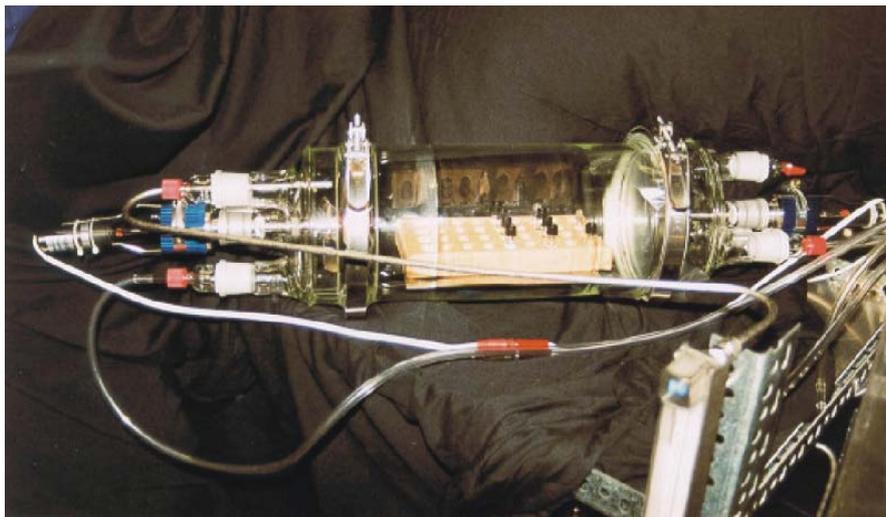


Abbildung 4-25: Foto des Versuchsaufbaus zur Ermittlung des Permeationskoeffizienten der Polymerfolien

Abbildung 4-25 zeigt ein Foto des Versuchsaufbaus. Der Aufbau besteht aus zwei Planflanschdeckeln, die auf einem 300 mm langen Glasrohr mit einem Durchmesser von 150 mm aufgesetzt sind. Die Planflanschdeckel werden auf beiden Seiten des Aufbaus durch Schnellspanverschlüsse mit dem Glasrohr luftdicht verbunden. Auf der rechten Seite der Abbildung 4-25 ist mit einem der Schnellspanverschlüsse die zu untersuchende Folie eingespannt. Die neun Substanzen (Tabelle 4-3) werden in kleinen Glasflaschen, sogenannten Vials, getrennt abgefüllt und auf einen Träger in den Bereich vor der Folie gestellt. Die Deckel der Vials sind mit Kapillaren unterschiedlichen Innendurchmessers und unterschiedlicher Länge versehen, um entsprechend der Dampfdrücke der

Komponenten eine möglichst gleich große Konzentration der einzelnen Substanzen im Kammerteil vor der Folie zu erreichen. Die neun Substanzen in Tabelle 4-3 werden ausgewählt, da sie eine gewisse Bandbreite an Flüchtigkeiten vorweisen und Substanzen sind, die häufiger in Baumaterialien gefunden werden und somit häufiger mit den Probebehältern transportiert werden müssen.

Tabelle 4-3: Für die Überprüfung der Folien verwendete Substanzen

unpolar	Xylol, α -Pinen, Dekan
polar	Methylbutanon, Pentanol, Hexanal, Butylacetat, Butoxyethanol, Benzylalkohol

Jeder Planflanschdeckel hat vier Öffnungen. In der Mitte der Planflanschdeckel (siehe Abbildung 4-26) sind auf beiden Seiten Propeller installiert, die über eine Magnetkupplung angetrieben werden und die Durchmischung in beiden Kammerteilen bewirken. Die Einstellung des Luftwechsels, und somit die Zuführung der Reinstluft in beide Kammern, erfolgt durch Nadelventile. Mit einem Durchflussmesser kann der Volumenstrom der Reinstluft kontrolliert werden.

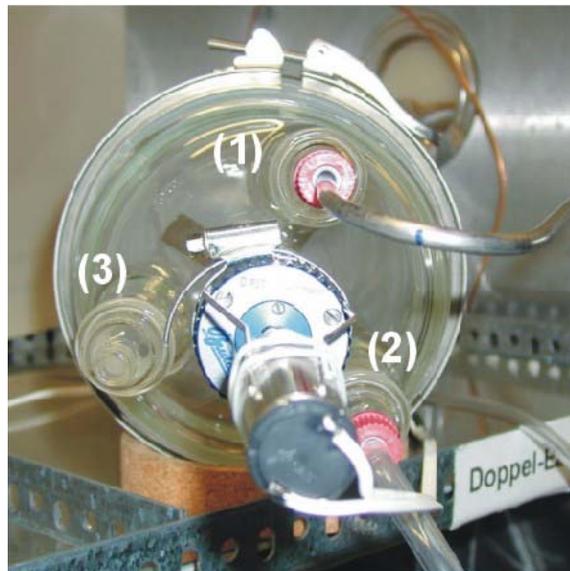


Abbildung 4-26: Planflanschdeckel mit seinen vier Öffnungen

In Abbildung 4-26 ist ein Planflanschdeckel abgebildet. Der Reinstluftanschluss ist oben rechts zu erkennen (1). Die Abluft wird über eine Öffnung am Planflanschdeckel, im Abbildung 4-26 unten rechts (2), abgeführt. Für die Luftprobenahme wird

eine Öffnung (3) am Deckel verwendet, welche zur Probennahme geöffnet wird und sonst dicht verschlossen ist. In Abbildung 4-26 ist sie geöffnet. Zur Probennahme wird ein TENAX[®] Röhrchen durch diese Öffnung in die Apparatur eingeschoben. Es wird ein definiertes Probenvolumen über das TENAX[®] Röhrchen abgesaugt. Der Probenvolumenstrom muss kleiner sein als der Reinstluftvolumenstrom in dem jeweiligen Kammerteil.

Die in der Apparatur eingestellten Versuchsbedingungen sind in Tabelle 4-4 zusammengestellt. Die Fläche der Folie beträgt 0,0177 m². Die Volumenströme vor und hinter der Folie werden auf ca. 20 l/h eingestellt, womit auf der Seite mit den Substanzen eine relativ hohe Konzentration in der Apparaturluft von ca. 1 mg/m³ der untersuchten Komponenten erreicht wurde. Die Luft auf der Seite hinter der Folie wurde über einen Zeitraum von ca. sieben Tagen regelmäßig durch Probenahme mit TENAX[®] Röhrchen und Analyse mit einem GC/MS-System kontrolliert.

Tabelle 4-4: Eingestellte Versuchsbedingungen in der Permeations-Apparatur

	Index	Kammer- volumen	Volumenstrom	Temperatur	rel. Feuchte
Zellenseite mit Substanzen	1	7,5 Liter	20 l/h	23°C	45-50 %
Zellenseite ohne Substanzen	2	1 Liter	20 l/h	23°C	45-50 %

Um den Eigengeruch der Probebehälter zu überprüfen, werden die gereinigten Behälter mit reiner Luft, z. B. der Anlagenluft (HRI) oder der Luft aus unbeladenen 24-L-Kammern (BAM) befüllt und, wie die anderen Proben, nach drei Stunden von den Probanden bewertet.

4.8.2 AUFBAU EINES EINFACHEN VERGLEICHSMASSTABES

Es wird an einer Konstruktionsplanung (Abbildung 4-27) eines vereinfachten Vergleichsmaßstabs gearbeitet. Da der Vergleichsmaßstab einfach in Inbetriebnahme und Handhabung sein soll, ist geplant, diesen ohne Dosierventile zu betreiben. Eine Düse (konstruktiv ähnlich einer Laval-Düse) sorgt für die Überschallgeschwindigkeit des Gases (synthetische Luft). Bei konstantem Vordruck wird somit ein konstanter Massenstrom unabhängig von dem Druckabfall nach der Düse bereitgestellt. Die Anreicherung des Gases mit der Referenzsubstanz (Aceton) erfolgt in einer Gaswaschflasche unter konstanter Temperatur, um immer ein gleiches Aceton-Luftgemisch zu generieren. Danach wird durch definierte Blenden der Massenstrom auf sechs linear abgestufte Aceton-Luft-Gemische verteilt. Vor dem

Einströmen in die Trichter werden alle sechs Aceton-Luft-Gemische noch einmal mit Luft auf die gewünschten Konzentrationen (π -Werte) verdünnt.

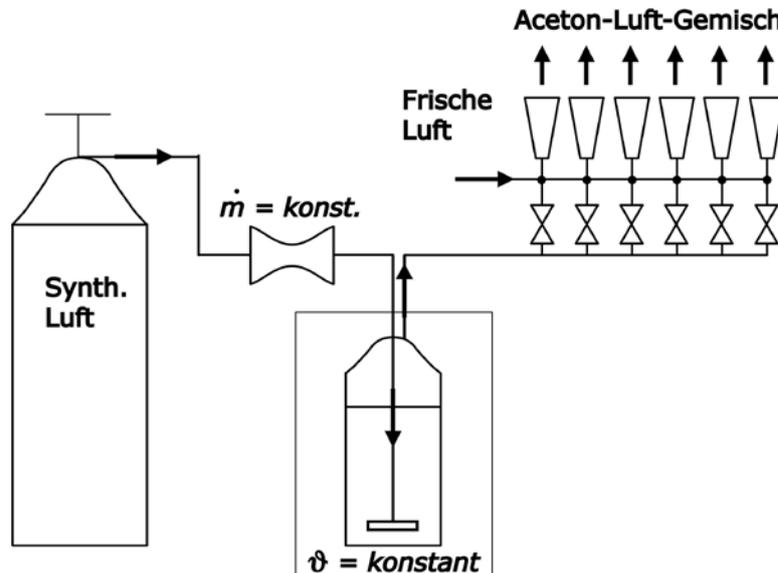


Abbildung 4-27: Schema eines vereinfachten Vergleichsmaßstabes

4.8.3 VERGLEICH DER PROBENDARBIETUNG MIT KAMMER UND PROBEBEHÄLTER ZUR DIREKTEN BEWERTUNG AN DER CLIMPAQ

Die Beladung der Bauprodukte erfolgt parallel in den Kammern am HRI und bei der BAM. Damit die Messergebnisse vergleichbar sind, wird die gleiche flächenspezifische Durchflussrate q eingestellt. Der Ablauf der Messungen ist in Kapitel 4.8 „Sensorische und analytische Untersuchung von Bauprodukten“ erläutert.

Es werden die Emissionskammern vom Typ CLIMPAQ und 24-L-Kammer in die Untersuchungen mit einbezogen. Hierzu werden das CLIMPAQ am HRI sowie das CLIMPAQ und der 24-L-Kammer bei der BAM mit dem gleichen Bauprodukt beladen. Dies wird für sechs Einzelbauprodukte wiederholt. Die Bauprodukte befinden sich 29 Tage in den Emissionskammern und werden nach dem AgBB-Schema analytisch untersucht.

Bei dieser Versuchsreihe wird die sensorische Bewertung im Luftqualitätslabor des HRI durchgeführt. Die Bewertung der Luftproben der CLIMPAQ und des 24-L-Kammer der BAM werden mit Hilfe von Probebehältern, wie im Kapitel 4.4

„Probennahme und Probendarbietung mit Tedlar[®] -Probebehälter“ beschrieben, realisiert.

Zusätzlich zu den Versuchen in den Kammern wird das Strömungsprofil der Kammern untersucht, da festgestellt wurde, dass Unterschiede bei manchen Bewertungen aufgetreten sind. Das Durchströmungsprofil in der CLIMPAQ und der 24-L-Kammer wird mit Hilfe eines Laser Doppler Anemometer (LDA) Messsystems untersucht. Danach wird die Strömung im CLIMPAQ, als möglicher Verursacher der Unterschiede in den Bewertung, durch die Veränderung der Laminarisatoren optimiert.

4.8.4 DIREKTE BEWERTUNG AN DER 5 M³-KAMMER

Für die ausreichende Darbietung von Probeluft ist ein Volumenstrom von 0,7 bis 0,9 l/s erforderlich. Die Möglichkeit einer direkten Bewertung des Abluftstroms an der 1 m³-Emissionskammer wurde im vorangegangenen Forschungsvorhaben nicht erprobt. Daher ist zu prüfen, ob ein erhöhter Luftwechsel in der Kammer mit einer erhöhten Beladung kompensiert werden kann oder auch kleinere Probeluftvolumenströme für eine geruchliche Bewertung ausreichen.

Im Rahmen des Projekts wird untersucht, ob eine direkte sensorische Bewertung an der 5 m³-Kammer mit einer Probandengruppe mit Vergleichsmaßstab bei der BAM möglich ist. Eine Bewertung an der 1 m³-Kammer ist nicht möglich, da es bei der vorhandenen Kammer technisch nicht realisierbar ist, bei Volumenströmen größer 0,5 l s⁻¹ die Luft hinsichtlich Feuchte und Temperatur zu konditionieren.

Diese Untersuchungen werden durchgeführt, um zu prüfen, welche der Kammern zur Untersuchung der Emissionen auch für eine Geruchsuntersuchung geeignet sind oder welche Änderungen an den Kammern durchgeführt werden müssten, um eine Bewertung durchführen zu können. Zusätzlich wird geprüft, inwieweit die Geruchsbewertungen im Luftqualitätslabor des HRI mit denen die direkt bei der BAM durchgeführt werden, vergleichbar sind. Damit lässt sich eine Aussage über den Einfluss der unterschiedlichen Umgebungen machen.

Da die BAM über keinen geruchsneutralen Aufenthaltsraum verfügt, was auch häufig in anderen Laboren der Fall ist, wird nach einer Alternative gesucht. Die Anforderung besteht darin, dass sich die Probanden in einem Raum mit niedrigen Eigenemissionen und hoher Zufuhr an frischer Außenluft aufhalten sollten. Daher wird der Flur gewählt. Vor dem Eintritt ins Labor mit der Emissionskammer hat jeder Proband noch einmal die Möglichkeit nach draußen an die frische Luft zu gehen. Da

der Aufenthaltsraum nicht direkt an das Labor angeschlossen ist, passieren die Probanden noch zwei weitere Räume.

An der 5 m³-Kammer (siehe Abbildung 4-8 im Kapitel 4.3 „Emissionsprüfkammern“), wird ein Edelstahlschlauch installiert, an dessen Ende ein Glastrichter angeschlossen ist, so dass eine direkte Bewertung der Probeluft an der 5 m³-Kammer durch die Probanden möglich ist. Der Volumenstrom von ca. 0,7 l s⁻¹ kann am Bewertungstrichter realisiert werden. Der Vergleichsmaßstab wird in unmittelbarer Nähe des Bewertungsortes in einem Tiefabzug aufgestellt (siehe Abbildung 4-28) welcher nur für die Probandenbewertung geöffnet wird. Der Raum besitzt eine Klimatisierung und somit eine erhöhte Luftwechselrate.

Mit dem Produkt PVC (Nr. 4170) werden die 5 m³-Kammer, die CLIMPAQ bei der BAM, die CLIMPAQ im HRI und die 13 m³-Kammer am HRI mit gleichem Beladungsfaktor beladen. Am vierten Tag nach der Beladung werden die Proben in den unterschiedlichen Kammern bewertet. Eine 29-Tage Messung findet nicht statt. Neben der sensorischen Bewertung des Bauproduktes durch Probanden mit Vergleichsmaßstab an der 5 m³-Kammer, findet auch die Bewertung des Bauproduktes in der CLIMPAQ bei der BAM statt.



Abbildung 4-28: Mobiler Vergleichsmaßstab und 5 m³-Kammer mit Bewertungstrichter

4.8.5 MINDESTANFORDERUNGEN AN DIE GRÖÖE DER PROBANDENGRUPPE

Auf der Basis einer statistischen Auswertung der Messwerte ist die Mindestanforderung an die Größe der Probandengruppe für eine vorgegebene Trennschärfe zwischen geruchsarmen und geruchsintensiven Bauprodukten zu ermitteln.

Bei diesen Untersuchungen werden die aus Kapitel 4.8 „Sensorische und analytische Untersuchung von Bauprodukten“ erzeugten Daten statistisch analysiert. Ein neuer Versuchsaufbau wird nicht benötigt.

4.9 SENSORISCHE UND ANALYTISCHE UNTERSUCHUNGEN VON BAUPRODUKTEN IN EINER 13 M³-KAMMER

4.9.1 UNTERSUCHUNG VON BAUPRODUKTEN IN DER 13 M³-KAMMER UND IM „REALEN“ RAUM

In den 13 m³-Kabinen werden zwei reale Kombinationen von Bauprodukten eingebracht. Der erste Aufbau besteht aus Fertigestrich, Belagsklebstoff und Teppichboden (siehe Abbildung 4-29). Beim zweiten Aufbau wird anstelle des Teppichbodens ein PVC-Bodenbelag als Bodenbelagskomponente eingebracht. In der 13 m³-Kabine ist aus technischen Gründen ein Luftwechsel kleiner als 3 h⁻¹ nicht möglich. Der Bodenaufbau hat somit in der 13 m³-Kabine ein q von 7,24 m³ m⁻² h⁻¹.



Abbildung 4-29: Untersuchung einer Kombination in 13-m³ Kammer

Mit der ersten Kombination Fertigestrich, Belagsklebstoff und Teppichboden wird auch die CLIMPAQ und die 24-L-Kammer bei der BAM mit dem gleichem q ($q=7,24 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) wie in der 13 m³-Kabine beladen. Weitere CLIMPAQs am HRI werden mit den Einzelbauprodukten (Fertigestrich, Teppichboden) und der

Kombination bei gleichem q beladen. Der Teppichboden wird zusätzlich noch im CLIMPAQ mit einem q von $1,7 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ untersucht. Der Belagsklebstoff (Nr. 3978) wird in diesem Projekt mit einem q von $2,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ bewertet. Während der Messung der ersten Kombination sind Möbel (ein Tisch, zwei Stühle, ein leeres Bücherregal) in der Kabine aufgebaut.

Die zweite Kombination und auch der PVC-Belag (Nr. 4101) wird zusätzlich in verschiedene Kammern eingebracht, und mit einem q von $1,56 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ untersucht. Während der Messung der zweiten Kombination sind keine Möbel in der Kammer.

Neben den Versuchen in der 13 m^3 -Kabine wird ein Versuch in einem realen Raum durchgeführt. In einem Büro am HRI wird auf einen bestehenden Bodenbelag (Teppich) ein PVC-Belag ohne dauerhafte Befestigung verlegt (siehe Abbildung 4-30). Dieses Büro wird durch eine zentrale raumluftechnische Anlage mit ca. 10 l s^{-1} Außenluft versorgt. So ergibt sich ein q von ca. $2,9 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Die Luftproben zur Bewertung der empfundenen Luftqualität werden mit Hilfe des AirProbes (siehe Abbildung 4-10 im Kapitel 4.4 „Probennahme und Probendarbietung mit Tedlar® - Probebehälter“) aus dem Raum entnommen und den Probanden im Labor am HRI dargeboten.



Abbildung 4-30: Links: realer Raum am HRI mit Teppichboden, rechts: mit PVC

4.9.2 UNTERSUCHUNG VON KOMBINATIONEN VON BAUPRODUKTEN

Dieser Versuch soll zeigen, wie bereits sensorisch bewertete einzelne Bauprodukte in Kombination sensorisch bewertet werden. Dazu werden Bauprodukte mit unterschiedlichen Intensitäten und hedonischen Noten herangezogen. Die Untersuchung findet in CLIMPAQs statt. Es werden Kombinationen zweier unangenehmer und eines unangenehmen mit einem angenehmen Bauprodukt über 29 Tage untersucht. Eine Kombination zweier

angenehmer Bauprodukte kann aufgrund des Mangels an Bauprodukten, die als angenehm empfunden werden, nicht untersucht werden.

Die Kombination wird mit dem gleichen q der Einzelbewertungen durchgeführt. Von beiden Bauprodukten wird jeweils die Hälfte der notwendigen Emissionsfläche, hier unangenehmer Teppich (Nr. 4200) mit angenehmen PVC (Nr. 4201), beladen. Die Bauprodukte werden für diesen Versuch neu gekauft, d. h. es waren nicht die gleichen Chargen der Bauprodukte die bereits einzeln untersucht worden waren.

Die Kombination aus zwei unangenehmen Bauprodukten findet ebenfalls bei dem q der Einzelbewertung von $1,56 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ statt. Es werden die unangenehmen Bauprodukte Teppich (Nr. 4200; wie aus der vorherigen Kombination) und der PVC-Belag (Nr. 4199) verwendet.

4.10 ABLEITUNG EINES BEWERTUNGSMABSTABES

Um gemäß der in Kapitel 2 beschriebenen Aufgabenstellung Anforderungen an den Bewertungsmaßstab bezüglich der empfundenen Intensität, einen Vorschlag zur Definition der Zumutbarkeitsschwelle für die Zulassung der Bauprodukte und eine Bewertungsmethode für den Blauen Engel abzuleiten, werden die in Kapitel 3.7 (Analytische Messungen) erzeugten Daten ausgewertet. Ein neuer Versuchsaufbau wird nicht benötigt.

5 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

5.1 SENSORISCHE UND ANALYTISCHE UNTERSUCHUNG VON BAUPRODUKTEN

Alle in diesem Projekt untersuchten Bauprodukte werden sensorisch und die meisten Bauprodukte auch analytisch untersucht. Eine Übersicht zu den Untersuchungen findet sich in Tabelle 4-1 (Übersicht zu den untersuchten Bauprodukten). Bei der sensorischen Bewertung werden sensorische Größen wie im Kapitel 3.3 „Bewertungsmethoden zur Bestimmung der empfundenen Luftqualität“ beschrieben, abgefragt. Sie werden nach den Methoden wie im Teil Auswertung - Kapitel 4.6.1 „Probandengruppe mit Vergleichsmaßstab“ und 4.6.2 „Probandengruppe ohne Vergleichsmaßstab“ – ausgewertet. Die Einzelmessergebnisse zu jedem sensorisch untersuchten Bauprodukt finden sich im Anhang des Berichtes. Exemplarisch werden an dieser Stelle in den Abbildungen 5-1 bis 5-4 Einzelbewertungen dargestellt.

Für jedes in diesem Projekt untersuchte Bauprodukt wird die empfundene Intensität und Hedonik durch eine Probandengruppe mit Vergleichsmaßstab ermittelt. Die Akzeptanz und die Zumutbarkeit jedoch nicht, da die dazu benötigte größere Probandengruppe ohne Vergleichsmaßstab nicht jedes Mal zu den Versuchen herangezogen werden konnte und die Entscheidung des Einsatzes einer solchen Gruppe im laufenden Projekt gefällt wurde. Eine Übersicht der Bauprodukte, die zusätzlich durch die Probandengruppe ohne Vergleichsmaßstab bewertet wurden, ist im Anhang 3 zum Bericht angehängt.

Einzelbewertung am Beispiel zweier Teppichböden:

Die empfundene Intensität jedes Baustoffproduktes ist über 29 Tage grundsätzlich unterschiedlich. Diese Tatsache schließt nicht aus, dass sich einzelne Produkte ähnlich verhalten können. Beispielhaft wird hier das unterschiedliche Abklingverhalten zweier Teppichböden erläutert. In der Abbildung 5-1 ist der zeitliche Verlauf der empfundenen Intensität zweier Teppichböden 4141 und 4074 über alle Messtage dargestellt. Für beide Teppichböden werden lineare Trends gebildet, um den Verlauf deutlicher zu erkennen zu können. Mit dem Teppichboden 4141 wird ein Beispiel gezeigt, welches eher eine konstante empfundene Intensitätsbewertung über die Zeit aufweist. Dagegen ist beim Teppichboden 4074 ein Abklingen der empfundenen Intensität zu beobachten.

Für beide Teppichböden (4141 und 4074) werden zusätzlich in den Abbildung 5-2 bis Abbildung 5-4 die zeitlichen Verläufe der Hedonik, Akzeptanz und Zumutbarkeit im Vergleich dargestellt.

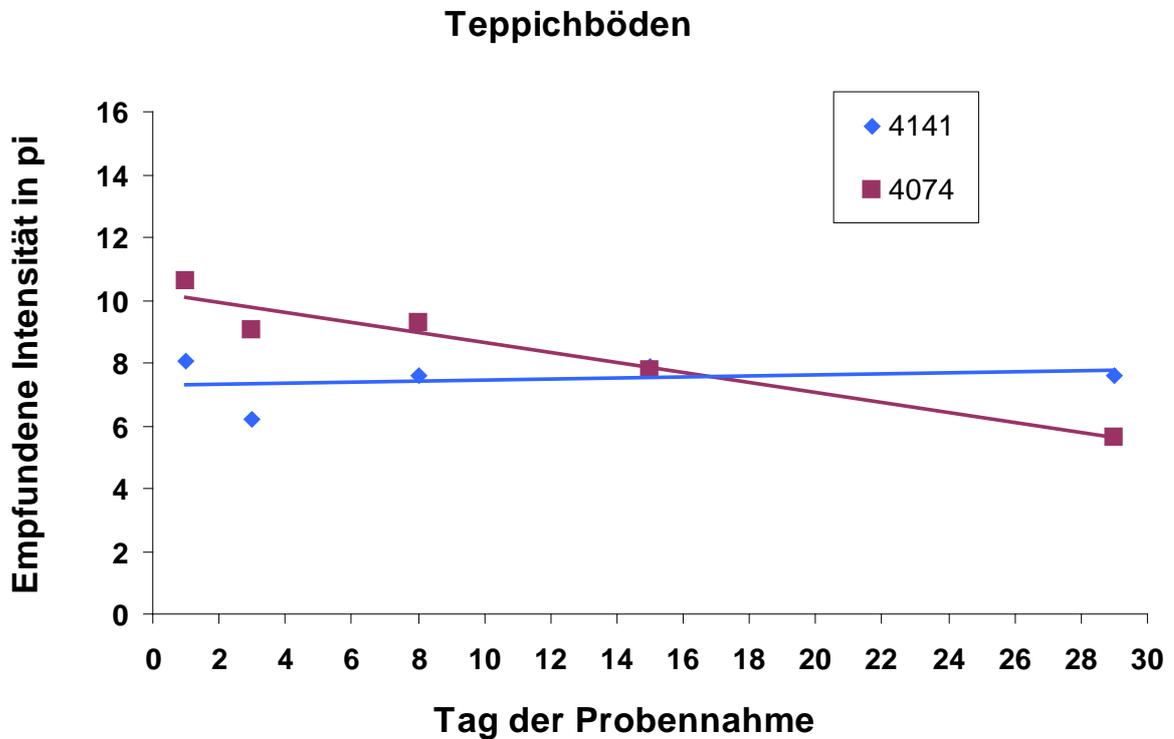


Abbildung 5-1: Zeitlicher Verlauf der empfundenen Intensität der Teppichböden 4141 und 4074

In der Abbildung 5-2 ist der zeitliche Verlauf der Hedonik der Teppichböden 4141 und 4074 dargestellt. Wie für Bauprodukte typisch (siehe auch Abbildung 5-7), ist die Hedonik über den gesamten Versuchszeitraum negativ und in Falle des Teppichbodens 4141 über die Zeit relativ konstant. Der Teppichboden 4074 zeigt eine leichte Steigung des Verlaufs was bedeutet, dass die Probanden den Teppichboden 4074 über die Versuchszeit von 29 Tage immer etwas angenehmer bewertet haben. Es gibt nur wenige Bauprodukte, die auch positive Hedonikbewertungen erreichen (siehe Anhang oder Zusammenfassung aller Bauprodukte Abbildung 5-5).

Teppichböden

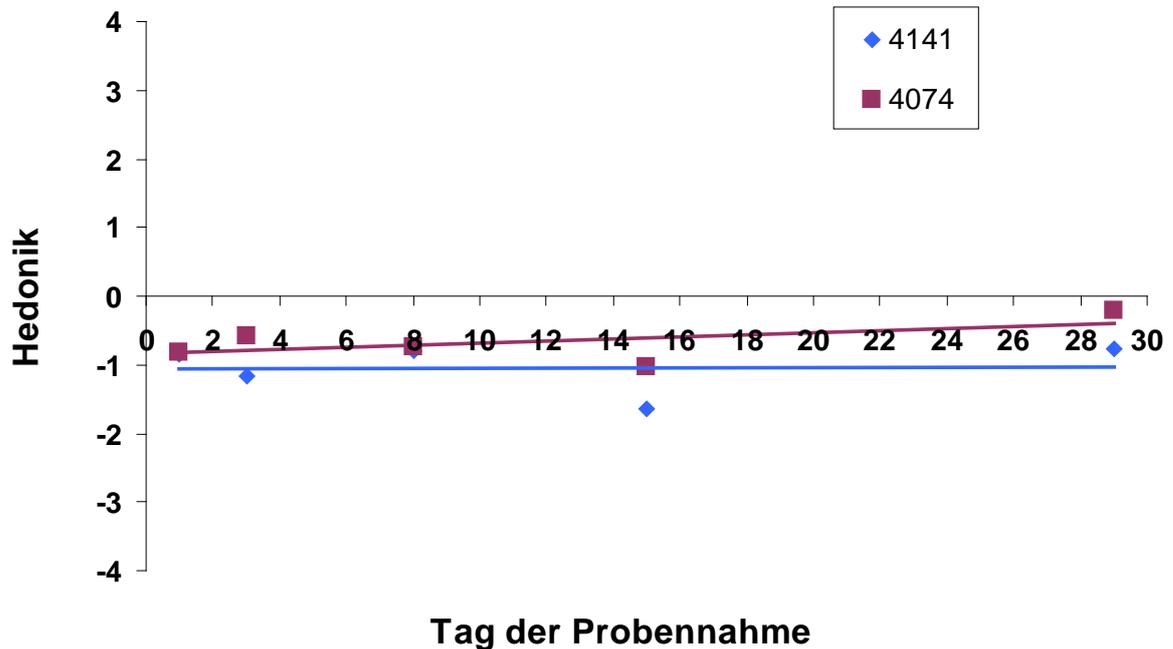


Abbildung 5-2: Zeitlicher Verlauf der Hedonik der Teppichböden 4141 und 4074

Die Bewertungen der Akzeptanz und Zumutbarkeit erfolgen von einer Personengruppe ohne Vergleichsmaßstab. Diese Bewertungen finden nicht an den gleichen Versuchstagen wie die Bewertung mit Vergleichsmaßstab statt, werden aber zeitnah zu den geplanten Versuchstagen dritten (zweiten), achten (siebten), fünfzehnten (vierzehnten) und neunundzwanzigsten (achtundzwanzigsten) und optional am ersten Tag durchgeführt (weitere Ausführungen siehe Kapitel 4.1 „Ablauf der Untersuchungen“).

Abbildung 5-3 zeigt den zeitlichen Verlauf der Akzeptanz und Abbildung 5-4 den zeitlichen Verlauf der Zumutbarkeit der Teppichböden 4141 und 4074. Die Akzeptanz wird wie die Hedonik negativ bewertet und zum Versuchende hin etwas akzeptabler als zu Beginn. Beim Teppichboden 4074 wird zum Versuchende eine positive Akzeptanz erreicht. Die Zumutbarkeit des Geruches aus dem Teppichboden 4074 steigt. Bewerten ca. 40 % der Befragten die Probe am zweiten Tag als zumutbar, so sind es ab dem 30. Tag um die 70 %. Beim Teppichboden 4141 bleibt die Zumutbarkeit über alle Versuchstage um die 45 % relativ konstant.

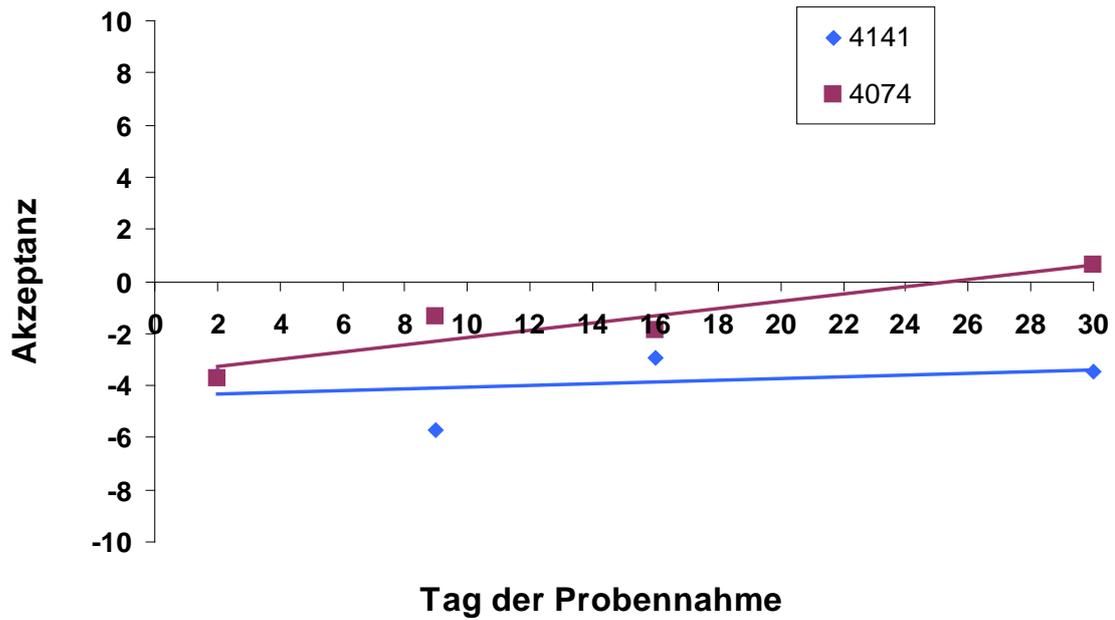


Abbildung 5-3: Zeitlicher Verlauf der Akzeptanz der Teppichböden 4141 und 4074

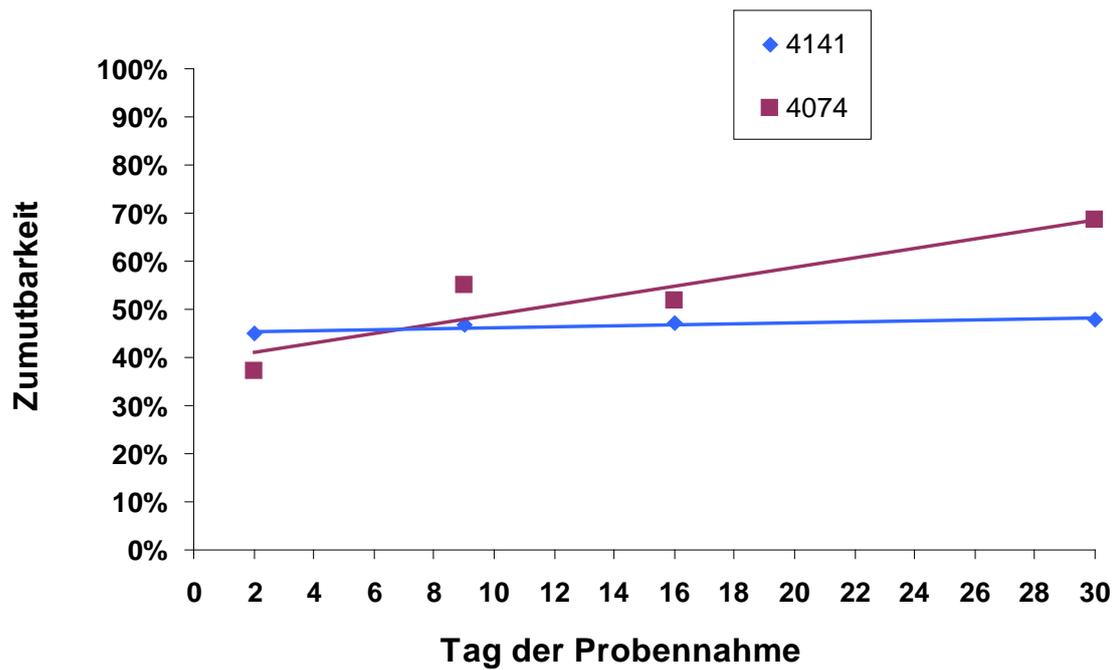


Abbildung 5-4: Zeitlicher Verlauf der Zumutbarkeit der Teppichböden 4141 und 4074

Auswertung aller Messungen:

Für die Erstellung der im Folgenden dargestellten Diagramme mit Messwerten der sensorischen Bewertung der Einzelbauprodukte werden die Mittelwerte der Gruppenbewertung verwendet. In der Abbildung 5-5 sind die Ergebnisse der Akzeptanz und der empfundenen Intensität (aus den Mittelwerten beider Probandengruppen) aller sensorisch untersuchten Bauprodukte an allen Messtagen in der CLIMPAQ des HRI dargestellt.

