

TEXTE

36/2016

# Innenraumluftqualität nach Einbau von Bauprodukten in energieeffizienten Gebäuden



TEXTE 36/2016

Umweltforschungsplan des  
Bundesministeriums für Umwelt,  
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl 3711 62 204  
UBA-FB 002272

## **Innenraumlufthqualität nach Einbau von Bauprodukten in energieeffizienten Gebäuden**

von

Prof. Dr.-Ing. habil. Birgit Müller, Dipl.-Ing. Alexander Mertes  
Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (HTW), Berlin


Dr. Ana Maria Scutaru  
Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

# Impressum

**Herausgeber:**

Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau  
Tel: +49 340-2103-0  
Fax: +49 340-2103-2285  
info@umweltbundesamt.de  
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

**Durchführung der Studie:**

Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (HTW)  
Wilhelminenhofstr. 75 A  
12459 Berlin

**Abschlussdatum:**

Januar 2015

**Redaktion:**

Fachgebiet II 1.3 Innenraumhygiene, gesundheitsbezogene Umweltbelastungen  
Dr. Ana Maria Scutaru

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/innenraumlftqualitaet-nach-einbau-von-bauprodukten>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, April 2016

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unter der Forschungskennzahl 3711 62 204 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.





## Kurzbeschreibung

Einen Großteil seiner Zeit verbringt der Mitteleuropäer innerhalb von Gebäuden. Die Qualität der Luft in Innenräumen ist daher wichtig für die menschliche Gesundheit und das Wohlbefinden.

Unangenehme Geruchsempfindungen bis hin zur Geruchsbelästigung, aber auch gesundheitsbezogene Beschwerden wie die Reizung von Augen, Nase und Rachen, Kopfschmerzen, Müdigkeit oder Konzentrationsschwierigkeiten gehören zu den häufigsten Beeinträchtigungen, die Personen beim Aufenthalt in Innenräumen nennen.

Damit die Raumlufth von vornherein wenig belastet wird, sollten Materialien und Gegenstände, die im Innenraum genutzt werden, emissionsarm sein, also möglichst wenige Schad- und Geruchsstoffe ausdünsten. Innenraumaterialien (Bauprodukte und Materialien zur Ausstattung und Einrichtung von Innenräumen) spielen hier eine wesentliche Rolle, weil ihre Auswahl häufig nicht im Ermessen der Raumnutzer liegt und weil viele von ihnen großflächig in den Raum eingebracht werden.

Die Ergebnisse des Vorhabens sollen mögliche Wege aufzeigen, wie man durch geeignete Auswahl von Bauprodukten spätere Innenraumprobleme inklusive geruchlicher Belästigungen vermeiden kann.

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurde die Innenraumlufthqualität im Hinblick auf flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) und Gerüche in einigen energieeffizienten Gebäuden, realen Gebäuden vor und nach der Sanierung und Bauprodukte und deren Kombinationen untersucht. Es wurden verschiedene Geruchs-Bewertungsmethoden von Raumlufthproben betrachtet und miteinander verglichen. Weiterhin wurden Boden- und Wandaufbauten in speziell eingerichteten Prüfräumen eingebracht und deren Emissionen gemessen.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass die Kombination von Geruch- und Immissionsun-auffälligen Produkten bei sachgerechter Anwendung auch zu guten Raumlufthbedingungen führt.

## Abstract

Central Europeans spend most of their time inside buildings. Therefore the quality of the indoor air is important for human health and well being.

Unpleasant odour perceptions up to odour nuisance, but also health complaints such as irritation of eyes, nose and throat, headache, fatigue or concentration difficulties are the most common impairments reported by occupants of indoor spaces.

In order to preserve a good air quality, materials and articles used indoors should have low-emissions, i.e. they should give off as few harmful and odorous substances as possible. Interior materials (building products and materials for equipment and facilities of indoor spaces) play an important role because their selection is often not within the user's discretion and because many of them cover large surface areas in the room.

The results of this project should identify ways to avoid indoor air problems including odour nuisance by selecting suitable building products.

Within this project the indoor air quality with regard to volatile organic compounds (VOC) and odours in various energy-efficient buildings, real buildings before and after renovation, and building products and their combinations have been investigated. Various methods for the assessment of odours in room air samples have been examined and compared. Furthermore wall and floor constructions have been installed in special testing rooms to measure their emissions.

The results show that the combination of inconspicuous materials in terms of odour and VOC emissions, with proper application, can lead to a good indoor air quality.

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	9
Tabellenverzeichnis.....	12
Abkürzungsverzeichnis.....	13
Zusammenfassung .....	14
Summary .....	23
1 Einleitung und Zielsetzung des Forschungsvorhabens .....	32
2 Aufgabenstellung.....	33
3 Grundlagen .....	35
3.1 Sensorische Untersuchungen .....	35
3.1.1 Intensität .....	35
3.1.2 Hedonik .....	36
3.1.3 Genauigkeit der Bewertungen.....	37
3.1.4 Versuchsbeschreibung - Geruchsbewertungen von Innenraumluft.....	37
3.1.5 Versuchsbeschreibung - Geruchsbewertungen von Innenraummaterialien .....	39
3.1.6 Einfluss von Temperatur und Feuchte .....	42
3.2 Analytische Untersuchungen .....	42
3.2.1 Analytik zur Messung der flüchtigen organischen Verbindungen .....	42
3.2.2 Analytik mit DNPH zur Messung der Aldehyde und Ketone .....	43
3.3 Luftwechsellmessung .....	43
4 Vergleich verschiedener Methoden zur sensorischen Bewertung von Innenraumluft .....	45
5 Untersuchungen in Versuchsräumen .....	49
5.1 Versuchsräume Bismarckplatz .....	49
5.1.1 Versuchsbeschreibung .....	49
5.1.2 Luftwechsellmessung .....	50
5.1.3 Raumlufthuntersuchungen.....	52
5.1.3.1 Versuchsraum 1 .....	52
5.1.3.2 Versuchsraum 2 .....	54
5.1.3.3 Versuchsraum 3 .....	56
5.1.3.4 Versuchsraum 4 .....	59
5.1.3.5 Versuchsraum 5 .....	61
5.1.4 Produktuntersuchungen im Luftqualitätslabor .....	63
5.1.4.1 Produkte Versuchsraum 1 .....	63
5.1.4.2 Produkte Versuchsraum 2 .....	65
5.1.4.3 Produkte Versuchsraum 3 .....	66

5.1.4.4	Produkte Versuchsraum 4	68
5.2	Versuchsräume eco-INSTITUT Köln.....	70
5.2.1	Versuchsbeschreibung .....	70
5.2.2	Versuchsaufbau .....	72
5.2.2.1	Wandaufbau 1	72
5.2.2.2	Wandaufbau 2	72
5.2.2.3	Wandaufbau 3	73
5.2.2.4	Wandaufbau 4	74
5.2.2.5	Bodenaufbau 1	75
5.2.2.6	Bodenaufbau 2	75
5.2.2.7	Bodenaufbau 3	75
5.2.2.8	Bodenaufbau 4	76
5.2.3	Raumlufthuntersuchungen.....	77
5.2.3.1	Wandaufbauten	77
5.2.3.2	Bodenaufbauten	78
5.2.4	Produktuntersuchungen.....	80
5.2.4.1	Wandaufbau 1	80
5.2.4.2	Wandaufbau 2	81
5.2.4.3	Wandaufbau 3	83
5.2.4.4	Wandaufbau 4	85
5.2.4.5	Bodenaufbau 1	87
5.2.4.6	Bodenaufbau 2	89
5.2.4.7	Bodenaufbau 3	91
5.2.4.8	Bodenaufbau 4	93
5.3	Zwischenfazit.....	94
6	Untersuchungsobjekt UBA Haus 2019 .....	96
6.1	Objektbeschreibung .....	96
6.2	Raumlufthuntersuchungen.....	96
6.3	Produktuntersuchungen im Luftqualitätslabor.....	105
6.3.1	Innenwand.....	105
6.3.2	Fußboden.....	107
6.3.3	Parkett.....	109
6.4	Zwischenfazit.....	112
7	Untersuchungsobjekt Bürosanierung.....	113
7.1	Objektbeschreibung .....	113

7.2	Raumluftuntersuchung .....	114
7.3	Produktuntersuchungen im Luftqualitätslabor .....	121
7.4	Zwischenfazit .....	123
8	Zusammenfassung/Ausblick .....	124
9	Quellenverzeichnis .....	126

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Konstruktionsprinzip des Vergleichsmaßstabs .....	36
Abbildung 2: Hedonikskala .....	37
Abbildung 3: Prinzipskizze „AirProbe“ [6] .....	38
Abbildung 4: AirProbe mit Probenbehälter .....	38
Abbildung 5: LQ-Labor HTW Berlin .....	40
Abbildung 6: CLIMPAQ .....	40
Abbildung 7: Vorgeschlagene sensorische Prüfwerte für den Blauen Engel [5] .....	41
Abbildung 8: Vorgeschlagene sensorische Prüfwerte für das AgBB-Schema [5] .....	41
Abbildung 9: Methodenvergleich Intensität .....	46
Abbildung 10: Methodenvergleich Hedonik .....	47
Abbildung 11: CO <sub>2</sub> -Konzentrationsabfall Versuchsraum 1 .....	51
Abbildung 12: CO <sub>2</sub> -Konzentrationsabfall Versuchsraum 4 .....	51
Abbildung 13: Intensität Raum 1 (Bismarckplatz) .....	52
Abbildung 14: Hedonik Raum 1 (Bismarckplatz) .....	53
Abbildung 15: Aldehyd-Konzentrationen Versuchsraum 1 während der Bauphasen (DNPH-Methode) .....	54
Abbildung 16: Intensität Raum 2 (Bismarckplatz) .....	55
Abbildung 17: Hedonik Raum 2 (Bismarckplatz) .....	55
Abbildung 18: Aldehyd-Konzentrationen Versuchsraum 2 während der Bauphasen (DNPH-Methode) .....	56
Abbildung 19: Intensität Raum 3 (Bismarckplatz) .....	57
Abbildung 20: Hedonik Raum 3 (Bismarckplatz) .....	58
Abbildung 21: Aldehyd-Konzentrationen Versuchsraum 3 während der Bauphasen (DNPH-Methode) .....	59
Abbildung 22: Intensität Raum 4 (Bismarckplatz) .....	60
Abbildung 23: Hedonik Raum 4 (Bismarckplatz) .....	60
Abbildung 24: Aldehyd-Konzentrationen Versuchsraum 4 während der Bauphasen (DNPH-Methode) .....	61
Abbildung 25: Intensität Raum 5 (Bismarckplatz) .....	62
Abbildung 26: Hedonik Raum 5 (Bismarckplatz) .....	62
Abbildung 27: Intensität Produkte Versuchsraum 1 (Bismarckplatz) .....	64
Abbildung 28: Hedonik Produkte Versuchsraum 1 (Bismarckplatz) .....	64
Abbildung 29: Intensität Produkte Versuchsraum 2 (Bismarckplatz) .....	65
Abbildung 30: Hedonik Produkte Versuchsraum 2 (Bismarckplatz) .....	66
Abbildung 31: Intensität Produkte Versuchsraum 3 (Bismarckplatz) .....	67



Abbildung 32: Hedonik Produkte Versuchsraum 3 (Bismarckplatz).....	68
Abbildung 33: Intensität Produkte Versuchsraum 4 (Bismarckplatz).....	69
Abbildung 34: Hedonik Produkte Versuchsraum 4 (Bismarckplatz).....	69
Abbildung 35: Skizze Prüfraum eco-INSTITUT [16].....	70
Abbildung 36: Fotos Wandaufbau 1 [16].....	72
Abbildung 37: Fotos Wandaufbau 2 [16].....	73
Abbildung 38: Fotos Wandaufbau 3 [16].....	74
Abbildung 39: Fotos Wandaufbau 4 [16].....	74
Abbildung 40: Foto Bodenaufbau 1 [16] .....	75
Abbildung 41: Foto Bodenaufbau 2 [16] .....	75
Abbildung 42: Foto Bodenaufbau 3 [16] .....	76
Abbildung 43: Foto Bodenaufbau 4 [16] .....	76
Abbildung 44: Intensität Raumlufthuntersuchungen Wandaufbauten .....	77
Abbildung 45: Hedonik Raumlufthuntersuchungen Wandaufbauten .....	78
Abbildung 46: Intensität Raumlufthuntersuchungen Bodenaufbauten .....	79
Abbildung 47: Hedonik Raumlufthuntersuchungen Bodenaufbauten .....	79
Abbildung 48: Intensität Wandaufbau 1 (eco) .....	80
Abbildung 49: Hedonik Wandaufbau 1 (eco) .....	81
Abbildung 50: Intensität Wandaufbau 2 (eco) .....	82
Abbildung 51: Hedonik Wandaufbau 2 (eco) .....	83
Abbildung 52: Intensität Wandaufbau 3 (eco) .....	84
Abbildung 53: Hedonik Wandaufbau 3 (eco) .....	84
Abbildung 54: Intensität Wandaufbau 4 (eco) .....	86
Abbildung 55: Hedonik Wandaufbau 4 (eco) .....	86
Abbildung 56: Intensität Bodenaufbau 1 (eco) .....	88
Abbildung 57: Hedonik Bodenaufbau 1 (eco) .....	88
Abbildung 58: Intensität Bodenaufbau 2 (ECO) .....	90
Abbildung 59: Hedonik Bodenaufbau 2 (ECO) .....	90
Abbildung 60: Intensität Bodenaufbau 3 (eco) .....	91
Abbildung 61: Hedonik Bodenaufbau 3 (eco) .....	92
Abbildung 62: Intensität Bodenaufbau 4 (eco) .....	93
Abbildung 63: Hedonik Bodenaufbau 4 (eco) .....	93
Abbildung 64: Intensität Raumlufth (UBA Haus 2019) .....	98
Abbildung 65: Hedonik Raumlufth (UBA Haus 2019) .....	99

Abbildung 66: Raum 2 – Raumlufthkonzentrationen einiger VOC im Untersuchungszeitraum .....	100
Abbildung 67: Raum 2 – Raumlufthkonzentrationen von aromatischen Kohlenwasserstoffen.....	101
Abbildung 68: Raum 7 – Raumlufthkonzentrationen einiger VOC im Untersuchungszeitraum .....	101
Abbildung 69: Raum 7 – Raumlufthkonzentrationen von aromatischen Kohlenwasserstoffen.....	102
Abbildung 70: Raum 8 – Raumlufthkonzentrationen einiger VOC im Untersuchungszeitraum .....	102
Abbildung 71: Raum 8 – Raumlufthkonzentrationen von aromatischen Kohlenwasserstoffen.....	103
Abbildung 72: Verlauf der TVOC-Werte in den Räumen 2, 7 und 8 im Untersuchungszeitraum .....	103
Abbildung 73: Hexanal-Konzentrationen während der Baumaßnahmen (UBA Haus 2019, DNPH-Methode).....	104
Abbildung 74: Intensität Innenwand (UBA Haus 2019) .....	106
Abbildung 75: Hedonik Innenwand (UBA Haus 2019) .....	107
Abbildung 76: Intensität Fussboden (UBA Haus 2019).....	108
Abbildung 77: Hedonik Fussboden (UBA Haus 2019).....	108
Abbildung 78: Intensität Parkett (UBA Haus 2019) .....	109
Abbildung 79: Hedonik Parkett (UBA Haus 2019) .....	110
Abbildung 80: CO <sub>2</sub> -Konzentrationsabfall Raum 1 (Bürosanierung).....	113
Abbildung 81: CO <sub>2</sub> -Konzentrationsabfall Raum 2 (Bürosanierung).....	114
Abbildung 82: Intensität Raumlufth (Bürosanierung).....	117
Abbildung 83: Hedonik Raumlufth (Bürosanierung).....	118
Abbildung 84: Verlauf der Aldehyd-Konzentrationen im Raum 5 (DNPH-Methode) .....	120
Abbildung 85: Verlauf der Aldehyd-Konzentrationen im Raum 8 (DNPH-Methode) .....	120
Abbildung 86: Intensität Produkte (Bürosanierung).....	121
Abbildung 87: Hedonik Produkte (Bürosanierung) .....	122