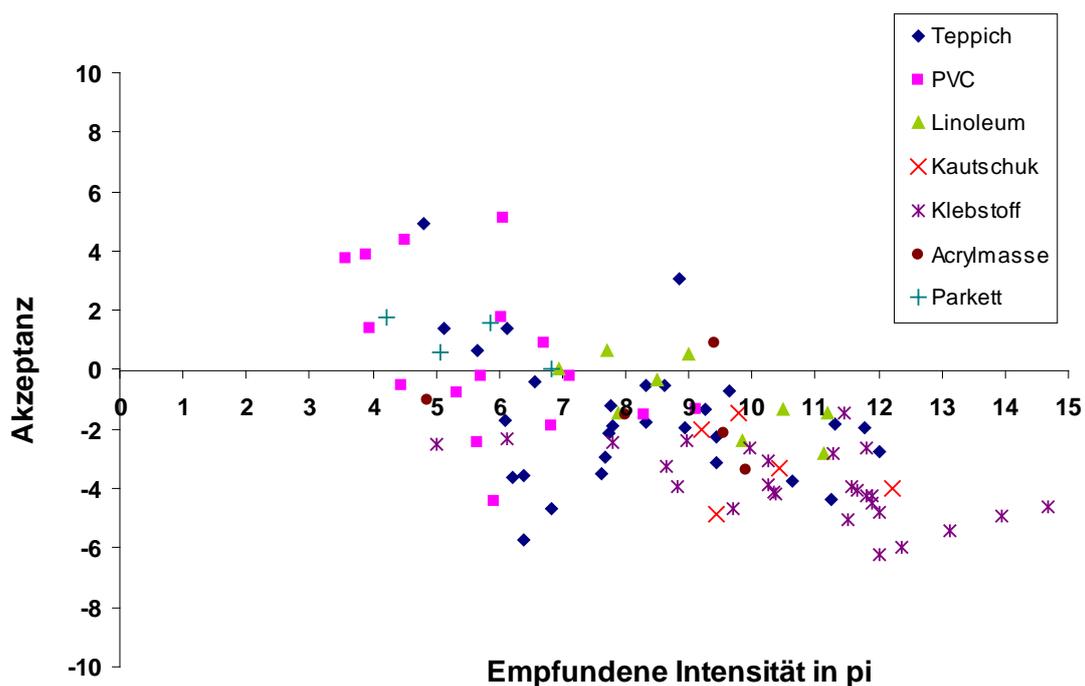


Abbildung 5-5: Zusammenhang zwischen empfundener Intensität und Akzeptanz für Bauprodukte (in der CLIMPAQ) an allen Messtagen bis zum 29 Tag

In dieser Abbildung ist zu erkennen, dass die Probanden nur wenige Bauprodukte als geruchlich akzeptabel einstufen. Die getesteten Belagsklebstoffe werden alle auch nach 29 Tagen (siehe Abbildung 5-6) als unakzeptabel bewertet, wobei auch in dieser Gruppe deutliche Unterschiede existieren. Da die Bodenbelagsklebstoffe – wie alle anderen Proben auch – einzeln und nicht in Verbindung mit einem Aufbau (z. B. Bodenbelag) untersucht werden, kann daraus keine grundsätzlich negative Aussage über die Akzeptanz der Produktgruppe und ihrem tatsächlichen Verhalten im „realen“ Raum abgeleitet werden.

Einige Messungen von Kombinationen von Bauprodukten sind in Kapitel 5.1.7 „Untersuchung von Bauprodukten in der 13 m³-Kammer und im „realen“ Raum beschrieben.

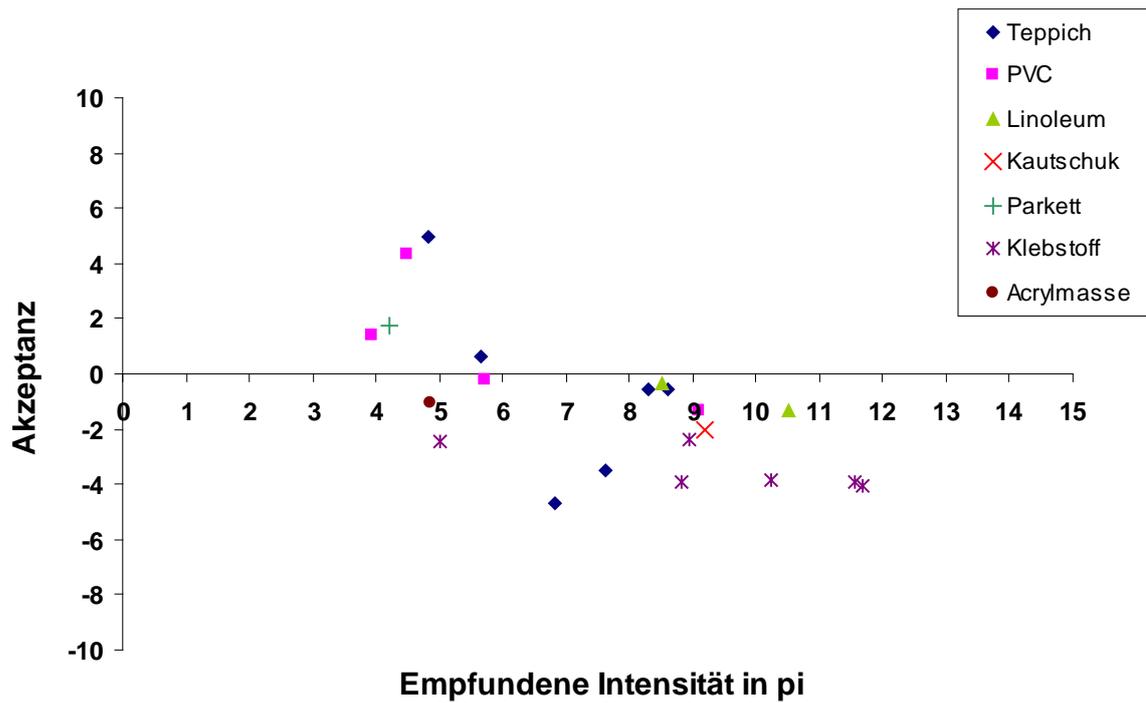


Abbildung 5-6: Zusammenhang zwischen empfundener Intensität und Akzeptanz für Bauprodukte (in der CLIMPAQ) am 29. Tag

In Abbildung 5-7 ist der Zusammenhang der empfundenen Intensität und Hedonik der Probandengruppe mit Vergleichsmaßstab für die untersuchten Bauprodukte an allen Messtagen dargestellt.

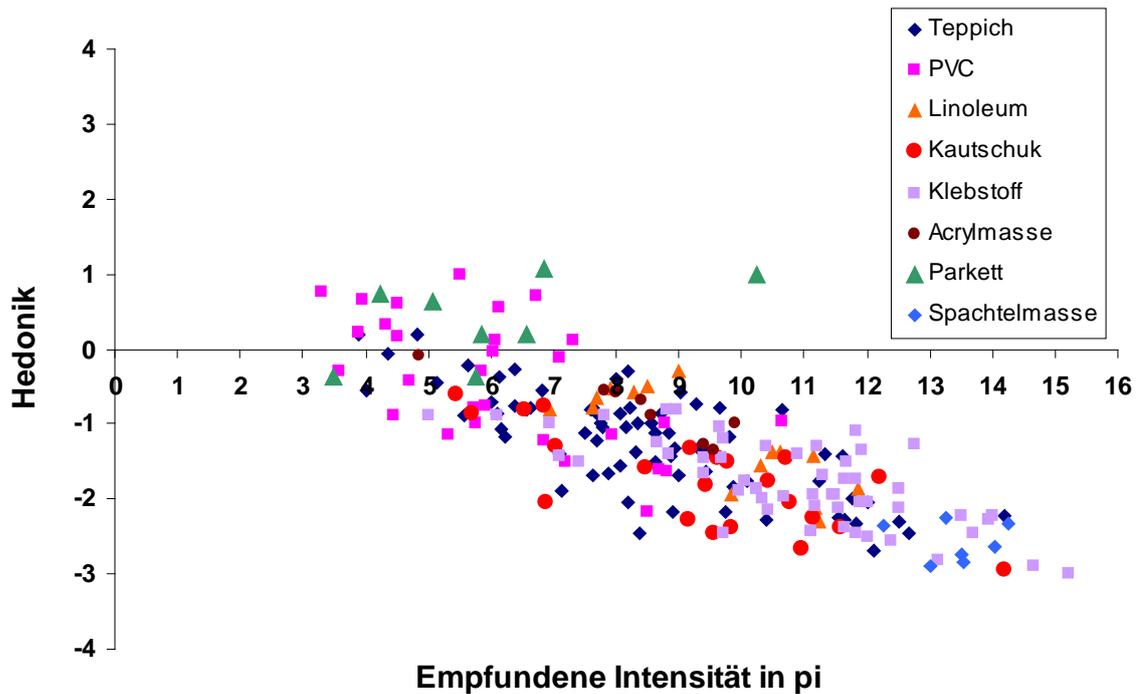


Abbildung 5-7: Zusammenhang der empfundenen Intensität und der Hedonik für Bauprodukte an allen Messtagen bis zum 29 Tag

Bei der Betrachtung der Bewertungen der empfundenen Intensität und der Hedonik wird deutlich, dass es offenbar ein für Bauprodukte charakteristischer Bereich gibt, der im Intensitätsintervall von ca. 3 pi bis 16 pi und im Hedonikintervall von ca. -3 bis 1 liegt. Auch bei der Betrachtung der Bewertung am 28. Tag ist dieser charakteristische Bereich zu erkennen (siehe Abbildung 5-8). Dass es sich um einen charakteristischen Bereich handelt, erkennt man bei dem Vergleich der Abbildung 5-7 und Abbildung 5-9. In Abbildung 5-9 sind die Ergebnisse der sensorischen Bewertungen für die Untersuchung von Basisgerüchen* [34] dargestellt. Dabei werden sieben Basisgerüche in Anlehnung an den Vorschlag von Amoore 1964 [35] (siehe Tabelle 5-1) verwendet. Anhand der Untersuchungen mit Basisgerüchen werden erste Erkenntnisse über die Zusammenhänge der sensorischen Größen empfundene Intensität, Akzeptanz und Hedonik gewonnen.

* Es gibt zahlreiche Klassifizierungssysteme für Gerüche, mit denen versucht wird, die Vielzahl der Gerüche in eine überschaubare Anzahl an Klassen einzuteilen. Seit Jahrzehnten versuchen Wissenschaftler, die Geruchssysteme eindeutig zu definieren. Sie verfolgten dabei unterschiedliche Ansätze, so dass sowohl die Anzahl der Geruchsklassen als auch die Art der Klassen und Anwendungsbereiche sehr stark variieren. Bis heute konnte kein allgemein anerkanntes Klassifizierungssystem entwickelt werden. Eine der verwendeten Geruchsklassifizierungen/Basisgerüche stammt von Amoore 1964. Dieses System basiert auf sieben Grundgerüchen, welche mit kleinen Änderungen auch in den Untersuchungen zu den Basisgerüchen am HRI verwendet wurden.

Die ätherischen Gerüche, deren Verdünnungen und die Mischungen aus diesen zeigen eine deutlich größere Streuung im Hedonikbereich über den gleichen Intensitätsbereich wie bei der Bewertung der untersuchten Bauprodukte, die vor allem im negativen Hedonikbereich liegen. Bei dem Versuch einen Geruch zu finden, der von den Probanden gleichzeitig als intensiv und positiv bewertet wird, musste zu einem Schokoladenkeks gegriffen werden (siehe Abbildung 5-9).

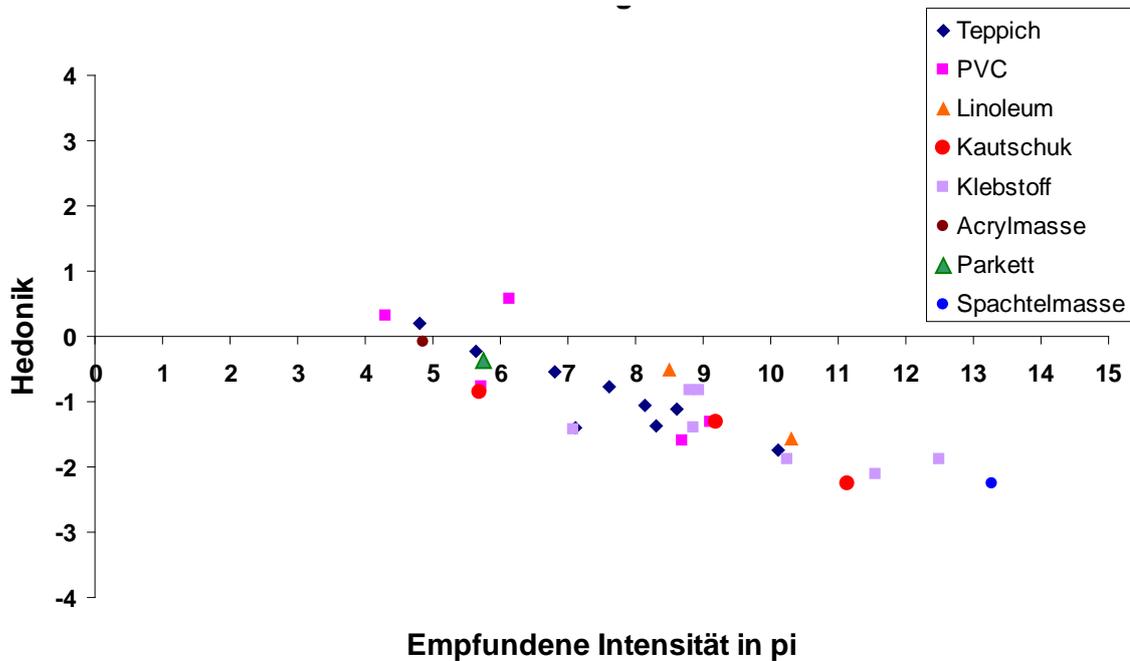


Abbildung 5-8: Zusammenhang der empfundenen Intensität und der Hedonik für Bauprodukte in der CLIMPAQ am 29. Tag

Tabelle 5-1: Kennzeichnung von Duftklassen nach Amoore et al. aus Schmidt [6]

Duftklasse	Chemische Substanz
blumig	Phenylethyl-methyl-ethyl-carbinol
ätherisch	Ethylen-dichlorid
moschusartig	ω -Hydroxypentadecansäurelacton
kampferartig	Kampfer
schweißig	Buttersäure
faulig	Butylmercaptan
minzig	Menthon

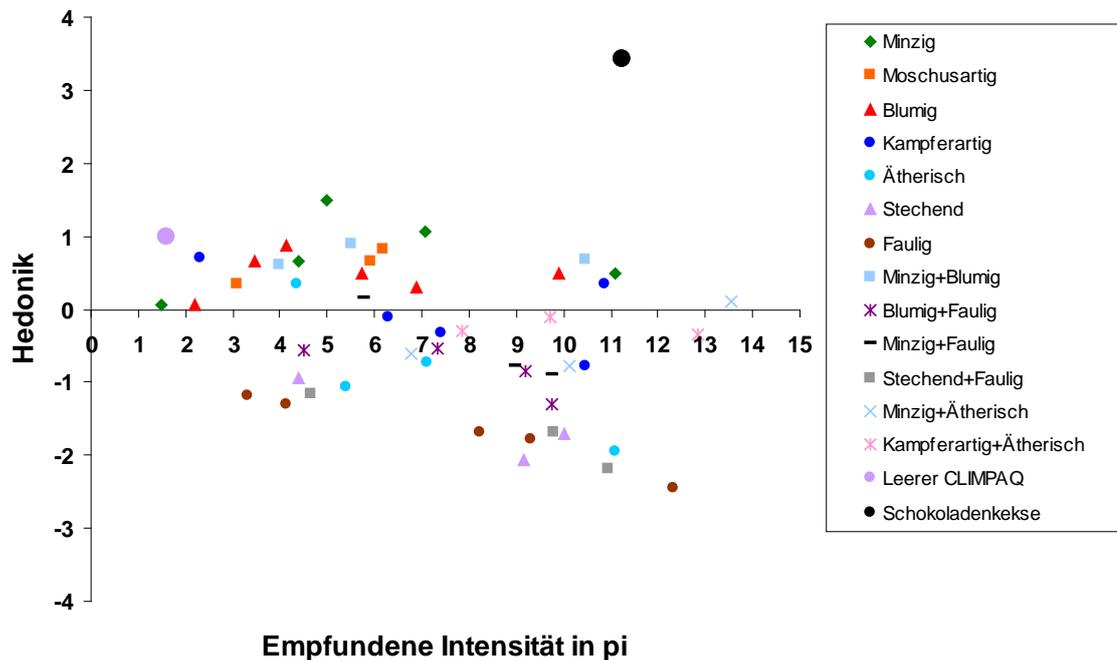


Abbildung 5-9: Empfundene Intensität und Hedonik für Basisgerüche und zwei weitere Beispiele

Zusätzlich zu den Basisgerüchen ist in dieser Abbildung 5-9 die Bewertung einer leeren CLIMPAQ (ca. 1,5 pi und Hedonik ca. 1) und eines Nahrungsmittels, hier Schokoladenkekse (Intensität von ca. 11,1 pi und Hedonik von ca. 3,2), eingefügt. Bauprodukte konnten die positiven Bewertungen für Lebensmittel, leerer Kammer, und auch für angenehme Basisgerüche nicht erreichen.

Abbildung 5-10 zeigt, die sensorischen Ergebnisse von Holz und Holzwerkstoffen (siehe Forschungsprojekt des Umweltbundesamtes [36]). Auch hier liegen die Hedonik Bewertungen meist im negativen Bereich, der charakteristische Verlauf von Bauprodukten ist erkennbar. Die Steigung des charakteristischen Verlaufs ist für Holzprodukte geringer, was heißt, bei gleichem Intensitätsbereich werden Holz und Holzwerkstoffe in Summe über alle Messtage etwas positiver in der Hedonik bewertet.

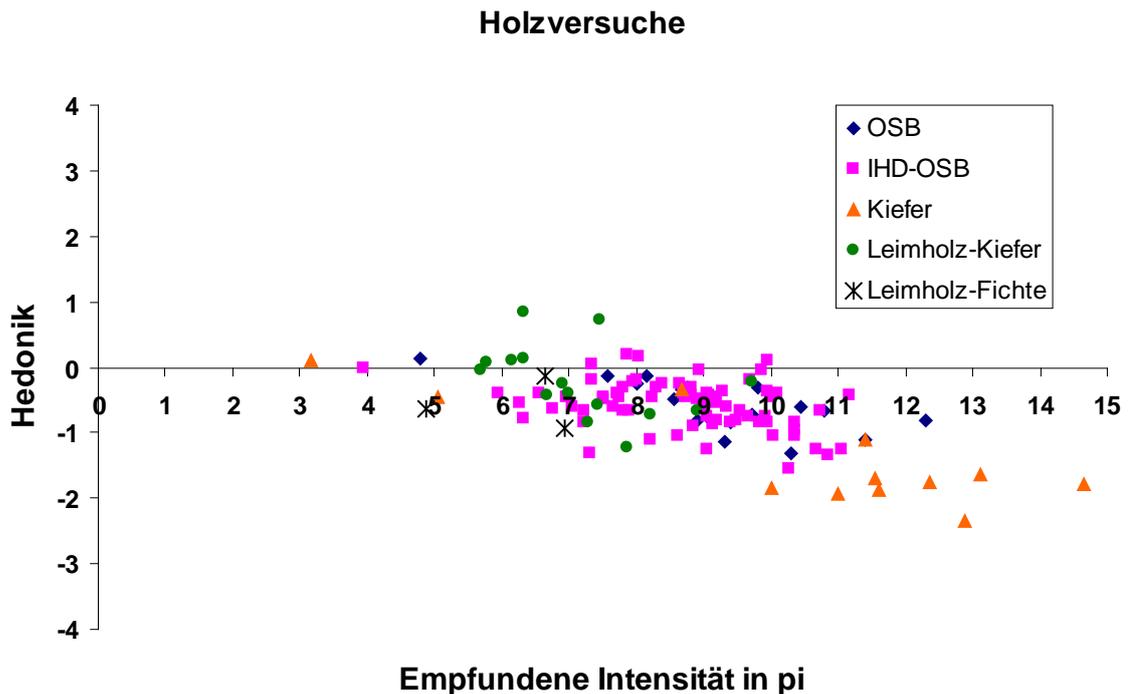


Abbildung 5-10: Zusammenhang der empfundenen Intensität und der Hedonik für Holzprodukte [36] (im EXSI) an allen Messtagen bis zum 29 Tag

Im Folgenden werden die Ergebnisse bezogen auf die einzelnen Produktgruppen diskutiert. Die meisten der in der Tabelle 4-1 „Übersicht zu den untersuchten Bauprodukten“ aufgeführten Produkte werden entsprechend der Vorgaben für die Emissionsmessungen zur Bewertung nach dem AgBB-Schema und nach den entsprechenden Normen [4, 10, 11, 12] gemessen und bewertet. Alle Ergebnisse dieser Untersuchungen sind im Anhang 3 detailliert aufgelistet. Für die meisten untersuchten Produkte ist dort auch eine AgBB-Bewertung vorgenommen worden, deren Ergebnisdesign der ADAM-Auswertemaske des DIBt entspricht (ADAM: AgBB/DIBt-Auswertemaske) [37]. Nicht analytisch untersucht werden die Teppichböden Nr. 3974 und 4041, das Linoleum Nr. 4039 und der Bodenbelagsklebstoff Nr. 4040.

Im Folgenden werden einige typische Emissionen der untersuchten Produkte bzw. Produktgruppen dargestellt. Der Schwerpunkt der Produktauswahl umfasst Bodenbeläge in Form von textilen (Teppichboden) und flexiblen Bodenbelägen (Kautschuk, PVC, Linoleum) sowie Belagsklebstoffe. Eine Produktgruppe, bei der in den meisten Fällen nur sehr geringe Emissionen im Bereich von wenigen $\mu\text{g m}^{-3}$ nachweisbar waren, sind die Teppichböden (s. Tabelle A-2 im Anhang). Untersucht

werden insgesamt neun Teppichböden, davon werden sieben (außer 3974 und 4041) einer analytischen Prüfung unterzogen, und alle neun werden sensorisch getestet.

Bei fünf von sieben analytisch untersuchten Teppichböden konnte 4-Phenylcyclohexen (4-PCH) nachgewiesen werden. Abbildung 5-11 zeigt, dass die maximal nachweisbare Konzentration dieser Substanz nach 29 Tagen $300 \mu\text{g m}^{-3}$ beträgt und die minimal nachweisbare Konzentration $1 \mu\text{g m}^{-3}$. Für die Vergabe des Umweltzeichens Blauer Engel müssen die Teppichböden nach 28 Tagen 4-PCH-Konzentrationen von weniger als $5 \mu\text{g m}^{-3}$ aufweisen. Bei zwei Teppichböden ist kein 4-PCH nachweisbar. Einer enthält nach 28 Tagen deutlich weniger und ein Teppichboden überschreitet mit $6 \mu\text{g m}^{-3}$ knapp den Grenzwert. Die anderen drei Teppichböden überschritten den Grenzwert für das Umweltzeichen deutlich.

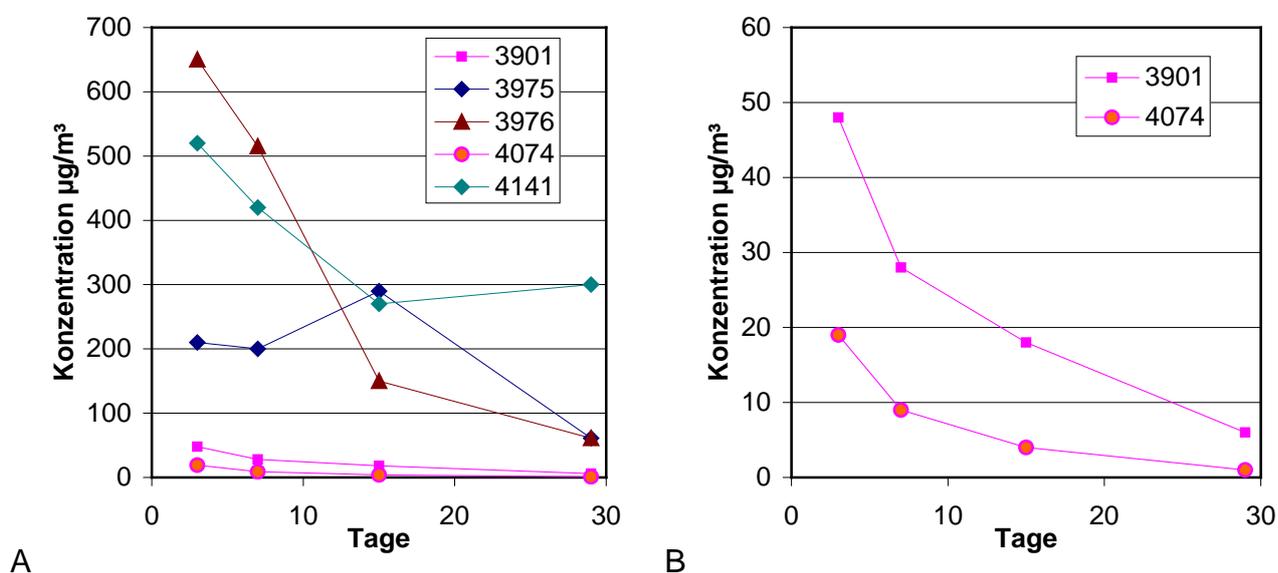


Abbildung 5-11: A: Konzentrationsverläufe von 4-PCH aus 5 verschiedenen textilen Bodenbelägen, B: Detaildarstellung für 2 wenig emittierende textile Bodenbeläge

Im Abbildung 5-12 ist eine Zusammenfassung der sensorischen Untersuchung für Teppichböden dargestellt. Von allen untersuchten Teppichböden erreichten Teppichboden 3974 (4,8 pi) und 4074 (5,6 pi) nach dem 28. Tag die niedrigste empfundene Intensität. Die höchsten empfundenen Intensitäten weisen die Teppichböden 3916 (10,1 pi), 3975 (8,6 pi), 3976 (8,3 pi) und 3951 (8,2 pi) auf. Vergleicht man die analytischen und sensorischen Ergebnisse, stellt man fest, dass der Teppichboden 4074 nach dem 28. Tag sowohl eine niedrige 4-PCH-Konzentration als auch eine geringe empfundene Intensität aufweist. Teppichboden 3901 mit $6 \mu\text{g m}^{-3}$ 4-PCH-Konzentration hat eine Intensität von 7,1 pi. Die Teppichböden, die nach 28 Tagen sehr hohe 4-PCH-Konzentrationen aufweisen,

haben auch höhere empfundene Intensitäten: 4141 (7,6 pi), 3975 (8,6 pi), 3976 (8,3 pi). Teppichböden, bei denen keine 4-PCH-Konzentration nachweisbar waren (3951 und 3916), haben nach 28 Tagen ebenfalls hohe Intensitäten (8,2 pi und 10,1 pi). Würden die sensorischen Grenzen für den Blauen Engel (vorgeschlagen im Kapitel 5.2.3 „Ableitung einer Bewertungsmethode für den Blauen Engel“, Abbildung 5-53) und die Grenzen der chemischen Analyse für die Vergabe des Umweltzeichens gelten, würde lediglich Teppichboden 4074 und gerade noch Teppichboden 3901 (mit 7,1 pi und mit $6 \mu\text{g m}^{-3}$) den Blauen Engel erhalten. Die Teppichböden, die nicht chemisch untersucht worden sind (3974 und 4041), weisen ebenfalls Intensitäten unter 7 pi auf und würden somit geruchlich die Grenzen für den Blauen Engel unterschreiten.

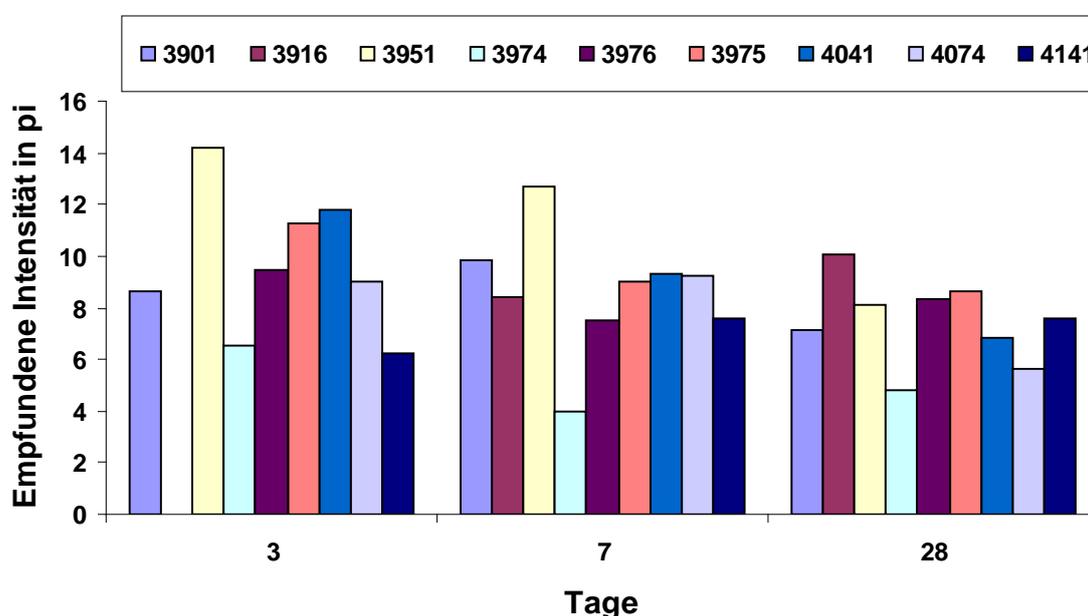


Abbildung 5-12: Die Empfundene Intensität der sensorisch untersuchten Teppichböden an den Versuchstagen

In der vorliegenden Studie sind zahlreiche elastische Bodenbeläge untersucht worden. Die meisten dieser Produkte sind PVC-Beläge, da diese häufig einen sehr auffälligen, starken Geruch aufweisen. Mehrere dieser Produkte sind einfache Waren aus dem Baumarkt. Die Emissionen aus den PVC-Böden weisen keinerlei spezifische Einzelverbindungen auf, wie z. B. die Teppichböden, daher werden in der Abbildung 5-13 zunächst die TVOC und für einige Komponenten die Σ SVOC dargestellt. Vor allem bei PVC 3900 bestehen die Emissionen aus einem nicht genau definierten, relativ schwerflüchtigem Alkanschmitt im Bereich von C_{14} bis C_{17} , weshalb die Konzentrationen über einen langen Zeitraum im Wesentlichen konstant bleiben,

wie die Abbildung 5-13 zeigt. Die beiden Produkte 4161 und 4162 sind zwei verschiedene Chargen desselben PVC-Belags. Von beiden Rollen wurde jeweils ein Muster in einer 24-L-Kammer untersucht. Die Emissionen weisen eine sehr gute Übereinstimmung auf. Diese parallel Untersuchung erfolgte, da in den Untersuchungen von Wilke et al. [37] an diesem Fußbodenbelag in hohem Maß eine Inhomogenität festgestellt wurde. In diesem Projekt wird nun beim gleichen Produkt untersucht, ob die Inhomogenität zu unterschiedlichem Emissionsverhalten führt.

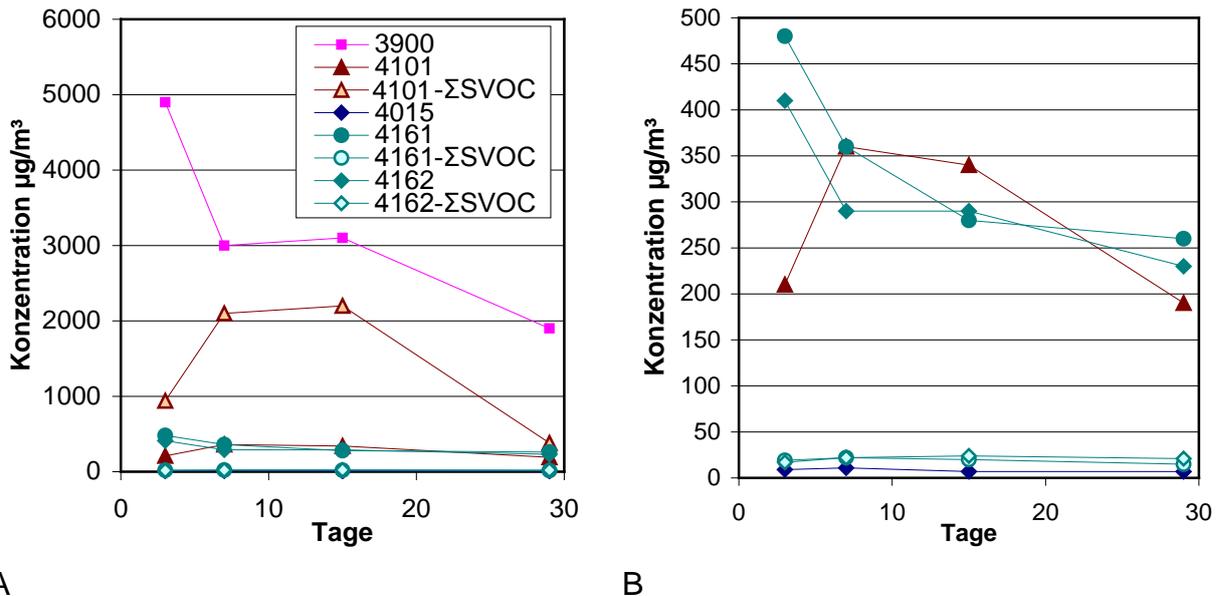


Abbildung 5-13: Konzentrationsverläufe von TVOC-Werten aus 5 verschiedenen PVC-Bodenbelägen und für 3 Beläge der SVOC-Summenwert (B ist eine detaillierte Darstellung einiger Daten aus A)

Die Abbildung 5-14 zeigt exemplarisch das Abklingverhalten[‡] von zwei Substanzen sowie aller unbekanntem und nicht spezifizierbaren VOC auf und belegt, dass zwischen beiden Bodenbelägen eine hohe Übereinstimmung der jeweiligen Emissionen und auch Konzentrationen herrscht. Weiterhin zeigt dieser Vergleich, dass die Untersuchungen zu weitgehend verlässlichen Werten führen, wie dies für eine so weit reichende Emissionswertung, die zur Zulassung oder Ablehnung eines Produktes führt, notwendig ist.

[‡] Die VOC-Untersuchungen sind nur bis zum 24. Tag für die Proben 4161 und 4162 vorgenommen worden.

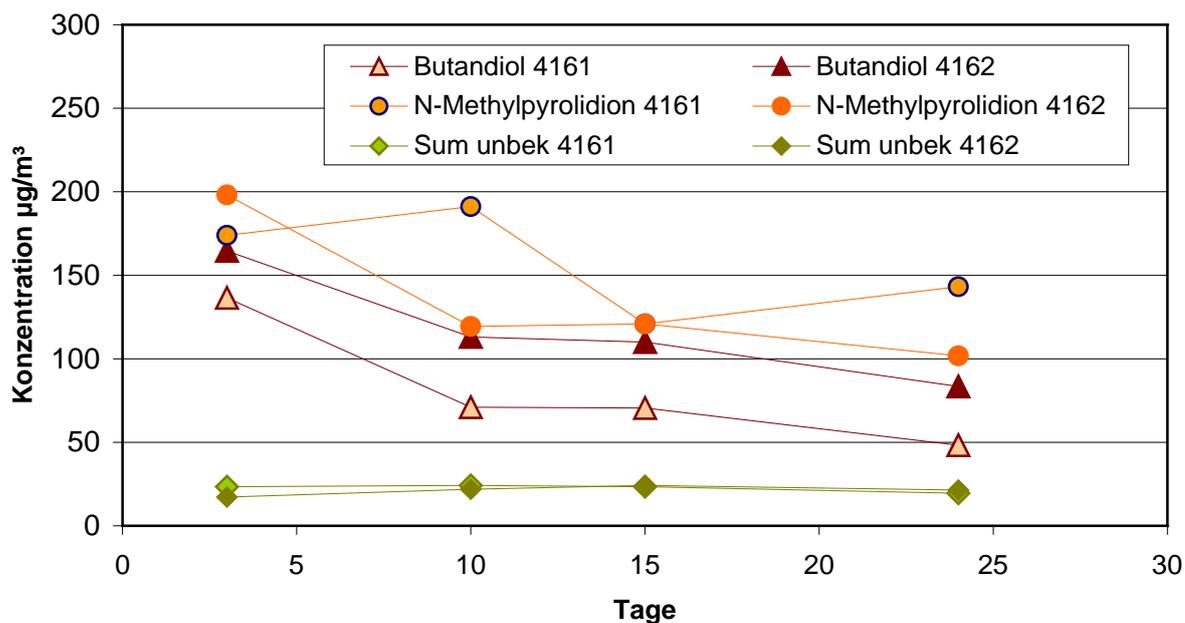


Abbildung 5-14: Konzentrationsverläufe verschiedener VOC aus dem PVC-Bodenbelag 4161 und 4162 über 24 Tage

In der Abbildung 5-15 sind die empfundenen Intensitäten der sensorisch untersuchten PVC-Bodenbeläge dargestellt. Die empfundene Intensität liegt zwischen 2,5 und 8 pi, wobei die Bewertungen relativ konstant über die Versuchszeit bleiben. Am 28. Tag liegen drei Produkte unter einer empfundenen Intensität von 6,5 pi (4015, 4101, 4161). Die Produkte 3900 und 4199 liegen bei 8 pi. Das Produkt 3900 hat nach dem 28. Tag die höchste Konzentration an TVOC und erreichte eine Intensität von 8,7 pi. Der PVC-Belag 4015 hat nach dem 28. Tag neben der niedrigsten Intensität von 4,3 pi auch die niedrigste Konzentration an TVOC von allen untersuchten PVC-Bodenbelägen. Bei einer Betrachtung der sensorischen (siehe Abbildung 5-53) und analytischen Grenzen bei der Vergabe des Blauen Engels, würden die PVC-Beläge mit den Nummern 4015 und 4161 bestehen. Das Produkt Nr. 4101 erfüllt nur die Anforderungen an die sensorischen Grenzen, aber nicht die an die Emissionen. PVC-Beläge sind jedoch aufgrund der enthaltenen Phthalate und chlororganischen Verbindungen beim Umweltzeichen ausgeschlossen.

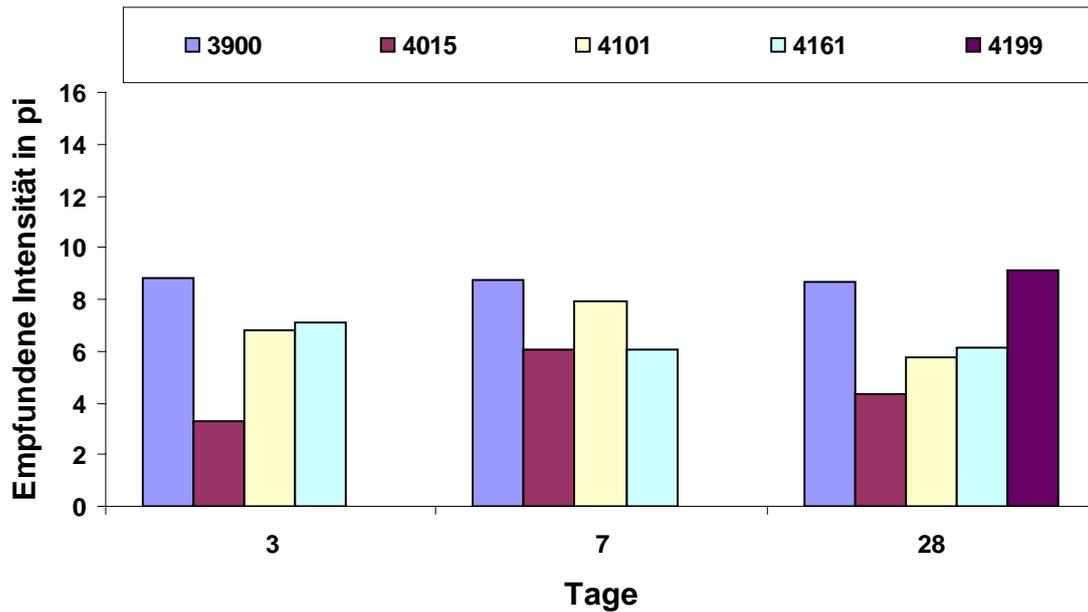


Abbildung 5-15: Empfundene Intensitäten der PVC-Bodenbeläge

Für den PVC-Bodenbelag 4004 liegen nur wenige Messungen an der CLIMPAQ im HRI vor. Dieses Produkt zeigt sehr hohe Emissionen an Diisobutylphthalat (DiBP), die selbst noch nach 29 Tagen bis zu $100 \mu\text{g m}^{-3}$ betragen. Das Verhalten dieses SVOC wurde im Rahmen einer Masterarbeit bei der BAM eingehender untersucht. Dabei konnte bei zahlreichen Wiederholungsmessungen festgestellt werden, dass die Kammerkonzentrationen des DiBP über einen längeren Zeitraum unverändert bleiben, zudem werden deutliche Senkeneffekte nachgewiesen. Die wesentlichen Ergebnisse zu den in dieser Masterarbeit untersuchten Phthalatmissionen sind in einem Zeitschriftenartikel veröffentlicht worden [38]. Der PVC-Bodenbelag 4004 wird am 13. und 27. Tag durch Probanden mit Vergleichsmaßstab bewertet. Die empfundene Intensität am 27. Tag beträgt 8,4 pi.

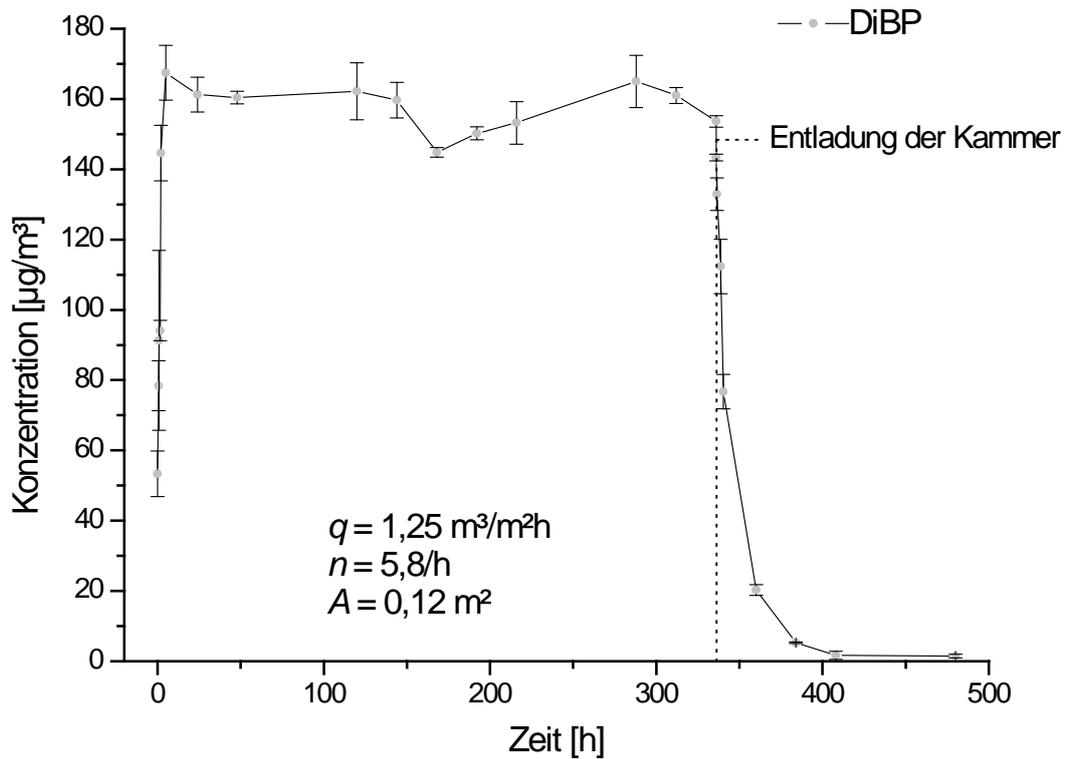


Abbildung 5-16: Konzentrationsverlauf von DiBP aus PVC-Bodenbelag 4004. 24-L-Kammermessung [38]

Eine weitere wesentliche Gruppe der Bodenbeläge sind die Kautschuk- und Linoleumbeläge, die in diesem Vorhaben durch zumeist sehr niedrige Konzentrationen auffallen. Es werden sowohl analytisch als auch sensorisch drei Kautschukbeläge und ein Linoleumbelag untersucht. Sowohl zwei der drei Kautschukbeläge als auch der Linoleumbelag würden die Kriterien des Umweltzeichens einhalten. Der Kautschuk (Nr. 3915), welcher die AgBB-Bewertung nicht besteht, stammt aus einer Charge, die vor ca. fünf Jahren in anderen Untersuchungen als kritisch eingestuft wurde, was im Rahmen dieser Studie belegt werden konnte. Typische Emissionen für Kautschuk wie Benzothiazol werden nur in Konzentrationen bis $35 \mu\text{g m}^{-3}$ nach 29 Tagen gefunden. Obwohl es für Benzothiazol keinen NIK-Wert gibt und somit die $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -Grenze der Komponenten ohne NIK wirksam ist, wirken sich die üblicherweise vorhandenen Emissionen aus Kautschuk-Belägen nicht negativ auf die Auswertung nach AgBB aus.

Bis auf den Bodenbelag Nr. 3948 mit 5,7 pi liegen die Kautschuk- und Linoleumbeläge zwischen 8 und 11,2 pi und würden somit die sensorischen Voraussetzungen für den Blauen Engel nicht erfüllen (siehe Abbildung 5-17). Der bereits erwähnte, nach AgBB nicht bestehende Kautschukbelag Nr. 3915, wies eine der höchsten empfundenen Intensität von 11,2 pi, auf.

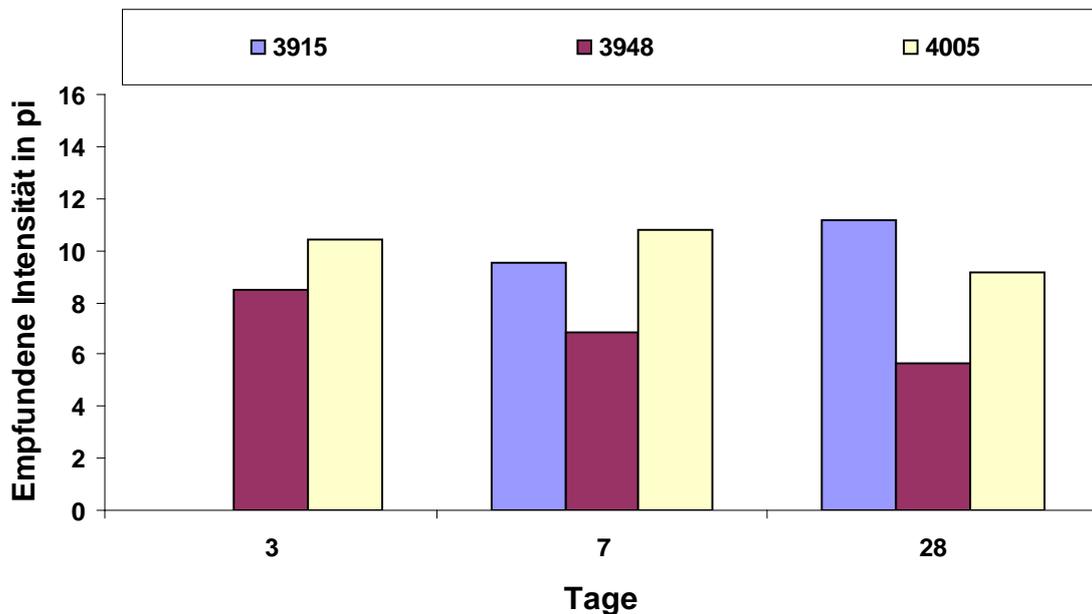


Abbildung 5-17: Empfundene Intensitäten der Kautschukbodenbelägen

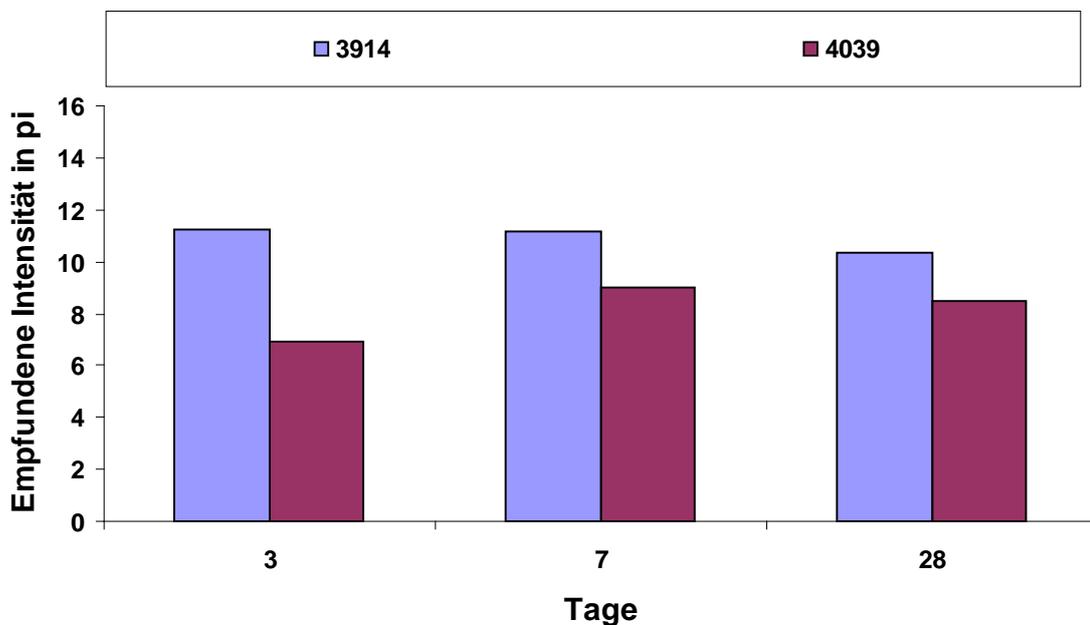


Abbildung 5-18: Empfundene Intensitäten der Linoleum-Bodenbeläge

Als weiterer Bodenbelag wird ein Eichenholz-Parkett untersucht, welches eine relativ hohe Essigsäureemission von über $100 \mu\text{g m}^{-3}$ nach 29 Tagen, sonst kaum

weitere Verbindungen, außer einigen Aldehyden, aufweist. Auffällig ist, dass trotz der Essigsäure- und Aldehydkonzentrationen die geruchliche Bewertung des Parketts eher positiv ausfällt (siehe Abbildung 5-19).

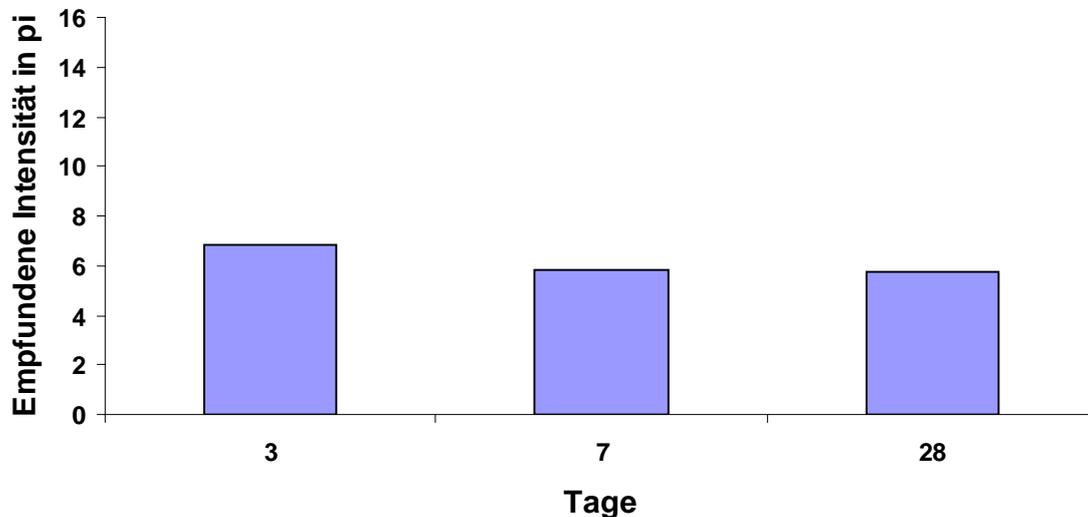


Abbildung 5-19: Empfundene Intensitäten des Parketts (4159)

Es werden im Vorhaben zahlreiche Belagsklebstoffe untersucht. Diese Produktgruppe weist im Vergleich zu den anderen Bauprodukten die höchsten Emissionsraten auf, wie die in Abbildung 5-20 dargestellten jeweiligen Summenwerte der identifizierten VOC (TVOC) zeigen. Lediglich zwei der untersuchten Belagsklebstoffe starteten vom dritten Tag mit Werten unter $1000 \mu\text{g m}^{-3}$ und erreichen nach 29 Tagen Konzentrationswerte um $200 \mu\text{g m}^{-3}$. Selbst diese liegen noch zu hoch, um das Umweltzeichen für Belagsklebstoffe zu erhalten. Verantwortlich für die Überschreitungen sind hier Komponenten wie Essigsäure oder Glykolester, die analytisch mit einer hohen Messunsicherheit belegt sind und schwieriger nachweisbar als andere Substanzen sind. Nur bei einem Konstruktionskleber (Nr. 4290/Kartuschenware) werden die Anforderungen an die Emissionen des Umweltzeichens eingehalten. Dieser Klebstoff fällt allerdings nicht in den Geltungsbereich des Blauen Engels.

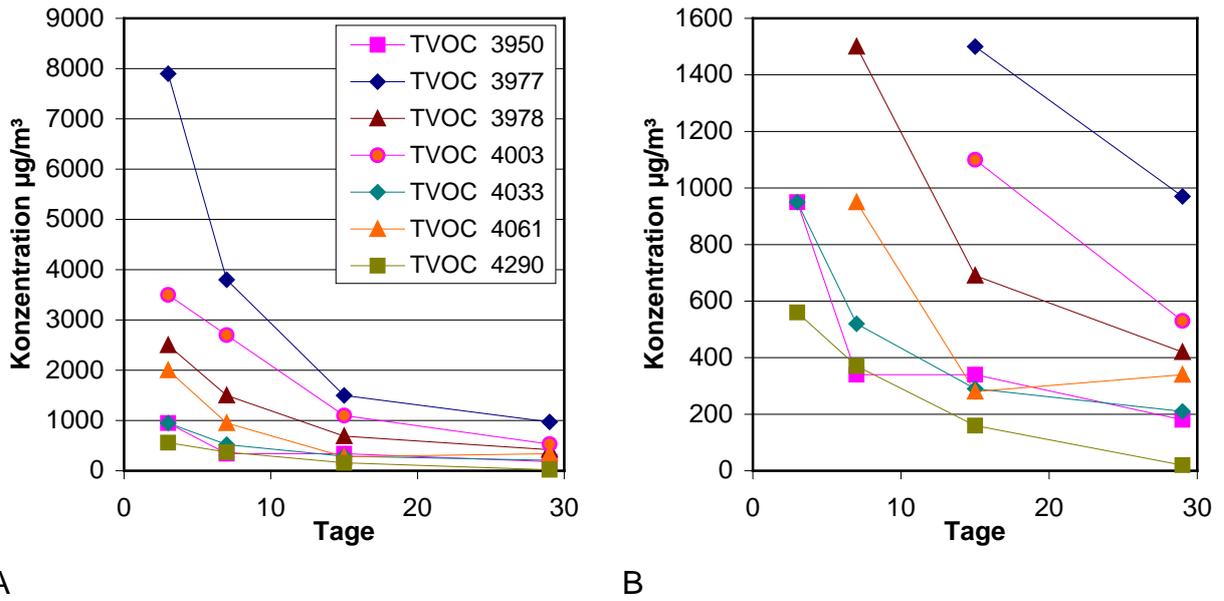


Abbildung 5-20: TVOC Konzentrationsverläufe aus den im Vorhaben untersuchten Belagsklebstoffen (B ist eine vergrößerte Darstellung eines Ausschnittes aus A)

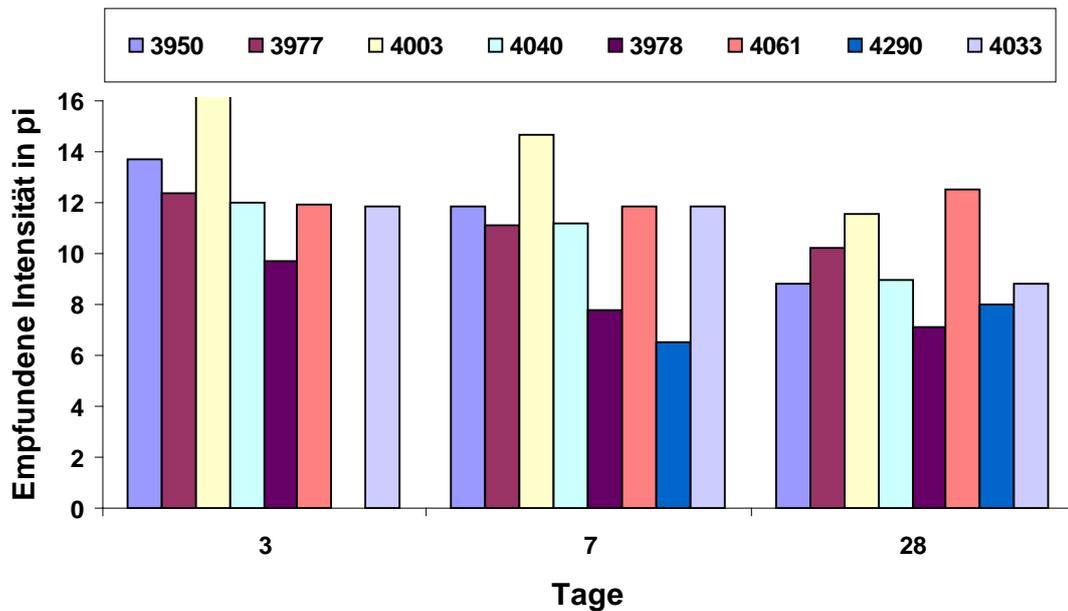


Abbildung 5-21: Empfundene Intensitäten der Belagsklebstoffe

In der Abbildung 5-21 sind die Ergebnisse der sensorischen Untersuchung mit Probanden mit Vergleichsmaßstab für die empfundene Intensität dargestellt. Nur einer der untersuchten Belagsklebstoffe, der Belagsklebstoff 3978 überschreitet mit 7,1 pi und Hedonik von -1,3 knapp die vorgeschlagenen Grenzen der sensorischen Anforderungen (Abbildung 5-53) für die Vergabe des Umweltzeichens. Alle anderen Belagsklebstoffe weisen nach dem 28. Tag Intensitäten über 8 pi auf und überschreiten somit die vorgeschlagene Grenze von 7 pi.

Der Konzentrationsverlauf weiterer typischer Komponenten aus Belagsklebstoffen ist in der Abbildung 5-22 dargestellt. So ist z. B. Methylisothiazolinon (MIT) ein häufig verwendeter Topfkonservierer für Belagsklebstoffe. Dieser verhindert, dass wasserbasierte Produkte innerhalb der Haltbarkeitszeit durch Pilz- oder Bakterienwachstum im Gebinde unbrauchbar werden. Die MIT-Emissionen können bei einem Belagsklebstoff auch noch 29 Tage nach Aufbringung auf der Glasplatte in Konzentrationen von bis zu $40 \mu\text{g m}^{-3}$ nachgewiesen werden.

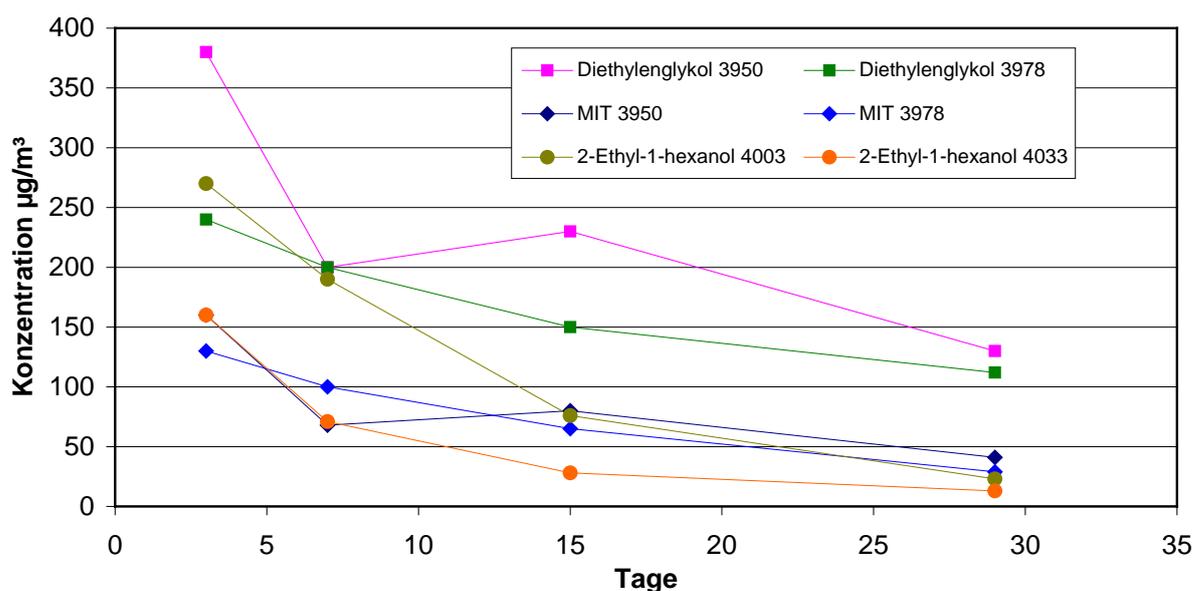


Abbildung 5-22: Konzentrationsverläufe einiger typischer VOC aus den untersuchten Belagsklebstoffen

5.1.1 ÜBERPRÜFUNG DER PROBEBEHÄLTER

Der Probebehälter aus Tedlar® wurde bereits in vorherigen Forschungsvorhaben eingesetzt. Es konnte jedoch nicht in allen Fällen ein Eigengeruch des Behälters sicher ausgeschlossen werden, da eine einheitliche Handhabung des Behältermaterials nicht gewährleistet werden konnte. Nachdem aber das HRI einen neuen Ausheizschrank entwickelt hat, sollen die Probebehälter in diesem Projekt unter der neuen Ausheizprozedur auf deren Eigengeruch bei Wiederverwendbarkeit sensorisch und analytisch untersucht werden. Zusätzlich sollen die Permeationseigenschaften auch anderer Folien (Tabelle 4-2) untersucht werden, um ihre Eignung als Probebehälter zu prüfen. Der Versuchsaufbau zur Untersuchung von Permeation

wurde bereits im Kapitel 4.8.1 „Überprüfung des Probebehälters“ detailliert beschrieben.

Vergleichs- und Kontrollmessungen des Eigengeruchs der Tedlar[®]-Behälter zeigen eine geringe Geruchsintensität von 1 bis 2 pi und eine nahezu neutrale hedonische Bewertung von 0,1. Die Geruchsintensität und die hedonische Bewertung der Anlagenluft direkt am Trichter zeigen nahezu die gleichen Werte (Abbildung 5-23). In Abbildung 5-23 sind zum einen Geruchsbewertungen der gereinigten Tedlar[®]-Behälter, die mit Luft aus der leeren Kammer befüllt waren, und zum anderen als Vergleich die Bewertung der Versorgungsluft aus der Klimaanlage (Anlagenluft) und der leeren CLIMPAQ dargestellt. Diese Anlagenluft wird zum Betrieb der CLIMPAQ's und des Luftqualitätslabors im HRI verwendet. Die Probeluft im Probebehälter wird hier mit "Sack" gekennzeichnet. Frische Luft bedeutet, dass die Probeluft direkt aus der Außenluft gezogen wurde.

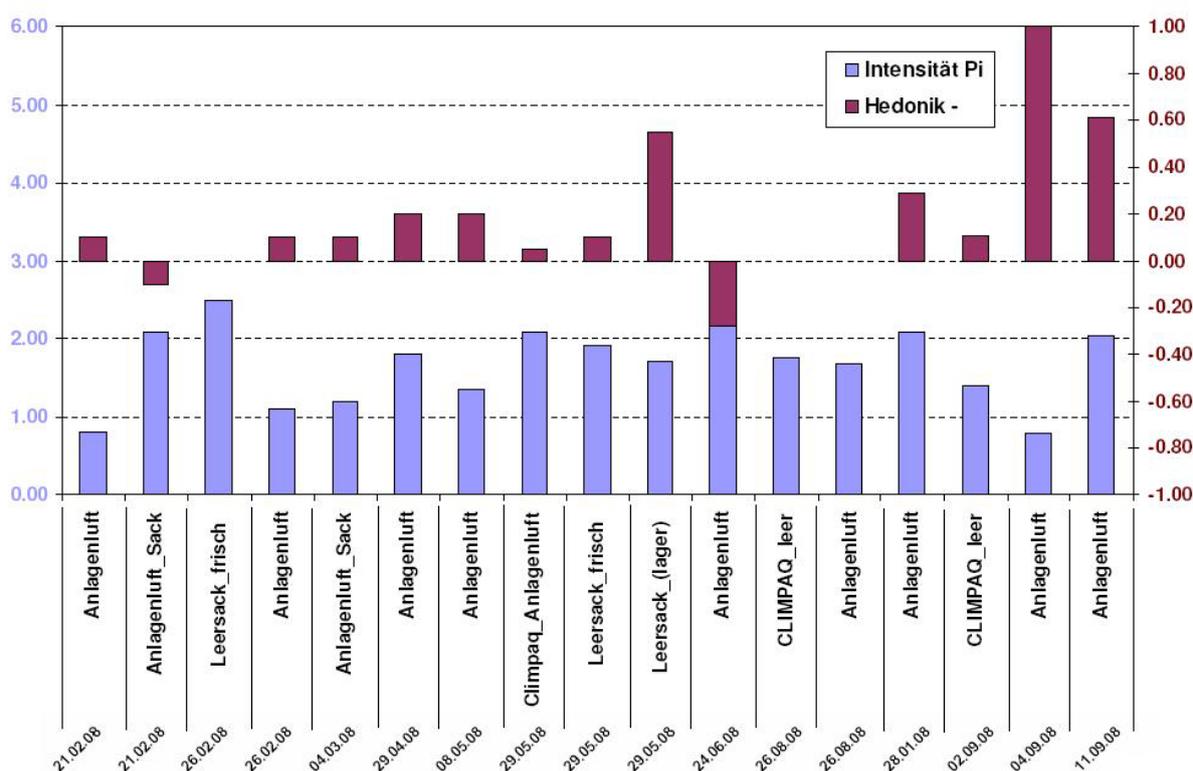


Abbildung 5-23: Sensorische Bewertung der Blindwerte

Auch hinsichtlich der VOC-Emissionen wird die Luft in den Behältern und in den Kammern verglichen. Für die meisten Komponenten liegt eine hohe Übereinstimmung vor. Die Emissionen sind bei fast allen Komponenten mit meist deutlich kleiner $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gering. So sind für einen sicheren Vergleich nur wenige Messungen auswertbar, da für die meisten VOC die Unsicherheiten für Konzentrationen um $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ schon 50 % Abweichung überschreiten können. Somit lassen sich im

Konzentrationsbereich von wenigen $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bis zu ca. $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ etwaige Unterschiede nur mit größter Vorsicht als eindeutig bezeichnen. Für Konzentrationen oberhalb dieser Größenordnung wurden in Ringversuchen zu Emissionsmessungen ca. 20 % Abweichungen zwischen den verschiedenen Labor Messungen festgestellt [39]. Legt man diese Abweichungen zugrunde, kann in diesem Konzentrationsbereich von einer hohen Übereinstimmung der verglichenen Konzentrationen gesprochen werden. Die maximale Abweichung zwischen der Luft aus den Behältern und der Luft aus den Kammern liegt bei 10 bis 20 %. Lediglich die Komponente Methylisothiazolinon zeigt in den Behältern deutliche Minderbefunde, aber selbst schwerflüchtige Komponenten wie 4-Phenylcyclohexan sind in den jeweiligen Behältern mit sehr hoher Wiederfindung nachweisbar. Beispielhaft ist in Abbildung 5-24 für die Luft des Transportbehälters (TrB) zur jeweiligen Kammerluft ein normierter Vergleich dargestellt. Dabei ist der Mittelwert aus der CLIMPAQ und der 24-L-Kammern 1 gesetzt und die anderen Werte werden entsprechend umgerechnet. Wie zu erkennen ist, entsprechen die Emissionen der Kammern einander recht gut, aber vor allem die Luft in den entsprechenden Transportbehältern passt sehr gut zu den jeweiligen Kammerwerten.

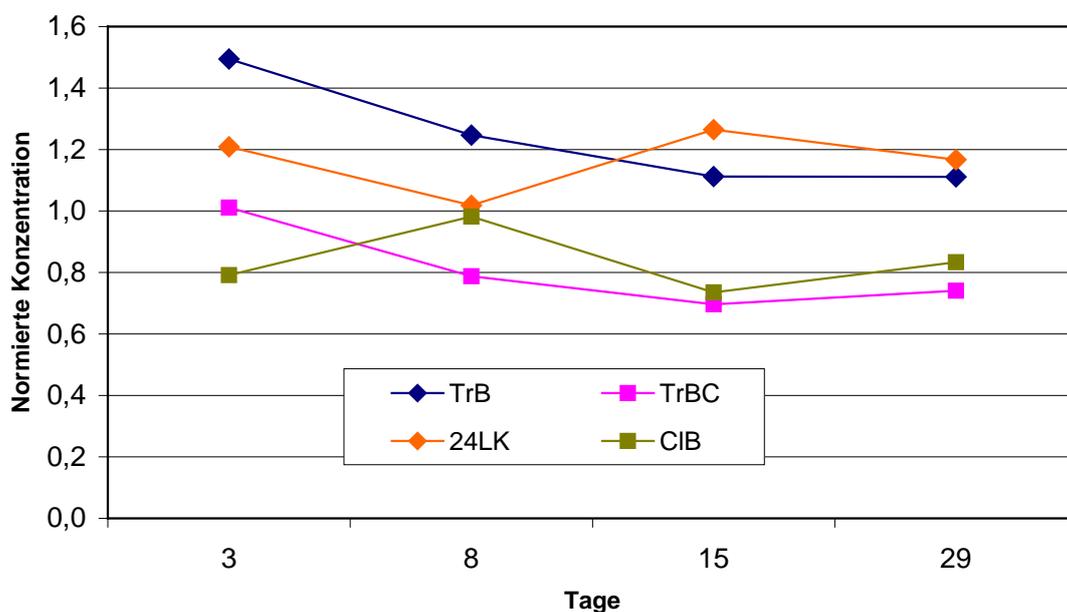


Abbildung 5-24: Normierter Vergleich (der Mittelwert der beiden Kammern ist gleich 1) der Emissionen der Kammern im Vergleich zu den aus den Transportbehältern. (TrB: Transportbehälter 24-L-Kammer; TrBC: Transportbehälter CLIMPAQ; CIB CLIMPAQ BAM)

Die Ergebnisse der Untersuchungen mit neuen Folien sind in Chromatogrammen in Abbildung 5-25 und Abbildung 5-26 dargestellt. Die schwarzen Linien zeigen die

chemischen Substanzen in dem Teil des Versuchsaufbaus, in welchem sich die Proben befinden (vor der Folie (1); siehe im Kapitel 4.8.1 „Überprüfung des Probebehälter“ die Abbildung 4-24). Die grüne Linie zeigt die Komponenten, die durch die Folie permeieren (hinter der Folie (2) siehe Abbildung 4-24 im Kapitel 4.8.1). Außer bei der einfachen PE-Folie (Abbildung 5-25), konnte bei allen Folien bei einer Expositionsdauer von mindestens einer Woche, keine Permeation durch die Folie festgestellt werden. Die beiden folgenden Abbildungen (Abbildung 5-25 und Abbildung 5-26) zeigen das Durchbruchverhalten für die PE-Folie und beispielhaft für die Folien, die alle keinen Durchbruch aufzeigen, die Polyimid-Folie. Bis auf die PE-Folie sind die anderen geprüften Folien als Transportfolie denkbar. Weitere Tests zum Eigengeruch müssten vor einer Nutzung durchgeführt werden.