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Tabelle F2: Raumluftqualität und zugehörige Wertebereiche für die empfundene Intensität mit Vergleichsmaßstab von Innenraumluft für Aufenthaltsräume (im Sinne der MBO) [3].....	38
Tabelle 2: Tabelle F4: Raumluftklassen und zugehörige Wertebereiche für die mittlere Hedonik von Innenraumluft für Aufenthaltsräume (im Sinne der MBO) [3] .....	39
Tabelle 3: Versuchsräume Bismarckplatz .....	50
Tabelle 4: Übersicht Raumluftbewertung Bismarckplatz .....	50
Tabelle 5: Übersicht Wandaufbauten eco-INSTITUT Köln .....	71
Tabelle 6: Übersicht Bodenaufbauten eco-INSTITUT Köln .....	71
Tabelle 7: Analytik Wandaufbau 1 [16] .....	81
Tabelle 8: Analytik Wandaufbau 2 [16] .....	83
Tabelle 9: Analytik Wandaufbau 3 [16] .....	85
Tabelle 10: Analytik Wandaufbau 4 [16] .....	87
Tabelle 11: Analytik Bodenaufbau 1 [16] .....	89
Tabelle 12: Analytik Bodenaufbau 2 [16] .....	91
Tabelle 13: Analytik Bodenaufbau 3 [16] .....	92
Tabelle 14: Analytik Bodenaufbau 4 [16] .....	94
Tabelle 15: Zeitplan Raumluftuntersuchung UBA Haus 2019.....	96
Tabelle 16: Raumübersicht UBA Haus 2019 .....	97
Tabelle 17: Produktbewertung UBA 2019 .....	105
Tabelle 18: Konzentrationen ausgewählter Verbindungen aus der Kombination Parkett .....	110
Tabelle 19: Zeitplan Bürosanierung .....	114
Tabelle 20: Raumübersicht (Bürosanierung) .....	116

## Abkürzungsverzeichnis

<b>AgBB</b>	Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten
<b>AirProbe</b>	Probendarbietungseinrichtung für Geruchsproben
<b>BA</b>	Bauabschnitt
<b>BMUB</b>	Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
<b>CLIMPAQ</b>	chamber of laboratory investigations of materials, population and air quality
<b>D3, D4, D5</b>	Hexamethylcyclotrisiloxan, Octamethylcyclotetrasiloxan, Decamethylcyclopentasiloxan
<b>DNPH</b>	2,4-Dinitrophenylhydrazin
<b>GC/MS</b>	Gaschromatographie mit Massenspektrometrie-Kopplung
<b>HPLC/UV</b>	Hochleistungsflüssigkeitschromatographie
<b>LQ</b>	Luftqualität
<b>MBO</b>	Musterbauordnung
<b>n.a.</b>	nicht analysiert
<b>n.b.</b>	nicht bestimmbar
<b>n.n.</b>	nicht nachweisbar
<b>NIK</b>	niedrigste interessierende Konzentration
<b>RW I</b>	Richtwert I
<b>TÄ</b>	Toluenäquivalent
<b>TVOC</b>	Summe flüchtige organische Verbindungen
<b>UBA</b>	Umweltbundesamt
<b>VOC</b>	flüchtige organische Verbindungen

## Zusammenfassung

### Einleitung und Zielsetzung des Forschungsvorhabens

Die gesundheitliche Bewertung der Emissionen aus Bauprodukten hat in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung gewonnen. Zum einen deshalb, weil wir uns 80-90 % des Tages in geschlossenen Räumen aufhalten, zum anderen, weil durch die energieeffiziente Bauweise die Luftdichtheit der Gebäudehülle deutlich zugenommen hat und sich von Bauprodukten ausgehende Emissionen mehr als früher gesundheitlich negativ bemerkbar machen können.

In Deutschland werden seit 2005 Gesundheitsanforderungen an die Emissionen in die Zulassung von Bauprodukten integriert und diese wurden für Bodenbeläge, Klebstoffe, Beschichtungen und Verlegeunterlagen bereits erfolgreich eingeführt. Aber selbst wenn die Produkte die Anforderungen der vom Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB) festgelegten Prüfkriterien für die Emission erfüllen, kann es zu gesundheitlichen Beschwerden, unter anderem wegen Geruchsproblemen oder Reizerscheinungen kommen. Diese gehen soweit, dass die Raumnutzer die Entfernung der Baumaterialien fordern. Neben der Emissionssituation in der Prüfkammer muss daher mehr als bisher auch die Immissionssituation nach Einbau der Produkte im Innenraum geprüft werden. Ebenso gilt es, mögliche Geruchsbelastigungen zu erfassen und zu bewerten.

Ziel des ursprünglichen Forschungsvorhabens ist es, die Innenraumluftqualität nach Einbau von Bauprodukten in energetisch sanierten Gebäuden am Beispiel des Dienstgebäudes Bismarckplatz des Umweltbundesamtes (UBA) in Berlin zu untersuchen. Das Gebäude sollte zwischen 2011 und 2014 umfassend saniert werden und danach einzelne Arbeitseinheiten aus verschiedenen UBA-Liegenschaften aufnehmen. Das Gebäude wird in Analogie des Hauptgebäudes in Dessau hohen ökologischen Ansprüchen genügen und soll nachhaltig saniert werden. Dazu zählt auch, dass bereits bei der Planung eine gezielte Produktauswahl auch im Hinblick auf mögliche Emissionen erfolgt.

Die Ergebnisse des Vorhabens sollen mögliche Wege aufzeigen, wie man durch geeignete Auswahl von Bauprodukten spätere Innenraumprobleme inklusive geruchlicher Belästigungen vermeiden kann. Das Projekt soll helfen, Wissenslücken über das Emissionsverhalten in sanierten Räumen (Kombination von Bauprodukten) sowohl für die flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) als auch für die Geruchsproblematik zu schließen. Energieeffiziente Bauweise und gute Raumluftqualität sollen hier über eine sinnvolle Baumaterialauswahl zusammengeführt werden. Die Untersuchungsergebnisse sollen helfen, die Frage zu beantworten, ob und in welcher Form Geruchsbewertungen stärker als bisher berücksichtigt werden sollten.

Aufgrund der Verschiebung des Beginns der Sanierungsarbeiten am Dienstgebäude Bismarckplatz wurde, in Abstimmung mit dem Umweltbundesamt (UBA) und dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), eine Änderung der Leistungsbeschreibung und eine Neuverteilung der restlichen Finanzierungsmitteln beantragt und vorgenommen. In der neuen Leistungsbeschreibung wurden als Untersuchungsobjekte der Neubau des UBA „Haus 2019“ sowie eine zu sanierende Etage in einem Bürogebäude ausgesucht. Beide Objekte befinden sich in Berlin. In Ergänzung dazu wurden weitere olfaktorische Untersuchungen von verschiedenen Wand- sowie Fussbodenaufbauten in Prüfräumen am eco-STITUT in Köln durchgeführt.

### Aufgabenstellung

Ziel des ursprünglichen Projektes ist es, die Innenraumluftqualität nach Einbau von Bauprodukten und deren Kombinationen in energetisch sanierten Gebäuden am Beispiel des UBA Dienstgebäudes Bismarckplatz zu untersuchen. Dazu sollten folgende Untersuchungen durchgeführt werden:

1. Systematische Untersuchung der Raumluftqualität im Hinblick auf Gerüche in Büroräumen des UBA-Dienstgebäudes Bismarckplatz in leerem Zustand vor Beginn der Sanierungsarbeiten für 20 Räume. Die Probanden bewerten immer die empfundene Intensität und die Hedonik der Raumluft. (Kapitel 4)

Die Geruchsprüfung erfolgt für 10 Räume mit den folgenden drei Methoden (a bis c) nach der Auswertung der Ergebnisse der ersten 10 Räume wird entschieden mit welchen beiden Methoden die folgenden Messungen durchgeführt werden oder ob weitere Messungen mit allen drei Methoden nötig sind:

- a. Probenahme mittels Probenbehältern und Bewertung durch geschulte Prüfer am Untersuchungsinstitut
  - b. Probenahme mittels Probenbehälter und Bewertung durch geschulte Prüfer vor Ort am Bismarckplatz
  - c. Probenahme und Bewertung durch geschulte Prüfer vor Ort am Bismarckplatz (direkte Geruchsprüfung).
2. In der zweiten Versuchsphase erfolgt die Wiederholung der Versuche aus (1) während der Sanierungsphase. Es können Prüfungen der Gerüche während des Aufbaus verschiedener Fußbodenaufbaukonstruktionen, Prüfung der Gerüche nach Einbau von Dämmmaterialien (ohne und mit Wandverkleidung) und nach Einbau von Akustikdecken mit Dämmmaterial und Prüfung der Gerüche nach verschiedenen Abdichtungsmaßnahmen durchgeführt werden. Der Ablauf der hier gewünschten Untersuchungen wird eng mit dem Auftraggeber abgestimmt. Diese Versuche werden raumweise je nach Sanierungsfortschritt zugeordnet. Die Gesamtzahl der zu untersuchenden Räume bleibt gleich denen in der ersten Runde (20).
  3. Wiederholung der Versuche nach Beendigung aller Sanierungsarbeiten inklusive malermäßiger Überarbeitung der Räume und Einbau von Türen und Fenstern. Messbeginn ist frühestens 4 Wochen nach Fertigstellung einzelner Räume. Eine zweite Messung soll nach 3-4 Monaten, eine dritte Messung nach 6-8 Monaten erfolgen. Die Gesamtzahl der untersuchten Räume bleibt wie in den Messungen zuvor gleich bei 20.

Im Rahmen der Eigenforschung führt das Umweltbundesamt Messungen der VOC- und Aldehyd-Konzentrationen in ausgewählten Räumen durch.

Zusätzliche Untersuchungen wie Einzelbewertungen oder Kombinationen in Kammern bzw. in realen Räumen werden bereits mit angedacht. Eine Bewertung des Geruchs während der Projektlaufzeit und vor dem Einbau im Objekt durchzuführen ist eine sinnvolle Ergänzung. Die Ergänzungen könnten wie folgt aussehen:

I. Kombinationsversuche von Bauprodukten in Emissionskammer:

Um die Untersuchungen der Messreihe 2 zu entlasten, ist es hilfreich die einzelnen Sanierungsfortschritte in Emissionskammern nachzustellen. So könnte die Beprobung vereinfacht und verschiedene Komplettaufbauten im Vorfeld geprüft werden. Es könnten dann die besten Produkte integriert werden.

II. Kombinationsversuche in realen Räumen der ausgewählten Produkte vor dem Einbau im Objekt:

Die Kombination von Bauprodukten in realen Räumen ist noch so gut wie unerforscht bieten aber Möglichkeiten Geruchsverhalten verschiedener Kombinationen unter realen Bedingungen zu prüfen.

Ergänzend werden auch hier analytische Messungen durch UBA vorgenommen.

Aus den ursprünglich verabredeten Untersuchungen konnten wegen der Bauverzögerung nur die Punkte 1 und dann die Zusatzuntersuchungen I und II durchgeführt werden. Die Messungen unter Punkt 1 dienen für einen Methodenvergleich im Rahmen der Geruchsbewertung.

In Ergänzung dazu gibt es weitere Untersuchungen in Zusammenarbeit mit dem eco-INSTITUT in Köln zu den unter I und II aufgeführten Versuchen. Es werden 4 komplette Wandaufbauten und 4 komplette Fußbodenaufbauten in Köln aufgebaut und analytisch und geruchlich untersucht und zusätzlich werden alle Produkte und einige Kombinationen daraus in Emissionskammern analytisch und geruchlich betrachtet.

Aufgrund der Verschiebung des Beginns der Sanierungsarbeiten am Dienstgebäude Bismarckplatz wurde, in Abstimmung mit dem UBA und dem BMUB, eine Änderung der Leistungsbeschreibung vorgenommen. In der neuen Leistungsbeschreibung wurden als Untersuchungsobjekte der Neubau des UBA „Haus 2019“ sowie eine zu sanierende Etage in einem Bürogebäude ausgesucht. Beide Objekte befinden sich in Berlin.

## **Ergebnisse**

### **Methodenvergleich**

Das erste Arbeitspaket befasst sich mit Untersuchungen zur Ermittlung des IST-Zustands der Raumluftqualität des Gebäudes Bismarckplatz vor Sanierungsbeginn. Dabei werden verschiedene Verfahrensarten der Raumluftbewertung angewendet und untereinander verglichen, um die für die örtlichen Gegebenheiten günstigste Verfahrensart zu ermitteln sowie eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse nachzuweisen.

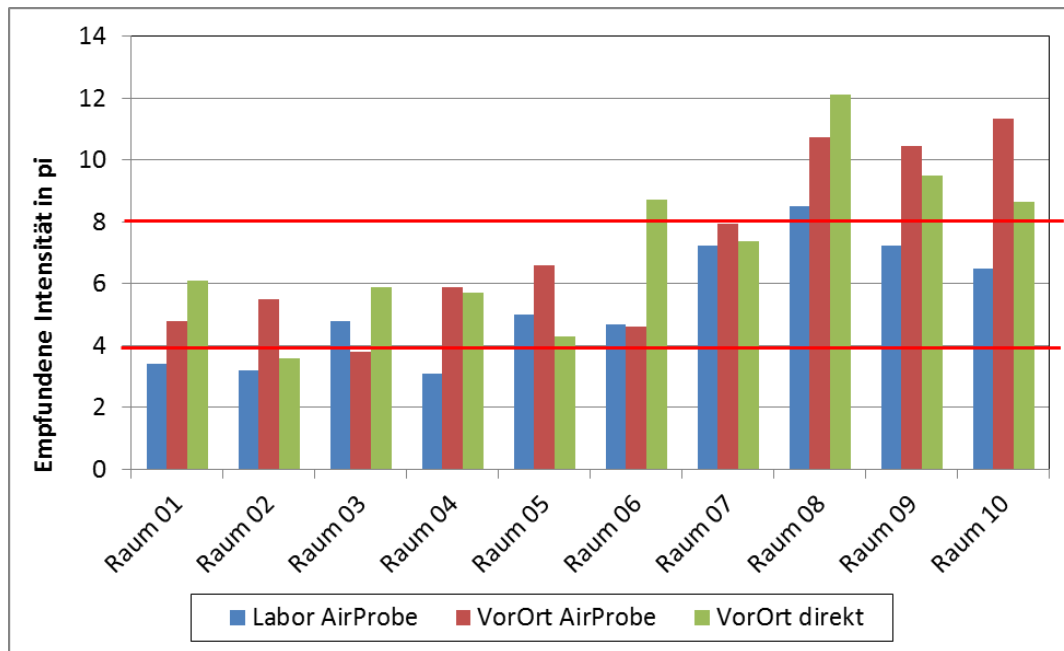
Demnach erfolgten die Geruchsbewertungen für die einzelnen Räume nach folgenden Bewertungsmethoden (a bis c):

- a. **Labor AirProbe:** Probenahme der Raumluft (mittels AirProbe) und anschließende Geruchsprüfung im Labor
- b. **VorOrt direkt:** direkte Geruchsprüfung durch Begehung vor Ort (mittels Vergleichsmaßstab)
- c. **VorOrt AirProbe:** Probenahme der Raumluft (mittels AirProbe) und anschließende Geruchsprüfung Ort am Bismarckplatz

Die nachfolgende Abbildung 9 zeigt einen Vergleich der empfundenen Intensitäten für die drei Bewertungsmethoden der untersuchten Räume.