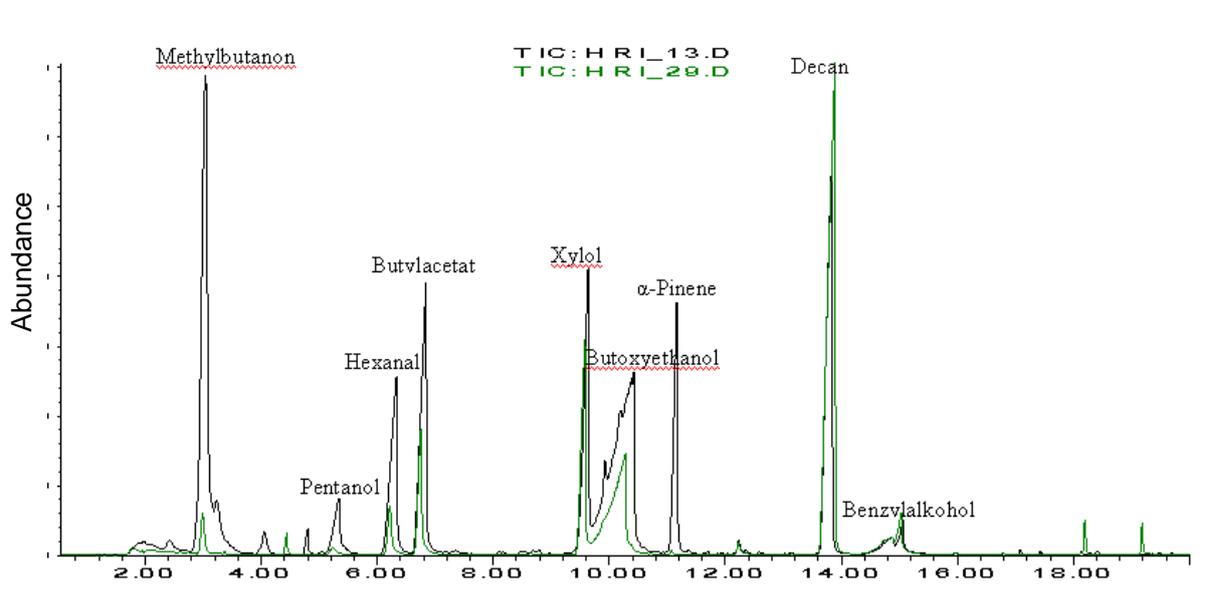


Abbildung 5-25: Permeationsverhalten der PE-Folie (GC/MS Chromatogramm)

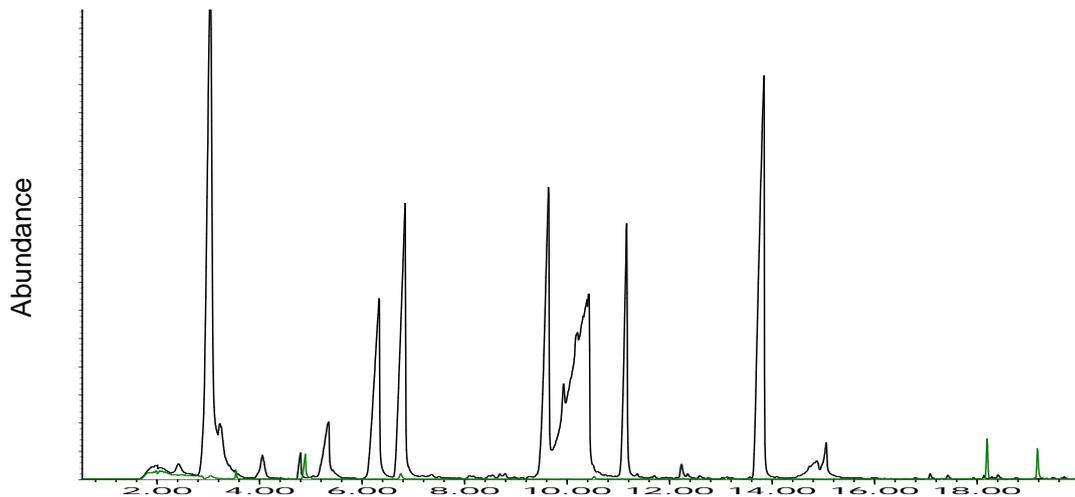


Abbildung 5-26: Permeationsverhalten der Polyimid-Folie (GC/MS Chromatogramm)

Die Ergebnisse zeigen, dass die verwendeten Tedlar[®]-Behälter unter Befolgung der in Kapitel 4.4 beschriebenen Ausheizprozedur, als Probebehälter geeignet sind und weiter verwendet werden können. Auch bei längerer Lagerung (z. B. für den Transport) von Probeluft in den Behältern, ist davon auszugehen, dass nahezu keine Substanzen durch die Folie permeieren und sich damit die chemische Zusammensetzung ändert.

Der Eigengeruch der Behälter ist so gering, dass im Vergleich zur sensorischen Bewertung der Anlagenluft kein Unterschied festzustellen ist.

5.1.2 AUFBAU EINES EINFACHEN VERGLEICHSMASSTABES

Wie im Kapitel 3.3.1 „Empfundene Intensität“ beschrieben, wird die empfundene Intensität mit Probanden unter der Verwendung eines Vergleichsmaßstabs bestimmt. Bei bisherigen Vergleichsmaßstäben erfolgt die Dosierung des Aceton-Luft-Gemisches über Dosierventile. Die Einstellung der Dosierventile vor jeder Untersuchung ist sehr zeitaufwendig. In diesem Projekt soll ein Vergleichsmaßstab entwickelt werden der einfach bei der Inbetriebnahme und Handhabung, ohne Dosierventile ist. Dazu soll ein Vergleichsmaßstab aufgebaut werden, in dem für eine konstante Dosierung des Aceton-Luft-Gemisches eine Düse (konstruktiv ähnlich einer Laval-Düse) verwendet wird. Damit kann die zeitaufwendige Einstellung der Dosierventile vor jeder Untersuchung entfallen.

Es wird ein vereinfachter mobiler Vergleichsmaßstab aufgebaut (siehe Abbildung 5-27) und funktional überprüft (siehe Kapitel 4.8.2 „Aufbau eines einfachen Vergleichsmaßstabes“). Messungen der Volumenströme an den einzelnen Trichtern zeigen, dass eine leichte ungleichmäßige Volumenstromverteilung vorliegt. Die Verwendung eines regelbaren Ventilators brachte eine Vergleichmäßigung ohne jedoch eine komplette Gleichmäßigkeit zu erreichen. Eine exakte Einstellung des Acetonluftgemisches ist so nicht möglich. Messungen haben gezeigt, dass eine aerodynamisch verbesserte Verteilung der Luft eine exakte Einstellung ermöglichen wird. Weitere Lösungen wurden gesucht und sind geplant, beispielsweise die Verbesserung des Laminarisators in der Verteilerbox. Die Weiterentwicklung konnte nicht im Zeitrahmen des Projektes abgeschlossen werden, wird aber weiter verfolgt und in Kürze abgeschlossen.



Abbildung 5-27: Foto des vereinfachten Vergleichsmaßstabs

5.1.3 VERGLEICH DER PROBENDARBIETUNG MIT KAMMER UND PROBEHALTER ZUR DIREKTEN BEWERTUNG AN DER CLIMPAQ

In diesem Teil des Projektes wird geprüft, ob die sensorische und analytische Bewertung der Emissionen eines Bauprodukts in unterschiedlichen

Emissionskammern und an unterschiedlichen Orten reproduzierbar ist. Insgesamt werden sechs Bauprodukte untersucht (Nr. 3950, Nr. 3976, Nr. 3978, Nr. 4015, Nr. 4026, Nr. 4101). Die Beladung der Bauprodukte erfolgt parallel in den Kammern am HRI (Typ CLIMPAQ) und bei der BAM (24-L-Kammer und Typ CLIMPAQ). Damit die Messergebnisse vergleichbar sind, wird die gleiche flächenspezifische Durchflussrate q eingestellt. Die sensorische Bewertung wird im Luftqualitätslabor des HRI durchgeführt. Das bedeutet, dass Bewertung der Luftproben aus der CLIMPAQ BAM und der 24-L-Kammer der BAM mit Hilfe von Probebehältern, wie im Kapitel 4.4 „Probennahme und Probendarbietung mit Tedlar® -Probebehälter“ beschrieben, realisiert werden. Die Bauprodukte befinden sich 29 Tage in den Emissionskammern und werden nach dem AgBB-Schema auch analytisch untersucht.

Die durchgeführten Untersuchungen sind bereits im Kapitel 4.8.3 „Vergleich der Probendarbietung mit Kammer und Probebehälter zur direkten Bewertung an der CLIMPAQ“ beschrieben.

In Abbildung 5-28 und Abbildung 5-29 sind die Ergebnisse einer Fugenmasse (Nr. 4026) und eines PVC-Belags (Nr. 4101) über 29 Tage dargestellt. Die Abweichungen der empfundenen Intensität an den Probenahmetagen liegen, außer bei der Messung der Fugenmasse am 15. Tag, bei ca. 2 pi. Am 29. Tag zeigen die Ergebnisse eine sehr gute Übereinstimmung. Belagsklebstoff 3978 zeigt ähnliche Ergebnisse. Bei den anderen drei Bauprodukten lag der Unterschied in der Bewertung der empfundenen Intensität am 29. Tag bis ca. 4 pi auseinander.

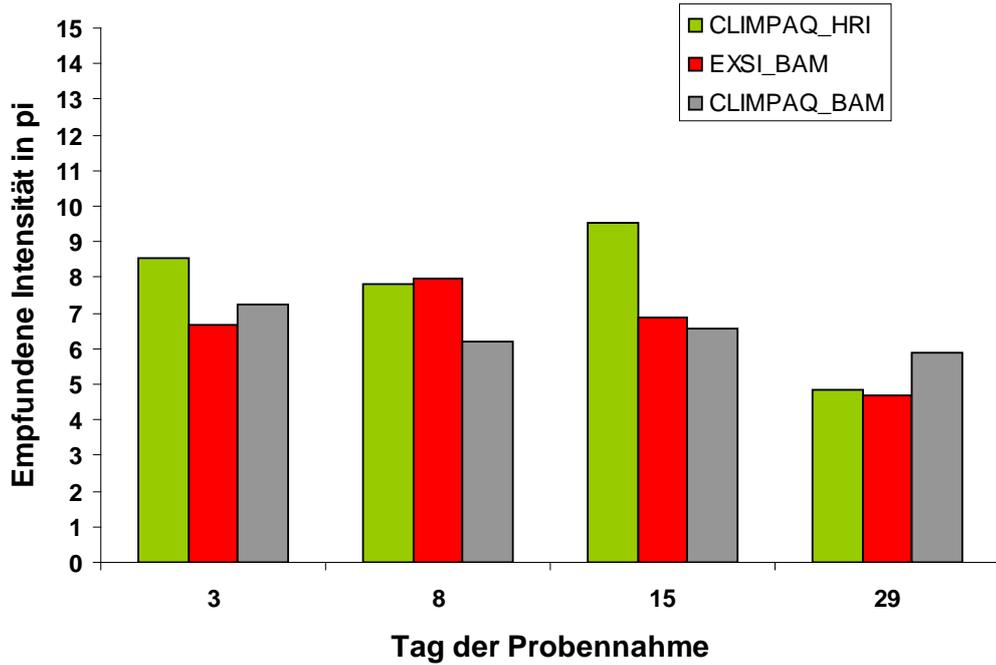


Abbildung 5-28: Vergleich der Ergebnisse der Intensitätsmessungen mit unterschiedlichen Emissionskammern (Fugenmasse Nr. 4026)

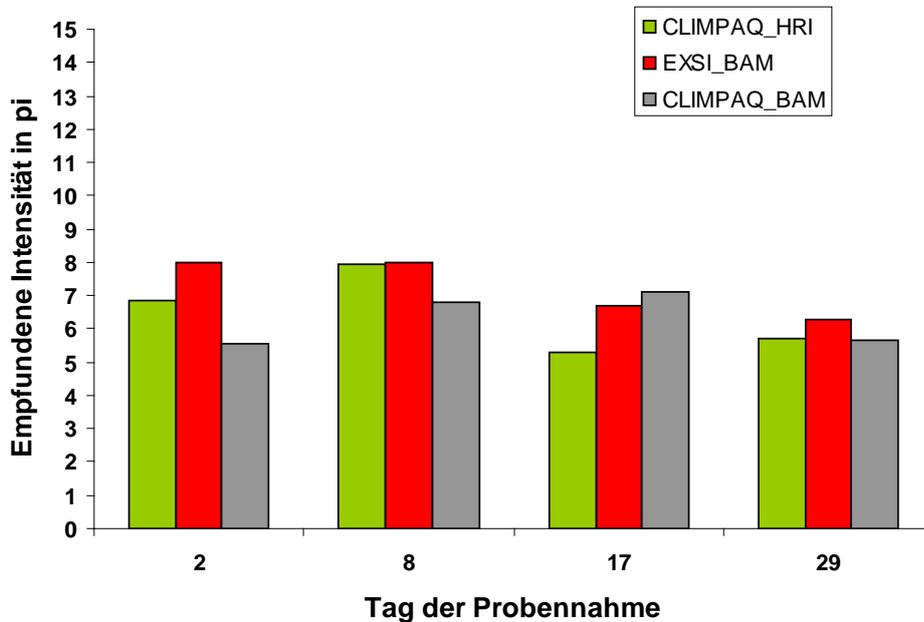


Abbildung 5-29: Vergleich der Ergebnisse der Intensitätsmessungen mit unterschiedlichen Emissionskammern (PVC-Belag Nr. 4101)

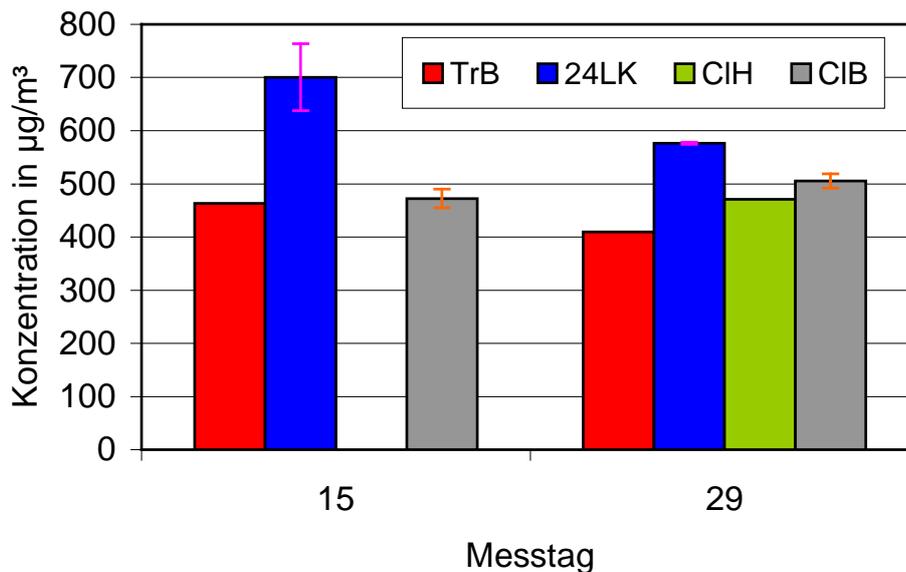


Abbildung 5-30: Vergleich der Ethandiol-Ergebnisse mit unterschiedlichen Emissionskammern (Fugenmasse Nr. 4026) am 15 und 29. Tag bei Mehrfachbestimmungen mit Abweichungsbalken (TrB= Transportbehälter; 24LK= 24-L-Kammer; CIH= CLIMPAQ HRI; CIB= CLIMPAQ BAM)

Es liegen nur für die Fugenmasse am 29. Tag auch chemische Vergleichsmessungen vor. Diese sind in Abbildung 5-30 am Beispiel von Ethandiol, welches die Hauptemission der Dichtmasse ist, für die beiden Kammern in der BAM und die CLIMPAQ im HRI dargestellt. Zumindest für den 29. Tag kann von einer sehr guten Übereinstimmung der Werte gesprochen werden. Für den PVC-Belag liegen keine Messungen der HRI-Werte vor.

Um mehr Erkenntnisse über die Abweichungen bei der Bewertung der empfundenen Intensitäten aus verschiedenen Emissionskammern durch Verwendung der Tedlar-Behälter® zu erhalten, wird einmal die Wiederholbarkeit der Bauproduktenbewertung durch Probanden geprüft, indem die Bewertung einiger Bauprodukte (Zufallsauswahl) am gleichen Tag einfach noch einmal wiederholt wurden. Die Abbildung 5-31 zeigt die Ergebnisse dieser Prüfung. Sie zeigt, dass die wiederholten Bewertungen der empfundenen Intensität im Intervall von ca. 0,2 bis 1,6 pi in den Genauigkeitsgrenzen voneinander abweichen.

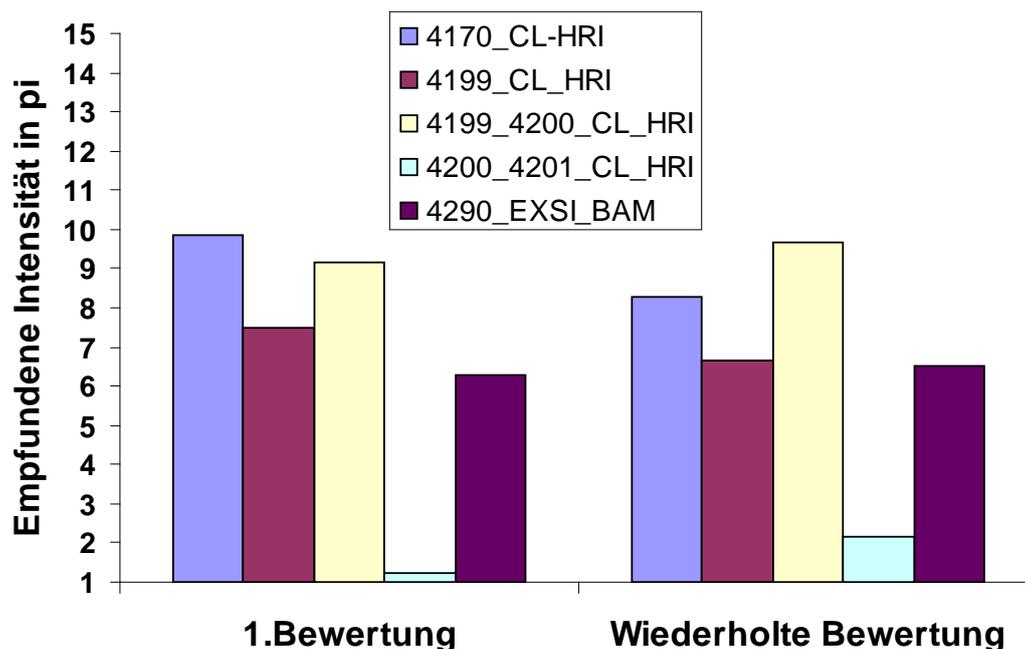


Abbildung 5-31: Wiederholbarkeit der drei einzelnen Bauproduktenbewertungen und zwei Kombinationen

Neben der Prüfung der Wiederholbarkeit einer Bewertung wird geprüft, inwieweit eine Bewertung der empfundenen Intensität der Emissionsluft direkt aus der CLIMPAQ kommend von der, die den Probanden aus einem Tedlar-Behälter[®] dargeboten wird, abweicht. Bei diesem Versuch mussten die Probanden am gleichen Tag die empfundene Intensität ausgewählter Bauprodukte (beides Belagsklebstoffe) zweimal bestimmen. Einmal kam die Emissionsluft des Bauproduktes direkt aus der CLIMPAQ und einmal wurde den Probanden die gleiche Emissionsluft aus einem Tedlar-Behälter[®] dargeboten. Der Tedlar-Behälter[®] wird direkt vor den Versuchen mit der Emissionsluft aus der CLIMPAQ befüllt. Ergebnisse dieser Untersuchung sind in Abbildung 5-32 abgebildet. Dieser Versuch zeigt, dass bei dem Produkt 4061, mit dem dieser Versuch an zwei verschiedenen Tagen durchgeführt wird, sich Unterschiede in der Intensität von bis zu 3 pi ergeben. In beiden Fällen wird die Emissionsluft aus der CLIMPAQ intensiver bewertet, als die aus den Tedlar-Behältern[®]. Bei dem Produkt Nr. 3978 stimmten die Intensitäten, mit kleinen Abweichungen, gut überein.

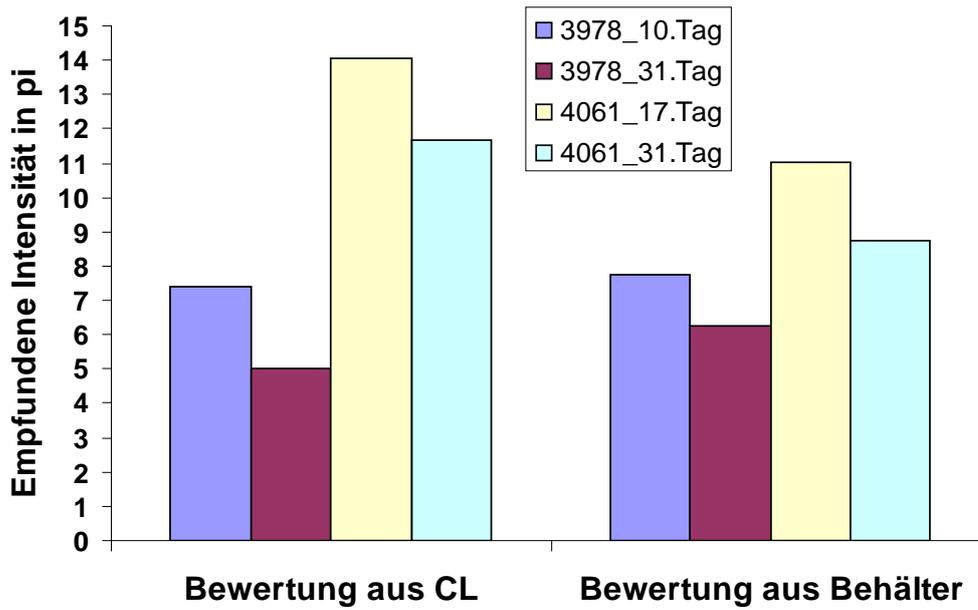


Abbildung 5-32: Vergleich der Bewertungen zwischen CLIMPAQ und Tedlar-Behälter®

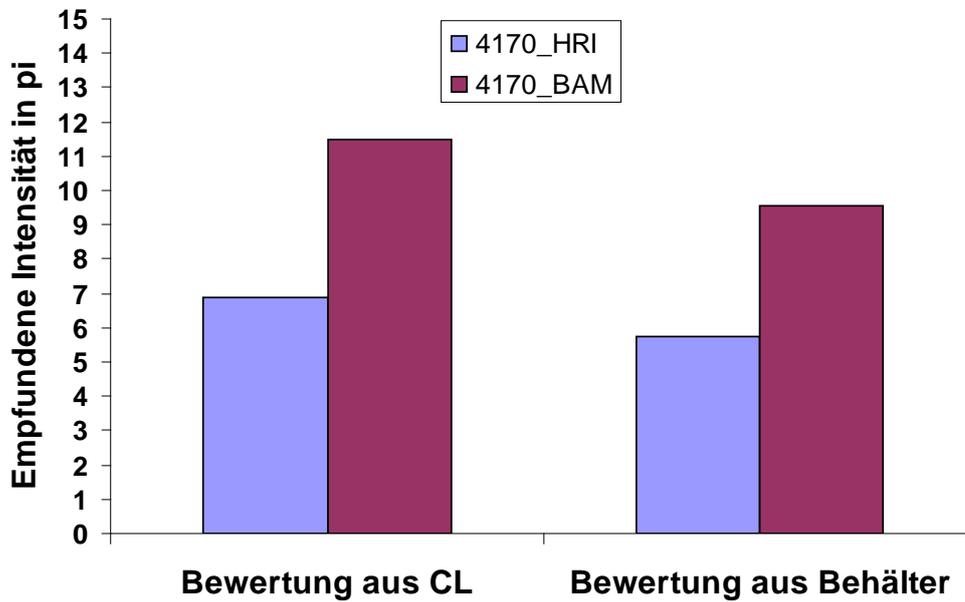


Abbildung 5-33: Vergleich der Bewertungen zwischen CLIMPAQ und Tedlar-Behälter® für Produkt PVC 4170

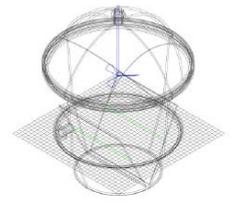
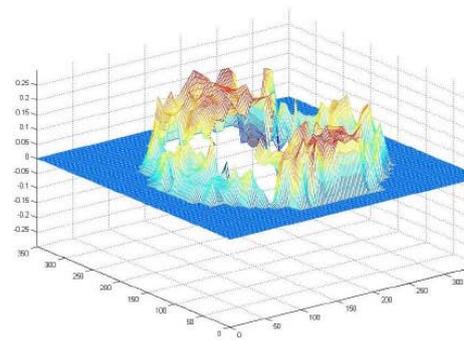
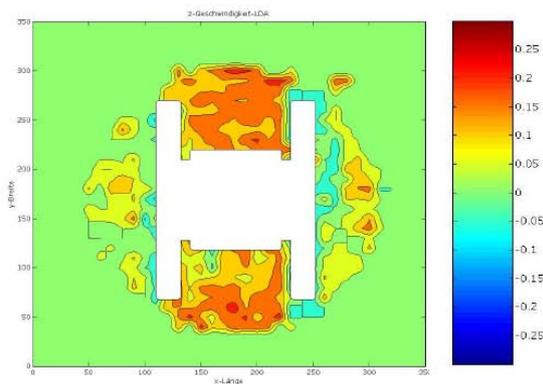
Die Versuche werden auch weiterhin an durch Zufall ausgewählten Tagen und Produkten durchgeführt. Als Beispiel ist hier das Produkt 4170 (PVC, der gleiche wie

4199, jedoch andere Charge) in der Abbildung 5-33 dargestellt. Hier liegen die Schwankungen der Bewertungen beim Vergleich der Bewertungen aus dem Probebehälter und der direkten Bewertung aus der CLIMPAQ in dem Genauigkeitsbereich der empfundenen Intensitätsbewertung. Dafür gibt es größere Unterschiede zwischen den Kammern der BAM und des HRI. Aus den chemischen Analysen (Abbildung 5-38) ist deutlich erkennbar, dass die Konzentrationen der unbekanntesten VOC hohe Werte von bis zu ca. $15.000 \mu\text{g m}^{-3}$ aufweisen. In den verschiedenen Kammern werden Unterschiede bis zu $3.000 - 4.000 \mu\text{g m}^{-3}$ an den Versuchstagen gemessen. Bei geruchsaktiven Substanzen kann dies zu deutlichen Unterschieden in der empfundenen Intensität führen.

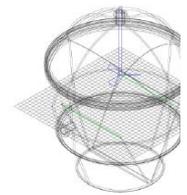
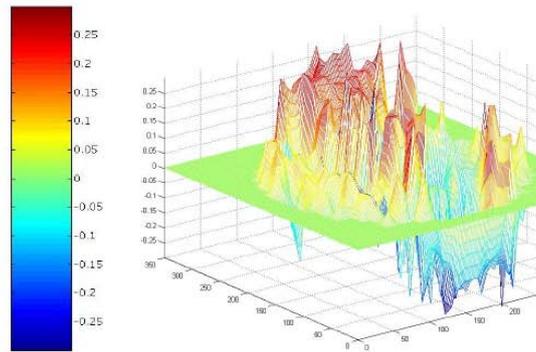
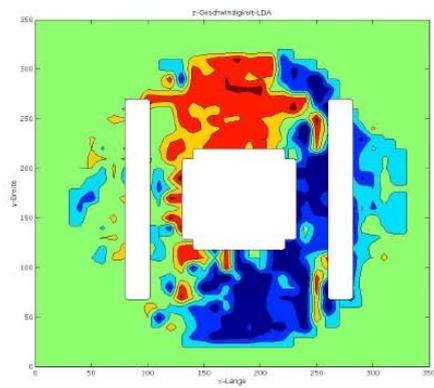
Die Unterschiede in den empfundenen Intensitäten bei der Messung über 29 Tage kann auch von weiteren verschiedenen Faktoren beeinflusst werden. Beispielsweise kann der Zuschnitt der Bauprodukte, Produktunterschiede (Inhomogenität), Durchströmung der Kammern oder auch die Zuluftaufbereitung der Kammern einen Einfluss haben. So ist beispielsweise die Aufbereitung der frischen Luft für die Durchströmung der Emissionskammern an beiden Institutionen (BAM und HRI) unterschiedlich. Zudem herrschen in der 24-Liter-Kammer andere Strömungsverhältnisse als in der CLIMPAQ. Um mehr Erkenntnisse zu den Strömungen und den herrschenden Geschwindigkeiten in den Emissionskammern zu erhalten, wurde ein Durchströmungsprofil in der CLIMPAQ und in der 24-Liter-Kammer mit Hilfe eines Laser Doppler Anemometer (LDA) Messsystems erstellt.

Die bisher dargestellten Unterschiede können nur eine Mischung aller Parameter sein, da nie konstant eine Bewertungsvariante höher ist, als eine andere.

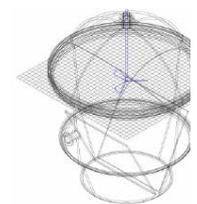
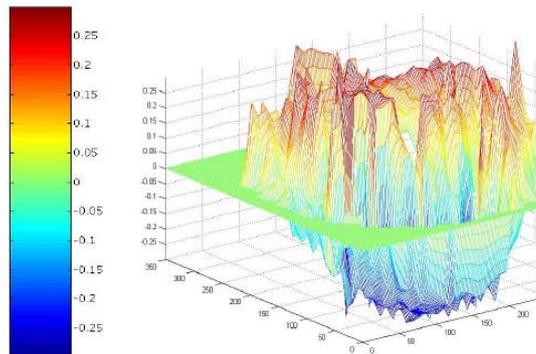
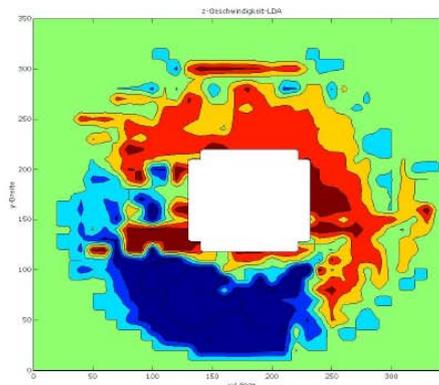
Die ISO 16000-9 fordert Strömungsgeschwindigkeiten von $0,1$ bis $0,3 \text{ m/s}$ in der Kammer. Die Ergebnisse der Messungen in der 24-Liter-Kammer zeigen, dass diese Geschwindigkeiten erreicht werden (Abbildung 5-34). Die Ergebnisse der CLIMPAQ zeigen jedoch deutlich, dass die Strömung ungleichmäßig ist und die Geschwindigkeiten im Bereich von 0 bis $0,4 \text{ m/s}$ liegen (Abbildung 5-35).



7 cm



17 cm



27 cm

Abbildung 5-34: Strömungsprofil in der 24-L-Kammer

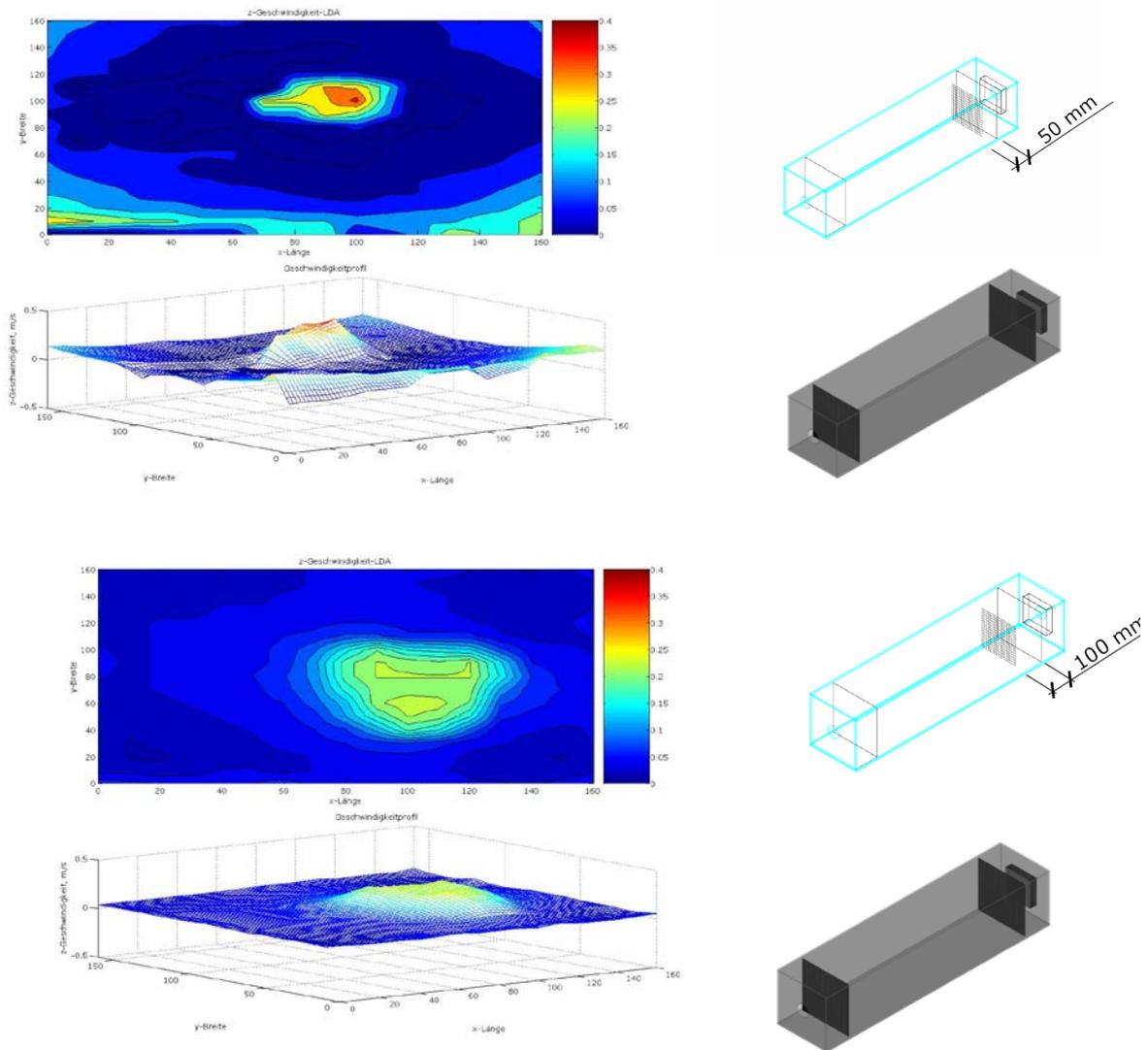


Abbildung 5-35: Strömungsprofil in der CLIMPAQ in 50 cm und 100 cm Abstand vom Laminarisator

Nach dieser Erkenntnis wird zur Verbesserung der Strömung in der CLIMPAQ an einer Optimierung des Laminarisators gearbeitet und eine verbesserte Version der CLIMPAQ entwickelt.

Die Durchströmung der CLIMPAQ wird verbessert, indem ein anders geformter Laminarisator im Bereich der Einströmung eingebaut wird. Die Messergebnisse nach dieser ersten Optimierungsmaßnahme zeigen sehr gleichmäßige Strömungsprofile, da durch den Laminarisator eine gleichmäßigere Verteilung der zugeführten Luft entstanden ist. Es ist zu erkennen, dass im optimierten CLIMPAQ die Geschwindigkeiten im Bereich von $0,09$ bis $0,1 \text{ m s}^{-1}$ sind (Abbildung 5-36). Diese

Werte sind in der unbeladenen Kammer ermittelt. Wird die CLIMPAQ beladen, erhöht sich die Geschwindigkeit in der Kammer und die ISO 16000-9 kann erfüllt werden.

Am HRI sind 6 dieser optimierten CLIMPAQs aufgebaut und für weitere Untersuchungen von Bauprodukten eingesetzt worden.

Auch wenn die Unterschiede nicht endgültig geklärt werden konnten, zeigen die verbesserten CLIMPAQ bessere Übereinstimmungen mit der 24-L- Emissionskammer.