Abbildung 1: Methodenvergleich Intensität



Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass die Ergebnisse aller drei Bewertungsmethoden im Rahmen der Genauigkeit schwanken (Abweichung  $\pm 2\pi$ ). Für die drei verschiedenen Methoden heißt das, dass der Mittelwert der drei Einzelwerte bestimmt wird und die Schwankungen um diesen Mittelwert nicht größer als die geforderte Genauigkeit von  $\pm 2\pi$  sein sollte. Sie liefern somit vergleichbare Werte. Diese Erkenntnis ist wichtig für das weitere Vorgehen im Projekt, und wichtig für die Entscheidung der weiter zu verwendenden Methoden, je nach Sanierungsstand. Die Bewertungen im Labor mit Hilfe des AirProbe liefern häufig die geringsten Intensitäten. Die Bewertungen mit Hilfe der beiden anderen untersuchten Methoden liefern zum Teil sehr gute Übereinstimmungen aber auch Unterschiede in den Bewertungen. Wenn man die Räume untereinander vergleicht fällt auf, dass Raum 01-Raum 07 im mittleren Raumluftqualitätsbereich liegen. Die Räume 08 bis 10 weisen etwas schlechte Raumluftqualitäten auf.

#### Methodenauswahl:

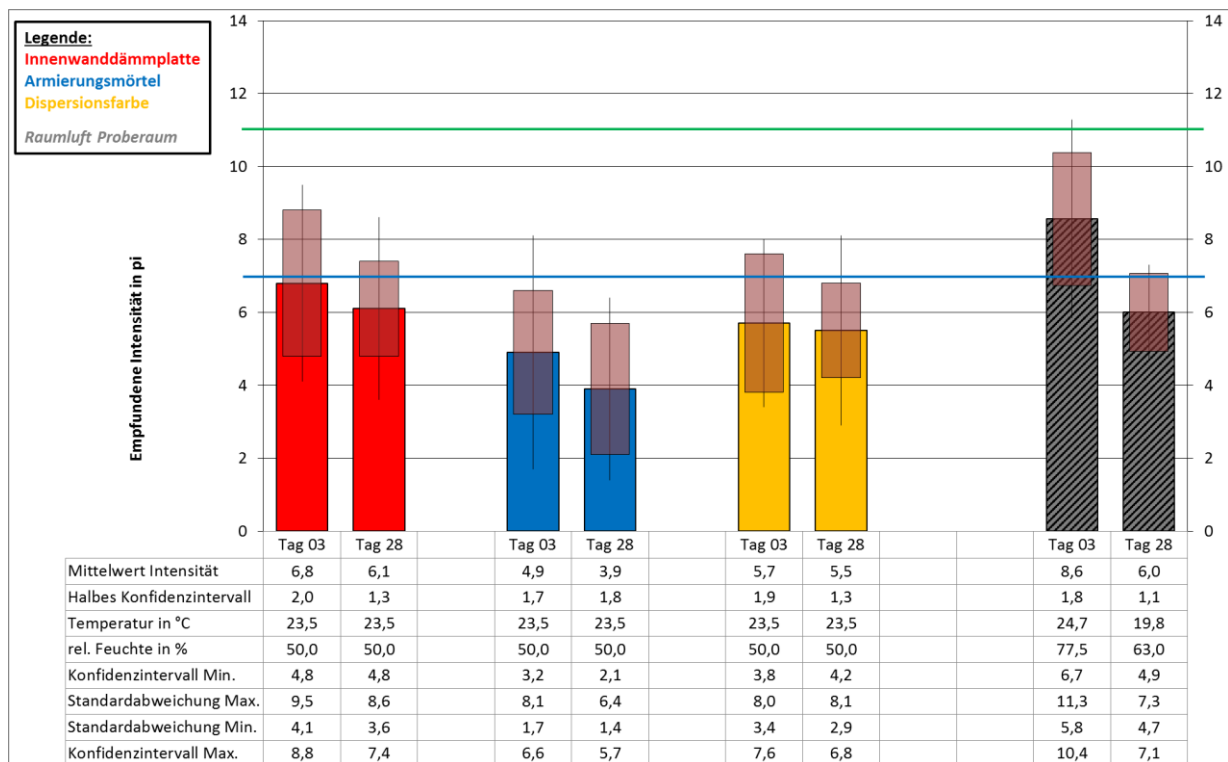
Auf Grundlage der durchgeführten Untersuchungen wurde zusammen mit dem Auftraggebern entschieden, dass für das Objekt am Bismarckplatz zunächst die beiden Methoden vor Ort (b und c) weiter verfolgt werden. Die Methode im Labor ist aber immer dann vorzuziehen, wenn beispielsweise bei der Sanierung keine Bewertung vor Ort möglich ist.

#### Untersuchungen in Versuchsräumen

Aufgrund der sich zu diesem Zeitpunkt bereits andeutenden Bauverzögerungen werden als nächster Arbeitsschritt Kombinationsversuche in realen Räumen des Bismarckplatz untersucht. Ergänzend werden verschiedenen Wand- bzw. Bodenaufbauten in reale Versuchsräume beim eco-INSTITUT in Köln eingebracht und olfaktorisch untersucht. Zusätzlich dazu werden die eingesetzten Einzelprodukte in Emissionkammern im Luftqualitätslabor bewertet.

Die nachfolgende Abbildung 27 zeigt exemplarisch die Intensitäten der eingesetzten Produkte sowie der Raumluftuntersuchung von Versuchsraum 1 im UBA Bismarckplatz. Alle Bewertungen der Einzelprodukte liegen am Tag28 unter dem Kriterium des Blauen Engels ( $<7\pi$ ). Die Intensität der Raumluft (sw/grau) liegt am Tag28 ebenfalls in diesem Wertebereich ( $6\pi$ ).

Abbildung 2: Intensität Produkte Versuchsraum 1 (Bismarckplatz)



Die Bewertungen der Einzelprodukte in den Emissionskammern liefern ähnliche Ergebnisse wie die Bewertungen der Versuchsraumluft.

Die getesteten Bauprodukte zeigen niedrige bis sehr niedrige Emissionen in den Prüfkammern. Bei der Bewertung der Raumlufthausqualität werden während der Baumaßnahmen höhere VOC- und Aldehyd-Konzentrationen gemessen. Diese nehmen aber mit der Zeit ab und erreichen am letzten Untersuchungstag ähnliche Werte wie im Ist-Zustand der Räume.

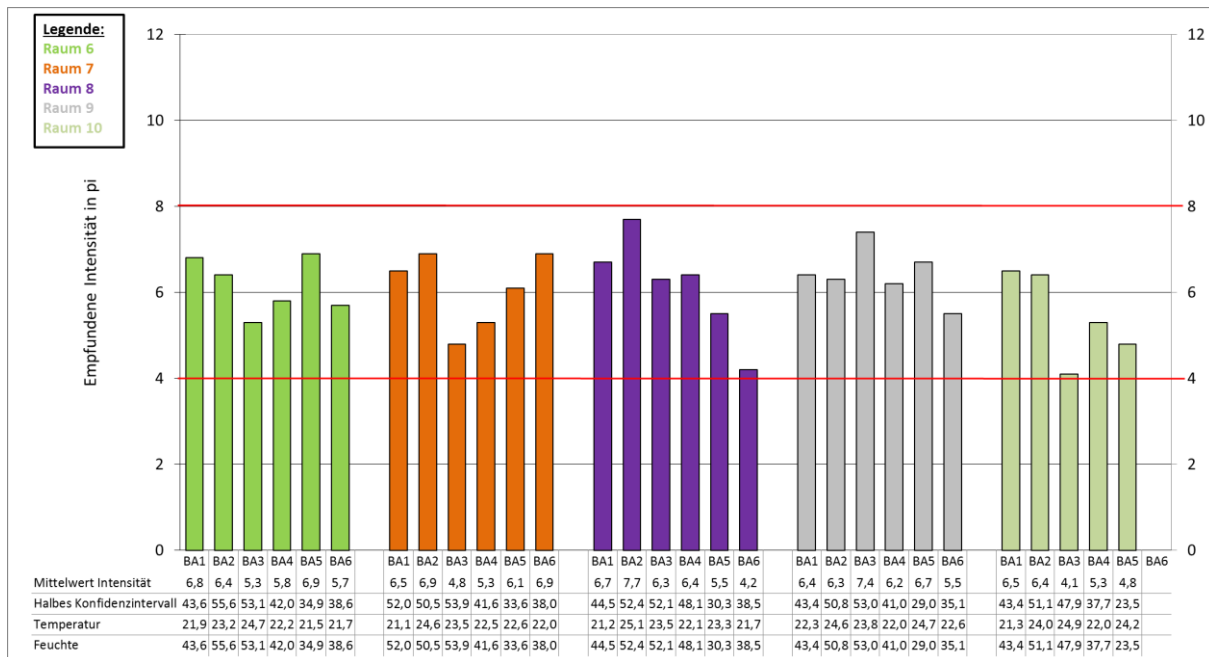
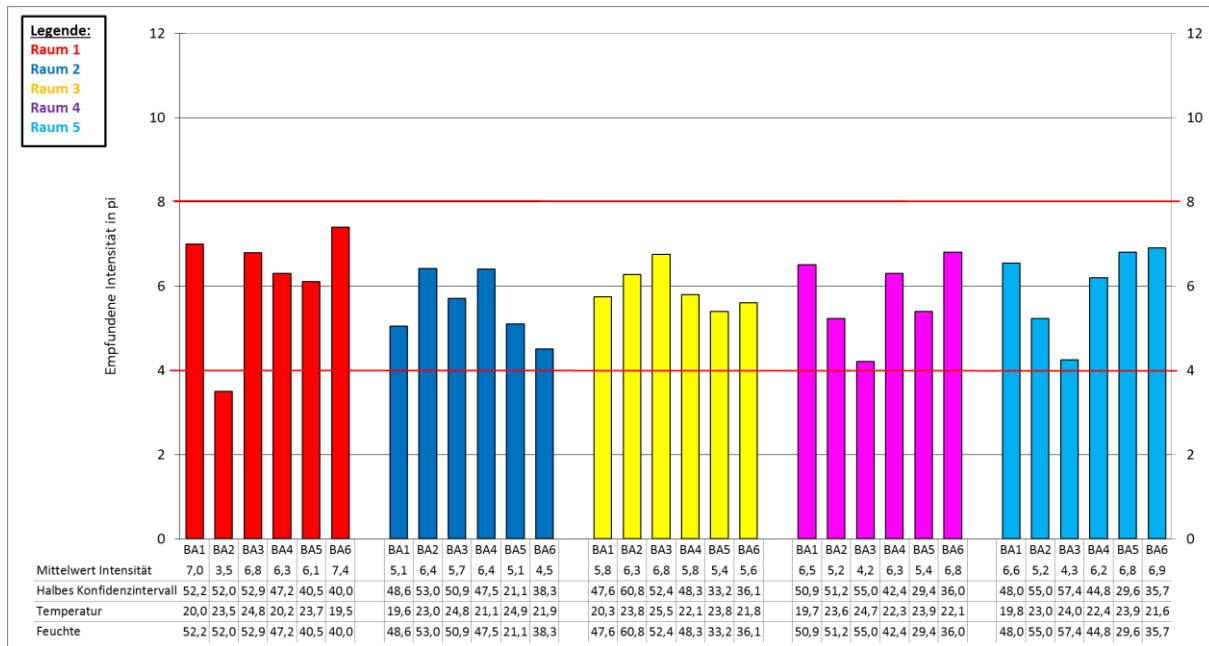
**Untersuchungsobjekt UBA Haus 2019**

In Berlin-Marienfelde entstand in den Jahren 2011 bis 2013 ein Nullenergiehaus mit 31 Büroarbeitsplätzen und drei Besprechungsräumen. Seinen Arbeitstitel „Haus 2019“ erhielt das Gebäude, da es schon jetzt die Vorgabe der europäischen Gebäuderichtlinie erfüllen soll, dass Gebäude der öffentlichen Hand ab dem Jahr 2019 eine übers Jahr gerechnet ausgeglichene Energiebilanz vorweisen sollen. Während der Bauarbeiten im Innenbereich sowie nach Bezug der Räumlichkeiten werden in bestimmten Abständen olfaktorische und analytische Raumlufthausbewertungen durchgeführt.

Abbildung 64 zeigt die empfundenen Intensitäten der untersuchten Räume an den verschiedenen Untersuchungstagen (Bauabschnitten).

Abbildung 3: Intensität Raumlufthaus (UBA Haus 2019)

## Innenraumlufthausqualität nach Einbau von Bauprodukten in energieeffizienten Gebäuden



Hauptsächlich werden alle empfundenen Intensitäten der Räume im mittleren Qualitätsbereich eingestuft. Im Laufe der Baumaßnahmen also vor Nutzung der Räumlichkeiten (BA1-3) sind die Raumluftintensitäten bei den Räumen 2 (blau), 3 (gelb) und 9 (grau) leicht gestiegen, bei den übrigen Räumen aber gesunken.

Mit fortlaufender Nutzung der Räumlichkeiten (BA4-6) bleiben die Intensitäten bei den Räumen 2 (blau), 3 (gelb), 8 (lila) sowie 9 (grau) in etwa im gleichen Bereich bzw. sinken leicht. Bei den anderen Räumen steigen die teilweise bereits niedrigen Intensitäten nach Beendigung der Baumaßnahmen (BA3) im Laufe der Nutzung (BA4-6) wieder an. Daraus lässt sich schließen, dass mit der Nutzung der Räumlichkeiten weitere Gerüche eingebracht werden, welche unabhängig von den Baumaßnahmen (siehe Tabelle 16 z.B. Kaffee) einen Einfluss auf die Geruchsqualität der Räume haben.

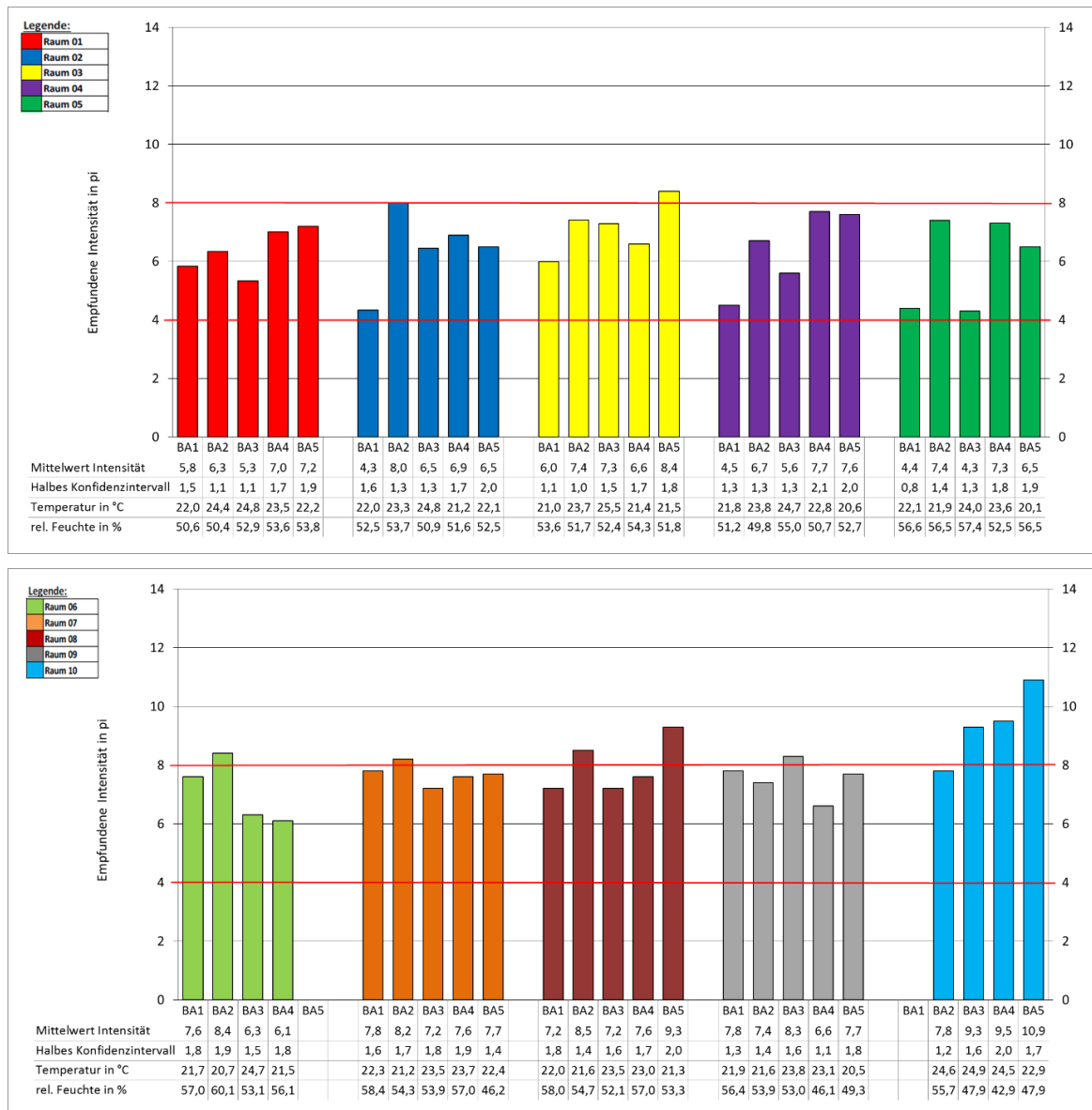
Die Bewertung der Raumluftqualität zeigt höhere VOC- und Aldehyd-Konzentrationen während der Baumaßnahmen. Diese nehmen aber mit der Zeit ab. Am letzten Untersuchungstag wird eine gute Innenraumlufthausqualität für ein neues Gebäude erreicht.

### Untersuchungsobjekt Büroanierung

Des Weiteren wird die Sanierung neuer Büroräume in einer Etage eines großen Bürogebäudes in Berlin begleitet. Die Büroetage verfügt über keine Lüftungsanlage, weshalb nur ein manuelles Lüften über Öffnen der Fenster möglich ist.

Abbildung 82 zeigt die empfundenen Intensitäten aller untersuchten Räume an den einzelnen Untersuchungstagen (BA1-BA5).

Abbildung 4: Intensität Raumluft (Büroanierung)



Der Übersicht halber sind die Standardabweichungen und Konfidenzintervalle hier nicht graphisch dargestellt. Das halbe Konfidenzintervalle ist in der Datentabelle aufgeführt und wurde bei allen Untersuchungen eingehalten. Grundsätzlich steigt bei fast allen Räumen die Intensität nach dem 2.Bauabschnitt (BA2) etwas an, was auf das Einbringen des Bodenbelags hinweist. Bei BA3, also etwa ein Monat nach BA2, fallen die Intensitäten wieder etwas geringer aus. Ausnahme ist hier Raum 10, welcher mit Linoleum ausgestattet ist und im Vergleich zu den anderen Räumen die höchsten Intensitäten im Laufe des Untersuchungszeitraums aufweist. Ansonsten ändern sich die Intensitäten

im Laufe des Untersuchungszeitraums nur noch geringfügig und liegen mit einigen Ausnahmen knapp im mittleren Raumlufthqualitätsbereich (zwischen 6 und 8pi).

Die Bewertung der Raumlufthqualität zeigt höhere VOC- und Aldehyd-Konzentrationen während der Baumaßnahmen. Es werden teilweise auch Innenraumrichtwerte für einige chemische Substanzen überschritten. Die Konzentrationen der flüchtigen organischen Verbindungen nehmen aber mit der Zeit ab. Die Bewertung der Raumlufth am letzten Untersuchungstag erreicht gute Ergebnisse.

### **Zusammenfassung/Ausblick**

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurde die Innenraumlufthqualität im Hinblick auf flüchtigen organischen Verbindungen VOC- und Gerüche in einigen energieeffizienten Gebäuden untersucht.

Ziel des ursprünglichen Forschungsvorhabens war es, die Innenraumlufthqualität nach Einbau von Bauprodukten in energetisch sanierten Gebäuden am Beispiel des Dienstgebäudes Bismarckplatz des Umweltbundesamtes in Berlin zu untersuchen. Aufgrund der Verschiebung des Beginns der Sanierungsarbeiten am Dienstgebäude Bismarckplatz wurde eine Änderung der Leistungsbeschreibung vorgenommen. In der neuen Leistungsbeschreibung sind als Untersuchungsobjekte der Neubau des UBA „Haus 2019“ sowie eine zu sanierende Etage in einem Bürogebäude ausgesucht worden. Beide Objekte befinden sich in Berlin. In Ergänzung dazu wurden weitere olfaktorische Untersuchungen von verschiedenen Wand- sowie Fussbodenaufbauten in Prüfräumen am eco-INSTITUT in Köln durchgeführt. Bei den Raumlufthuntersuchungen in den Versuchsräumen in den Objekten Bismarckplatz und am eco-INSTITUT in Köln wurde sowohl die direkte als auch indirekte Bewertungsmethode (AirProbe) angewandt. Beide Bewertungsmethoden zeigen hier vergleichbare Ergebnisse.

Im Rahmen dieses Projekts werden etwa 60 Einzelprodukte bzw. Kombinationen von Produkten olfaktorisch und analytisch im Luftqualitätslabor untersucht. Zusätzlich werden diese Produkte in Neubauten oder Sanierungen oder nachgestellten Sanierungen verwendet und in „realen Räumen“ bewertet. Viele der untersuchten Einzelprodukte erzielten sehr gute olfaktorische Bewertungen und die Mehrzahl der Produkte erfüllt somit die vorgeschlagenen Kriterien des Blauen Engels bzw. des AgBB-Schemas für die Geruchsbewertung. Des Weiteren liefern, die in diesem Projekt durchgeführten Produktbewertungen, eine sehr gute Datengrundlage für eine olfaktorische Produktdatenbank, welche in zukünftigen Projekten hilfreich sein kann. Damit lassen sich verschiedene Produkte miteinander vergleichen und die Auswahl von Bauprodukten hinsichtlich ihrer möglichen Geruchsbeeinträchtigung im Vorfeld von Baumaßnahmen erleichtern.

Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse dieses Projekts den Einfluss von Kombinationen verschiedener Einzelprodukte auf die empfundene Luftqualität auf. Die Bewertung der empfundenen Geruchsintensitäten von Einzelprodukten kann in der Bewertung der Produktkombinationen wiedergefunden werden. Die dazugehörigen Emissionsmessungen zeigen ein ähnliches Verhalten. Der Vergleich von Raumlufth- und Produktuntersuchungen in Kammern zeigt, dass Gerüche aus Bauprodukten in der Raumlufth wiederzufinden sind bzw. beide Untersuchungen die gleichen Ergebnisse liefern.

Bei Messungen in realen Räumen muss berücksichtigt werden, dass es nicht immer möglich ist die Raumlufthtemperatur und relative Feuchte wie im Labor einzustellen. Die Untersuchungen im Labor finden unter ständiger definierter Belüftung statt. Es kann also zu unterschiedlichen Versuchsbedingungen kommen. Daher sollten weitere Messungen gerade auch mit Kombinationen von Produkten durchgeführt werden, um die Datenbasis zu erhöhen und genauere Aussagen treffen zu können.

Die Messung der VOC- und Aldehyd-Konzentrationen zeigen am 28. Untersuchungstag (bei allen Untersuchungen) in den Gebäuden oder Prüfräumen gute Ergebnisse. Die Auswahl der eingesetzten Produkte hat einen großen Einfluss auf die Ergebnisse. Während der Baumaßnahmen werden auch höhere Schadstoff-Konzentrationen in der Raumlufth der beprobten Räume gemessen. Diese nehmen

aber generell über den Untersuchungszeitraum ab. In ‚unbenutzten‘ Räume ist, aufgrund des niedrigen Luftwechsels, eine langsamere Abnahme der VOC- und Aldehyd-Konzentrationen zu verzeichnen. Hierzu muss im Rahmen eines Neubaus oder einer Sanierung dafür gesorgt werden, dass der empfohlene hygienische Mindestluftwechsel von 0,5 1/h erreicht wird.

Die eingesetzten Baumaterialien zeigen niedrige bis sehr niedrige Emissionen.

Die Ergebnisse zeigen, dass geruchlich unauffällige und emissionsarme Bauprodukte zu geruchlich unauffälligen und emissionsarmen Räumen führen können.

## Summary

### Introduction and aim of the research project

Health-related evaluation of emissions from building products has gained more and more importance in the last years. This is due, on the one hand, to the fact that people spend 80-90 % of their time inside buildings and on the other hand, to the increased air-tightness of the building envelope as a result of the energy-efficient construction. Thus, the emissions from building products can influence the occupant's health today more than in the past.

Since 2005 Germany has implemented health-related requirements for the emissions within the approval of building products. Flooring materials, adhesives, floor coatings and underlays need technical approvals before being used in indoor spaces. However, even if products fulfil the requirements for the emissions of the Committee for Health-related Evaluation of Building Products (AgBB), health complaints due to odour nuisance or irritation can be registered. These can lead to the situation that room occupants demand the removal of the building materials. Therefore the immission situation after installation of products has to be checked beside the emissions measurements in the test chambers. Possible odour nuisance has to be equally recorded and evaluated.

The original aim of the study is to investigate the indoor air quality of energy-efficient retrofitted buildings using the example of the office building Bismarckplatz of the German Environment Agency (Umweltbundesamt, UBA) in Berlin. The building should be extensively renovated between 2011 and 2014 and subsequently include single work units from other UBA office buildings. The building has to meet high environmental standards and will be sustainably renovated. This implies a targeted selection of low-emission products already during the planning stages.

The results of this project shall identify ways to avoid indoor air problems including odour nuisance by selecting suitable building products. The project intends to close knowledge gaps about the emission behaviour of volatile organic compounds (VOC) and odours in retrofitted rooms (also for combination of building products). Energy-efficient construction and good indoor air quality are to be brought together through a reasonable selection of building materials. The results of the research project shall help answering the question, whether the evaluation of odours has to be considered to a greater degree than in the past.

Due to the postponement of the remediation actions in the office building Bismarckplatz the specification of the project has been changed in agreement with UBA and the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety (BMUB). The new building "UBA Haus 2019" and one floor in an office building to be renovated have been included in the new specification of the project. Both buildings are located in Berlin. In addition, further olfactory analyses of various wall and floor constructions installed in test rooms of the eco-INSTITUT in Cologne have been conducted.

### Assignment of tasks

The original aim of the study is to investigate the indoor air quality of energy-efficient retrofitted buildings using the example of the office building Bismarckplatz of the German Environment Agency (Umweltbundesamt, UBA) in Berlin. For this purpose following analyses are conducted:



1. Systematic analysis of the indoor air quality concerning odours in 20 empty offices of UBA Bismarckplatz before the start of the remediation works. The panel members evaluate the perceived intensity and hedonics of the indoor air. (chapter 4)

The odour tests are conducted in 10 rooms using the following three methods (a to c). By means of the results one decides which two methods shall be used to execute the following measurements or if further analyses using the three methods have to be performed:

- a. Air sampling in special containers and evaluation by the trained panel in the laboratory
  - b. Air sampling in special containers and evaluation by the trained panel on site (UBA Bismarckplatz)
  - c. Direct odour testing on site.
2. During the second experimental phase the analyses under (1) are being repeated. Odour tests can be performed during the placement of various flooring constructions, after installation of insulating materials (with and without wall covering) and placement of acoustic ceiling or after various sealing measures. The workflow of these measurements is being coordinated together with UBA. The analyses are conducted room by room depending on the progress of the remediation works. Also 20 rooms are analysed.
  3. During the third phase the analyses are being repeated after the end of the remediation works including painting of the rooms and placement of doors and windows. The first measurements shall be conducted 4 weeks at the earliest after finishing single rooms. A second measurement shall be conducted after 3-4 months and the last measurement after 6-8 months. 20 rooms are analysed.

UBA performs measurements of the VOC and aldehydes concentrations in selected rooms.

Additional analyses like evaluations of single products or combinations of materials in emission test chambers and real rooms are being planned. The evaluation of odours within the project duration, before installation of materials in the building is a reasonable addition. For this purpose following analyses can be conducted:

- I. Measurement of combinations of building materials in emission test chambers

To relieve the analyses under (2) it is helpful to simulate single remediation phases in the emission test chambers. In this way the sampling simplified and various constructions can be previously tested. The best products can then be selected.

- II. Analyses of combinations of selected materials in real rooms before the products are installed in the building

The combination of products in real rooms is as good as unexplored so far, but it gives the possibility to check the behaviour of these compositions regarding odour emissions under real conditions. In addition analytical measurements are performed by UBA.

Due to the postponement of the remediation works only the analyses under (1) and the additional measurements under (I) and (II) have been conducted. The investigations under (1) are being used for the comparison of various methods for the odour assessment.

Various measurements, in addition to those under (I) and (II), have been conducted in cooperation with the eco-INSTITUTE in Cologne. 4 wall and 4 floor constructions have been installed in Cologne and the emission of volatile organic compounds and odours have been assessed. All single products and some combinations have been additionally tested in the emission chambers.

Due to the postponement of the remedial actions in the office building Bismarckplatz the specification of the project has been changed in agreement with UBA and BMUB. The new building “UBA Haus 2019” and one floor in an office building to be renovated have been included in the new specification of the project. Both buildings are located in Berlin.

## Results

### Comparison of methods

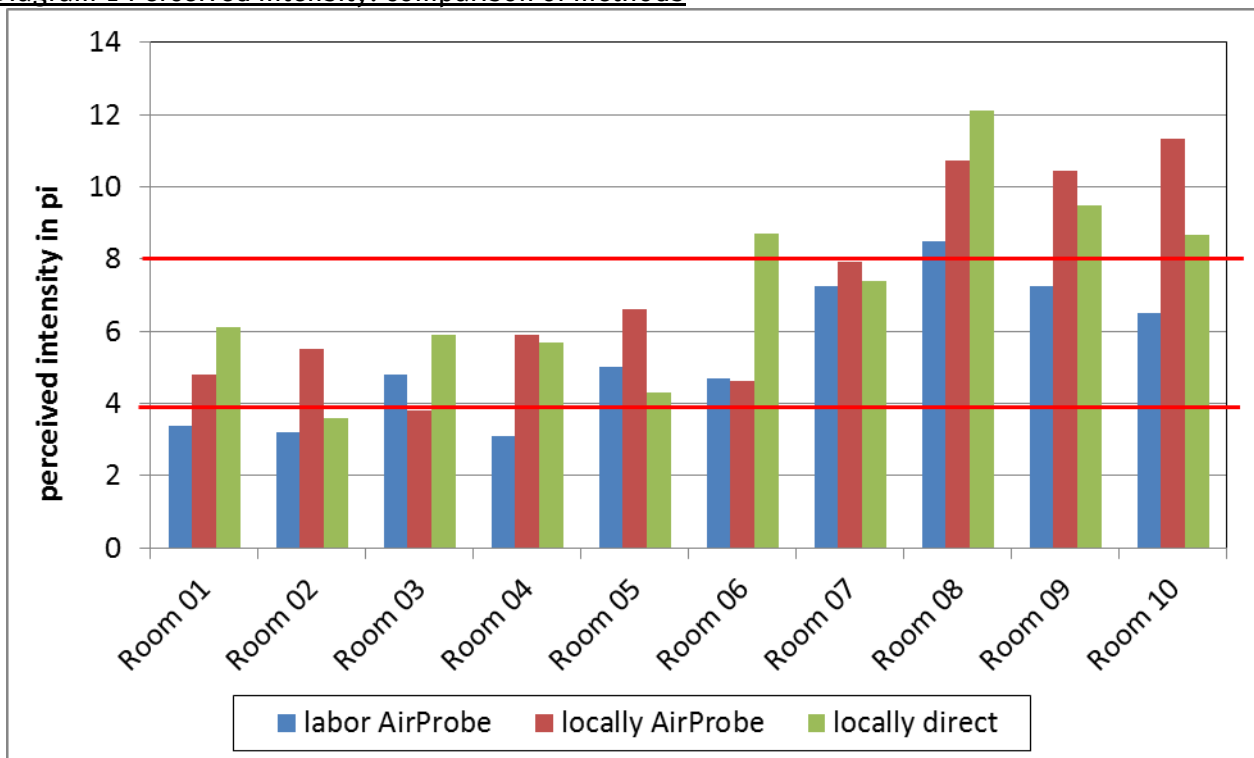
The first working package deals with analyses for the assessment of the as-is-condition of the air quality in the selected rooms at UBA Bismarckplatz before starting the remedial actions. Various assessment methods of the indoor air are being used and compared, to identify the most suitable method for the evaluation of odours and to verify the comparability of the results with the different methods.