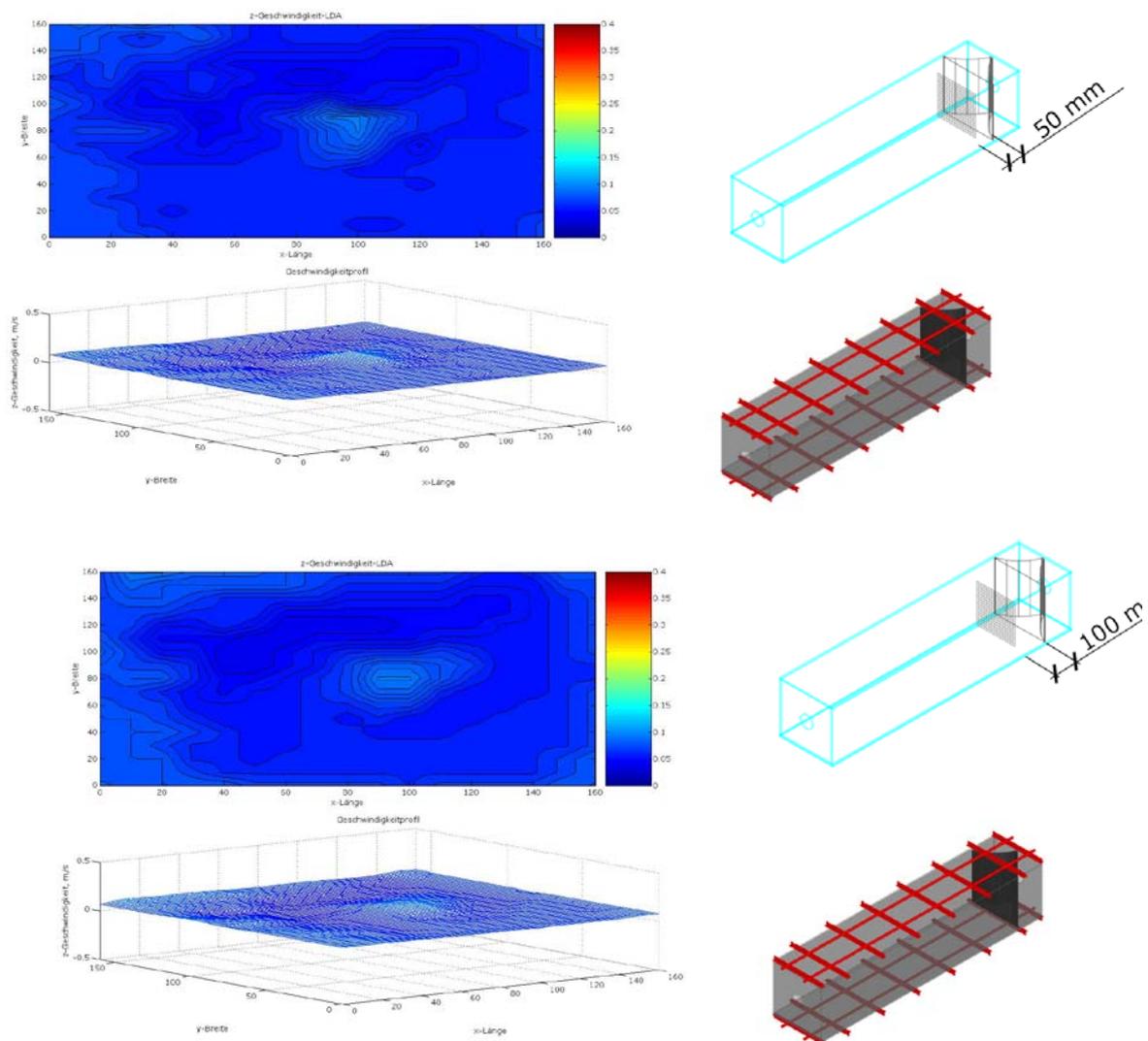


Abbildung 5-36: Strömungsprofil in der CLIMPAQ in 50 cm und 100 cm Abstand vom optimierten Laminarisorator

5.1.4 DIREKTE BEWERTUNG AN DER 5 M³-KAMMER

In Rahmen dieses Projektes soll getestet werden, ob eine direkte sensorische Bewertung durch Probanden mit Vergleichsmaßstab an der 5 m³-Emissionskammer bei der BAM möglich ist. Zusätzlich wird geprüft, inwieweit die Geruchsbewertungen im Luftqualitätslabor des HRI mit denen, die direkt bei der BAM durchgeführt werden, vergleichbar sind. Das Luftqualitätslabor des HRI verfügt über eine geruchsneutrale Aufenthaltskabine für die Probanden und eine geruchsneutrale Bewertungskabine. Die Labore der BAM haben diese geruchsneutralen Bedingungen für die Probanden nicht (siehe Kapitel 4.8.4 „Direkte Bewertung an der 5 m³-Kammer“). Durch diese Untersuchung lässt sich eine Aussage über den Einfluss der unterschiedlichen Umgebungen machen. Die sensorischen und analytischen Untersuchungen finden direkt im Labor der BAM an der 5 m³-Emissionskammer und an der CLIMPAQ statt und auch parallel im Luftqualitätslabor des HRI an der CLIMPAQ und der 13 m³-Kammer. Die erwähnten Emissionskammern werden mit einem Bauprodukt (Nr. 4170) mit der gleichen flächenspezifischen Durchflussrate q beladen. Bei dieser Untersuchung handelt es sich nicht um eine Messung über 28 Tage, sondern die sensorische Bewertung mit den Probanden findet nur am 6. Tag nach der Beladung statt. Das Produkt 4170 ist ein PVC-Bodenbelag, der nur für diese Untersuchung verwendet wurde. Da aber nach den Versuchen festgestellt wurde, dass dieser PVC-Belag sehr unangenehm war, wurde dieser neu zugekauft (andere Charge) und weiter als Produkt Nr. 4199 auch 29 Tage untersucht und für Kombinationen verwendet.

Um festzustellen, ob die Umgebung (hier das Labor bei der BAM) und deren Geruchsintensität einen Einfluss auf die Bewertung der Probanden im Labor der BAM haben könnte, haben die Probanden auch die empfundene Intensität des Labors, in dem sich die 5 m³-Kammer befindet, bewertet. Die von den Probanden ermittelte empfundene Geruchsintensität des Labors beträgt 3,7 pi.

Der Vergleich der empfundenen Intensitäten des PVC-Belags (Nr. 4170) in der 5 m³-Kammer und den anderen Emissionskammern ist in Abbildung 5-37 dargestellt. Die Intensitäten der direkten sensorischen Bewertung an den Emissionskammern weichen im Intervall von ca. 2 pi ab. Die ermittelte Intensität an der 5 m³-Kammer ist in allen Bewertungen am höchsten.

Die niedrige Abweichung bei der Bewertung desselben Bauprodukts in unterschiedlichen Emissionskammern und Laboren zeigen, dass es möglich ist, die sensorische Bewertung mit Probanden auch in Laboren durchzuführen, die nicht über die spezielle Ausstattung des Luftqualitätslabors im HRI verfügen.

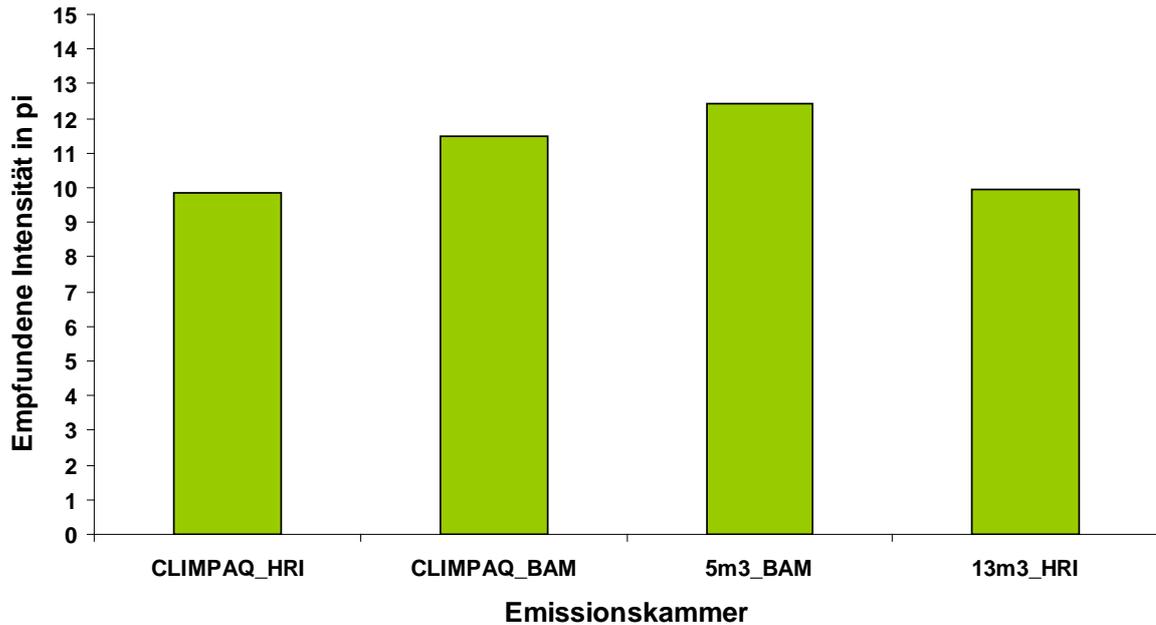


Abbildung 5-37: Vergleich der Messung der empfundenen Intensität eines PVC-Belags (Nr. 4170) in unterschiedlichen Emissionskammern und bei direkter Bewertung

Das VOC-Emissionsspektrum des PVC-Belages Nr. 4170 weist – ähnlich anderer einfacher Produkte dieses Typs Bodenbelag – hohe Emissionen unspezifischer Alkane im Retentionsbereich von C_{12} bis C_{14} auf. In der Abbildung 5-38 sind vergleichend die Konzentrationen der nicht identifizierbaren VOC (als Summe unbekannter VOC) in den verschiedenen Kammern dargestellt. Die Messungen zeigen eine hohe Übereinstimmung der VOC-Emissionen zwischen den Kammern. Die geruchlich relevanten Komponenten dieser VOC-Mischungen sind analytisch nicht konkret zu identifizieren; da diese in der unspezifizierten Menge an VOC enthalten sein werden, nehmen sie über die Zeit ähnlich ab, wie die geruchlich unauffälligen Stoffe.

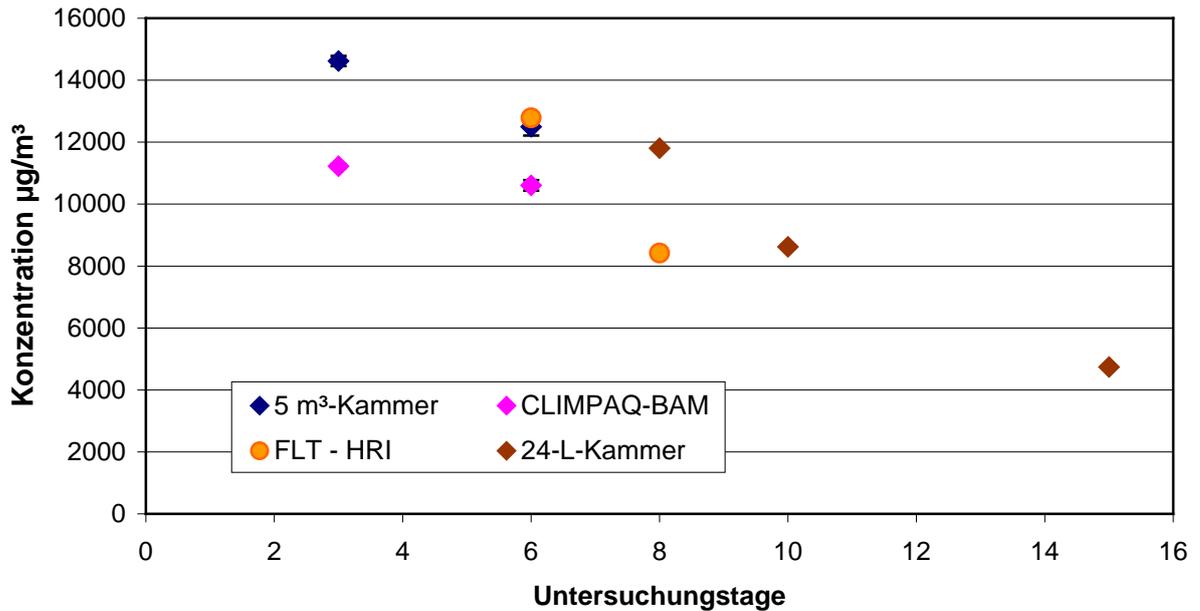


Abbildung 5-38: Vergleich der Summenkonzentration unbekannter VOC (Σ VOC) parallel zur direkten sensorischen Bewertung des PVC 4170 an verschiedenen Kammern

5.1.5 MINDESTANFORDERUNGEN AN DIE GRÖÖE DER PROBANDENGRUPPE

Zu den sensorischen Größen, welche häufig bei der Bestimmung der Luftqualität Anwendung finden, gehören die Akzeptanz, die Hedonik und die empfundene Intensität. Ein Unterschied in der Anwendung ist unter anderem die Gruppengröße, die zur Bestimmung der genannten sensorischen Größen aus statistischen Gründen benötigt wird. So wird mit einer größeren Probandengruppe gearbeitet, wenn es um eine Bestimmung der Akzeptanz geht; eine kleinere Gruppe ist ausreichend, wenn die Probanden mit Vergleichsmaßstab die empfundene Intensität bestimmen. Bei der Bestimmung der am meisten geeigneten sensorischen Größe, die später die Grenzen der sensorischen Prüfung der Bauprodukte darstellen soll, spielen die Statistik und die Kosten, die von der Gruppengröße abhängig sind, eine wesentliche Rolle.

In Abbildung 5-39 sind die Standardabweichungen bezogen auf die Skalengrößen der drei sensorischen Größen (empfundene Intensität, Hedonik und Akzeptanz) für eine Probandengröße von 11 Personen dargestellt. Für die Ermittlung des Mittelwerts der Standardabweichung der drei sensorischen Größen werden nur die Daten der Untersuchungen aus Experimenten herangezogen, bei denen 11 Probanden anwesend waren. Es ist deutlich, dass die empfundene Intensität die kleinste Standardabweichung aufweist. Dahingegen hat die Akzeptanz die größte

Standardabweichung. Mit diesem Vergleich wird gezeigt, wie groß die Streuung und somit die Sicherheit der Messdaten der sensorischen Größen bei einer Probandengruppe von 11 Personen ist.

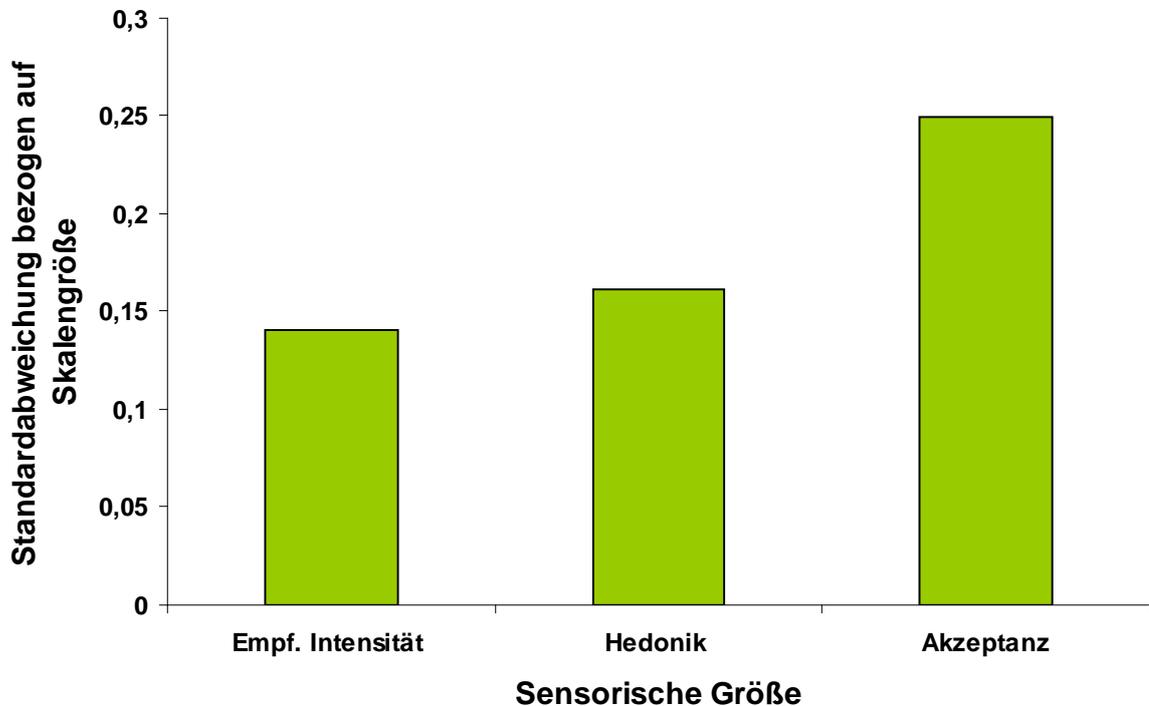


Abbildung 5-39: Standardabweichung der sensorischen Größen bei einer Gruppengröße von 11 Personen

Bei Zulassung einer Abweichung der sensorischen Größen von 10 % der jeweiligen Skalengröße und 90 %igem Konfidenzintervall, würde für die Ermittlung der empfundenen Intensität (mit kleinster Standardabweichung) eine Probandengröße von mindestens acht Personen benötigt. Für die Akzeptanz sind es bei gleichen Bedingungen jedoch über 50 Probanden.

In Abbildung 5-40 ist die Auswertung der Daten der Probandengruppe mit Vergleichsmaßstab bezogen auf die Größe der Probandengruppe und des 90 %igen Konfidenzintervall dargestellt. Es ist deutlich zu sehen, dass ab einer Gruppengröße von acht Personen die Bewertungen der empfundenen Intensität überwiegend in einem Intervall von 0 bis + 2 liegen. Im Fall der Hedonik wäre es 0 bis 0,8 - 1 (siehe Abbildung 5-41).

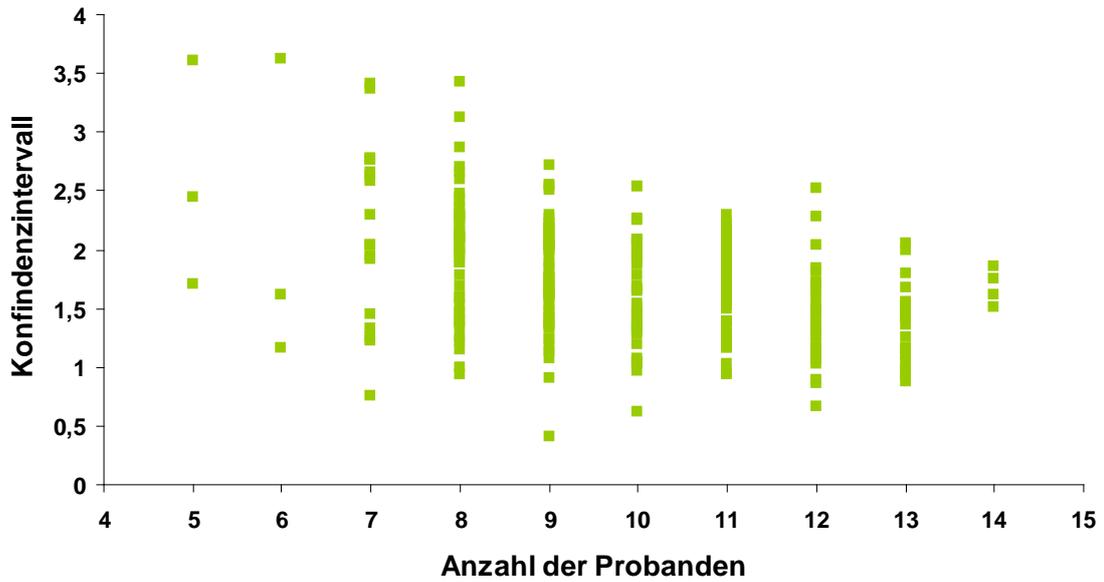


Abbildung 5-40: Anzahl der Probanden und 90 %iger Konfidenzintervall aus der Bewertung der empfundenen Intensität

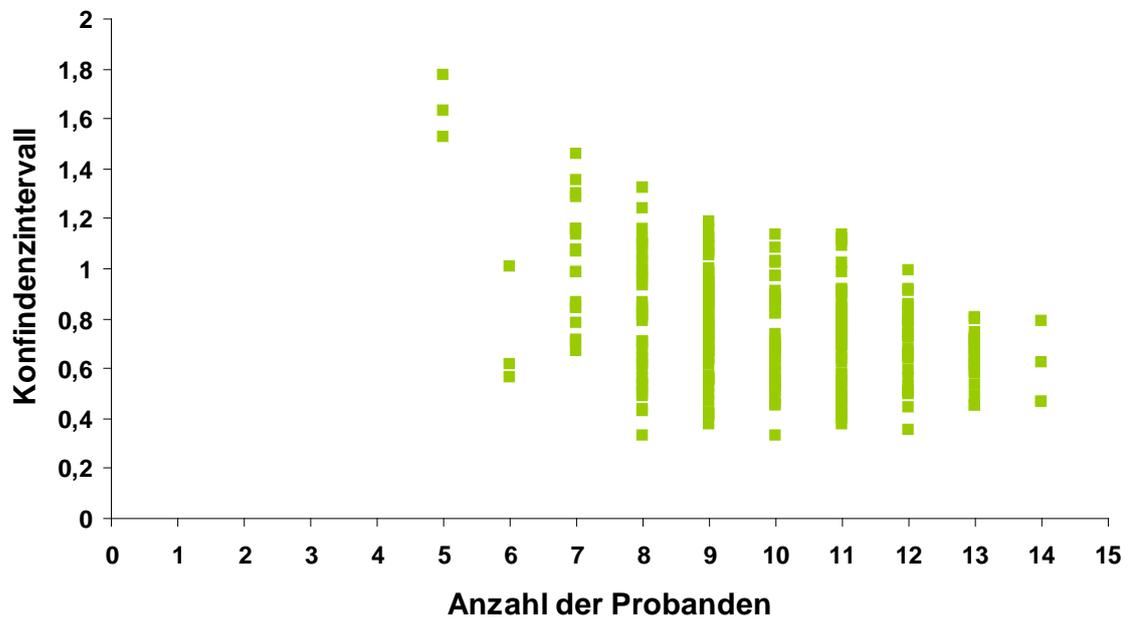


Abbildung 5-41: Anzahl der Probanden und 90 %iger Konfidenzintervall aus der Bewertung der Hedonik mit Probanden mit Vergleichsmaßstab

5.1.6 SENSORISCHE UND ANALYTISCHE UNTERSUCHUNGEN VON BAUPRODUKTEN IN EINER 13 M³-KAMMER

Eine Reihe der sensorischen und analytischen Versuche hat sich auf den Vergleich der Einzelbaumaterialien und deren Kombination in einem realen Aufbau in der 13 m³-Kammer konzentriert.

5.1.7 UNTERSUCHUNG VON BAUPRODUKTEN IN DER 13 M³-KAMMER UND IM „REALEN“ RAUM

Wie bereits im Kapitel 4.9.1 „Untersuchung von Bauprodukten in der 13 m³-Kammer und im „realen“ Raum“ beschrieben, werden in der 13 m³-Kammer zwei reale Aufbauten des Fußbodens realisiert. Es handelt sich um einen realen Aufbau bestehend aus Fertigestrich, Belagsklebstoff und Teppichboden. Der zweite Aufbau besteht ebenfalls aus Trockenestrich und Belagsklebstoff, jedoch ist die letzte Schicht ein PVC-Belag. Mit diesen Kombinationen (realen Aufbauten) werden auch Emissionskammern beladen. Hier werden die CLIMPAQ des HRI und bei der BAM die 24-Liter Kammer sowie die CLIMPAQ der BAM eingesetzt. Alle Bauprodukte dieser Kombinationen sind bereits in früheren Untersuchungen im Rahmen dieses Projektes einzeln untersucht worden. Mit dieser Untersuchung war es möglich die ersten Erkenntnisse zu gewinnen, ob sich die Einzelbauproduktenbewertung in einer Kombinationsbewertung wiedefindet.

In Abbildung 5-42 sind die Ergebnisse der Kombination eines Fertigestrichs, Belagsklebstoffes und Teppichbodens im realen Aufbau in der 13 m³-Kammer, verglichen mit dem gleichen Aufbau und gleicher Beladung ($q = 7,4 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) in der CLIMPAQ des HRI sowie in der CLIMPAQ und im Exsikator der BAM, dargestellt. In dieser Abbildung sind auch die Ergebnisse für die in der Kombination verwendeten Einzelbauprodukte dargestellt.

Von den Untersuchungen der Einzelbauprodukte hatte nach 29 Tagen der Belagsklebstoff Nr. 3978 ($q = 2,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) eine Intensität von 12,5 pi. Dies ist die größte Intensität von den untersuchten Bauprodukten dieser Kombination. Der Teppichboden Nr. 4074 ($q = 1,7 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) erreichte eine empfundene Intensität von 5,6 pi. Der gleiche Teppichboden mit einem q von $7,4 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (in der Abbildung nicht dargestellt) wird am 29. Tag mit 2,3 pi bewertet. Der Fertigestrich Nr. 4073 ($q = 7,4 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) hatte vom 3. Tag an der Untersuchung eine sehr niedrige Intensität.

Der Versuch wurde am 13. Tag beendet und in der Abbildung das Ergebnis des 13. Tages mit 4,6 pi dargestellt.

Bei dem Vergleich der Intensitäten der Einzelbauprodukte mit der Kombination ist zu sehen, dass, obwohl der Kleber am intensivsten in der Einzeluntersuchung ist, sich seine Intensität in der Kombination nicht widerspiegelt. Das könnte damit zu erklären sein, dass bei einem Aufbau der Belagsklebstoff unter dem Bodenbelag aufgetragen wird und somit kein direkter Kontakt mit der Raumluft vorhanden ist. Auch der Kontakt mit dem Estrich wird einen Einfluss haben. Das heißt jedoch nicht, dass die Emissionen aus dem Belagsklebstoff vollständig durch den Teppichboden oder Estrich abgefangen werden. Es ist ein Beispiel, in welchem deutlich wird, dass bei Kombinationsversuchen mit realen Aufbauten, das Ergebnis der Kombination anders als die Ergebnisse der Einzelbauprodukte sein kann. In diesem Fall werden die Gerüche vermischt, die empfundene Intensität der Kombination der Bauprodukte ist geringer, als die des intensivsten Einzelproduktes. Was zu beachten wäre, sind die Reaktionen, die zwischen Kleber und Bodenbelag auftreten könnten. Dies wird in diesem Projekt nicht weiter untersucht.

Es ist wichtig darauf hinzuweisen, dass die untersuchte Kombination nicht das gleiche q hatte, wie die Einzeluntersuchung von Teppichboden und Belagsklebstoff. Die Intensität der Kombination in anderen Kammern lag zwischen 5 und 6 pi, was sich an die Intensität des Teppichbodens mit q von $1,7 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ angleicht. Die Kombination aufgebaut in einem Raum mit Möbeln (13 m^3 -Kammer mit tapezierten Wänden), hatte am 29. Tag eine Intensität von 9,7 pi und am 31. Tag nur noch 6,8 pi.

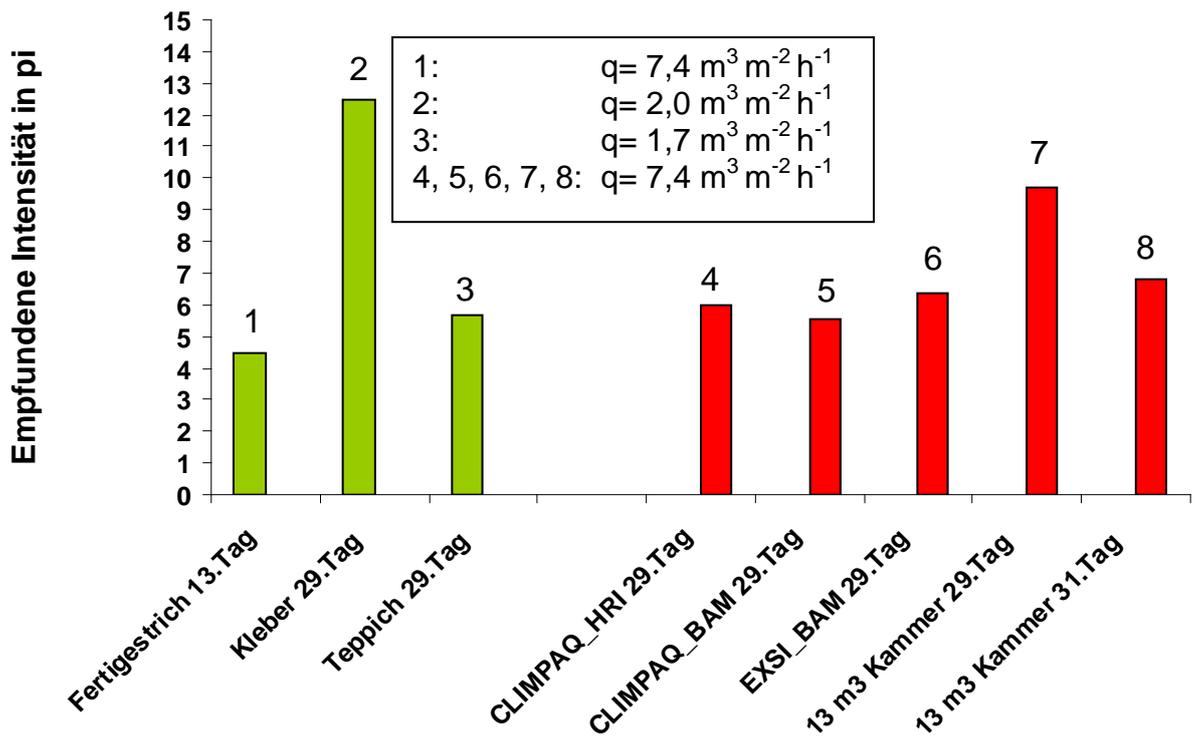


Abbildung 5-42: Ergebnisse der Untersuchung von einer Kombination von Bauprodukten (Fertigestrich, Belagsklebstoff, Teppichboden)

Die zweite Kombination (Fertigestrich, Belagsklebstoff, PVC-Belag) wird ebenfalls in der 13 m³-Kammer untersucht ($q = 7,4 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$). Dieses Mal werden die Möbel nach Fertigstellung des Fußbodens nicht in die Kammer gestellt. Diese Kombination wird zusätzlich in der CLIMPAQ des HRI ($q = 1,56 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) und in der 24-L-Kammer der BAM ($q = 1,56 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) untersucht. Von den Einzelbauprodukten werden nur das PVC Nr. 4101 in der CLIMPAQ des HRI ($q = 1,56 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) separat untersucht, da die anderen Einzelbauprodukte bereits untersucht worden sind. Die Ergebnisse der Kombination und der Vergleich zu den anderen Kammern und Einzelbauprodukten sind in Abbildung 5-43 dargestellt. Sie zeigen, dass die Intensität des realen Aufbaus in der 13 m³-Kammer der Intensität des PVC in der Einzeluntersuchung sehr ähnlich ist, auch wenn sich das q unterscheidet. Ähnliche Ergebnisse werden auch bei dem Vergleich der unterschiedlichen Kammern beobachtet.

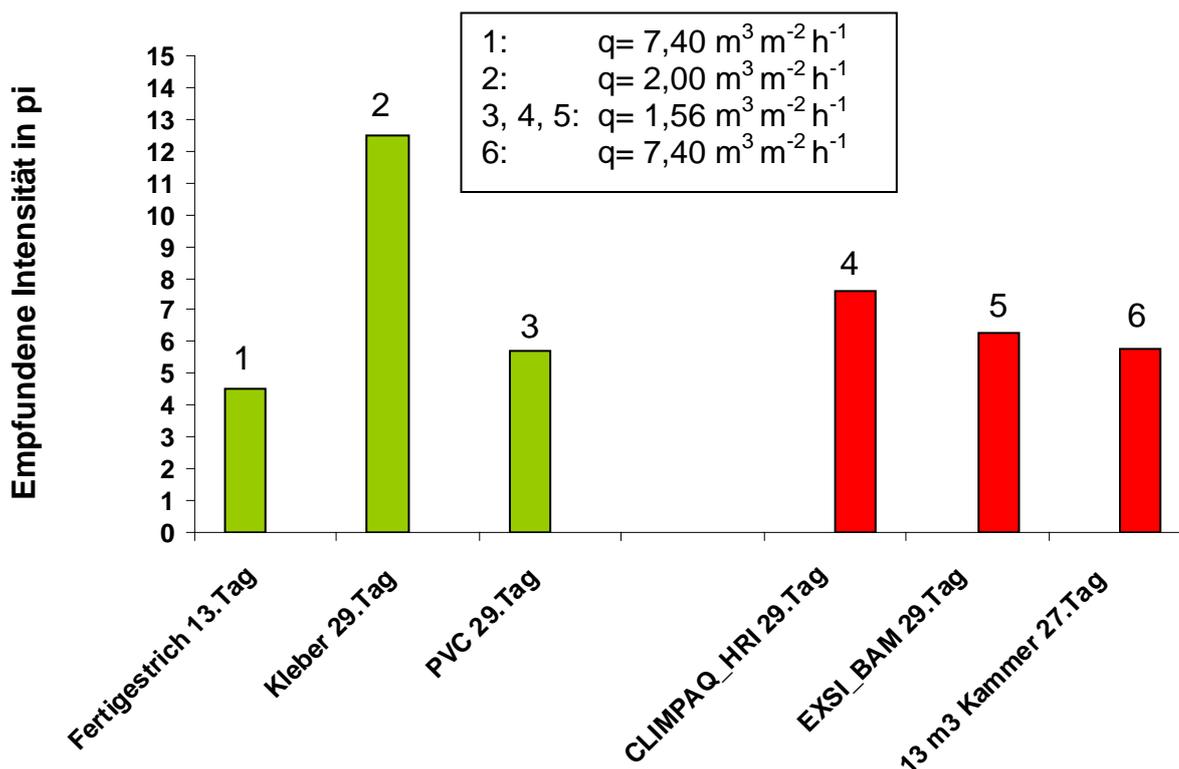


Abbildung 5-43: Ergebnisse der Untersuchung von einer Kombination von Bauprodukten (Fertigestrich, Belagsklebstoff, PVC)

Für einen Vergleich der chemischen Emissionen war das Emissionspotential dieser Kombinationen nicht hoch genug. Die wenigen, eindeutig nachweisbaren Komponenten waren zumeist in Konzentrationen deutlich unter $50 \mu\text{g m}^{-3}$ vorhanden. Bei diesen Konzentrationsbereichen liegen übliche Messfehler bei Vergleichen völlig unterschiedlicher Kammern selbst bei Ringversuchen [39] häufig bei 50 %. Ähnliche Werte werden auch hier gefunden. So führt der direkte Vergleich z. T. zu nicht eindeutigen und schwer interpretierbaren Abbildungen.

Neben den Untersuchungen in den 13 m^3 -Kammern wird auch ein Versuch in einem realen Büro am HRI, wie im Kapitel 4.9.1 „Untersuchung von Bauprodukten in der 13 m^3 -Kammer und im „realen“ Raum“ beschrieben, durchgeführt. In ein möbliertes Büro am HRI wird ein PVC-Belag (Nr. 4199) – ohne den Belag zu verkleben – verlegt. Das gleiche Bauprodukt wird in einer CLIMPAQ sensorisch und analytisch untersucht. Die Beladung mit dem PVC-Belag in der CLIMPAQ entspricht nicht der Beladung des realen Raumes. Damit sollen auch die ersten Erkenntnisse gewonnen werden, ob und inwieweit Kammerversuche, also die Untersuchung eines Bauproduktes unter vorgegebener flächenspezifischer Durchflussrate q in einer Emissionskammer, auf einen realen (auch möblierten) Raum übertragen werden können.

In Abbildung 5-44 sind die Ergebnisse dieses Versuchs dargestellt. Die Intensität der Büroluft mit bestehendem Bodenbelag und Einrichtung (vor der Verlegung des PVC-Belags) wird mit 3,6 pi bewertet. 28 Tage nach Verlegung des PVC ist die Intensität auf 4,7 pi gestiegen. Die empfundene Intensität des PVC-Belags Nr. 4199, welcher in der CLIMPAQ des HRI untersucht wird, beträgt 9,1 pi. Die Hedonik, rechts in der Abbildung 5-44 dargestellt, verschlechtert sich deutlich von ca. Null auf -1,5 nach Einbringung des PVC-Belages im Raum. Es wird deutlich, dass die Ergebnisse der Kammeruntersuchungen dieses Beispiels nicht unmittelbar den Ergebnissen des realen Raumes, in dem das Bauprodukt verlegt ist, entsprechen. Dies war bei einem vollständig eingerichteten Raum, in dem nur der Fußbodenbelag ausgetauscht wird, auch nicht zu erwarten. Um die Übertragung der Kammerversuche auf einen realen Raum besser verstehen zu können, sind weitere Untersuchungen erforderlich.

Der Vergleich der chemischen Analyse für PVC-Belag Nr. 4199 in der CLIMPAQ am HRI und dem Büroraum am HRI ist der Abbildung 5-48 im Kapitel 5.1.8 „Untersuchung von Kombinationen von Bauprodukten“ zu entnehmen.