The evaluation of odours in the office rooms is being conducted according to the following methods:

- a. Air sampling in special containers and evaluation by the trained panel in the laboratory
- b. Air sampling in special containers and evaluation by the trained panel on site (UBA Bismarckplatz)
- c. Direct odour testing on site.

The following diagram compares the perceived intensity for the three evaluation methods described above in the analysed rooms.

Diagram 1 Perceived intensity: comparison of methods



Generally, one can conclude that the results of the three assessments methods range within the accuracy requirements of  $\pm 2\text{pi}$ . This means that the mean value for the three different methods is being calculated and that the deviations around this mean value are not allowed to exceed the accuracy requirements of  $\pm 2\text{pi}$ . The three methods provide similar results. This finding is important for the further approach in this project and for the decision upon the selection of the evaluation method to be used during the various phases of the remediation works. The results in the laboratory by using the AirProbe provide the lowest perceived intensities. The other two methods show very good consistencies but also some differences in the assessment. By comparing the results of the rooms, one can say that the offices 01 to 07 have a medium air quality. The rooms 08 to 10 exhibit a slightly poor indoor air quality.

#### Method selection:

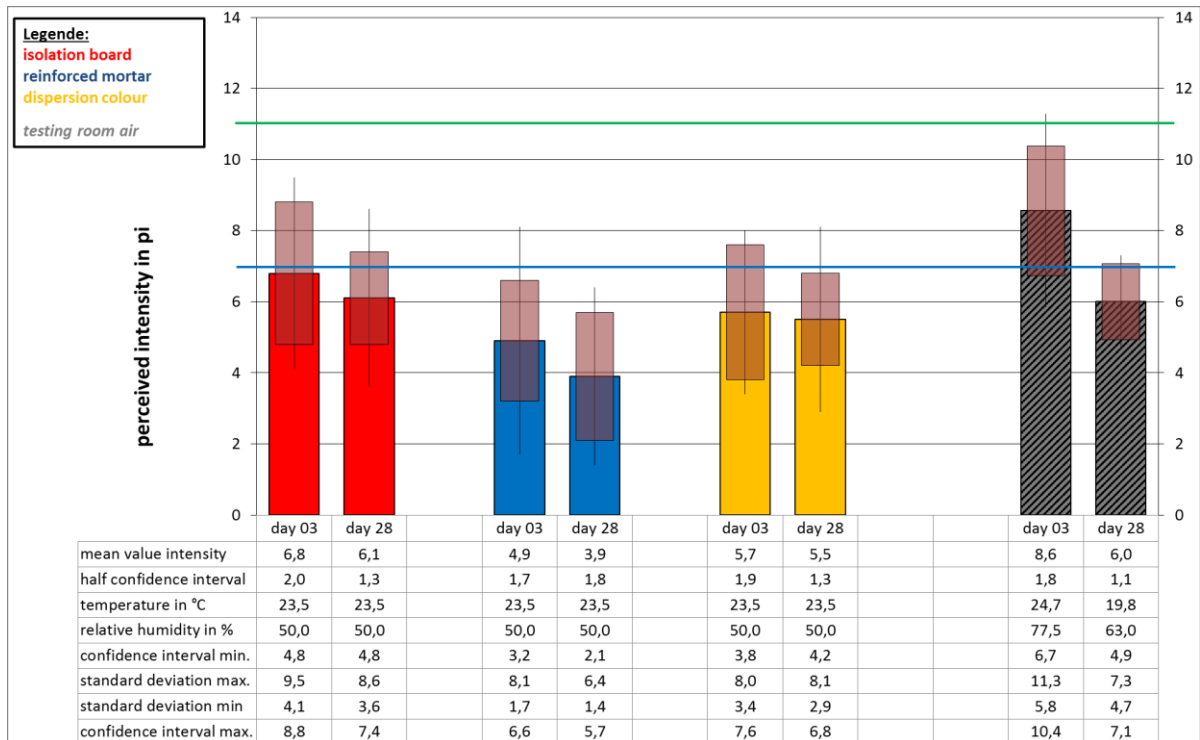
On the basis of these analyses and in cooperation with UBA the two methods on site (b and c) have been selected for the following investigations in UBA Bismarckplatz. The LaborAirProbe is always to be selected when e.g., due to remediation works, an evaluation on site is not possible.

#### **Measurements in test rooms**

Due to the postponement of the renovation works the investigations of combinations of building materials are conducted in a next phase. Various wall and floor construction in real test rooms of the eco-INSTITUTE in Cologne are being installed and the emissions tested. In addition the single building products installed in the rooms are being tested in the emission chambers.

Diagram 2 shows exemplarily the perceived intensity of the placed products and of the indoor air in the test room 1 at UBA Bismarckplatz. The results of the assessments for all single products are below the criteria for the Blue Angel on day28 ( $< 7\text{pi}$ ). The perceived intensity of the room air (black/grey) is also located in this range ( $6\text{pi}$ ).

#### **Diagram 2 Perceived intensities of the products and the indoor air in test room 1 (Bismarckplatz)**



The evaluation of the single building products in the emission test chambers provides similar results as the assessment of the room air.

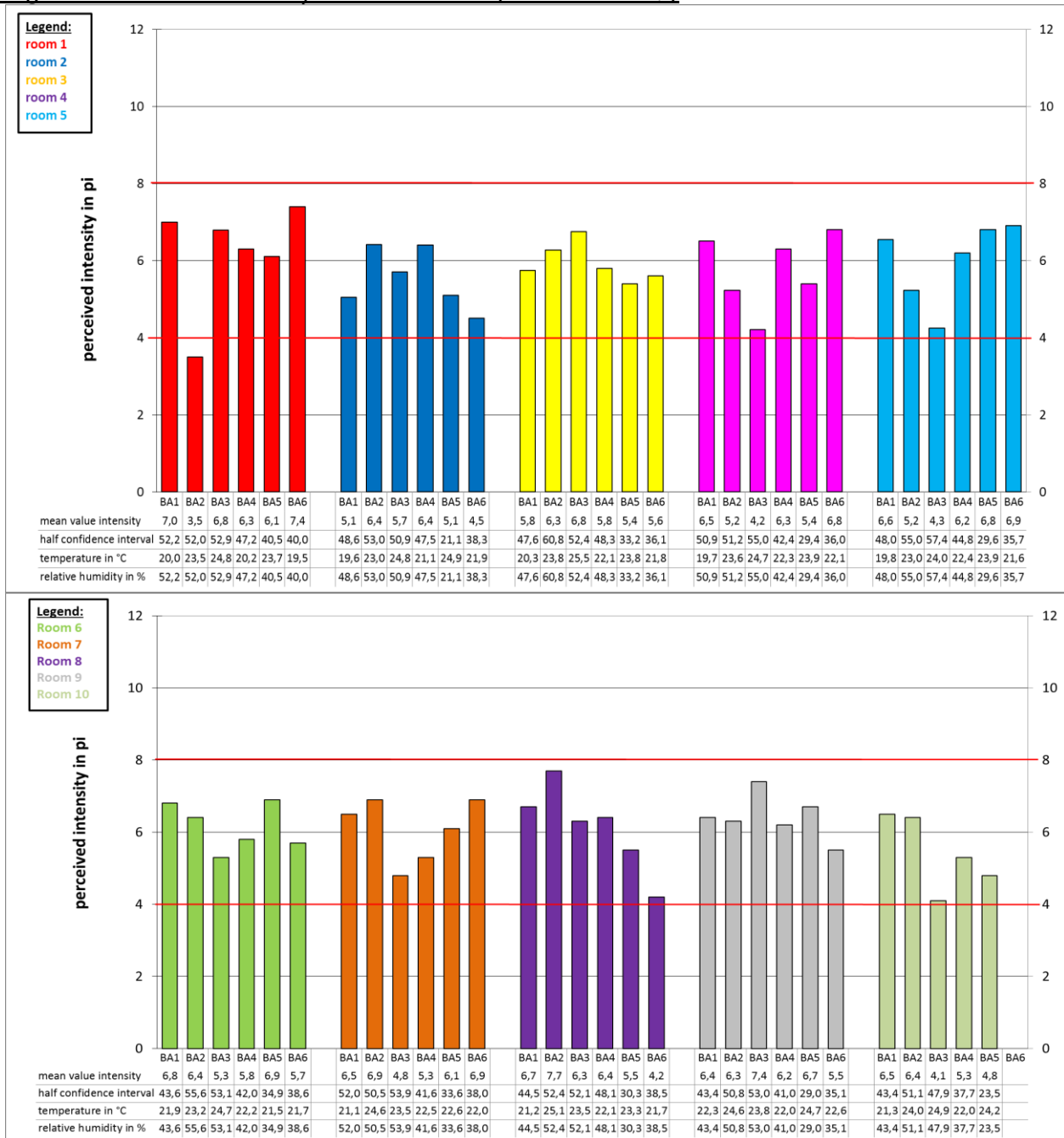
Regarding the chemical emissions the single products show very low emissions. For the indoor air higher concentrations are measured during the remediation works; these decay over the investigation period and reach similar values as in the as-is-condition of the rooms on the last measurement day.

### **Research object “UBA Haus 2019”**

Between 2011 and 2013 a zero-energy building with 31 offices and 3 meeting rooms has been built in Berlin Marienfelde. The building title “Haus 2019” has been chosen since this construction shall fulfil as of now the energy requirements for public buildings beginning with 2019. Olfactory and analytical measurements of the indoor air are conducted during the construction works and after the occupancy by the users.

Diagram 3 shows the intensity of the analysed rooms during the various stages of the construction.

Diagram 3 Perceived intensity of the indoor air (UBA Haus 2019)



Generally, all perceived intensities in the offices are situated in a middle quality range. During the construction works (before using the rooms, BA 1-3) the intensities of the rooms 2 (blue), 3 (yellow) and 9 (grey) slightly increase, in the rest of the rooms the intensities decrease.

With the continuous use of the rooms (BA 4-6) the intensities in the offices 2 (blue), 3 (yellow), 8 (purple) and 9 (grey) remain in the same range or slightly decrease. For the other rooms the mostly low intensities increase after finishing the construction of the building (BA 3) and occupancy by the users (BA 4-6). This means that by using the building further odours are being introduced in the construction which influences the indoor air quality.

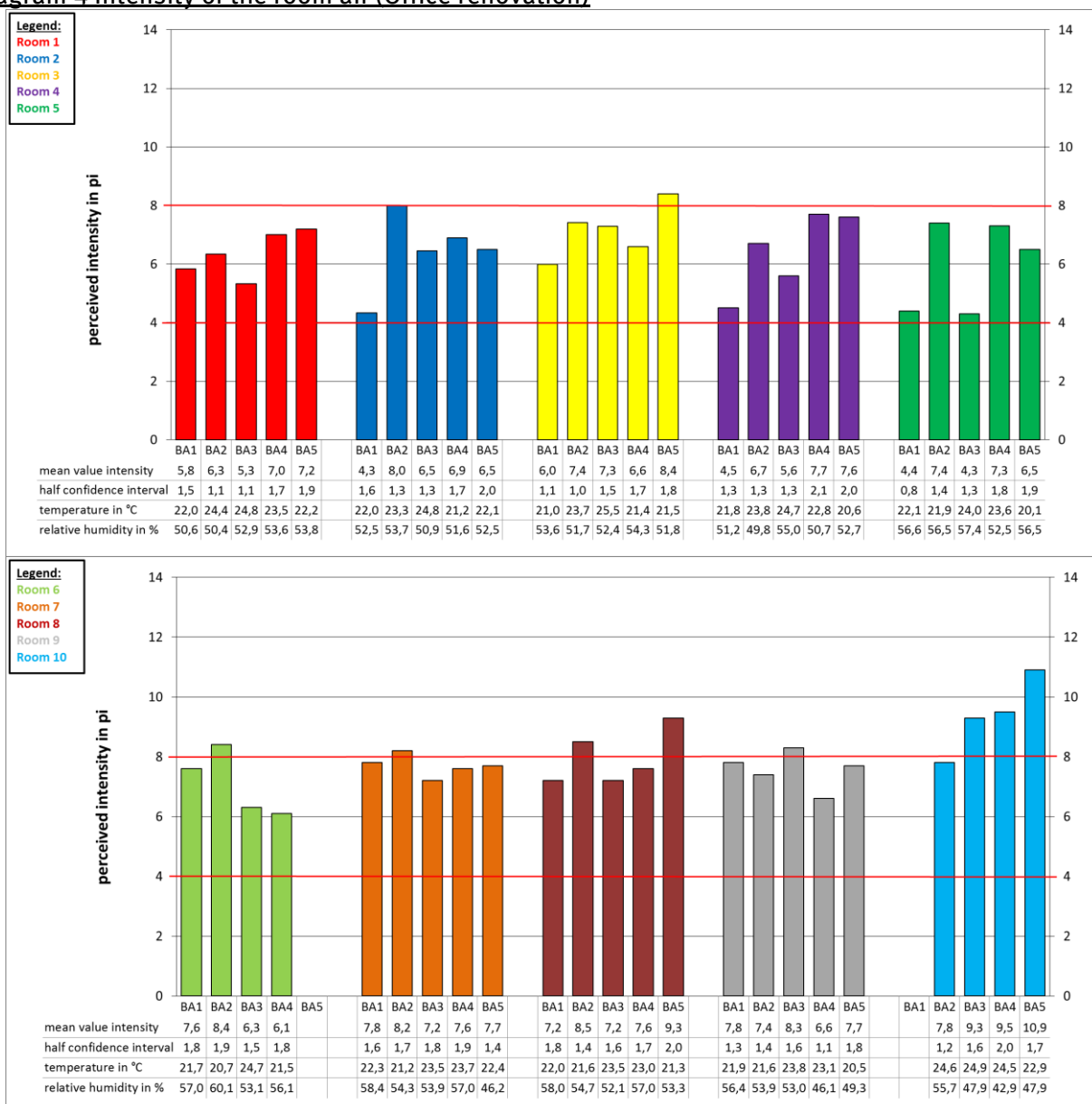
Regarding chemical emissions into indoor air, higher concentrations are measured during the construction works; these decay over the investigation period and reach good values for a newly built building on the last measurement day.

**Research object “Office renovation”**

In this chapter remediation works of a floor in a large office building in Berlin have been accompanied. This floor has no ventilation system, so only manual ventilation by opening the windows is available.

Diagram 4 shows the perceived intensity of all analysed rooms during the measurement phases (BA 1-5).

Diagram 4 Intensity of the room air (Office renovation)



The standard deviations and the confidence intervals are not shown in this picture but can be found in the data table. The requirements for these parameters are fulfilled. Generally the intensity in al-

most all rooms slightly increases after the second construction phase (BA 2) when the flooring material is installed. In BA 3 (one month after BA 2) the intensities decrease to some extent. One exception can be observed in room 10 where Linoleum is used; the intensity reaches here the highest value during the measurement phases. Apart from this, the intensities change insignificantly during the measurement phases and are located, with some exceptions, in a marginal middle range for the room air quality (between 6 and 8pi).

Regarding chemical emissions into indoor air, higher concentrations are measured during the remediation works. Thus, the indoor air guideline values for some compounds are exceeded. The concentrations of the volatile organic compounds decay over the investigation period and reach good values on the last measurement day.

### **Summary/Outlook**

In this research project the indoor air quality in energy-efficient buildings with regard to odours and volatile organic compounds has been investigated.

The original aim of the study is to investigate the indoor air quality of energy-efficient retrofitted buildings using the example of the office building Bismarckplatz of the German Environment Agency (Umweltbundesamt, UBA) in Berlin. Due to the postponement of the remediation works in the office building Bismarckplatz the specification of the project has been changed in agreement with UBA and the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety (BMUB). The new building “UBA Haus 2019” and one floor in an office building to be renovated have been included in the new specification of the project. Both buildings are located in Berlin. In addition, further olfactory analyses of various wall and floor constructions installed in test rooms of the eco-INSTITUT in Cologne have been conducted. For the evaluation of the indoor air quality in the test rooms of UBA Bismarckplatz and eco-INSTITUT Cologne direct and air sampling methods (AirProbe) have been used. Both assessment methods provide comparable results.

Around 60 single products and combination of materials have been tested in emission chambers. These products have been also placed in the new or refurbished buildings or evaluated in real test rooms. Many of the examined single products achieved very good olfactory evaluations and, consequently, most of them fulfilled the proposed criteria for odour assessment of the Blue Angel and AgBB respectively. Furthermore, the product evaluations from this project provide excellent information for an olfactory database which can be used in future projects. In this way various products can be compared and materials can be selected according to their odourous properties before placing them in buildings.

The results show the influence of combinations of various single products on the indoor air quality. The evaluation of the perceived intensities for the single products can be found again in the results for the combinations. The corresponding emission measurements show a similar behaviour. The comparison of the room air and product testing reveals the fact that odour emissions from building products can be found again in the room air immissions.

By measurements in real test rooms one has to consider that the temperature and the humidity of the room air can not always be adjusted as in the laboratory. The laboratory tests take place under constant and defined ventilation. Therefore, different test conditions are possible. Further measurements of combinations of materials have to be conducted to achieve a larger database and to be able to make appropriate statements.



The measurements of the VOC and aldehyde concentrations show good results in all tested objects on day28. The selection of products has a big influence on the emissions. During the construction works also higher concentrations of chemicals are measured in the indoor air of the investigated rooms. These values decline over the investigation period. Due to a low air exchange rate in “unused” rooms the VOC and aldehyde concentrations show a slower decay over the measurement phases. In this case it has to be ensured that the hygienically recommended minimum air exchange rate of 0.5 1/h is achieved.

The building materials used in the buildings show low or very low emissions.

The results show that the use of inconspicuous materials in terms of odour and VOC emissions can lead to a good indoor air quality.

## 1 Einleitung und Zielsetzung des Forschungsvorhabens

Die gesundheitliche Bewertung der Emissionen aus Bauprodukten hat in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung gewonnen. Zum einen deshalb, weil wir uns 80-90 % des Tages in geschlossenen Räumen aufhalten, zum anderen, weil durch die energieeffiziente Bauweise die Luftdichtheit der Gebäudehülle deutlich zugenommen hat und sich von Bauprodukten ausgehende Emissionen mehr als früher gesundheitlich negativ bemerkbar machen können.

In Deutschland werden seit 2005 Gesundheitsanforderungen an die Emissionen in die Zulassung von Bauprodukten integriert und diese wurden für Bodenbeläge, Klebstoffe, Beschichtungen und Verlegeunterlagen bereits erfolgreich eingeführt. Aber selbst wenn die Produkte die Anforderungen der vom Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB) festgelegten Prüfkriterien für die Emission erfüllen, kann es zu gesundheitlichen Beschwerden, unter anderem wegen Geruchsproblemen oder Reizerscheinungen kommen. Diese gehen soweit, dass die Raumnutzer die Entfernung der Baumaterialien fordern. Neben der Emissionssituation in der Prüfkammer muss daher mehr als bisher auch die Immissionssituation nach Einbau der Produkte im Innenraum geprüft werden. Ebenso gilt es, mögliche Geruchsbelastigungen zu erfassen und zu bewerten.

Ziel des ursprünglichen Forschungsvorhabens ist es, die Innenraumluftqualität nach Einbau von Bauprodukten in energetisch sanierten Gebäuden am Beispiel des Dienstgebäudes Bismarckplatz des Umweltbundesamtes (UBA) in Berlin zu untersuchen. Das Gebäude sollte zwischen 2011 und 2014 umfassend saniert werden und danach einzelne Arbeitseinheiten aus verschiedenen UBA-Liegenschaften aufnehmen. Das Gebäude wird in Analogie des Hauptgebäudes in Dessau hohen ökologischen Ansprüchen genügen und soll nachhaltig saniert werden. Dazu zählt auch, dass bereits bei der Planung eine gezielte Produktauswahl auch im Hinblick auf mögliche Emissionen erfolgt.

Die Ergebnisse des Vorhabens sollen mögliche Wege aufzeigen, wie man durch geeignete Auswahl von Bauprodukten spätere Innenraumprobleme inklusive geruchlicher Belästigungen vermeiden kann. Das Projekt soll helfen, Wissenslücken über das Emissionsverhalten in sanierten Räumen (Kombination von Bauprodukten) sowohl für die flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) als auch für die Geruchsproblematik zu schließen. Energieeffiziente Bauweise und gute Raumluftqualität sollen hier über eine sinnvolle Baumaterialauswahl zusammengeführt werden. Die Untersuchungsergebnisse sollen helfen, die Frage zu beantworten, ob und in welcher Form Geruchsbewertungen stärker als bisher berücksichtigt werden sollten.

Aufgrund der Verschiebung des Beginns der Sanierungsarbeiten am Dienstgebäude Bismarckplatz wurde, in Abstimmung mit dem Umweltbundesamt (UBA) und dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), eine Änderung der Leistungsbeschreibung und eine Neuverteilung der restlichen Finanzierungsmitteln beantragt und vorgenommen. In der neuen Leistungsbeschreibung wurden als Untersuchungsobjekte der Neubau des UBA „Haus 2019“ sowie eine zu sanierende Etage in einem Bürogebäude ausgesucht. Beide Objekte befinden sich in Berlin. In Ergänzung dazu wurden weitere olfaktorische Untersuchungen von verschiedenen Wand- sowie Fussbodenaufbauten in Prüfräumen am eco-INSTITUT in Köln durchgeführt.

## 2 Aufgabenstellung

Ziel des ursprünglichen Projektes ist es, die Innenraumluftqualität nach Einbau von Bauprodukten und deren Kombinationen in energetisch sanierten Gebäuden am Beispiel des UBA Dienstgebäudes Bismarckplatz zu untersuchen. Dazu sollten folgende Untersuchungen durchgeführt werden:

1. Systematische Untersuchung der Raumluftqualität im Hinblick auf Gerüche in Büroräumen des UBA-Dienstgebäudes Bismarckplatz in leerem Zustand vor Beginn der Sanierungsarbeiten für 20 Räume. Die Probanden bewerten immer die empfundene Intensität und die Hedonik der Raumluft. (Kapitel 4)

Die Geruchsprüfung erfolgt für 10 Räume mit den folgenden drei Methoden (a bis c) nach der Auswertung der Ergebnisse der ersten 10 Räume wird entschieden mit welchen beiden Methoden die folgenden Messungen durchgeführt werden oder ob weitere Messungen mit allen drei Methoden nötig sind:

- a. Probenahme mittels Probenbehältern und Bewertung durch geschulte Prüfer am Untersuchungsinstitut
  - b. Probenahme mittels Probenbehälter und Bewertung durch geschulte Prüfer vor Ort am Bismarckplatz
  - c. Probenahme und Bewertung durch geschulte Prüfer vor Ort am Bismarckplatz (direkte Geruchsprüfung).
2. In der zweiten Versuchsphase erfolgt die Wiederholung der Versuche aus (1) während der Sanierungsphase. Es können Prüfungen der Gerüche während des Aufbaus verschiedener Fußbodenaufbaukonstruktionen, Prüfung der Gerüche nach Einbau von Dämmmaterialien (ohne und mit Wandverkleidung) und nach Einbau von Akustikdecken mit Dämmmaterial und Prüfung der Gerüche nach verschiedenen Abdichtungsmaßnahmen durchgeführt werden. Der Ablauf der hier gewünschten Untersuchungen wird eng mit dem Auftraggeber abgestimmt. Diese Versuche werden raumweise je nach Sanierungsfortschritt zugeordnet. Die Gesamtzahl der zu untersuchenden Räume bleibt gleich denen in der ersten Runde (20).
  3. Wiederholung der Versuche nach Beendigung aller Sanierungsarbeiten inklusive malermäßiger Überarbeitung der Räume und Einbau von Türen und Fenstern. Messbeginn ist frühestens 4 Wochen nach Fertigstellung einzelner Räume. Eine zweite Messung soll nach 3-4 Monaten, eine dritte Messung nach 6-8 Monaten erfolgen. Die Gesamtzahl der untersuchten Räume bleibt wie in den Messungen zuvor gleich bei 20.

Im Rahmen der Eigenforschung führt das Umweltbundesamt Messungen der VOC- und Aldehyd-Konzentrationen in ausgewählten Räumen durch.

Zusätzliche Untersuchungen wie Einzelbewertungen oder Kombinationen in Kammern bzw. in realen Räumen werden bereits mit angedacht. Eine Bewertung des Geruchs während der Projektlaufzeit und vor dem Einbau im Objekt durchzuführen ist eine sinnvolle Ergänzung. Die Ergänzungen könnten wie folgt aussehen:

### III. Kombinationsversuche von Bauprodukten in Emissionskammer:

Um die Untersuchungen der Messreihe 2 zu entlasten, ist es hilfreich die einzelnen Sanierungsschritte in Emissionskammern nachzustellen. So könnte die Beprobung vereinfacht und verschiedene

Komplettaufbauten im Vorfeld geprüft werden. Es könnten dann die besten Produkte integriert werden.

IV. Kombinationsversuche in realen Räumen der ausgewählten Produkte vor dem Einbau im Objekt:

Die Kombination von Bauprodukten in realen Räumen ist noch so gut wie unerforscht bieten aber Möglichkeiten Geruchsverhalten verschiedener Kombinationen unter realen Bedingungen zu prüfen.

Ergänzend werden auch hier analytische Messungen durch UBA vorgenommen.

Aus den ursprünglich verabredeten Untersuchungen konnten wegen der Bauverzögerung nur die Punkte 1 und dann die Zusatzuntersuchungen I und II durchgeführt werden (Kapitel 5.1). Die Messungen unter Punkt 1 dienen für einen Methodenvergleich im Rahmen der Geruchsbewertung.

In Ergänzung dazu gibt es weitere Untersuchungen in Zusammenarbeit mit dem eco-INITIUT in Köln zu den unter I und II aufgeführten Versuchen. Es werden 4 komplette Wandaufbauten und 4 komplette Fußbodenaufbauten in Köln aufgebaut und analytisch und geruchlich untersucht und zusätzlich werden alle Produkte und einige Kombinationen daraus in Emissionskammern analytisch und geruchlich betrachtet (Kapitel 5.2).

Aufgrund der Verschiebung des Beginns der Sanierungsarbeiten am Dienstgebäude Bismarckplatz wurde, in Abstimmung mit dem UBA und dem BMUB, eine Änderung der Leistungsbeschreibung vorgenommen. In der neuen Leistungsbeschreibung wurden als Untersuchungsobjekte der Neubau des UBA „Haus 2019“ (Kapitel 6) sowie eine zu sanierende Etage in einem Bürogebäude ausgesucht (Kapitel 7). Beide Objekte befinden sich in Berlin.

## 3 Grundlagen

VOC-Emissionen gehen häufig mit Geruchsempfindungen einher, die sensorische Prüfung ist daher als ein wichtiger Aspekt vorsorglich in das AgBB-Schema aufgenommen worden. Erste Normen für die Bewertung von Gerüchen aus Bauprodukten und in Räumen (ISO 16000-28 und 30 sowie die VDI 4302 Blatt 1), sind veröffentlicht. [1],[2],[3]

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 in den Vorgängerprojekten ([4] und [5]) 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 abgefragt. Diese Verfahren und die dazugehörigen Fragestellungen werden im Folgenden erläutert.

### 3.1 Sensorische Untersuchungen

#### 3.1.1 Intensität

Die Geruchsintensität beschreibt die Stärke der Geruchsempfindung, die durch einen Geruchsreiz ausgelöst wird. Die Bestimmung der Intensität eignet sich sowohl für die Bewertung der Raumluft als auch von Geruchsstoffemissionen von Innenraummaterialien. Für die Bestimmung der Intensität eines Geruchs gibt es zwei Verfahrensansätze:

1. Verwendung eines Vergleichsmaßstabs und Durchführung der Bewertung mit einer kleineren Gruppe geschulter Prüfer (mindestens 8 Personen, empfohlen werden 12 bis 15 Personen)
2. Verwendung von Kategorienskalen und Durchführung der Bewertung mit einer größeren Gruppe ungeschulter Prüfer (mindestens 15 Personen, empfohlen werden 20 bis 25 Personen) oder einer kleineren Gruppe geschulter Prüfer (mindestens 8 Personen, empfohlen werden 12 bis 15 Personen).

Die Ergebnisse der Bewertung (Zahlenwerte) der beiden Verfahrensansätze sind nicht gleichbedeutend. [3]

Für die in diesem Forschungsprojekt durchgeführten Untersuchungen kommt der Verfahrensansatz 1 (Verwendung eines Vergleichsmaßstabs) zur Anwendung.