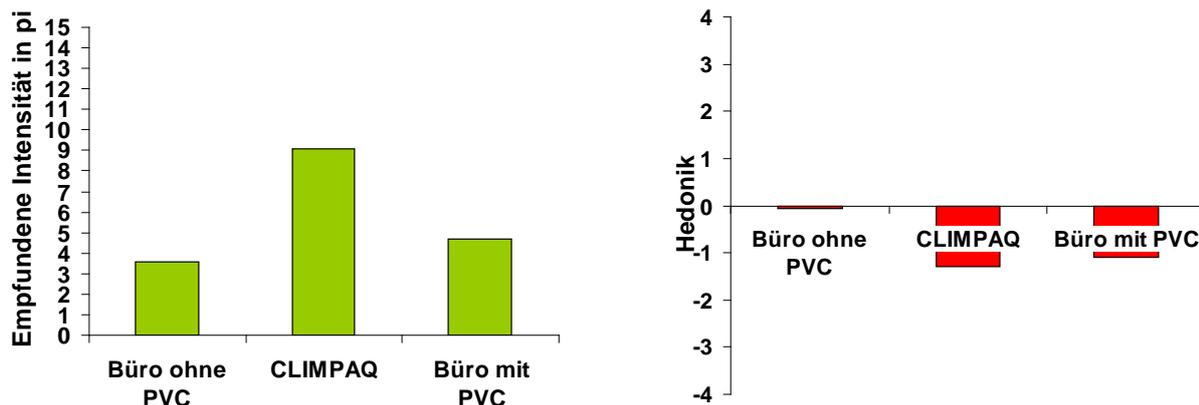


Abbildung 5-44: Vergleich der empfundenen Intensitäten und Hedonik in realen Büro

5.1.8 UNTERSUCHUNG VON KOMBINATIONEN VON BAUPRODUKTEN

Es werden Kombinationen zweier unangenehmer und eines unangenehmen mit einem angenehmen (geruchsarmen) Bauprodukt über 29 Tage untersucht. Die Auswahl der Bauprodukte für diesen Versuch erfolgt aus schon gewonnenen Daten (vor allem Hedonik) aus den Produktuntersuchungen. Die Kombination wird mit der gleichen flächenspezifischen Durchflussrate q der Einzelbewertungen durchgeführt.

Von beiden Bauprodukten wird jeweils die Hälfte der notwendigen Emissionsfläche, hier unangenehmer Teppich (Nr. 4200) mit angenehmen PVC (Nr. 4201), beladen. Die Bauprodukte werden für diesen Versuch neu gekauft, d. h. es handelt sich nicht um die gleichen Chargen der Bauprodukte, die bereits einzeln untersucht worden waren. Die Kombination aus zwei unangenehmen Bauprodukten findet ebenfalls bei dem q der Einzelbewertung von $1,56 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ statt. Es werden die unangenehmen Bauprodukte Teppich (Nr. 4200; wie aus der vorherigen Kombination) und der PVC-Belag (Nr. 4199) verwendet.

Zur Untersuchung von Kombinationen von Bauprodukten, wie im Kapitel 4.9.2 „Untersuchung von Kombinationen von Bauprodukten“ beschrieben, werden CLIMPAQs verwendet.

In Abbildung 5-45 sind die empfundenen Intensitäten und die Hedonik einer Kombination zweier als unangenehm bewerteter Bauprodukte nach 28 Tagen dargestellt. Bei der Einzeluntersuchung werden der Teppichboden und der PVC-Belag als unangenehm bewertet. Der PVC-Belag ist dabei intensiver als der Teppichboden. Die Intensität der Kombination liegt zwischen der Intensität der Einzelbauprodukte. Die Hedonik ist negativ. Sie ist ähnlich der Hedonikbewertung des Teppichbodens.

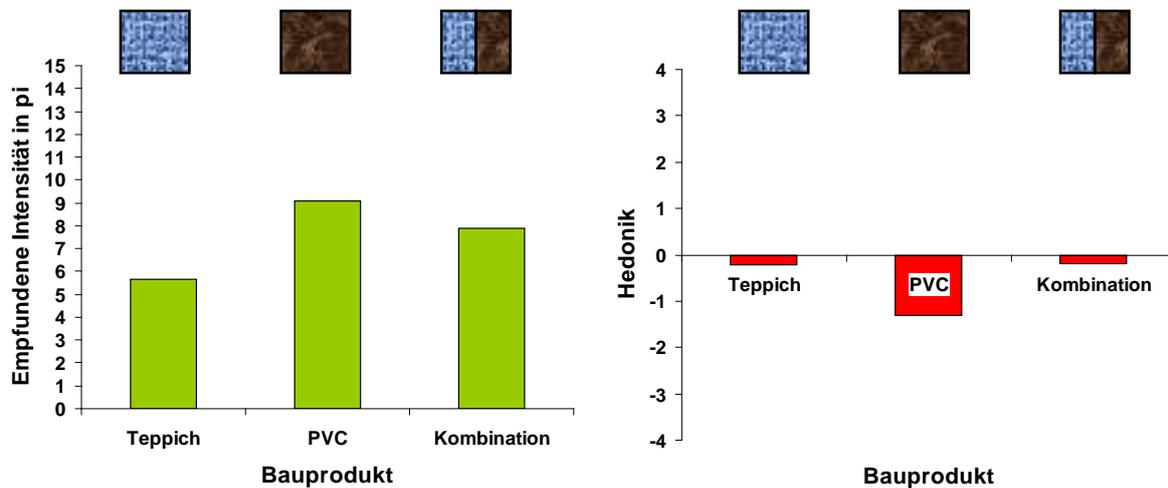


Abbildung 5-45: Empfundene Intensität und Hedonik einer Kombination zweier als unangenehm bewerteter Bauprodukte

In Abbildung 5-46 sind die empfundenen Intensitäten und die Hedonik einer Kombination eines als unangenehm bewerteten mit einem als angenehm bewerteten Bauprodukt dargestellt. Die Intensität der Kombination ist niedriger als die

Intensitäten der Einzeluntersuchung der Bauprodukte und die Hedonik ist positiv. Dies könnte daran liegen, dass die Materialien jeweils, wie in Abbildung 5-46 dargestellt, nur zur Hälfte eingebracht werden.

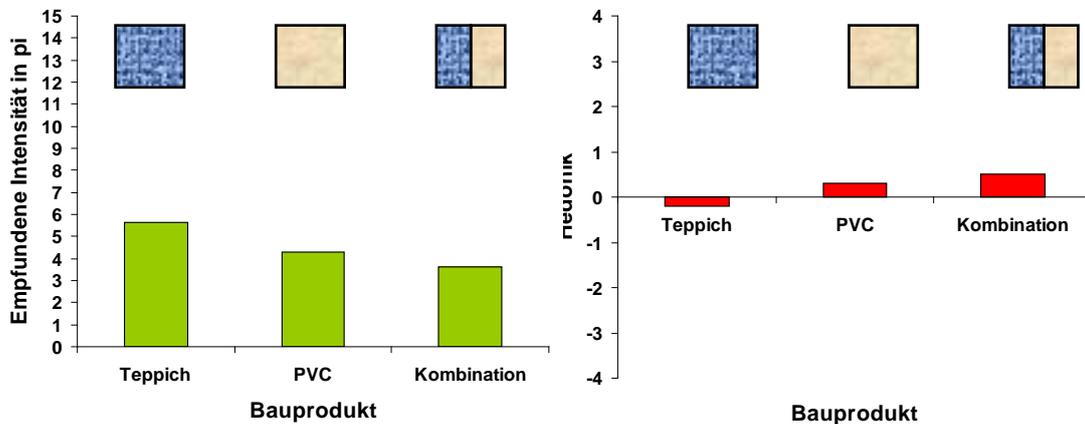


Abbildung 5-46: Empfundene Intensität und Hedonik einer Kombination eines als unangenehm und eines als angenehm bewerteten Bauproduktes

Für den chemisch analytischen Vergleich der Kombinationen Nr. 4199 und Nr. 4200 und Nr. 4200, Nr. 4201 werden für die hier stattfindenden Betrachtungen lediglich die TVOC-Werte verglichen. Dies erscheint sinnvoll, da das Chromatogramm der jeweiligen Kammermessungen aus eher unspezifischen Alkanbergen besteht, wie in Abbildung 5-47 dargestellt. Dabei kann davon ausgegangen werden, dass einzelne Komponenten aus diesem Mix zu einem deutlichen Geruch des Belags beitragen, ohne dass sie sich eindeutig identifizieren lassen.

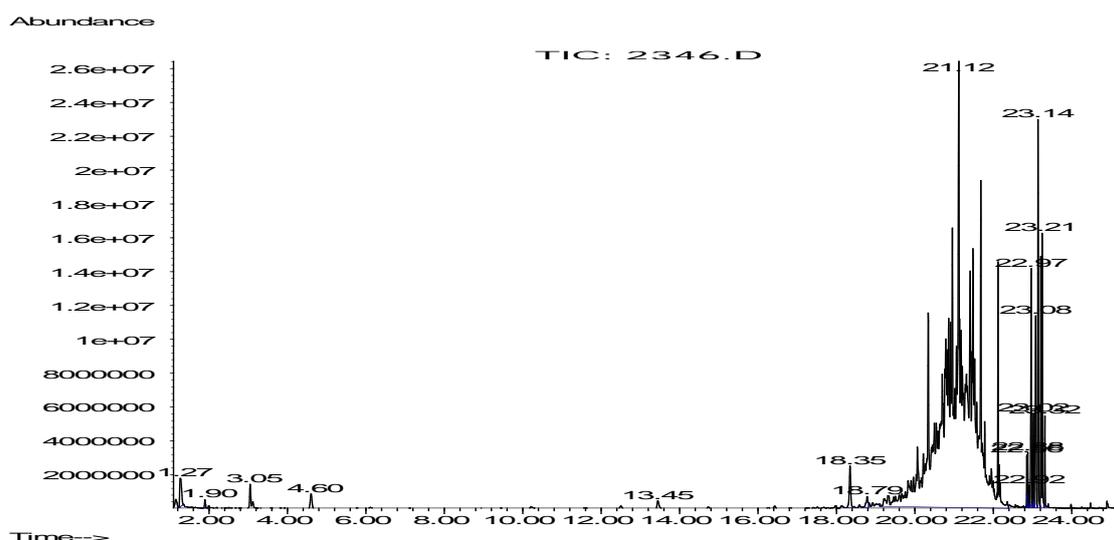


Abbildung 5-47: Chromatogramm des PVC-Bodenbelags Nr. 4199 in der CLIMPAQ des HRI am 29. Tag

Die TVOC-Auswertungen über eine Berechnung nach der Methode der Toluoläquivalente (TÄ) sind in Abbildung 5-48 dargestellt. Dabei sind die farblich voll ausgefüllten Punkte der Mittelwert der jeweiligen Doppelbestimmungen und deren Einzelwerte sind durch die pastellgefüllten Punkte gekennzeichnet. Bei der Bestimmung gemäß TÄ wird das Chromatogramm so ausgewertet, dass alle nachweisbaren Komponenten über den Response des Toluol berechnet werden. Diese Abbildung zeigt deutlich, dass der sehr intensiv riechende Bodenbelag 4199 auch die höchsten TVOC-Werte enthält. Die Kombination von 4199 mit dem geruchlich auch auffälligen textilen Bodenbelag 4200 führt jedoch zu deutlich verminderten VOC-Emissionen, die im wesentlichen auf die verminderte Beladung mit dem PVC 4199 zurückzuführen sind. Bei der zweiten Kombination, welche hier verglichen wird, zeigt der auffällig riechende Teppichboden (Nr. 4200) mit einem kaum riechenden PVC-Boden (Nr. 4201) nur sehr geringe TVOC-Emissionen. Hier ist jedoch in deutlichen Mengen die Komponente 4-PCH enthalten, die den intensiven Teppichbodengeruch bestimmt (siehe Abbildung 5-49). Somit reichen im Vergleich wesentlich niedrigere Konzentrationen dieser Verbindung aus, um einen deutlichen Geruch zu generieren. Im Zusammenhang mit dem stark riechenden PVC (Nr. 4199) fällt der Einzelgeruch des 4-PCHs möglicherweise weniger auf. In der Abbildung 5-49 wird deutlich, dass in beiden Untersuchungen mit dem Teppichboden in der CLIMPAQ in etwa die gleiche Menge an 4-PCH vorhanden waren, unabhängig von der Anwesenheit eines weiteren Produkts in der CLIMPAQ.

Es wird deutlich, dass das Thema der Materialkombinationen noch eine große Herausforderung darstellt. Die ersten, hier vorgestellten, Bewertungen von Materialkombinationen lassen noch keine abschließenden Aussagen zu.

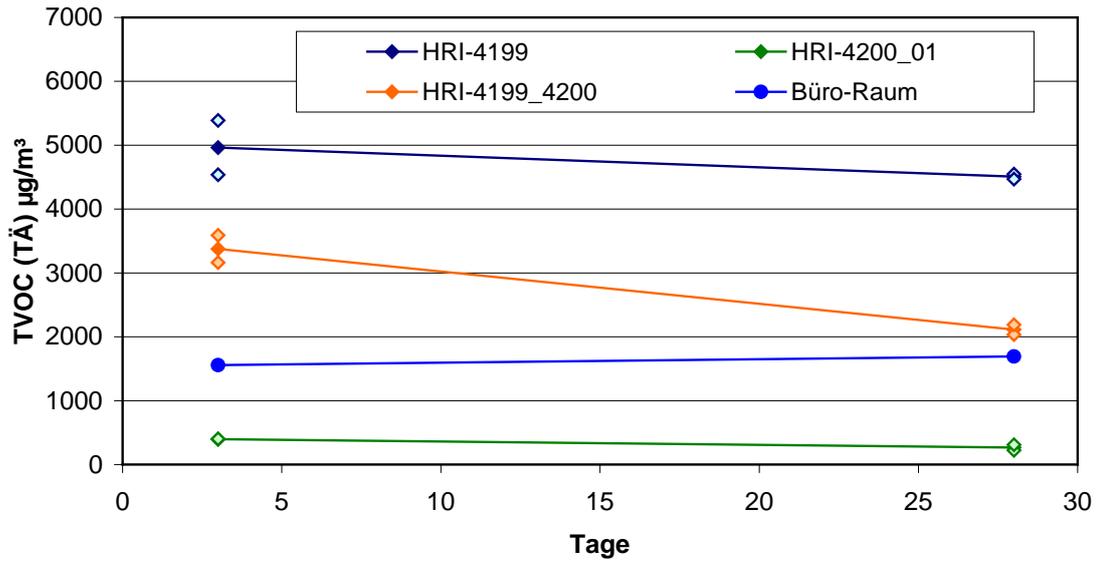


Abbildung 5-48: Verlauf der Kombinationsuntersuchungen in den CLIMPAQs des HRI. In den Büroraum ist der Belag 4199 eingebracht. Angegeben die TVOC Werte in Tolouläquivalenten (TÄ) kalibriert.

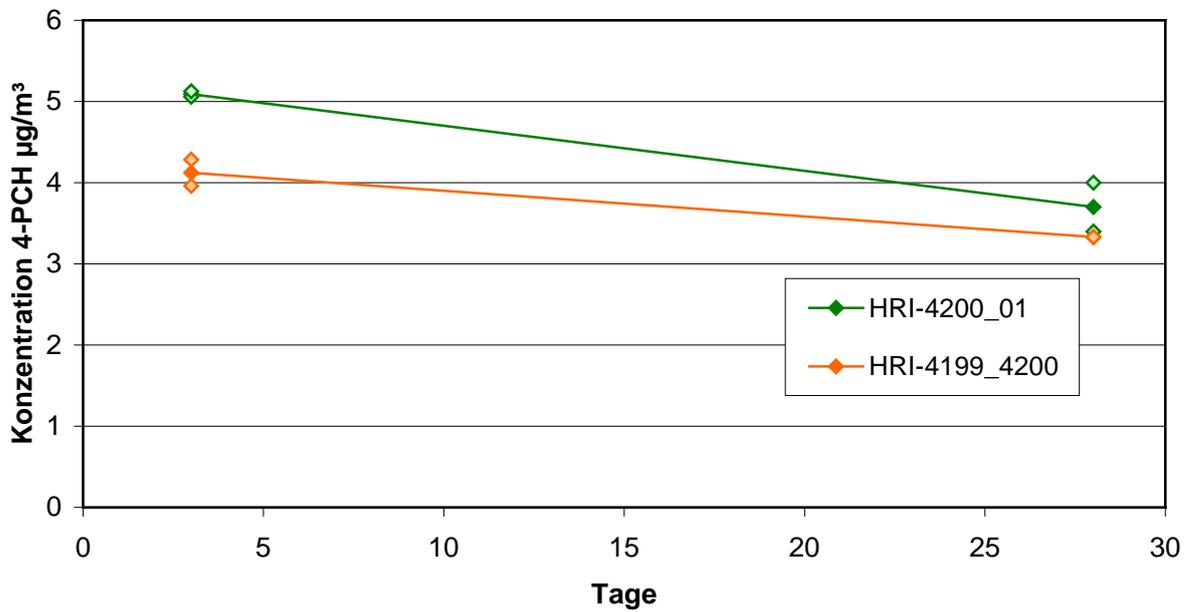


Abbildung 5-49: Verlauf der 4-PCH-Konzentrationen bei den Produkt-Kombinationen in den CLIMPAQs des HRI

5.2 ABLEITUNG EINES BEWERTUNGSMAßSTABES

5.2.1 ANFORDERUNGEN AN DIE BEWERTUNGSMETHODE BEZÜGLICH DER EMPFUNDENEN INTENSITÄT

Nach der Auswertung der in diesem Projekt gesammelten Daten wird deutlich, dass die empfundene Intensität als eine Stärke des Geruchs für die sensorische Bewertung der Bauprodukte am besten geeignet ist. Die empfundene Intensität sagt nichts über die hedonische Note des Geruchs aus. Was intensiv riecht, ist nicht zwingend unangenehm. Deswegen wird neben der empfundenen Intensität auch die Hedonik als eine sensorische Größe zur Bewertung der Bauprodukte miteinbezogen.

Bei Bauprodukten ist sehr gut zu beobachten, dass die Hedonik mit steigender Intensität kleiner wird. Das heißt, dass mit steigender Intensität die Probanden die Bauproduktemissionen als unangenehmer empfinden (siehe Abbildung 5-7 im Kapitel 5.1 „Sensorische und analytische Untersuchung von Bauprodukten“). Das ist ein Unterschied zu den Untersuchungen mit den Basisgerüchen, wie bereits im Kapitel 5.1 beschrieben. Es wird deutlich, dass nicht für jeden Basisgeruch die Hedonik mit steigender Intensität sinkt (siehe dazu Abbildung 5-9 im Kapitel 5.1).

Wie im vorherigen Kapitel beschrieben, hat die empfundene Intensität bezogen auf die Skalengröße, die kleinste Standardabweichung. Zur Ermittlung der empfundenen Intensität ist daher, im Vergleich zur Ermittlung der Akzeptanz, eine kleinere Probandengruppe notwendig. Diese Gruppe arbeitet mit einer Referenz, hier mit dem Vergleichsmaßstab, wodurch kleinere Standardabweichungen entstehen.

Bei der Grenzwertsetzung von sensorischen Größen ist es notwendig, nicht nur mit einer festen Angabe des Wertes sondern mit der Angabe möglicher oberer und unterer Grenzen des Intervalls zu arbeiten. Ermittelt aus den Daten, liegt der tatsächliche Wert der empfundenen Intensität einer Luftprobe (Bauprodukt) im Intervall von -2 bis $+2$ σ um den durch Probanden ermittelten Mittelwert.

Die Ableitung der Grenze der empfundenen Intensität für die sensorische Prüfung von Bauprodukten wird über den Zusammenhang der empfundenen Intensität und der Zumutbarkeit, unter der Berücksichtigung des 90 %igen Konfidenzintervalls, durchgeführt (dazu siehe Kapitel 5.2.2 „Vorschlag zur Definition der Zumutbarkeitsschwelle für die Zulassung von Bauprodukten“).

5.2.2 VORSCHLAG ZUR DEFINITION DER ZUMUTBARKEITSSCHWELLE FÜR DIE ZULASSUNG VON BAUPRODUKTEN

Ein Vorschlag zur Definition einer Zumutbarkeitsschwelle für sensorische Bewertungen ist die Festlegung eines PD-Wertes (siehe Kapitel 3.3.2 „Akzeptanz“). PD-Werte werden auch in Normen als Kriterium oder Grenze herangezogen. So wird beispielsweise in der Bewertung der thermischen Behaglichkeit im Raum nach DIN EN ISO 7730 [40] mit PD-Werten gearbeitet. In der thermischen Behaglichkeit beträgt der höchste vorkommende PD-Wert bei der dortigen Klasseneinteilung 30 %.

Wie bereits im Kapitel 4.6.2 „Probandengruppe ohne Vergleichsmaßstab“ beschrieben ist, bewertet die Probandengruppe ohne Vergleichsmaßstab die Akzeptanz, die Zumutbarkeit und die Hedonik einer Luftprobe. In diesem Projekt wurde zum ersten Mal die Frage der Zumutbarkeit bei der sensorischen Untersuchung von Bauprodukten herangezogen.

In Abbildung 5-50 ist der Zusammenhang zwischen Zumutbarkeit und PD-Wert, welcher aus der Akzeptanz berechnet wird (siehe Formel 3-2 im Kapitel 3.3.2), dargestellt. Legt man durch alle gesammelten Daten einen linearen Trend, so erkennt man, dass der PD-Wert eine andere Bewertung ergibt, als die Frage nach der Zumutbarkeit. So erklären beispielsweise bei einem PD-Wert von 30 % (d. h. 70 % der Probanden akzeptieren die Luftprobe) ca. 80 % der befragten Probanden, dass die Luftprobe als tägliches Arbeitsumfeld zumutbar ist. An dieser leichten Verschiebung erkennt man deutlich, dass im deutschen Sprachgebrauch eine Unterscheidung zwischen Akzeptanz und Zumutbarkeit gemacht wird. Die Zumutbarkeit ist noch einmal ein härteres Kriterium.

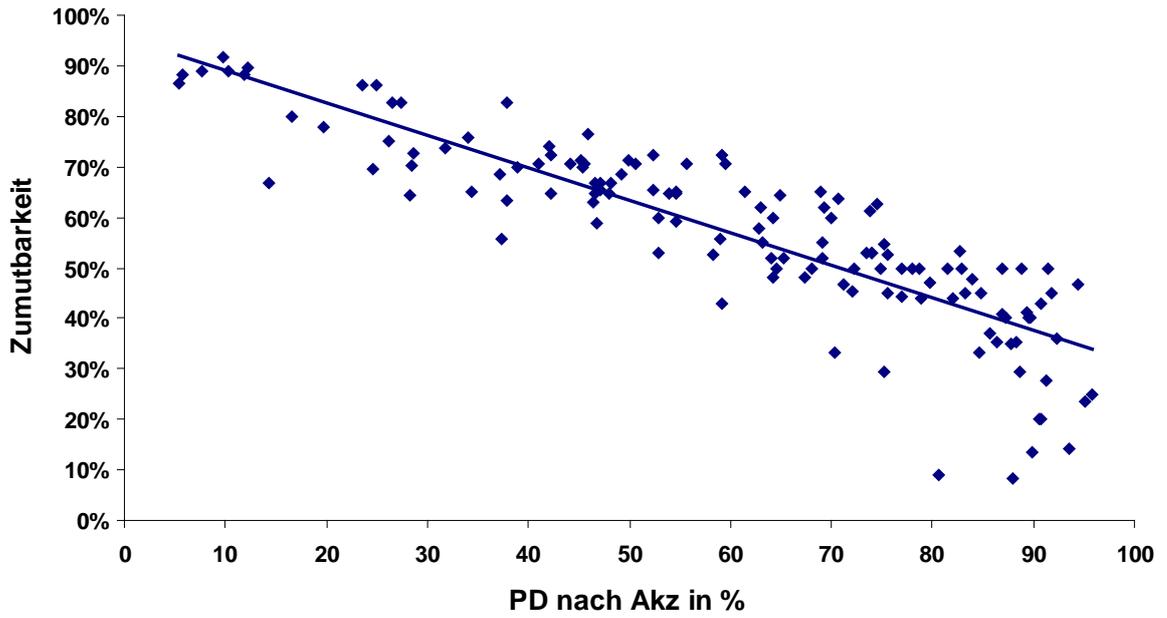


Abbildung 5-50: Zusammenhang zwischen Zumutbarkeit und dem Prozentsatz Unzufriedener (PD-Wert)

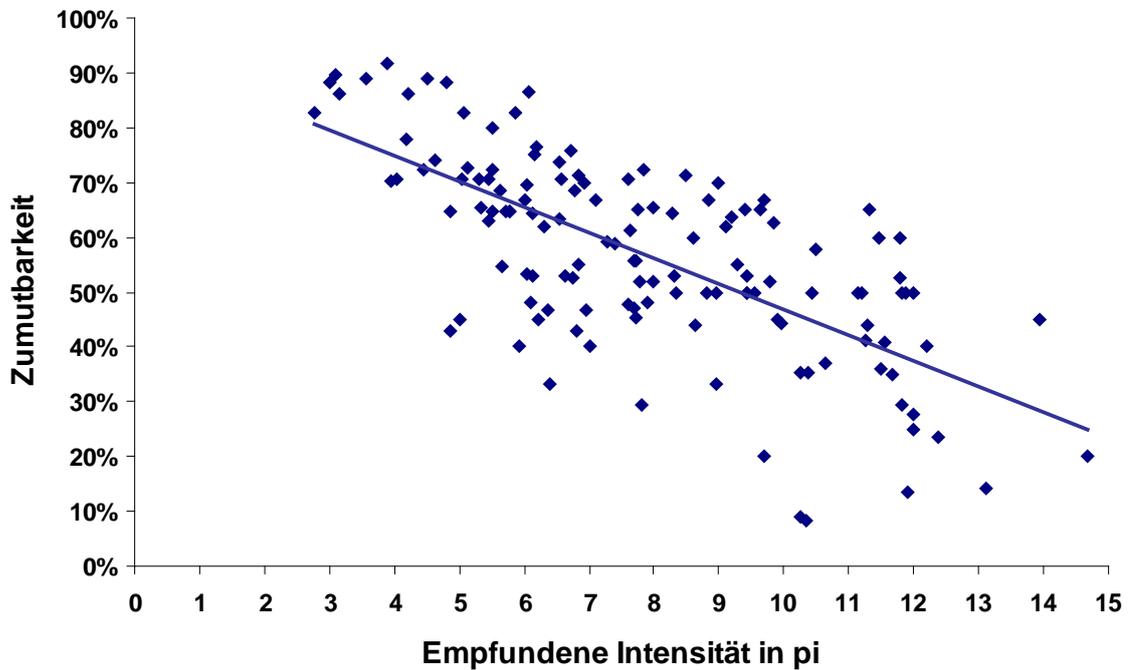


Abbildung 5-51: Zusammenhang zwischen Zumutbarkeit und empfundener Intensität

In Abbildung 5-51 ist der Zusammenhang zwischen Zumutbarkeit und empfundener Intensität dargestellt. Es ist erkennbar, dass bei einer Zumutbarkeit von 80 %, was dem PD-Wert von 30 % entspricht, sich für die empfundene Intensität ein Wert von ca. 3 pi ergibt. Dabei wird die Intensität von ca. 3 pi von nur einem Bauprodukt erreicht.

5.2.3 ABLEITUNG EINER BEWERTUNGSMETHODE FÜR DEN BLAUEN ENGEL

Für die Integration der sensorischen Prüfung in das AgBB-Schema und in die Vergabekriterien des Blauen Engels, wird die Bestimmung der empfundenen Intensität in pi und die Hedonik vorgeschlagen. Die Hedonik korreliert in den untersuchten Fällen sehr gut mit der empfundenen Intensität (siehe Abbildung 5-52), wobei sich ein linearer Zusammenhang erkennen lässt.

Für den Blauen Engel könnte es je Produktgruppe unterschiedliche Grenzen der empfundenen Intensität und der Hedonik geben. Ein erster Vorschlag für mögliche Grenzen, hier zunächst für alle Produktgruppen, ist für die empfundene Intensität 7 pi (5 pi + 2 pi als Sicherheit, Kapitel 5.1.5 „Mindestanforderungen an die Größe der Probandengruppe“) und für die Hedonik -1 (0 +/-0,8, gerundet auf -1) (siehe dazu Abbildung 5-53). Die Ableitung der Werte ergibt sich aus der Annahme, dass für den hier dargestellten Vorschlag eine Zumutbarkeit von 70 % angesetzt wird. Dieser Wert unterscheidet sich von den in der Raumluftechnik verwendeten PD-Werten, da die Bewertung der Bauprodukte direkt an den Emissionskammern durchgeführt werden und nicht, wie in der Raumluftechnik, im Raum. Das Verhalten der Bauprodukte im Raum und deren Kombinationen muss noch detaillierter untersucht werden. Erste Untersuchungen dazu sind in Kapitel 5.1.6 „Sensorische und analytische Untersuchungen von Bauprodukten in einer 13 m³-Kammer“ zu finden.

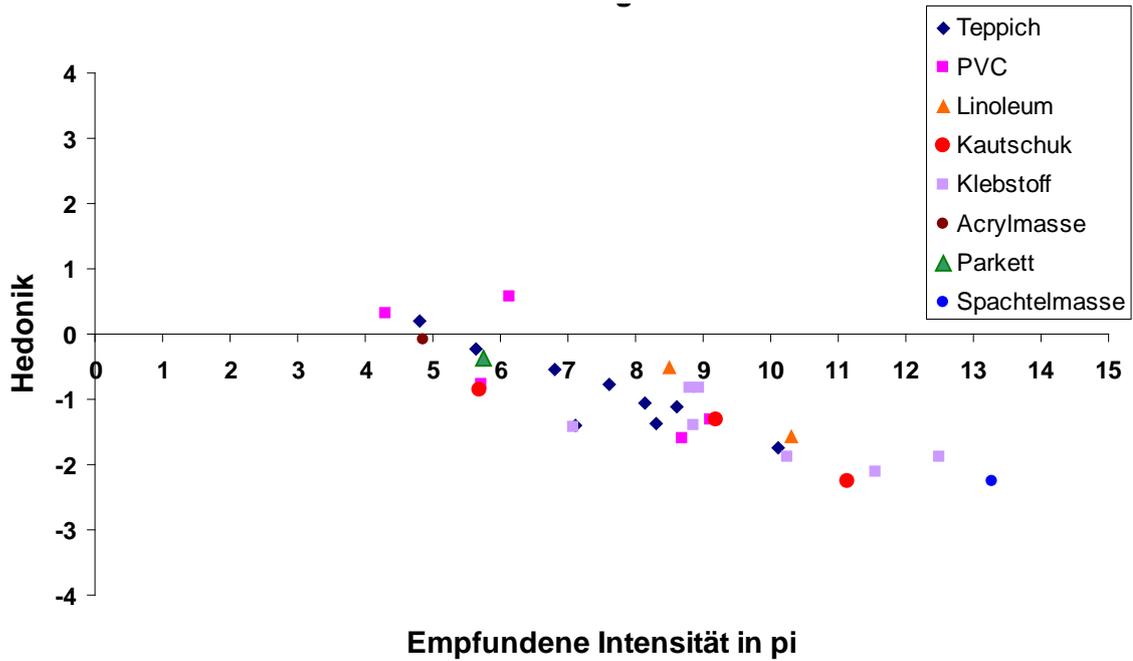


Abbildung 5-52: Zusammenhang zwischen empfundener Intensität und Hedonik für Bauprodukte am 28.Tag

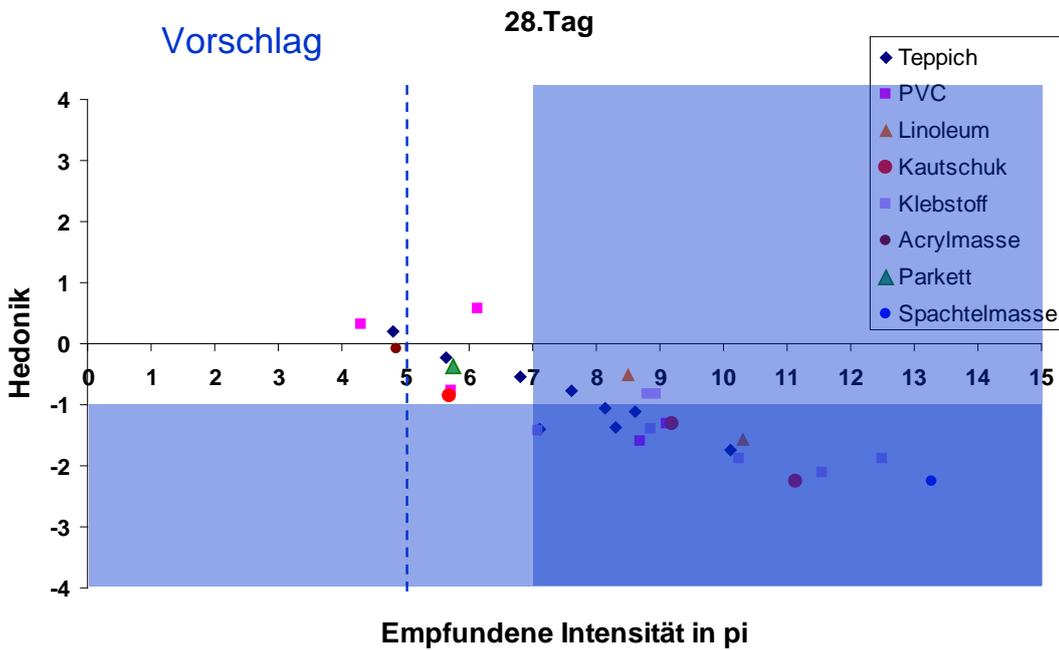


Abbildung 5-53: Vorschlag der sensorischen Grenzen für die Vergabe des Blauen Engels

Für die Integration der sensorischen Prüfung in das AgBB-Schema wird eine Zumutbarkeit von 50 % angesetzt. Es leiten sich daraus eine höhere empfundene

Intensität und eine niedrigere Hedonik ab, da das Umweltzeichen Blauer Engel vor allem überdurchschnittliche Produkte auszeichnet. Diese Grenzen sind der Abbildung 5-54 zu entnehmen. Sie liegen bei einer empfundenen Intensität von 9 pi (+/- 2 pi) und einer Hedonik von -1,2 +/- 0,8.

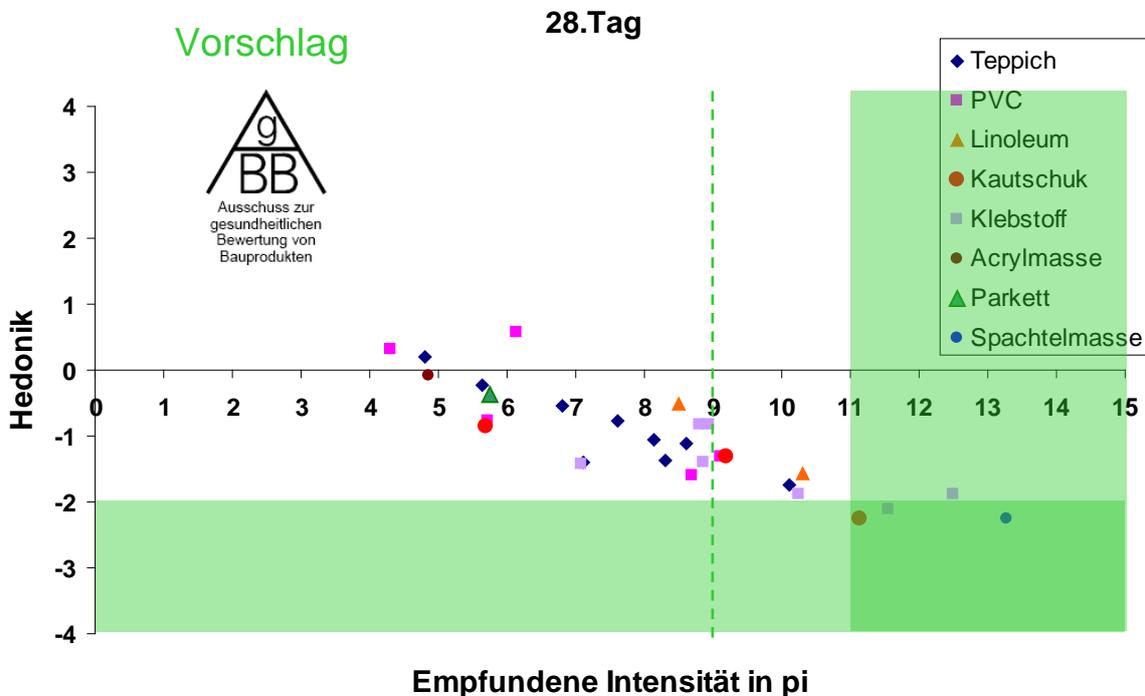


Abbildung 5-54: Vorschlag der sensorischen Grenzen für das AgBB-Schema

In Tabelle 5-5 bis Tabelle 5-8 sind die Zulassungskriterien sowohl für die Analytik (DIBt, Umweltzeichen Blauer Engel (UZ), AgBB) als auch für die sensorischen Bewertungen aller untersuchter Bauprodukte nach Materialklassen sortiert angegeben. Ob das jeweilige Bauprodukt die Prüfung bestanden oder nicht bestanden hat, ist entsprechend markiert. In der Tabelle 5-2 sind die jeweiligen Anforderungen für AgBB, DIBt und Umweltzeichen (UZ) für die einzuhaltenden Werte nach 3 bzw. 28 Tagen aufgelistet. Die Unterschreitung der Werte des dritten Tages ist relevant, um weiterprüfen zu können. Die Unterschreitung der Werte des 28. Tages ist für ein erfolgreiches Bestehen der Prüfungen nötig.

Für das erfolgreiche Bestehen der Kriterien des Ü-Zeichens (DIBt) oder auch für das einiger UZs ist ein vorzeitiger Abbruch möglich. In der Tabelle 5-3 sind die jeweiligen Kriterien zusammengefasst. Beim Ü-Zeichen und UZ 113, 120 bzw. 128 kann unter Einhaltung der angeführten Bedingungen nach 7 Tagen die

Emissionsprüfung vorzeitig abgebrochen werden, wenn keine Zunahme der Emissionen vom 3. bis zum 7. Tag feststellbar ist. Eine Sonderregelung gilt für textile Bodenbeläge, die sowohl für das Ü-Zeichen als auch für das UZ-128 die Möglichkeit einräumen, bei Einhaltung entsprechender Grenzwerte die Untersuchungen nach einem dreitägigen Messzeitraum vorzeitig abzubrechen.

Tabelle 5-2: Grenzwerte nach 3 und 28 Tagen für DIBt (AgBB) und den produktbezogenen Umweltzeichen. Angaben in mg/m³.

Tag		TVOC (C ₆ - C ₁₆)	Σ SVOC (C ₁₆ - C ₂₂)	R	Σ VOC ohne NIK	C-Stoffe
3.	AgBB (DIBt)	≤ 10				≤ 0,01
	UZ-113 Kleber	≤ 1				≤ 0,01
	UZ-120 Bodenbeläge	≤ 1,2				≤ 0,01
28.	AgBB (DIBt)	≤ 1	≤ 0,1	≤ 1	≤ 0,1	≤ 0,001
	UZ-38 Holz	≤ 0,3	≤ 0,1			≤ 0,001 [#]
	UZ-113 Kleber	≤ 0,1	≤ 0,05	≤ 1	≤ 0,04	≤ 0,001
	UZ-120 Bodenbeläge	≤ 0,36	≤ 0,04	≤ 1	≤ 0,1	≤ 0,001
	UZ-128 Teppich	≤ 0,1	≤ 0,03	≤ 1	≤ 0,05	≤ 0,001

[#]: Wert gilt für CMT-Stoffe

Tabelle 5-3: Grenzwerte für den erfolgreichen Abbruch nach 3 oder 7 Tagen bei DIBt und den produktbezogenen Umweltzeichen. Angaben in mg/m³.

Tag		TVOC (C ₆ - C ₁₆)	Σ SVOC (C ₁₆ - C ₂₂)	R	Σ VOC ohne NIK	C-Stoffe
3.	DIBt	≤ 0,3	≤ 0,03	≤ 0,3	≤ 0,05	≤ 0,001
	UZ-128 Teppich	≤ 0,25	≤ 0,03	≤ 1	≤ 0,05	≤ 0,001
7.	DIBt	≤ 0,5	≤ 0,05	≤ 0,5	≤ 0,05	≤ 0,001
	UZ-113 Kleber	≤ 0,1	≤ 0,05	≤ 1	≤ 0,04	≤ 0,001
	UZ-120 Bodenbeläge	≤ 0,36	≤ 0,04	≤ 1	≤ 0,1	≤ 0,001
	UZ-128 Teppich	≤ 0,1	≤ 0,03	≤ 1	≤ 0,05	≤ 0,001
Zusätzliche Anforderung: kein Konzentrationsanstieg zwischen dem 3. und 7. Tag						

Die Zeichenerklärung für die sensorische Prüfung und die chemischen Analysen ist der Tabelle 5-4 zu entnehmen. Dort wird die farbliche und zeichengebundene Markierung der jeweiligen Prüfungsergebnisse für die drei Messzeiträume 3., 7. und 28. Tag z. B. wird wie folgt vergeben: ein grüner Haken am dritten Tag für die Auswertung nach AgBB heißt, dass das Produkt zwar die Anforderungen für Tag drei einhält, aber weitergeprüft werden muss; ein rotes Kreuz zeigt an, dass das Kriterium nicht erfüllt wird usw. In Tabelle 5-6 ist für PVC eine Zeile für UZ eingefügt, diese gilt

streng genommen nur für die gemessenen Konzentrationen, PVC-Beläge sind im UZ 120 nicht geregelt. Sowohl für die DIBt-Prüfung als auch für einige UZs ist ein vorzeitiges Abbruchkriterium vorgesehen. Wenn ein vorzeitiger Abbruch möglich ist, ist dies in den letzten beiden Zeilen der Tabellen mit dem jeweilig möglichen Abbruchtag angegeben. In den letzten beiden Zeilen für den 28.Tag ist „7 pi \wedge -1“ bzw. „11 pi \wedge -2“ aufgeführt, dass sind die vorgeschlagenen sensorischen Bewertungen in Intensität (pi) und Hedonik (\wedge) nach AgBB bzw. den Vergabekriterien der UZs. Nähere Informationen zu den Vergabekriterien der Umweltzeichen stehen auf der Internetseite des Blauen Engels, unter www.blauer-engel.de zur Verfügung. In den folgenden Tabellen 5-5 bis 5-8 sind die hier beschriebenen Kriterien auf die untersuchten Produkte angewendet.

Tabelle 5-4: Zeichenerklärung für die sensorische Prüfung und die chemische Analyse

Zeichen	sensorische Prüfung	sensorische Prüfung	chemische Analyse
☑	Intensität (PI) – ja Hedonik (H) – ja	bestanden	bestanden
☒	PI – nein H – nein	nicht bestanden	nicht bestanden
☒ [^]	PI – nein H – ja	nicht bestanden	
☒	PI – ja H – nein	nicht bestanden	
☑ [#]			UZ-Kriterien bestanden, aber Produkte nicht im UZ geregelt
☒			gerade nicht bestanden
☒ [*]			spezieller Grenzwert 4-PCH
N			Vorzeitiger Abbruch nicht möglich

Tabelle 5-5: Zusammenfassung der Ergebnisse für Teppichböden

		08-3901 Teppich	08-3916 Teppich	08-3951 Teppich	08-3975 Teppich	08-3976 Teppich	09-4074 Teppich	09-4141 Teppich
3. Tag	AgBB	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
28. Tag	AgBB	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
	UZ 128	☒ [*]	☑	☑	☒ [*]	☒ [*]	☑	☒ [*]
	7 pi \wedge -1	☒	☒	☒	☒	☒	☑	☒ [^]
	11 pi \wedge -2	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
Vorzeitiger Abbruchtag	DIBt	3	N	3	3	3	3	3
	UZ 128	N	N	3	N	N	N	N

Tabelle 5-6: Zusammenfassung der Ergebnisse für PVCs

		08-3900 PVC	08-4015 PVC	09-4101 PVC	09-4161 PVC	09-4162 PVC	09-4199 PVC
3. Tag	AgBB	☑	☑	☑	☑	☑	☑
28. Tag	AgBB	☒	☑	☒	☑	☑	☒
	UZ 120#	☒	☑ [#]	☒	☑ [#]	☑ [#]	☒
	7 pi Δ -1	☒	☑	☑	☑	-	☒
	11 pi Δ -2	☑	☑	☑	☑	-	☑
Vorzeitiger Abbruchtag	DIBt	N	7	N	7	7	N
	UZ 120#	N	7	N	7	7	N

UZ 120 nicht gültig für PVC, hier nur zum Vergleich angegeben!

Tabelle 5-7: Zusammenfassung der Ergebnisse für Kautschuke, Ausgleichsmasse, Acryl und Parkett

		08-4014 Linoleum	08-3915 Kautschuk	08-3948 Kautschuk	08-4005 Kautschuk	08-3949 Ausgleichsm	08-4026 Acryl	09-4159 Parkett
3. Tag	AgBB	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
28. Tag	AgBB	☑	☒	☑	☑	☑	☒	☑
	UZ XXX#	☑	☒	☑	☑		☒	☑
	7 pi Δ -1	☒	☒	☑	☒	☒	☑	☑
	11 pi Δ -2	☑	☒	☑	☑	☒	☑	☑
Vorzeitiger Abbruchtag	DIBt	7	N	7	7	N	N	N
	UZ XXX#	7	N	7	7		N	7

UZ 38 für Linoleum und Parkett; UZ 120 für Kautschuk; UZ 123 für Acryl

Tabelle 5-8: Zusammenfassung der Ergebnisse für Belagsklebstoffe

		08-3950 Kleber	08-3977 Kleber	08-3978 Kleber	08-4003 Kleber	09-4033 Kleber	09-4061 Kleber	09-4290 Kleber
3. Tag	AgBB	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
28. Tag	AgBB	☑	☒	☒	☑	☒	☑	☑
	UZ 113	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☑
	7 pi Δ -1	☒	☒	☒	☒	☒ [^]	☒	☒
	11 pi Δ -2	☑	☑	☑	☒	☑	☒ [^]	☒
Vorzeitiger Abbruchtag	DIBt	N	N	N	N	N	N	N
	UZ 113	N	N	N	N	N	N	N

6 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Emissionen aus Bauprodukten beeinträchtigen die Qualität der Innenraumluft erheblich. Mit Hilfe des AgBB-Schemas werden die Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) aus Bauprodukten bewertet. Die gesundheitliche Bewertung nach dem AgBB-Schema erfordert produktspezifische Messverfahren. Diese gibt es mittlerweile für eine Reihe von Produkten. Sie wurden durch Beteiligung verschiedener Forschungseinrichtungen und Messinstitute validiert und u. a. in die Vergabekriterien des Umweltzeichens Blauer Engel übernommen. Die Bewertung ist allerdings – mit zumeist niedrigeren Grenzwerten – strenger, als nach AgBB-Schema.

Da VOC-Emissionen häufig mit Gerüchen einhergehen, die auch zu gesundheitlichen Belastungen führen können, ist die sensorische Prüfung ein wichtiges Element bei der Bewertung von Bauprodukten und vorsorglich auch im AgBB-Schema verankert. Bislang kann dieser Aspekt noch nicht in die tatsächliche Bewertung eingebracht werden, da noch kein abgestimmtes und allgemein anerkanntes Verfahren zur Verfügung steht [1].

Ziel dieses Projektes war, das entwickelte Geruchsmessverfahren im Forschungsvorhaben: Umwelt- und Gesundheitsanforderungen an Bauprodukte - Ermittlung und Bewertung der VOC-Emissionen und geruchlichen Belastungen (UFOPLAN-Nummer 202 62 320) [2] durch praktische Anwendung zu erproben und in das Schema des Ausschusses zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB-Schema) zu integrieren.

Der Blaue Engel – als freiwilliges Instrument des produktbezogenen Umweltschutzes – eignet sich für eine Einführung der Messung und Bewertung von Geruchsemissionen bei einer Produktgruppe.

Hauptziel des Projektes war es, eine Methode der sensorischen Bewertung und Grenzen für die Vergabe des Blauen Engels und für das AgBB-Schema abzuleiten. Es wurden dazu 33 Einzelbauprodukte sowohl sensorisch also auch zum großen Teil chemisch analysiert (siehe Kapitel 5.1 „Sensorische und analytische Untersuchung von Bauprodukten“). Des Weiteren wurden einige Kombinationen sowohl in den kleineren Emissionskammern als auch in der 13 m³-Kammer durchgeführt (siehe Kapitel 5.1.6 „Sensorische und analytische Untersuchungen von Bauprodukten in einer 13 m³-Kammer“). Zahlreiche Diskussionsrunden mit den Experten aus dem

Umweltbundesamt, aber auch mit dem Expertenkreis und kleinen Expertengruppen aus dem Expertenkreis führten zur Integration der Befragung mit einer Probandengruppe ohne Vergleichsmaßstab und somit der Einbindung der Fragestellungen der Akzeptanz und der Zumutbarkeit. Mit den Experten wurden weiterhin Bauprodukte für die Untersuchungen und Versuchsanordnungen abgestimmt.

Auf Grundlage der durchgeführten Untersuchungen (siehe Kapitel 5 „Ergebnisse und Diskussion“) wird als Bewertungsmethode die empfundene Intensität und die Hedonik vorgeschlagen. Die Ableitung der Grenzwerte für die sensorische Bewertung am 28. Tag erfolgte über die zusätzliche Befragung der Probanden im Rahmen der vorliegenden Studie nach der Zumutbarkeit (siehe Kapitel 4.6.2 „Probandengruppe ohne Vergleichsmaßstab“ und Kapitel 5.2.2 „Vorschlag zur Definition der Zumutbarkeitsschwelle für die Zulassung von Bauprodukten“) einer Probe.

Es wird der 28. Tag als Bewertungstag ausgewählt, weil das Geruchsbewertungsverfahren parallel zur Emissionsmessung stattfinden soll und dieser Tag eine stabile Emission liefert. Kleber oder Farben beispielsweise die auf Glasplatten aufgetragen werden müssen zunächst abtrocknen oder aushärten, da hier die Emission noch von der Verdunstung bestimmt ist und erst nach dem Aushärten diffusionsgetrieben.

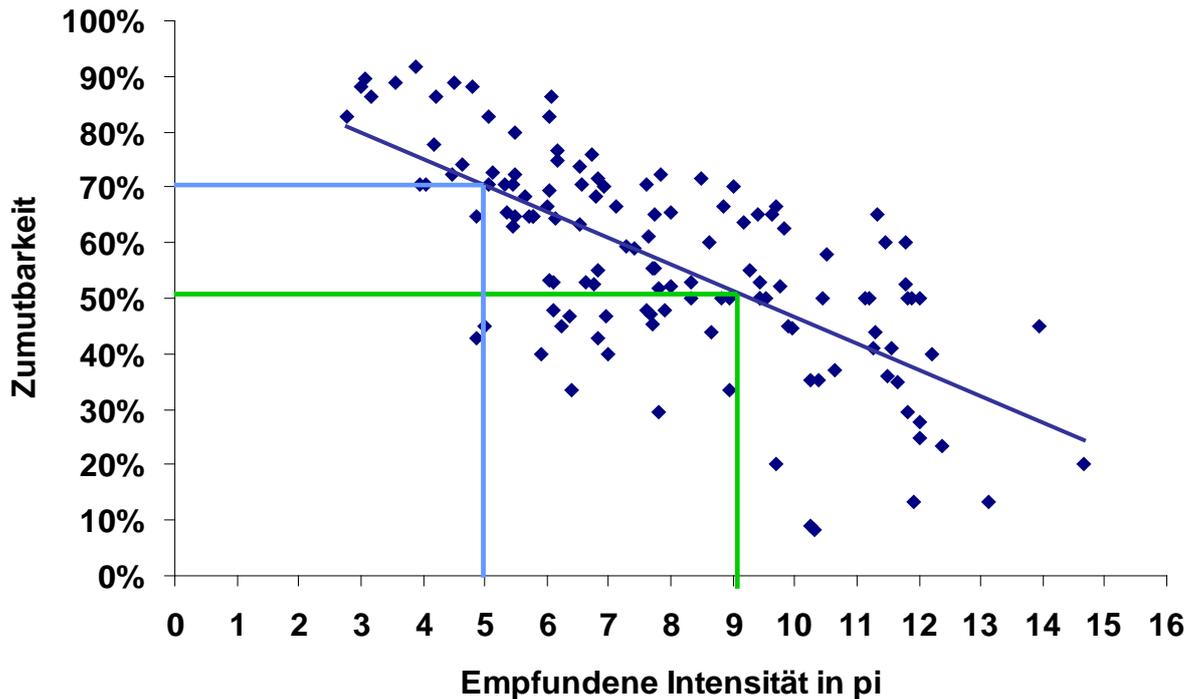


Abbildung 6-1: Zusammenhang zwischen Zumutbarkeit und empfundener Intensität (blau Grenzen für den Blauen Engel, grün Grenzen für das AgBB Schema)

Für den Blauen Engel könnte es je Produktgruppe unterschiedliche Grenzen der empfundenen Intensität und der Hedonik geben. Ein erster Vorschlag für mögliche Grenzen, hier zunächst für alle Produktgruppen, ist für die empfundene Intensität 7 pi (5 pi + 2 pi als Sicherheit, Kapitel 5.1.5 „Mindestanforderungen an die Größe der Probandengruppe“) und für die Hedonik -1 (0 +/-0,8, gerundet auf -1) (siehe dazu Abbildung 6-1 blaue Linien und Abbildung 6-2). Wobei eine empfundene Intensität von 7 pi einer Acetonkonzentration von 160 mg/m³ entspricht.

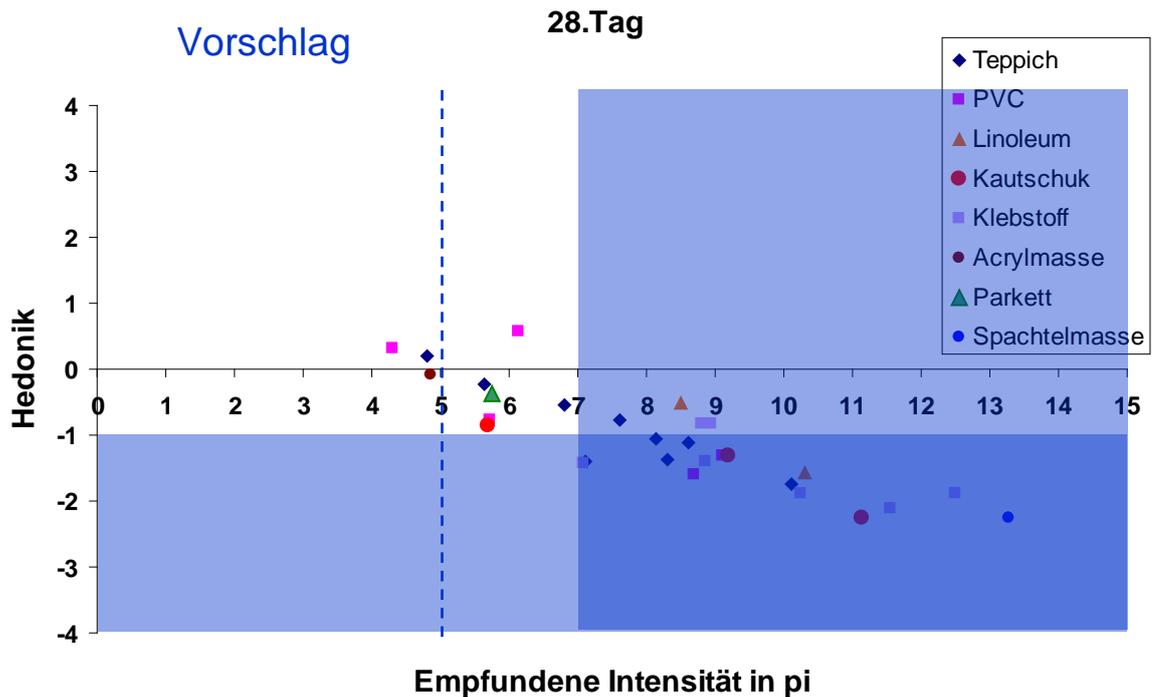


Abbildung 6-2: Vorschlag der sensorischen Grenzen für die Vergabe des Blauen Engels

Für die Integration der sensorischen Prüfung in das AgBB-Schema werden eine höhere empfundene Intensität und eine niedrigere Hedonik vorgeschlagen, da das Umweltzeichen Blauer Engel vor allem überdurchschnittliche Produkte auszeichnet. Diese Grenzen sind der Abbildung 6-3 zu entnehmen. Sie liegen bei einer empfundenen Intensität von 9 pi (± 2 pi) (9 pi entspricht einer Acetonkonzentration von 200 mg/m³) und einer Hedonik von -1,2 \pm 0,8.

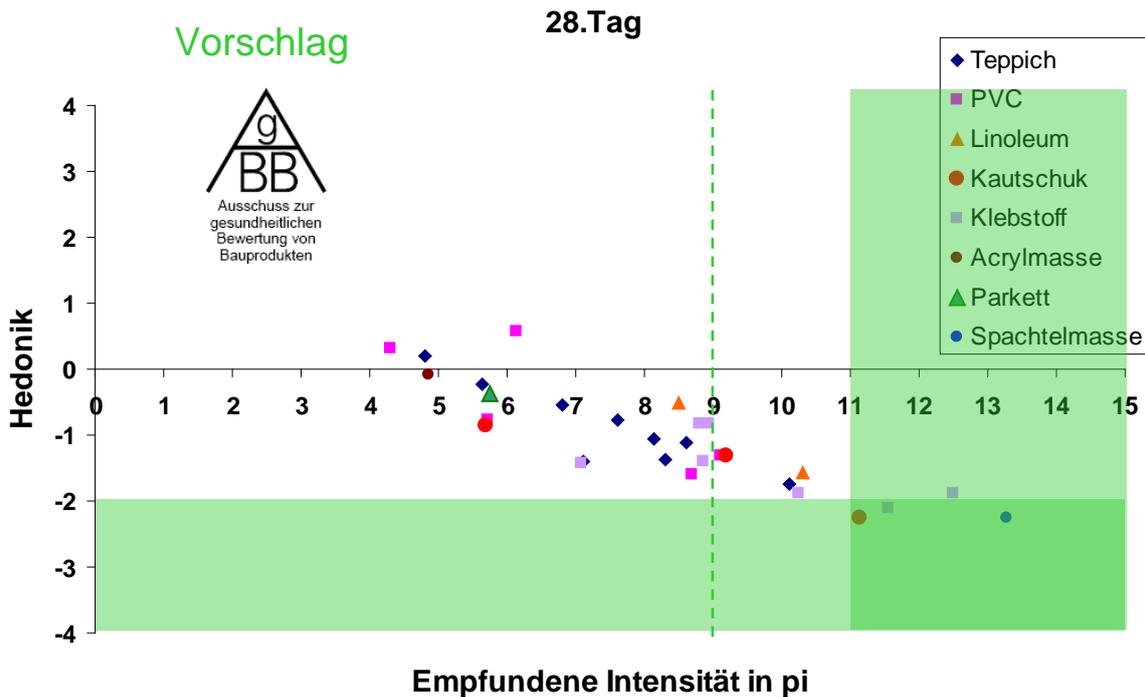


Abbildung 6-3: Vorschlag der sensorischen Grenzen für das AgBB-Schema

Die Gruppengröße hat bei den Geruchsuntersuchungen einen großen Einfluss auf die Qualität der Untersuchungsergebnisse, gleichzeitig verursacht eine große Gruppe einen hohen Organisationsaufwand und stellt einen erheblichen Kostenfaktor dar. Die Vergabeverfahren für Gütezeichen oder Zulassungsprüfungen dürfen nicht durch die Ermittlung der geruchlichen Parameter unpraktikabel werden. Daher wurde im Zuge der Untersuchung geprüft, wie viele Probanden für welche Methode bei genügender Sicherheit der Daten nötig sind. In Abbildung 6-4 sind die Standardabweichungen bezogen auf Skalengrößen der drei sensorischen Größen „empfundene Intensität“, „Hedonik“ und „Akzeptanz“ für eine Probandengruppengröße von 11 Personen dargestellt. Für diese Abbildung wird ein Mittelwert der Standardabweichung der empfundenen Intensität, der Hedonik und der Akzeptanz der Probandengruppe gebildet und auf die jeweilige Skalengröße bezogen. Für die Ermittlung des Mittelwerts der Standardabweichung der drei sensorischen Größen werden nur Daten von im Rahmen des Projekts durchgeführten Untersuchungen mit jeweils nur 11 Probanden herangezogen. Es wird deutlich, dass die empfundene Intensität die geringste Standardabweichung aufweist. Die Akzeptanz hingegen zeigt die größte Standardabweichung. An diesem Beispiel wird klar, wie die Streuung und somit auch die Sicherheit der Messdaten der sensorischen Größen bei einer Probandengruppe mit 11 Personen sind.

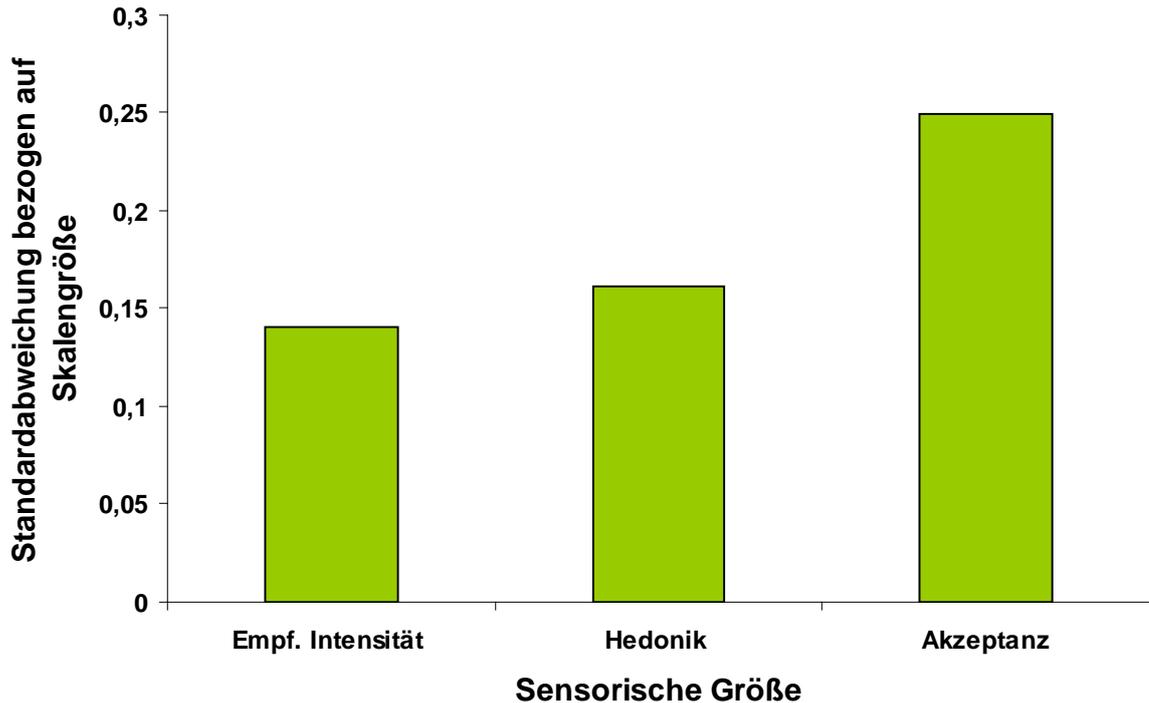


Abbildung 6-4: Standardabweichung der sensorischen Größen bei einer Gruppengröße von 11 Personen

Die empfundene Intensität hat bei einer Gruppengröße von 11 Probanden im Vergleich zu anderen sensorischen Größen die geringste Standardabweichung. Bei Zulassung einer Abweichung der sensorischen Größen von 10 % der jeweiligen Skalengröße und 90 %igem Konfidenzintervall wird für die Ermittlung der empfundenen Intensität eine Probandengruppengröße von mindestens 8 Personen benötigt. Für die Akzeptanz bei gleichen Bedingungen sind es jedoch über 50 Probanden.

Ein Schwerpunkt der Untersuchungen liegt in dem Vergleich der Nutzung verschiedener Emissionskammern sowie der Eignungsprüfung bzw. der möglichen Ertüchtigung unterschiedlicher Kammern für die Geruchsbewertung.

Das Standardverfahren bei der Zusammenarbeit mit der BAM ist die Nutzung einer 24-L-Kammer und die Beladung von Probebehältern mit der zu untersuchenden Luft. Diese Variante zeigt eine gute Praktikabilität. Bei der Nutzung von Probebehältern muss sehr genau auf die Benutzeranweisungen (Ausheiztemperatur von 80 °C muss eingehalten werden etc.) geachtet werden, um nicht Fehler in der sensorischen Bewertung zu erhalten.

In Dänemark ist die CLIMPAQ eine weit verbreitete Emissionskammer. Vorteil dieser Kammer ist die Möglichkeit der direkten sensorischen Bewertung an der

Kammer. Aufwändige Untersuchungen haben allerdings gezeigt, dass die Durchströmung nicht sehr gleichmäßig ist. Daher ist im Verlaufe des Projekts eine Optimierung des Laminarisators der CLIMPAQ durchgeführt worden (siehe Kapitel 5.1.3 „Vergleich der Probendarbietung mit Kammer und Probebehälter zur direkten Bewertung an der CLIMPAQ“). Ein Nachteil der CLIMPAQ ist die Standardgröße von nur 44 l. Es wurde im Projektbericht mehrmals erwähnt, dass die Beladung q des zu untersuchenden Materials angepasst werden musste, um überhaupt eine Durchströmung gewährleisten zu können. Zukünftig sollten also verschieden große CLIMPAQs für unterschiedliche Produktgruppen aufgebaut werden, um die geforderte flächenspezifische Emissionsrate q einhalten zu können.

Für direkte sensorische Bewertung an Emissionskammern ist ein definierter Volumenstrom ($0,6 - 1 \text{ l s}^{-1}$) notwendig. Da übliche Emissionskammern maximal 1 m^3 Rauminhalt haben, der zumeist mit einer Luftwechselrate von 2 h^{-1} betrieben werden kann, ist in vielen Kammern zunächst das direkte sensorische Bewerten aufgrund des begrenzten Luftwechsels nicht realisierbar. Die engen Grenzen resultieren üblicherweise aus der aufwändigen Versorgung der Emissionskammern mit hochgereinigter und nachträglich befeuchteter Luft. Die Anpassung dieser Kammern an die Geruchsmessungen ist somit zumeist nur nach Umrüstung denkbar. Da dies im Rahmen der Studie nicht realisiert werden konnte, kann der Einfluss dieser Parameteränderungen auf die sensorischen Bewertungen nicht abschließend geklärt werden. Die CLIMPAQ ist eine gut geeignete Emissionskammer für direkte sensorische Bewertungen, wenn die Größe der Kammer der Produktgruppe angepasst wird. Für die jeweiligen analytischen Untersuchungen muss üblicherweise der Untergrund der Versorgungsluft bei der Auswertung berücksichtigt werden.

Die Ergebnisse dieses Projekts zeigen, dass die Durchführung der sensorischen Versuche auch in zunächst nicht dafür geeigneten Laboren (hier BAM, siehe Kapitel 5.1.3 „Vergleich der Probendarbietung mit Kammer und Probebehälter zur direkten Bewertung an der CLIMPAQ“) möglich ist. Der Vergleich der unterschiedlichen Emissionskammern zeigt ebenso gute Übereinstimmungen in der sensorischen wie auch in der chemischen Prüfung.

Die Ergebnisse dieses Projektes wurden kontinuierlich in der Normungsarbeit im Bereich der empfundenen Luftqualität integriert. In der ISO 16000 – 28 Determination of odour emissions from building products using test chambers, sind die sensorischen Bewertungsmethoden der empfundenen Intensität und Hedonik implementiert. Auch in der Richtlinien-Arbeit der VDI 4302 Blatt 1 und 2 werden die

Erfahrungen des Projektes eingebaut. Zusätzlich wurde eine weitere ISO zur Bewertung der Raumluft ISO 16000 – 30 beantragt und von der Koordinatorin des Forschungsprojektes als Obmann geleitet.

Wichtige weitere Schritte sind zum einen die Integration der Grenzwerte in das Umweltzeichen Blauer Engel und in das AgBB-Schema und zum anderen die Erprobung dieser Grenzen. Da bisher keine geruchsgeprüften Produkte in Deutschland existieren, ist es schwierig die Nutzung von Materialien mit einer geringen empfundenen Intensität vorzuschreiben. Die Integration in die Leistungsverzeichnisse kann erst mit der Erprobung erfolgen. Die Einbindung der Geruchsuntersuchungen in Laboren, die bereits Emissionsuntersuchungen durchführen, ist nicht sehr aufwendig und kann schnell umgesetzt werden. Es bedarf einer Probandengruppe mit Vergleichsmaßstab von ca. 14 bis 20 Personen, wobei ca. 10 Personen für einen Versuch nötig sind. Weiterhin ist ein Vergleichsmaßstab anzuschaffen oder selbst zu bauen, die Genauigkeit sollte bei +/- 0,5 pi (10 mg/m³ Aceton) liegen. Es ist weiterhin nötig, einen genügend sauberen Aufenthaltsraum für die Probanden bereitzustellen (ISO 16000-28). Der Raum, in dem die Geruchsuntersuchung durchgeführt werden soll, muss den Kriterien der ISO 16000-28 genügen.

Ein offener Forschungsaspekt ist die Kombination von Bauprodukten, welche hier im Projekt nur beispielhaft untersucht werden konnten. Sowohl das sensorische als auch das chemische Verhalten von Kombinationen von Bauprodukten ist nur wenig erforscht. Zusätzlich zu den Kombinationen der Baumaterialien, ist das chemische wie sensorische Verhalten im Raum von großer Bedeutung, da hier der Geruch zu einem erhöhten Energiebedarf des Gebäudes aufgrund eines erhöhten Lüftungsverhaltens der Nutzer führen kann.

In einer Studie des E.ON ERC und des HRI (Veröffentlichung DKV 2010, Vortrag Abschlussveranstaltung des Projektes (8.3.2010)) wird die Auswirkung der geruchsrelevanten Baustoffemissionen auf den Energiebedarf diskutiert. In den neuen europäischen Lüftungs-Normen (DIN EN 15251, DIN EN 13779) werden bereits Luftqualitätsklassen definiert und die für die Auslegungsverfahren von RLT-Anlagen herangezogen werden müssen. Es werden dort Lüftungsraten mit Berücksichtigung der Gebäudeschadstoffbelastung definiert. Bei der Berechnung des Energiebedarfs werden jedoch Lüftungswärmeverluste, die durch Lüftung aufgrund von Schadstoffbelastungen entstehen, nicht betrachtet. Genauso wird über schadstoffarme und geruchsarme Gebäuden gesprochen, aber in den Normen sind hierfür die Grenzen nicht näher definiert.

Jeder Baustoff kann durch eine Verdünnungskennlinie, die die Abhängigkeit der volumenspezifischen Flächenlast (A_q) mit der empfundenen Intensität des Baustoffes darstellt, beschrieben werden (Abbildung 6-5). Daraus lässt sich die Abhängigkeit der empfundenen Intensität vom Volumenstrom, unter Betrachtung der Raumgröße, Materialfläche und Raumnutzeranzahl ableiten.

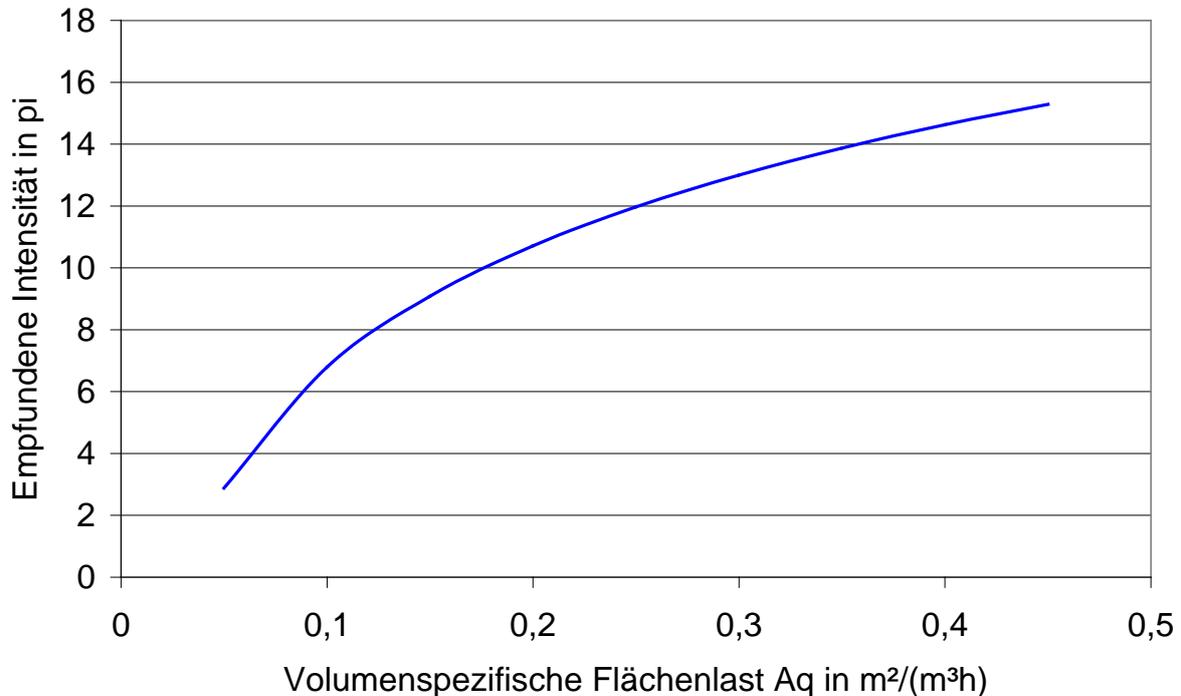


Abbildung 6-5: Verdünnungskennlinie eines Bauproduktes (Teppich); volumenspezifische Flächenlast (A_q) über die empfundenen Intensität des Baustoffes

Die Berechnungen des Energiebedarfs für einen definierten Beispielraum mit einer Kontaminierung des in Abbildung 6-5 dargestellten Teppichs wird in Abbildung 6-6 abgebildet. In Abbildung 6-6 ist der Energiebedarf für den Beispielraum bei Fensterlüftung und kontrollierter Lüftung dargestellt. Ebenfalls dargestellt sind die Anteile am Energiebedarf für Lüftung und Transmission. Die Luftqualität, die sich bei diesem Beispiel einstellen würde, wären 13 p_i . Um eine bessere Luftqualität in einem akzeptablen Bereich von z. B. 6,8 p_i zu erlangen, muss zusätzlich gelüftet werden. Der Mehrbedarf ist in Abbildung 6-6 rechts, rot markiert. In diesem Beispiel ist ein Mehrbedarf an Energie von 100 % zu erwarten.