Bei der Anwendung des Vergleichsmaßstabs wird die Probenluft mit Referenzreizen verglichen. Dies ermöglicht eine Standardisierung der Intensitätsbewertung und führt zu einer Verringerung der Varianz der Messwerte durch die Vereinheitlichung des Bewertungskriteriums. Die Einheit der empfundenen Intensität  $\pi$  ist  $\pi_i$ . Die Festlegung des Vergleichsmaßstabs erfolgt durch Aceton als Referenzstoff. Der Vergleichsmaßstab sollte das gesamte Intensitätsspektrum der zu untersuchenden Proben abdecken und aus mindestens fünf  $\pi_i$ -Stufen bestehen. Es wird empfohlen, sechs unterschiedliche, fest eingestellte  $\pi_i$ -Stufen im Bereich zwischen 0  $\pi_i$  und 15  $\pi_i$  bereitzustellen. Die Konzentration der  $\pi_i$ -Stufen muss über den gesamten Prüfzeitraum konstant bleiben. Bis 10  $\pi_i$  ist eine maximale Ab-

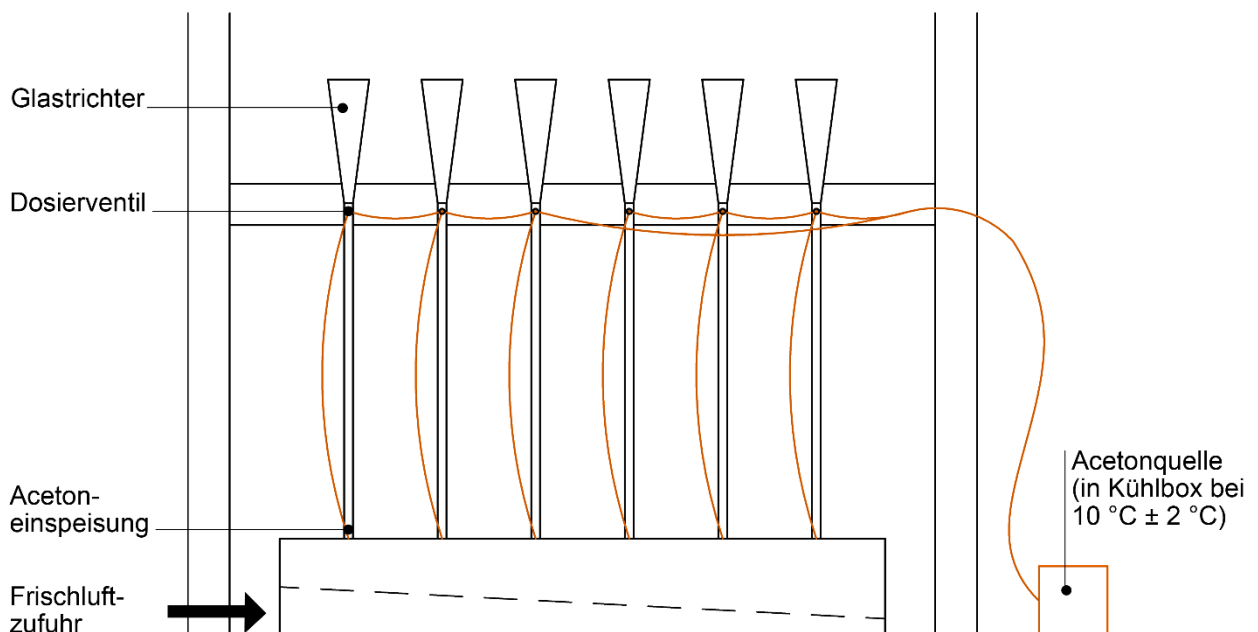
weichung von  $\pm 0,5$  pi zulässig, ab 11 pi ist eine maximale Abweichung von  $\pm 1$  pi zulässig. Der Vergleichsmaßstab für die Intensität ist durch folgende Punkte festgelegt:

- 0 pi entspricht per Definition einer Acetonkonzentration von  $20 \text{ mg/m}^3$ .
- 15 pi entsprechen einer Acetonkonzentration von  $320 \text{ mg/m}^3$ . Die Anzahl der Stufen über 15 pi hinaus ist im Bedarfsfall nach oben erweiterbar.
- Die Acetonkonzentrationen für 1 pi bis n pi folgen aus einer linearen Abstufung, das heißt, eine Erhöhung um 1 pi entspricht einer Erhöhung von  $20 \text{ mg/m}^3$  Aceton.

Während der gesamten Prüfung halten sich die Prüfer in geruchsneutralen Räumen auf. Zu Beginn der Prüfung verweilen alle Prüfer mindestens zehn Minuten lang im Aufenthaltsraum. Diese Zeit kann für Erläuterungen zu den Zielen der Geruchsprüfung durch den Versuchsleiter genutzt werden. [3]

Die nachfolgende Abbildung 1 zeigt das Konstruktionsprinzip des Vergleichsmaßstabs.

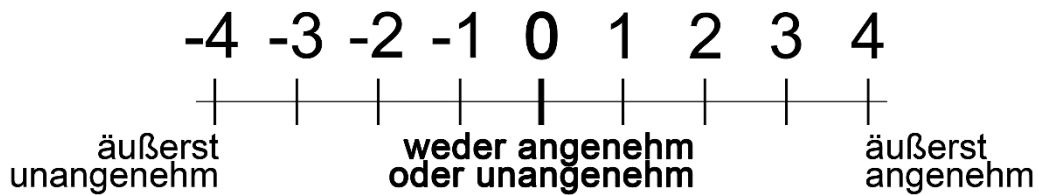
Abbildung 1: Konstruktionsprinzip des Vergleichsmaßstabs



### 3.1.2 Hedonik

Die Hedonik 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 2* dargestellte Skala verwendet. Zur Vermeidung unterschiedlicher Deutungen werden die Endpunkte und die Mitte der bipolaren Skala semantisch belegt. Die Bewertung erfolgt anhand einer neunstufigen Skala von „äußerst unangenehm“ (-4) bis „äußerst angenehm“ (+4). Den Kategorien werden fortlaufende Zahlen zugeordnet. [3]

Abbildung 2: Hedonikskala



### 3.1.3 Genauigkeit der Bewertungen

Die Genauigkeit der Geruchsprüfungen kann nach VDI 4302 Blatt1 durch das 90%ige Konfidenzintervall des Mittelwerts (Vertrauensintervall) ausgedrückt werden. Aus den ermittelten Einzelwerten der Probanden wird der arithmetische Mittelwert der Probandengruppe berechnet und das 90%ige Konfidenzintervall des Mittelwerts berechnet.

Die Breite des Konfidenzintervalls wird durch die Anzahl der Prüfer, die geschätzte Standardabweichung der Bewertungen der Prüfergruppe und die Irrtumswahrscheinlichkeit bestimmt. Mit zunehmender Prüferzahl wird das Konfidenzintervall enger, das heißt, die mittlere Bewertung der sensorischen Geruchsmerkmale wird genauer.

Die Genauigkeit der Intensitätsmessung mit Vergleichsmaßstab gilt als ausreichend, wenn die halbe Breite des 90%igen Konfidenzintervalls des Mittelwerts 2  $\pi$  nicht überschreitet. Die Genauigkeit der Hedonikbewertung gilt als ausreichend, wenn die halbe Breite des 90%igen Konfidenzintervalls des Mittelwerts 1 nicht überschreitet. [3]

### 3.1.4 Versuchsbeschreibung - Geruchsbewertungen von Innenraumlufthaus

Die sensorische Bewertung von Innenraumlufthaus kann über zwei Verfahren durchgeführt werden:

- direkte Geruchsprüfung durch Begehung vor Ort
- Probenahme der Raumlufthaus und Geruchsprüfung im Labor

Bei der direkten Geruchsprüfung durch Begehung werden die Prüfer an den Prüfort bestellt. Die Geruchsprüfung erfolgt nach ISO 16000-30 durch eine Begehung des Raums durch jeweils eine einzelne Prüferin/einen einzelnen Prüfer, die/der unmittelbar nach Erreichen der Messposition durch Einatmen der Luft eine Bewertung durchführt. Bei einer Probenahme der Raumlufthaus werden über ein geeignetes Gerät die Raumlufthausproben an den Messpositionen in Probenbehälter gesammelt. Diese werden anschließend in ein Geruchslabor transportiert, in dem zu einem späteren Zeitpunkt die eigentliche Geruchsprüfung durch Bewertung mit Prüfern erfolgt. Die Anforderungen an den Prüfort, Aufenthaltsort etc. sind in der ISO 16000-30 festgelegt und einzuhalten, bzw. während der Messungen zu erfassen. [2]

Für die Probenahme der Raumlufthaus wird, das im Rahmen einer Dissertation [6] entwickelte, Probenahme- und Probendarbietungssystem „AirProbe“ verwendet. Es dient zum Befüllen und Entleeren von Probenahmebehälter hergestellt aus Teldarfolie© (siehe Abbildung 3 und 4). Ventilatoren können aufgrund von Eigenemissionen oder Emissionen aus Schmierstoffen die Luftprobe verändern. In dem Ventilator oder an den Wandungen der Verbindungsleitungen können Adsorptions- bzw. Desorptionsvorgänge stattfinden, welche die Luftprobenzusammensetzung beeinflussen. Bei dem „AirProbe“ wird deshalb kein Ventilator in der Probenluft installiert und die Zu- und Ableitungen werden kurz gehalten. Für die Förderung der Luft sind im Gehäuse zwei Ventilatoren integriert. Je ein



Ventilator erzeugt im Gehäuse einen Unter- oder Überdruck und füllt oder entleert so den Probenbehälter, ohne die Luft direkt zu kontaktieren. Der Probenahmebehälter ist im Gehäuse an einem kurzen Edelstahlrohr befestigt, über das die Probenluft in den Probenbehälter gelangt. Bei der Probenarbeit wird die Luft auf dem entgegengesetzten Wege nach außen gefördert. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Prinzipskizze des AirProbe (Abbildung 3) sowie den geöffneten AirProbe mit installierten Teldar©-Probebehälter (Abbildung 4).

Abbildung 3: Prinzipskizze „AirProbe“ [6]

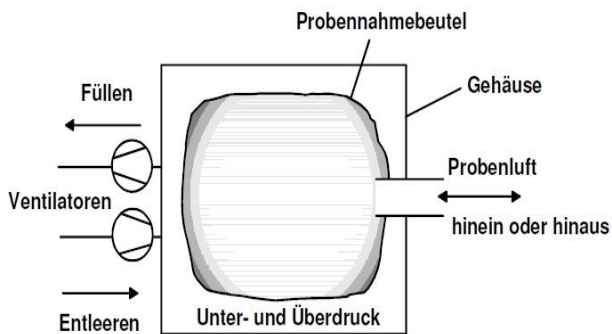


Abbildung 4: AirProbe mit Probenbehälter



Die eingesetzten Probenbehälter haben gefüllt eine Abmessung von 100x100x30mm und fassen somit ein Volumen von etwa 300 Liter. Wie sich bei vorherigen Untersuchungen herausstellte, ist dieses Volumen ausreichend, um einen Versuchsdurchgang mit 12 Probanden durchzuführen. Um die Probenluft nicht zu beeinflussen, werden die Behälter vor und nach der Verwendung mehrere Stunden bei ca. 80°C ausgeheizt. Die Darbietung der Luftprobe findet immer mit einem konstanten Luftvolumenstrom von 0,9 l/s ( $\pm 0,1$  l/s) statt.

### **Interpretation der Ergebnisse**

Im Anhang F der VDI 4302 Blatt1 sind Qualitätswerte für die verschiedenen Bewertungsmethoden dargestellt. Tabelle 1 zeigt den Wertebereich für die empfundene Intensität und Tabelle 2 den Wertebereich für die Hedonik. [3]

Tabelle 1: Tabelle F2: Raumluftqualität und zugehörige Wertebereiche für die empfundene Intensität mit Vergleichsmaßstab von Innenraumluft für Aufenthaltsräume (im Sinne der MBO) [3]

Empfundene Intensität mit Vergleichsmaßstab	Qualität der Raumluft
< 4 pi	hoch
≥ (4...8) pi	mittel
> 8 pi	niedrig



Tabelle 2: Tabelle F4: Raumluftklassen und zugehörige Wertebereiche für die mittlere Hedonik von Innenraumluft für Aufenthaltsräume (im Sinne der MBO) [3]

Hedonik	Qualität der Raumluft
$\geq 0$	hoch
-1 bis $< 0$	mittel
$< -1$	niedrig

In den späteren Kapiteln werden bei der Ergebnisdarstellung der sensorischen Raumluftuntersuchungen die aus Tabelle 1 und 2 vorgeschlagenen Qualitätsbereiche für die empfundene Intensität und der Hedonik mit roten Linien dargestellt.

### 3.1.5 Versuchsbeschreibung - Geruchsbewertungen von Innenraummaterialien

Die sensorischen Untersuchungen werden im Luftqualitätslabor (LQ-Labor) der HTW Berlin durchgeführt. Das Labor besteht aus einer Prüfkabine, in der die Probanden die Bewertungen durchführen, sowie einer Aufenthaltskabine, in der die Probanden sich zwischen den Bewertungen zur Erholung des Geruchssinns aufhalten. Beide Kabinen werden durch eine spezielle geruchsarme Klimaanlage versorgt. Ein leichter Überdruck in den Kabinen verhindert, dass Umgebungsluft in die Kabinen eindringen kann. Die eingesetzten Materialien der luftberührten Bauteile sind Glas und Edelstahl. Sowohl Geruchsemission als auch Adsorption von Substanzen sind bei diesen Materialien gering. Die geruchsbelastete Luft aus den Emissionskammern wird durch Edelstahlrohre in die Bewertungskabine geführt und mündet in einem Glastrichter, an dem die Probanden den Geruch bewerten. Die zu bewertende Probe ist dabei für die Probanden nicht zu sehen.

Für Geruchsuntersuchungen von Innenraummaterialien werden die zu untersuchenden Materialien, jeweils für 28 Tage in einer aus Glas und Edelstahl gefertigten Emissionskammer (CLIMPAQ) platziert und mit einem konstanten Luftvolumenstrom geruchsarmer Luft überströmt. Der Begriff CLIMPAQ ist ein Akronym der englischen Bezeichnung "Chamber for Laboratory Investigations of Materials, Pollution and Air Quality". Die Kammern entsprechen den Anforderungen der DIN EN ISO 16000-9 und sind für die durchzuführenden Untersuchungen optimiert worden. [7]

Die folgende Abbildung 5 zeigt das LQ-Labor, auf der linken Seite ist die Kammer mit dem Vergleichsmaßstab und auf der rechten Seite befinden sich die CLIMPAQ-Emissionskammern. Abbildung 6 zeigt eine mit textilen Bodenbelag beladene Emissionskammer (CLIMPAQ).

Abbildung 5: LQ-Labor HTW Berlin



Abbildung 6: CLIMPAQ



Als Träger für viskose Materialien (wie Putze, Klebstoffe, Farben) werden Glasplatten mit der Abmessung 20 cm x 65 cm verwendet. Feste Materialien (wie Plattenwerkstoffe oder Dämmstoffe) werden direkt in die Kammern eingebracht. Dabei werden die Schnittkanten mit geruchsneutralem Aluminiumklebeband abgeklebt, damit nur die Oberfläche des Materials luftumströmt wird.

Die Beladung wird in Abhängigkeit des untersuchenden Materialien nach ISO 16000-28 so gewählt, dass die flächenspezifische Luftdurchflussrate  $q$  bei Wandmaterialien  $q = 0,4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ , bei Bodenmaterialien  $q = 1,2 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$  und bei Dichtungsmaterialien  $q = 44 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$  entspricht. Daher wird der Luftvolumenstrom der umströmten Fläche des jeweiligen Materials angepasst. Bei einem Luftvolumenstrom von 0,6 l/s bis 1,0 l/s kann direkt an der CLIMPAQ bewertet werden. [3] Andernfalls wird die Luftprobe aus einem Probenbehälters (Teldar©) mithilfe des „AirProbe“ dargeboten.

Die olfaktorische Bewertung durch geschulte Probanden findet jeweils an Tag 3, Tag 7, Tag 14 und Tag 28 nach der Einbringung der Materialien statt. Die Bestimmung der VOC- Und Aldehyd-Emissionen findet an Tag 3 (7) und Tag 28 statt.

In einem vorherigen Forschungsvorhaben [5] wurde eine Vielzahl von Bauprodukten olfaktorisch untersucht. Auf Grundlage dieser Ergebnisse wurden Prüfwerte für die empfundene Intensität und die Hedonik für den Blauen Engel sowie das AgBB-Schema abgeleitet und vorgeschlagen. Sie liegen für den Blauen Engel bei 7 pi und einer Hedonik von 1 (Abbildung 7), bei dem AgBB-Schema bei 11 pi und einer Hedonik von -2 (Abbildung 8).