Es wird so deutlich, dass zur Erstellung eines energieeffizienten Gebäudes emissions- und geruchsarme Baustoffe notwendig sind.

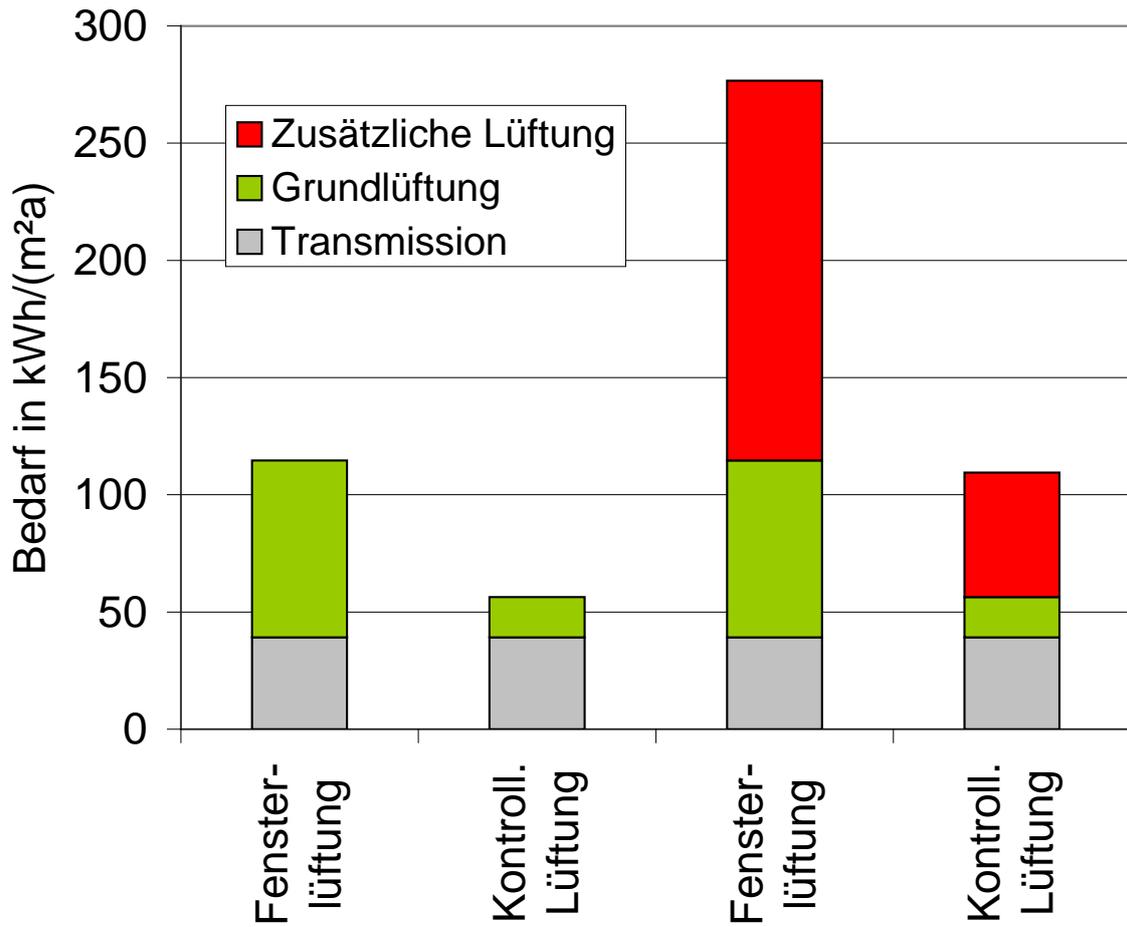


Abbildung 6-6: Mehrbedarf an Energie aufgrund von Geruchsstoffen im Raum und dadurch eine Erhöhung des Luftwechsels

7 LITERATUR

- 1 Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB) 2010. Empfehlungen zur Vorgehensweise bei der gesundheitlichen Bewertung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) aus Bauprodukten. Umweltbundesamt.
http://www.umweltbundesamt.de/bauprodukte/dokumente/AgBB-Bewertungsschema_2010.pdf
- 2 W. Horn; O. Jann; J. Kasche; F. Bitter; D. Müller; B. Müller. 2007. Umwelt- und Gesundheitsanforderungen an Bauprodukte - Ermittlung und Bewertung der VOC-Emissionen und geruchlichen Belastungen. UBA-Texte 16/2007. Umweltbundesamt, Dessau
- 3 DIN EN 15251. 2007-08. Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik. Berlin: Beuth-Verlag
- 4 DIN EN ISO 16000-9. 2006-04. Innenraumluftverunreinigungen - Teil 9: Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen aus Bauprodukten und Einrichtungsgegenständen - Emissionsprüfkammer-Verfahren (ISO 16000-9:2006); Deutsche Fassung EN ISO 16000-9:2006. Berlin: Beuth-Verlag
- 5 Deetjen, P.; Speckmann, E.-J.: Physiologie; Urban & Schwarzenberg, München, 1992
- 6 Schmidt, R. F.; Schaible, H.-G.: Neuro- und Sinnesphysiologie, 4. Auflage, Springer Verlag Berlin-Heidelberg, 2000
- 7 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und Bundesministerium für Gesundheit. 1999. Aktionsprogramms Umwelt und Gesundheit. (APUG) http://www.apug.de/archiv/pdf/Aktionsprogramm_1999.pdf
- 8 ECA (European Collaborative Action "Indoor Air Quality and its Impact on Man"): 1997. Evaluation of VOC Emissions from Building Products – Solid Flooring Materials. Report No. 18, EUR 17334 EN, European Commission, Joint Research Centre, Environment Institute

<http://www.umweltbundesamt.de/bauprodukte/dokumente/AgBB-Bewertungsschema2008.pdf>

- 9 C. Däumling, K.-R. Brenske, O. Wilke, W. Horn, O. Jann. 2005. Health-related evaluation of VOC and SVOC emissions from building products – a contribution to the European construction products directive. *Gefahrstoffe, Reinhaltung der Luft* Vol 65, 90-92
- 10 DIN ISO 16000-6. 2004-12. Innenraumluftverunreinigungen - Teil 6: Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern, Probenahme auf TENAX TA[®], thermische Desorption und Gaschromatographie mit MS/FID. Berlin: Beuth-Verlag
- 11 DIN ISO 16000-3. 2002-08. Innenraumluftverunreinigungen - Teil 3: Messen von Formaldehyd und anderen Carbonylverbindungen; Probenahme mit einer Pumpe. Berlin: Beuth-Verlag
- 12 DIN-EN-ISO 16000-11. 2006-06. Messen von Innenraumluftverunreinigungen - Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen - Probenahme, Lagerung der Proben und Vorbereitung der Prüfstücke. Berlin: Beuth-Verlag
- 13 D. Kirchner, V. Tykiel, N. Dommaschk, C. Kraeft, A. Eichler, W. Misch. 2010. Anforderungen des Gesundheitsschutzes an Bauprodukte im Zulassungsverfahren am Beispiel der Bodenbeläge. DIBt Mitteilungen. Vol 41, S. 5-12
- 14 J. Witten. 2004. Vorgehensweise zur gesundheitlichen Bewertung von VOC- und SVOC-Emissionen aus Bauprodukten - Bewertungskonzept des Ausschusses zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB) *Bauphysik* 26 S. 240-245
- 15 R. Ehrnsperger und W. Misch. 2005. Gesundheits- und Umweltkriterien bei der Umsetzung der EG-Bauprodukten-Richtlinie (BPR), UBA Texte 06-05 (Fb: 200 62 311)
- 16 D. Kircher. 2007. Emissionsmessungen auf dem Prüfstand. DIBt-Mitteilungen. Vol. 38. 77-85
- 17 D. Kirchner, N. Dommaschk, A. Eichler, V. Tykiel, C. Kraeft, W. Misch. 2009. The activities of the German authority DIBt in the field of VOC emission testing of construction products - VOC workshop. Proceedings of Healthy Buildings 2009, Syracuse, USA. Paper 630
- 18 W. Plehn, W. Horn. 2009. The Blue Angel – VOC Workshop. Proceedings of Healthy Buildings 2009, Syracuse, USA. Paper 427
- 19 RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e. V. 2008. Deutschland bekennt Farbe – Blauer Engel – Jury Umweltzeichen. http://www.blauer-engel.de/_downloads/publikationen/imagebroschuere.pdf

- 20 J. Hemmelskamp, K.L. Brockmann. 1997. Environmental Labels - The German "Blue Angel". *Futures*, Vol. 29. 67-76.
- 21 E. Vankann. 2009. The GUT-PRODIS label, an environmental product information system for textile floor coverings - VOC Workshop. *Proceedings of Healthy Buildings 2009*, Syracuse, USA. Paper 609
- 22 O. Wilke, O. Jann, D. Brödner. 2003. Untersuchung und Ermittlung emissionsarmer Klebstoffe und Bodenbeläge. UBA-Texte 27/03. Umweltbundesamt, Berlin
- 23 GEV (Gemeinschaft Emissionskontrollierte Verlegewerkstoffe, Klebstoffe und Bauprodukte e.V.). 2009. GEV – Prüfmethode Bestimmung flüchtiger organischer Verbindungen zur Charakterisierung emissionskontrollierter Verlegewerkstoffe. http://www.emicode.de/pdf/GEV_Pruefmethode.pdf
- 24 K. Winkels. 2009. EMICODE Labeling System – History, Structure and Objectives - VOC workshop. *Proceedings of Healthy Buildings 2009*, Syracuse, USA. Paper 512
- 25 J. Fischer, N. Englert, B. Seifert. 1998. Luftverunreinigungen und geruchliche Wahrnehmungen unter besonderer Berücksichtigung von Innenräumen. *WaBoLu-Hefte 1/1998*. Umweltbundesamt, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin. 110 S. ISSN 0175-4211
- 26 ECA (European Collaborative Action "Indoor Air Quality and its Impact on Man"). 1999. *Sensory Evaluation of Indoor Air Quality*. Report No. 20, EUR 18676 EN, European Commission, Joint Research Centre, Environment Institute
- 27 L. Gunnarsen, P. Bluysen. 1994: *Sensory Measurements Using Trained and Untrained Panels*; *Proceedings of Healthy Buildings '94*, Vol. 2; Budapest; 533-538.
- 28 DIN 55666. 1995-04. Prüfung von Formaldehyd emittierenden Beschichtungen, Melaminschaumstoffen und Textilien - Bestimmung der Ausgleichskonzentration an Formaldehyd in einem kleinen Prüfraum. Berlin: Beuth-Verlag
- 29 L. Gunnarsen, P.A. Nielsen, P. Wolkoff. 1994. Design and Characterization of the CLIMPAQ – Chamber for Laboratory Investigations of Materials, Pollution and Air Quality, *Proceedings of Indoor Air 1994*. Vol 4. 56-62.
- 30 B. Müller. 2002: Entwicklung eines Gerätes zur Entnahme und Darbietung von Luftproben zur Bestimmung der empfundenen Luftqualität. Dissertation TU Berlin

- 31 H.N. Knudsen, 1994: Modellering af indeluftkvalitet; Ph.D.-afhandling; Laboratoriet for Varme- og Klimateknik, Danmarks Tekniske Universitet, Danmark
- 32 F. Bitter, O. Böttcher, A. Dahms, J. Kasche, B. Müller, D. Müller. 2004: Handbuch zur Messung der empfundenen Luftqualität – Luftqualität in Innenräumen, TU Berlin
- 33 J. Hartung, B. Elpelt, K.-H. Klösener. 1986: Statistik, Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik, R. Oldenburg Verlag München Wien, Seite 892
- 34 J. Panaskova, B. Müller, D. Müller. 2008: Transfer functions for perceived indoor air intensity, acceptability and hedonic tone measurement; International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Copenhagen, Paper 869
- 35 Amoore, J.E., Johnston, J.W. and Rubin, M. 1964: The Stereochemical theory of odour. Scientific American 210 (1964) pp. 42–49.
- 36 O. Wilke, K. Wiegner, O. Jann, H. Scheffer, D. Brödner. 2008: Emissionsverhalten von Holz und Holzwerkstoffen, UFOPLAN-Nr. 3707 62 301
- 37 D. Kirchner, S. Hartstock. 2007. Schnelle und übersichtliche Auswertung von Emissionsprüfungen mittels ADAM. DIBt-Mitteilungen. Vol. 38. S 51-53
- 38 B. Mull, W. Horn, O. Jann. 2010: Methode zur Bestimmung von flüchtigen Estern der Phthalsäure im Innenraum und in Emissionsmesskammern. Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft. Vol. 70. S. 93-97
- 39 Wilke, O., Horn, W., Wiegner, K., Jann, O., Bremser, W., Brödner, D., Kalus, S., Juritsch, E., Till, C. 2009. Untersuchungen zur Verbesserung der Messung von flüchtigen organischen Verbindungen aus Fußbodenbelägen im Rahmen der gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten. Forschungsbericht: Bau-forschungsbericht (2009) T 3217, 1-206; Fraunhofer IRB Verl.; Hrsg.: Bundes-anstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) ISBN 978-3-8167-8100-4 http://www.bam.de/de/service/publikationen/publikationen_medien/abschlussbericht_de_ils_dibt_2009.pdf
- 40 DIN EN ISO 7730. 2006-05: Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit. Berlin: Beuth-Verlag

ABBILDUNGSVERZEICHNIS:

Abbildung 3 1: Schematischer Aufbau der Riechschleimhaut mit den Verbindungen zum Riechkolben	5
Abbildung 3 2: Signalweg eines Geruchsreizes	6
Abbildung 3 3: AgBB-Ablaufschema	10
Abbildung 3 4: Aufbau des Vergleichsmaßstabs.....	13
Abbildung 3 5: Akzeptanz Skala	16
Abbildung 3 6: Hedonik Skala	16
Abbildung 4 1: Ablauf der Arbeitsschritte bei den Messungen.....	18
Abbildung 4 2: Belüftung der CLIMPAQ.....	19
Abbildung 4 3: Befüllung der Behälter.....	20
Abbildung 4 4: 24-L-Kammer	24
Abbildung 4 5: CLIMPAQ (44-L- Kammer).....	24
Abbildung 4 6: Schematischer Aufbau einer CLIMPAQ	25
Abbildung 4 7: Foto einer verwendeten CLIMPAQ am HRI	25
Abbildung 4 8: 5 m ³ -Kammer mit geöffneter Tür	26
Abbildung 4 9: Schematischer Aufbau der 13 m ³ -Kammer	27
Abbildung 4 10: AirProbe bei der Probenahme.....	28
Abbildung 4 11: Tedlar®-Behälter mit Probeluft gefüllt	29
Abbildung 4 12: Verlauf der Behandlung der Tedlar®-Behälter und des Ausheizschrankes	30
Abbildung 4 13: Ein für die Kammermessung zugeschnittener Teppichboden	31
Abbildung 4 14: Zwei für die 24-L-Kammern vorbereitete PVC-Proben.....	32
Abbildung 4 15: Auftrag eines Belagsklebstoffes auf eine Glasplatte	32
Abbildung 4 16: Oberfläche der Datenerfassungssoftware für die Bewertung der empfundenen Intensität durch Probanden mit Vergleichsmaßstab ..	34
Abbildung 4 17: Oberfläche der Datenerfassungssoftware für die Bewertung der Hedonik durch Probanden mit Vergleichsmaßstab	34
Abbildung 4 18: Auswertung des Bauproduktes 3978 (Belagsklebstoff).....	36
Abbildung 4 19: Verteilung der Quantile	36

Abbildung 4 20: Oberfläche der Datenerfassungssoftware für die Probanden ohne Vergleichsmaßstab	37
Abbildung 4 21: TENAX® Röhrchen für die Adsorption von VOC	39
Abbildung 4 22: Pumpenstand für die Probenahme an den Emissionsprüfkammern	39
Abbildung 4 23: DNPH-Probenahme-Kartusche für Aldehyde und Ketone.....	42
Abbildung 4 24: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus zur Ermittlung des Permeationsverhaltens der Polymerfolien.....	44
Abbildung 4 25: Foto des Versuchsaufbaus zur Ermittlung des Permeationskoeffizienten der Polymerfolien	44
Abbildung 4 26: Planflanschdeckel mit seinen vier Öffnungen	45
Abbildung 4 27: Schema eines vereinfachten Vergleichsmaßstabes.....	47
Abbildung 4 28: Mobiler Vergleichsmaßstab und 5 m ³ -Kammer mit Bewertungstrichter	50
Abbildung 4 29: Untersuchung einer Kombination in 13-m ³ Kammer.....	51
Abbildung 4 30: Links: realer Raum am HRI mit Teppichboden, rechts: mit PVC.....	52
Abbildung 5 1: Zeitlicher Verlauf der empfundenen Intensität der Teppichböden 4141 und 4074	55
Abbildung 5 2: Zeitlicher Verlauf der Hedonik der Teppichböden 4141 und 4074 ...	56
Abbildung 5 3: Zeitlicher Verlauf der Akzeptanz der Teppichböden 4141 und 4074	57
Abbildung 5 4: Zeitlicher Verlauf der Zumutbarkeit der Teppichböden 4141 und 4074	57
Abbildung 5 5: Zusammenhang zwischen empfundener Intensität und Akzeptanz für Bauprodukte (in der CLIMPAQ) an allen Messtagen bis zum 29 Tag.....	58
Abbildung 5 6: Zusammenhang zwischen empfundener Intensität und Akzeptanz für Bauprodukte (in der CLIMPAQ) am 29. Tag	59
Abbildung 5 7: Zusammenhang der empfundenen Intensität und der Hedonik für Bauprodukte an allen Messtagen bis zum 29 Tag	60
Abbildung 5 8: Zusammenhang der empfundenen Intensität und der Hedonik für Bauprodukte in der CLIMPAQ am 29. Tag.....	61
Abbildung 5 9: Empfundene Intensität und Hedonik für Basisgerüche und zwei weitere Beispiele	62
Abbildung 5 10: Zusammenhang der empfundenen Intensität und der Hedonik für Holzprodukte [36] (im EXSI) an allen Messtagen bis zum 29 Tag ...	63
Abbildung 5 11: A: Konzentrationsverläufe von 4-PCH aus 5 verschiedenen textilen Bodenbelägen, B: Detaildarstellung für 2 wenig emittierende textile Bodenbeläge	64

Abbildung 5 12: Die Empfundene Intensität der sensorisch untersuchten Teppichböden an den Versuchstagen.....	65
Abbildung 5 13: Konzentrationsverläufe von TVOC-Werten aus 5 verschiedenen PVC-Bodenbelägen und für 3 Beläge der SVOC-Summenwert (B ist eine detaillierte Darstellung einiger Daten aus A).....	66
Abbildung 5 14: Konzentrationsverläufe verschiedener VOC aus dem PVC-Bodenbelag 4161 und 4162	67
Abbildung 5 15: Empfundene Intensitäten der PVC-Bodenbeläge	68
Abbildung 5 16: Konzentrationsverlauf von DiBP aus PVC-Bodenbelag 4004. 24-L-Kammermessung [38].....	69
Abbildung 5 17: Empfundene Intensitäten der Kautschukbodenbelägen.....	70
Abbildung 5 18: Empfundene Intensitäten der Linoleum-Bodenbeläge	70
Abbildung 5 19: Empfundene Intensitäten des Parketts (4159).....	71
Abbildung 5 20: TVOC Konzentrationsverläufe aus den im Vorhaben untersuchten Belagsklebstoffen (B ist eine vergrößerte Darstellung eines Ausschnittes aus A)	72
Abbildung 5 21: Empfundene Intensitäten der Belagsklebstoffe.....	72
Abbildung 5 22: Konzentrationsverläufe einiger typischer VOC aus den untersuchten Belagsklebstoffen	73
Abbildung 5 23: Sensorische Bewertung der Blindwerte	74
Abbildung 5 24: Normierter Vergleich (der Mittelwert der beiden Kammern ist gleich 1) der Emissionen der Kammern im Vergleich zu den aus den Transportbehältern. (TrB: Transportbehälter 24-L-Kammer; TrBC: Transportbehälter CLIMPAQ; CIB CLIMPAQ BAM).....	76
Abbildung 5 25: Permeationsverhalten der PE-Folie (GC/MS Chromatogramm)	76
Abbildung 5 26: Permeationsverhalten der Polyimid-Folie (GC/MS Chromatogramm).....	77
Abbildung 5 27: Foto des vereinfachten Vergleichsmaßstabs	79
Abbildung 5 28: Vergleich der Ergebnisse der Intensitätsmessungen mit unterschiedlichen Emissionskammern (Fugenmasse Nr. 4026)	80
Abbildung 5 29: Vergleich der Ergebnisse der Intensitätsmessungen mit unterschiedlichen Emissionskammern (PVC-Belag Nr. 4101)	80
Abbildung 5 30: Vergleich der Ethandiol-Ergebnisse mit unterschiedlichen Emissionskammern (Fugenmasse Nr. 4026) am 15 und 29. Tag bei Mehrfachbestimmungen mit Abweichungsbalken (TrB=	

Transportbehälter; 24LK= 24-L-Kammer; CIH= CLIMPAQ HRI; CIB= CLIMPAQ BAM)	81	
Abbildung 5 31: Wiederholbarkeit der drei einzelnen Bauproduktenbewertungen und zwei Kombinationen	82	
Abbildung 5 32: Vergleich der Bewertungen zwischen CLIMPAQ und Tedlar- Behälter®		83
Abbildung 5 33: Vergleich der Bewertungen zwischen CLIMPAQ und Tedlar- Behälter® für Produkt PVC 4170	83	
Abbildung 5 34: Strömungsprofil in der 24-L-Kammer	85	
Abbildung 5 35: Strömungsprofil in der CLIMPAQ in 50 cm und 100 cm Abstand vom Laminarisor	86	
Abbildung 5 36: Strömungsprofil in der CLIMPAQ in 50 cm und 100 cm Abstand vom optimierten Laminarisor	87	
Abbildung 5 37: Vergleich der Messung der empfundenen Intensität eines PVC- Belags (Nr. 4170) in unterschiedlichen Emissionskammern und bei direkter Bewertung	89	
Abbildung 5 38: Vergleich der Summenkonzentration unbekannter VOC (Σ VOC) parallel zur direkten sensorischen Bewertung des PVC 4170 an verschiedenen Kammern	90	
Abbildung 5 39: Standardabweichung der sensorischen Größen bei einer Gruppengröße von 11 Personen	91	
Abbildung 5 40: Anzahl der Probanden und 90 %iger Konfidenzintervall aus der Bewertung der empfundenen Intensität	92	
Abbildung 5 41: Anzahl der Probanden und 90 %iger Konfidenzintervall aus der Bewertung der Hedonik mit Probanden mit Vergleichsmaßstab	92	
Abbildung 5 42: Ergebnisse der Untersuchung von einer Kombination von Bauprodukten (Fertigestrich, Belagsklebstoff, Teppichboden)	95	
Abbildung 5 43: Ergebnisse der Untersuchung von einer Kombination von Bauprodukten (Fertigestrich, Belagsklebstoff, PVC)	96	
Abbildung 5 44: Vergleich der empfundenen Intensitäten und Hedonik in realem Büro		
Abbildung 5 45: Empfundene Intensität und Hedonik einer Kombination zweier als unangenehm bewerteter Bauprodukte	98	
Abbildung 5 46: Empfundene Intensität und Hedonik einer Kombination eines als unangenehm und eines als angenehm bewerteten Bauproduktes	99	
Abbildung 5 47: Chromatogramm des PVC-Bodenbelags Nr. 4199 in der CLIMPAQ des HRI am 29. Tag	100	

Abbildung 5 48: Verlauf der Kombinationsuntersuchungen in den CLIMPAQs des HRI. In den Büroraum ist der Belag 4199 eingebracht. Angegeben die TVOC Werte in Tolouläquivalenten (TÄ) kalibriert.....	101
Abbildung 5 49: Verlauf der 4-PCH-Konzentrationen bei den Produkt-Kombinationen in den CLIMPAQs des HRI.....	101
Abbildung 5 50: Zusammenhang zwischen Zumutbarkeit und dem Prozentsatz Unzufriedener (PD-Wert)	104
Abbildung 5 51: Zusammenhang zwischen Zumutbarkeit und empfundener Intensität	104
Abbildung 5 52: Zusammenhang zwischen empfundener Intensität und Hedonik für Bauprodukte am 28.Tag.....	106
Abbildung 5 53: Vorschlag der sensorischen Grenzen für die Vergabe des Blauen Engels	106
Abbildung 5 54: Vorschlag der sensorischen Grenzen für das AgBB-Schema.....	107
Abbildung 6 1: Zusammenhang zwischen Zumutbarkeit und empfundener Intensität (blau Grenzen für den Blauen Engel, rot Grenzen für das AgBB Schema).....	113
Abbildung 6 2: Vorschlag der sensorischen Grenzen für die Vergabe des Blauen Engels	113
Abbildung 6 3: Vorschlag der sensorischen Grenzen für das AgBB-Schema.....	114
Abbildung 6 4: Standardabweichung der sensorischen Größen bei einer Gruppengröße von 11 Personen.....	116
Abbildung 6 5: Verdünnungskennlinie eines Bauproduktes (Teppich); volumenspezifische Flächenlast (Aq) über die empfundenen Intensität des Baustoffes.....	119
Abbildung 6 6: Mehrbedarf an Energie aufgrund von Geruchsstoffen im Raum und dadurch eine Erhöhung des Luftwechsels	120

TABELLENVERZEICHNIS:

Tabelle 3 1:	Definitionen der VOC im AgBB-Schema in Anlehnung an die DIN ISO 16000-6.....	11
Tabelle 4 1:	Übersicht zu den untersuchten Bauprodukten	21
Tabelle 4 2:	Untersuchte Folien	43
Tabelle 4 3:	Für die Überprüfung der Folien verwendete Substanzen.....	45
Tabelle 4 4:	Eingestellte Versuchsbedingungen in der Permeations-Apparatur ..	46
Tabelle 5 1:	Kennzeichnung von Duftklassen nach Amoore et al. aus Schmidt [6] 61	
Tabelle 5 2:	Grenzen die eingehalten werden müssen nach 3 und 28 Tagen für DIBt (AgBB) und den wesentlichen Umweltzeichen. Angaben in mg/m ³ . (Details siehe Text)	108
Tabelle 5 3:	Grenzen die eingehalten werden müssen nach 3 oder 7 Tagen, um die Prüfung vorzeitig erfolgreich abbrechen zu können. Angaben in mg/m ³ . (Details siehe Text)	108
Tabelle 5 4:	Zeichenerklärung für die sensorische Prüfung und die chemische Analyse	109
Tabelle 5 5:	Zusammenfassung der Ergebnisse für Teppichböden.....	109
Tabelle 5 6:	Zusammenfassung der Ergebnisse für PVCs	110
Tabelle 5 7:	Zusammenfassung der Ergebnisse für Kautschuke, Ausgleichsmasse, Acryl und Parkett	110
Tabelle 5 8:	Zusammenfassung der Ergebnisse für Belagsklebstoffe	110
Tabelle 6 1:	Zusammenfassung der Ergebnisse der untersuchten Bauprodukte mit Anwendung der entsprechenden Grenzen für die sensorische und analytische Bewertung jeweils am 28. Tag. (die Symbole sind erklärt in Tabelle 5 4)	114

8 GLOSSAR

ADAM	Diese, auf Microsoft Excel basierende AgBB/DIBt-Auswertemaske, soll sowohl den Messinstituten als auch dem DIBt bei der Bewertung von Produktemissionen helfen. Diese Bewertung basiert auf den Kriterien des AgBB-Schemas, wobei zurzeit der Hauptanwendungsbereich bei den Emissionen von Bodenbelägen bzw. weiterer dafür vorgesehener Materialien liegt. Dieses Hilfsmittel ist über das DIBt zu beziehen.
AgBB	Ausschuss für die gesundheitliche Bewertung von Bauprodukten; 1997 von der Länderarbeitsgruppe Umweltbezogener Gesundheitsschutz (LAUG) der Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden (AOLG) gegründet; Geschäftsstelle beim Umweltbundesamt (UBA)
AgBB-Schema	Die ausführliche Bezeichnung lautet: „Vorgehensweise bei der gesundheitlichen Bewertung von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC und SVOC) aus Bauprodukten“; die Notifizierung erfolgte im Jahr 2005; es ist Bestandteil der „Grundsätze für die gesundheitliche Bewertung von Bauprodukten in Innenräumen“, die die Basis für die Zulassung von Bauprodukten durch das dafür zuständige DIBt sind; zugelassene Produkte erhalten das Ü-Zeichen mit dem zusätzlichen Hinweis "Emissionsgeprüft nach DIBt-Grundsätzen"
AirProbe	Probennahme und -darbietungseinrichtung bei Nutzung der Tedlar [®] -Behälter für Geruchsprobenuntersuchung
Bestimmungsgrenze (BG)	ist die kleinste Konzentration einer Substanz, die bei einer chemischen Analyse quantitativ mit hoher Genauigkeit bestimmt werden kann. Oberhalb der Bestimmungsgrenze werden quantitative Analysenergebnisse angegeben.
CLIMPAQ	chamber for laboratory investigations of materials, pollution and air quality

- DIBt Deutsches Institut für Bautechnik ist eine gemeinsame Einrichtung des Bundes und der Länder zur einheitlichen Erfüllung bautechnischer Aufgaben auf dem Gebiet des öffentlichen Rechts
- Emission Ablassen oder Freisetzen fester, flüssiger, gasförmiger Stoffe oder auch von Geräuschen aus stationären oder mobilen Anlagen, die auch als Emittenten bezeichnet werden; Emissionen belasten oder verunreinigen Luft, Wasser oder Boden
- Emissionskammer Einrichtung zur Messung von Emissionen unter konstanten Bedingungen, vor allem hinsichtlich Temperatur, relativer Luftfeuchtigkeit und Luftwechselrate betrieben, da diese Parameter das Emissionsverhalten entscheidend beeinflussen. Über eine Zuleitung wird kontinuierlich gereinigte Luft eingeleitet, in die das in der Kammer befindliche zu untersuchende Material seine Emissionen abgibt. Die so verunreinigte Luft steht dann für chemische und sensorische Untersuchungen zur Verfügung. Die Luftproben werden über Entnahmestutzen gewonnen, die nicht für die Messung benötigte verunreinigte Luft wird als Abluft abgeführt
- Exikkator 24-L-Emissionskammer
- Gaschromatograph (GC) Die Probe wird mit einem geeigneten System (Spritze oder thermische Desorption) auf die Trennsäule, die sich in einem temperaturgeregelten Säulenofen befindet, aufgetragen. In der Trennsäule befindet sich die stationäre Phase, als mobile Phase dient häufig das Gas Helium. Die Auftrennung des Stoffgemisches in einzelne Verbindungen erfolgt durch unterschiedlich starke Wechselwirkungen mit der stationären Phase in Abhängigkeit von der Temperatur. Wenn eine Substanz die Säule verlässt, erzeugt sie im nachgeschalteten Detektorsystem ein Signal, welches rechnergestützt weiterverarbeitet wird. In dem resultierenden Chromatogramm erscheinen die gemessenen Substanzen in Form von Peaks
- Hochleistungsflüssigkeitschromatograph (HPLC). Im Unterschied zur GC wird bei der HPLC als mobile Phase eine Flüssigkeit verwendet – meist ein organisches Lösungsmittel. Sie transportiert mit hohem Druck die Probe durch die Säule. In Abhängigkeit von der Stärke der Wechselwirkungen mit der stationären Phase, wird das Stoffgemisch in einzelne Verbindungen aufgetrennt. Am Ende

der Trennsäule werden sie mit einem geeigneten Detektor nachgewiesen, z. B. einem UV- oder einem Diodenarraydetektor (Detektor mit kontinuierlichem Spektrum im UV-Wellenlängenbereich)

K-Stoff Kanzerogener Stoff. Im Rahmen des AgBB-Schemas werden darunter die Stoffe der Kategorie 1 und 2 der EU-K-Stoffliste angesehen

Stoffe der Kategorie 1 wirken beim Menschen bekanntermaßen krebserzeugend

Stoffe der Kategorie 2 sollten für den Menschen als krebserzeugend angesehen werden, da hinreichende Anhaltspunkte aus geeigneten Tierversuchen und sonstigen relevanten Informationen bestehen

Stoffe der Kategorie 3 geben wegen möglicher krebserzeugender Wirkung beim Menschen Anlass zur Besorgnis; aus geeigneten Tierversuchen liegen einige Anhaltspunkte vor, die jedoch nicht ausreichen, um den Stoff in Kategorie 2 einzustufen

Massenspektrometer (MS) Es besteht aus einer Ionenquelle, in der die gasförmigen Moleküle aus der Probe durch Elektronenbeschuss in typischer Weise fragmentiert und ionisiert werden, einem Massenanalysator, der die Ionen hinsichtlich ihres Masse/Ladungszahl-Verhältnisses auftrennt, und einem Detektor, der die Intensität der auftreffenden Ionen misst. So entsteht ein für jede Verbindung charakteristisches Massenspektrum mit mehreren Massenpeaks unterschiedlicher Intensität, gewissermaßen als „Fingerabdruck“. Die Kombination eines MS mit einem GC ist ein bedeutendes Hilfsmittel für die moderne Analytik

NIK niedrigste interessierende Konzentration. Für eine Vielzahl von innenraumrelevanten VOC sind im Anhang des AgBB-Schemas gesundheitsbezogene Hilfsgrößen, sogenannte NIK-Werte, gelistet. Diese basieren auf Expositionswerten, wie z. B. den MAK- oder AGW-Werten. (MAK: Maximale Arbeitsplatzkonzentration; AGW: Arbeitsplatzgrenzwert)

PD Prozentsatz Unzufriedenen (engl. percentage dissatisfied)

pi perceived intensity, Einheit der empfundenen Intensität

q flächenspezifische Durchflussrate mit der Einheit $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$

R-Wert	ist die Summe der Quotienten aller Substanzkonzentrationen C_i durch die jeweiligen NIK-Werte NIK_i . ($R_i = C_i / NIK_i$) Für das NIK-Konzept wird angenommen, dass keine Wirkung auftritt, wenn R den Wert 1 unterschreitet. Werden mehrere Verbindungen mit Konzentrationen $\geq 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ festgestellt, so wird eine Additivität der Wirkungen angenommen und festgelegt, dass R , also die Summe aller R_i , den Wert 1 nicht überschreiten darf. $R = \sum R_i = \sum (C_i / NIK_i) \leq 1$
SVOC	Semi-Volatile Organic Compounds (englisch für schwerflüchtige organische Verbindungen); der Siedebereich liegt zwischen 240 – 260 °C und 280 – 400 °C
VOC	Volatile Organic Compounds (englisch für flüchtige organische Verbindungen); ihr Siedebereich liegt zwischen 50 – 100 °C und 240 – 260 °C
VVOC	Very Volatile Organic Compounds (englisch für leichtflüchtige organische Verbindungen); ihr Siedebereich liegt zwischen < 0 °C und 50 – 100 °C
TVOC	Summe aller erfassten VOC im Retentionsbereich der n-Alkane von C_6 bis C_{16}
Σ SVOC	Summe aller erfassten SVOC im Retentionsbereich der n-Alkane von C_{16} bis C_{22}
Tedlar®-Behälter	Kissenförmiger Behälter aus Tedlar®-Material mit ca. 300 L Volumen der zum Transport der zu untersuchten Luftprobe verwendet wird
Thermodesorptionssystem (TDS)	ist ein spezielles Injektionssystem für die GC. Zuvor auf Adsorberrohren gesammelte Substanzen werden durch schonendes, langsames Aufheizen wieder desorbiert, in einer Kühlfalle aufgefangen und anschließend schlagartig (einer Spritzeninjektion vergleichbar) auf die chromatographische Säule aufgegeben. Der Vorteil dieser Methode liegt in der hohen Empfindlichkeit bei gleichzeitig geringem Probenahmenvolumen
TENAX	Polymer des 2,6-Diphenyl-p-phenylenoxids, welches häufig in TDS-Adsorberrohren für den Nachweis von VOC eingesetzt wird