Abbildung 7: Vorgeschlagene sensorische Prüfwerte für den Blauen Engel [5]

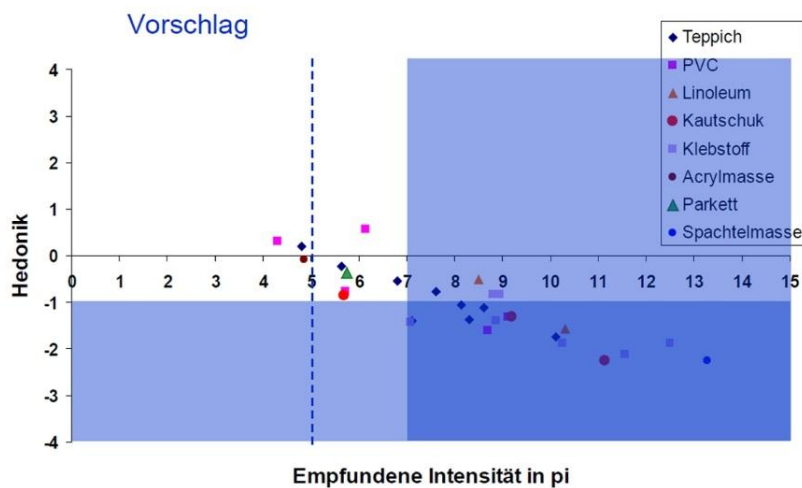
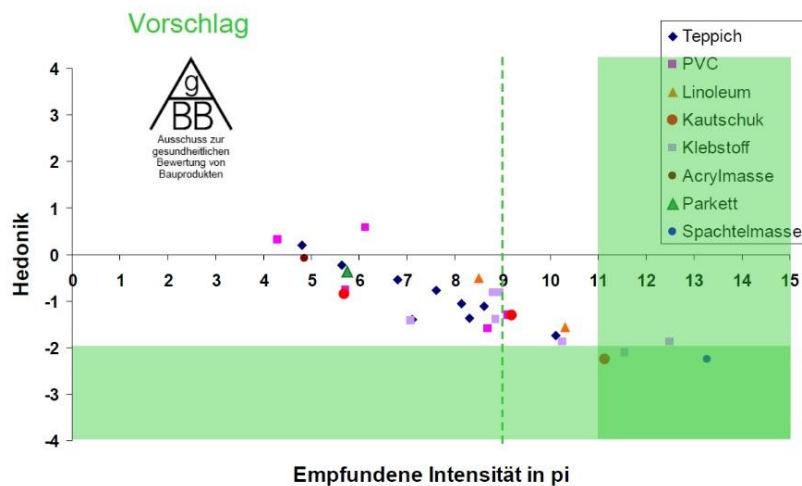


Abbildung 8: Vorgeschlagene sensorische Prüfwerte für das AgBB-Schema [5]



Die hier erläuterten Werte werden zur einfachen Übersicht auch in den Diagrammen für die untersuchten Baumaterialien als blaue (Blaue Engel) bzw. grüne (AgBB-Schema) Linie dargestellt.

### 3.1.6 Einfluss von Temperatur und Feuchte

Der thermische Zustand (Temperatur und Feuchte bzw. die spezifische Enthalpie) der eingeatmeten Luft beeinflusst die Wahrnehmung von Gerüchen aber auch die Analytik von Luftproben. Eine Umrechnung auf andere Lufttemperaturen und Feuchten ist bisher nicht bekannt. Deshalb sollte die Bewertung des Geruchs immer im Bereich der thermischen Behaglichkeit erfolgen. Es wird eine Temperatur von 21°C bis 22°C empfohlen, ein Temperaturbereich von 20°C bis 25°C ist einzuhalten.

Die relative Feuchte muss 50 % ± 10 % betragen. Es wird empfohlen die spezifische Enthalpie der feuchten Luft ebenfalls im Bereich von 43 kJ/kg ± 5 kJ/kg zu halten. [3]

Bei der Betrachtung der Abhängigkeit der Geruchsstoffwahrnehmung vom thermischen Zustand der Luft sind die Bewertungsmethoden zu berücksichtigen, da die Bewertungsgrößen unterschiedlich beeinflusst werden. Die Einflüsse von Temperatur und Feuchte auf die Geruchsbewertung konnte in verschiedenen Studien gezeigt werden. Die Akzeptanz sinkt mit steigender Enthalpie der Luft unabhängig davon, ob die Erhöhung der Enthalpie auf einer Erhöhung der Temperatur oder der Feuchte basiert. [3]

Dies ist aus den Untersuchungsergebnissen von *Fanger* ([8] und [9]) ersichtlich. Diese Ergebnisse konnten von *Böttcher* [10] bestätigt werden. Die Intensität bewertet mit Kategorienskala sinkt mit steigender spezifischer Enthalpie, das heißt, der Geruch wird bei hohen Temperaturen und Feuchten als weniger intensiv empfunden als bei trockener, kalter Luft. Dies wurde durch *Kerka* und *Humphreys* [11] festgestellt. Die Stärke der Beeinflussung durch die spezifische Enthalpie variiert je nach Geruchsstoff.

Bei der Intensitätsbewertung mit Vergleichsmaßstab nimmt die Intensität des Geruchs analog mit steigender relativer Feuchte ab. Anders als bei der Bewertung anhand einer Kategorienskala liegt jedoch keine direkte Abhängigkeit von der spezifischen Enthalpie vor. Bei konstanter relativer Feuchte ergibt sich bei einer Variation der Temperatur jedoch keine signifikante Änderung der Intensitätsbewertung, obwohl die spezifische Enthalpie steigt. Dies konnte *Böttcher* [10] in seinen Untersuchungen feststellen.

## 3.2 Analytische Untersuchungen

Die analytischen Untersuchungen der Kapitel 5.1, 6 und 7 werden vom UBA selbst im Rahmen der Eigenforschung durchgeführt. Die Analytik im Kapitel 5.2 wird vom eco-INSTITUT Köln ausgeführt.

### 3.2.1 Analytik zur Messung der flüchtigen organischen Verbindungen

**Kapitel 5.1, 6 und 7:** Die VOC-Probenahme aus der Raum- bzw. Emissionsprüfkammer-Luft erfolgt aktiv jeweils als Doppelprobenahme auf der Basis der DIN ISO 16000-6 mit Anreicherung an Tenax® TA Röhrchen und anschließender GC/MS-Analytik. Die aktive Probenahme erfolgt mit einer AMA-Pumpe. Diese Pumpen enthalten einen Massenflussregler, der den Fluss konstant hält und integrierend auch das Volumen misst. Das Probenahmenvolumen beträgt in der Regel 2 bis 4 l, der Fluss 120 ml/min. Die Tenax Röhrchen werden vor den Probenahmen mit 2 µl einer internen Standard-Lösung dotiert. Dadurch enthält jede Probe ca. 90 ng Cyclooctan und ca. 100 ng Cyclododecan. [12]

Mit diesem Verfahren können die meisten VOC gemessen werden. Das Verfahren hat eine Bestimmungsgrenze von ca. 1 µg/m<sup>3</sup>. Die Raumluftwerte für den Gesamtgehalt an VOC (= TVOC-Wert) werden über die Aufsummierung der einzeln quantifizierten Werte bestimmt. Ergänzend wird bei einigen Untersuchungen der TVOC-Wert aus der Summe aller Peakflächen im Chromatogramm im Bereich

von Hexan bis Hexadekan bestimmt. Aus der korrigierten Peakflächensumme wird der TVOC-Wert als Toluoläquivalent (TÄ) berechnet.

**Kapitel 5.2:** Die Analytik wird gemäß der DIN ISO 16000-6 durchgeführt. Die Bestimmungsgrenze beträgt  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### 3.2.2 Analytik mit DNPH zur Messung der Aldehyde und Ketone

**Kapitel 5.1, 6 und 7:** Die Bestimmung flüchtiger Aldehyde, darunter auch Formaldehyd, in der Raumluft erfolgt nach der DIN ISO 16000-3. Dabei werden diese auf DNPH-Kartuschen angereichert und nach Elution mit Acetonitril mittels HPLC/UV analysiert. Die Bestimmungsgrenze der angegebenen Aldehyde liegt substanzspezifisch zwischen  $1$  und  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die Probenahme erfolgt aktiv oder passiv (beim Untersuchungsobjekt UBA Haus 2019 um die Belastung der Nutzer zu reduzieren). [13]

Folgende Verbindungen können mit diesem Verfahren quantifiziert werden: Formaldehyd, Acetaldehyd, Aceton, Furfural, propanal, 2-Butanon, Butanal, Benzaldehyd, Cyclohexanon, Pentanal, Methylglyoxal, Hexanal, Benzophenon, Heptanal, Octanal, Nonanal, Decanal, Undecanal, Butenal, Pentenal, Hexenal, Heptenal, Octenal, Nonenal, Decenal.

**Kapitel 5.2:** Die Analytik wird gemäß der DIN ISO 16000-3 durchgeführt. Die Bestimmungsgrenze für Formaldehyd und Acetaldehyd beträgt  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## 3.3 Luftwechselformel

Ausreichender Luftwechsel ist von grundsätzlicher Bedeutung für die Luftqualität in Innenräumen. Für die Gesundheit und die Behaglichkeit der Nutzer, aber auch zum Schutz vor Schäden z.B. durch zu hohe Luftfeuchtigkeit, ist eine angemessene Lüftung aller Gebäude erforderlich. Die heutige Ausstattung von Wohn- und Bürogebäuden mit dicht schließenden Fenstern kann jedoch – neben der gewünschten Energieeinsparung und Lärminderung – einen zu geringen Luftaustausch zur Folge haben, der zum Konzentrationsanstieg von in Innenräumen emittierten Substanzen führt. Manuelles Lüften durch die Nutzer oder der Einsatz von mechanischen Lüftungsanlagen wird somit insbesondere während der Heizperiode erforderlich. Übermäßiger Luftwechsel allerdings kann zu Unbehaglichkeit und zu erhöhtem Energieverbrauch während der Heizperiode führen. Um Aussagen über die Luftwechselbedingungen in Innenräumen treffen zu können, ist eine Bestimmung der Luftwechselzahl  $n$  erforderlich. Die Einhaltung hygienischer und bauphysikalischer Lüftungsziele kann bei Kenntnis der Luftwechselzahlen geprüft werden. Die Luftwechselzahl  $n$ , in  $\text{h}^{-1}$ , ist der Quotient aus dem Zuluftvolumenstrom  $\dot{V}_L$ , in  $\text{m}^3/\text{h}$ , und dem Zonenvolumen  $V_R$ , in  $\text{m}^3$ . Sie gibt an wie oft in einer Stunde das Raumvolumen mit Zuluft ausgetauscht wird. Die hygienische Mindestluftwechselrate liegt bei etwa  $0,5/\text{h}$ . Sie ist ein Mindestmaß für die Sicherstellung von Frischluft, unterhalb dessen Geruchsprobleme, Staub- und Mikroorganismenbelastung sowie zu hohe Radonkonzentrationen auftreten können. [14]

Die Bestimmung der Luftwechselrate erfolgt unter Einsatz eines Indikatororgases (hier  $\text{CO}_2$ ) mithilfe eines Gasanalysators und einer Dosiereinheit der Firma Lumasense nach der Konzentrationsabklingsmethode. Dabei wird zunächst eine Zeit lang die  $\text{CO}_2$ -Konzentration des zu untersuchenden Raums gemessen. Dann startet die sogenannte Dosierung und das Gerät pumpt eine vorher definierte  $\text{CO}_2$ -Konzentration in den Raum. Ein Ventilator sorgt für die optimale Verteilung im Raum. Wird die definierte Konzentration konstant im Raum gehalten endet die Dosierung und der Messvorgang startet. Nun misst das Gerät fortlaufend die  $\text{CO}_2$ -Konzentration im Raum.

Aus den aufgenommenen Messwerten ergibt sich ein Konzentrationsabfall, aus dem sich die Luftwechselrate nach folgender Formel berechnen lässt: [14]

$$n = \frac{1}{t_2 - t_1} * \ln \frac{C_{t1}}{C_{t2}}$$

mit:

n	Luftwechselrate in [1/h]
C <sub>(t1)</sub>	Indikatorgaskonzentration zur Zeit t <sub>1</sub> [ppm]
C <sub>(t2)</sub>	Indikatorgaskonzentration zur Zeit t <sub>2</sub> [ppm]
t	Zeitpunkt der Probennahmen des Indikatorgases in [h]



## 4 Vergleich verschiedener Methoden zur sensorischen Bewertung von Innenraumluft

Das erste Arbeitspaket (wie in Kapitel 2 beschrieben) befasst sich im Untersuchungszeitraum von ca. 6 - 7 Monate nach Projektbeginn mit der systematischen Untersuchung der Raumluftqualität im Hinblick auf Gerüche und flüchtige organische Verbindungen in Büroräumen des UBA-Dienstgebäudes am Bismarckplatz. Es werden ca. 20 Räume im leeren Zustand vor Beginn der Sanierungsarbeiten bewertet. Im Rahmen der Geruchsuntersuchungen bewerten die Probanden immer die empfundene Intensität und die Hedonik der Raumluft.

Ziel der Untersuchungen ist die Ermittlung des IST-Zustands der Raumluftqualität des Gebäudes vor Sanierungsbeginn. Dabei werden verschiedene Verfahrensarten der Raumluftbewertung angewendet und untereinander verglichen, um die für die örtlichen Gegebenheiten günstigste Verfahrensart zu ermitteln sowie eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse nachzuweisen.

Nach DIN ISO 16000-30 kann eine Geruchsbewertung der Innenraumluft nach zwei Verfahren durchgeführt werden (siehe Kapitel 3):

- direkte Geruchsprüfung durch Begehung vor Ort
- Probenahme der Raumluft und anschließende Geruchsprüfung im Labor

Eine direkte Geruchsprüfung durch Begehung vor Ort ist mit einem geringeren technischen Aufwand verbunden als das Verfahren mit einer Probenahme. Bei Schwierigkeiten bei der Bewertung kann die Prüfung einfach direkt im Anschluss wiederholt werden. Bei einer direkten Geruchsprüfung durch Begehung erfolgt eine kontextabhängige Bewertung.

Die Anforderungen an die Probenahme der Raumluft mithilfe von Probebehältern sind in der DIN ISO 16000-28 beschrieben. Trotzdem besteht die Gefahr der Veränderung der Probe bei Transport und Lagerung durch hohe Temperaturen bei direkter Sonneneinstrahlung, durch unzureichende Vorbehandlung der Probenbehälter oder durch zu lange Lagerzeiten. [1]

Eine Probenahme der Raumluft und anschließende Geruchsprüfung im Labor sind dann vorzuziehen, wenn

- die Gefahr besteht, dass die Bewertung durch störende Umgebungsbedingungen (z. B. Lärm, grelles Licht) beeinträchtigt wird,
- eine Beeinflussung des Geruchs der Innenraumluft durch die Prüfer selbst erfolgen kann (z. B. kleines Raumvolumen),
- eine visuelle Erkennung möglicher Quellen für die Beurteilung unerwünscht ist,
- kein Raum zur Regeneration des Geruchssinns der Prüfer zur Verfügung steht,
- die Bestellung der Prüfer zum Prüfungsort logistisch aufwendig ist,
- durch den Vergleichsmaßstab eine Beeinflussung des Geruchs der Innenraumluft erfolgt (z. B. Luftströmung vom Aufstellungsort des Vergleichsmaßstabs zum zu prüfenden Raum). [2]

Zusätzlich zu den beiden beschriebenen Verfahrensarten kommt in Absprache mit dem Auftraggeber eine dritte Bewertungsmethode zur Anwendung. Hierbei handelt es sich um die Probenahme und anschließende Bewertung vor Ort im Gebäude am Bismarckplatz. Bei dieser Bewertungsmethode minimiert man lange Lagerzeiten der Probe und den Einfluss visueller Effekte bei der Bewertung. Zusätzlich besteht die Möglichkeit einer zeitnahen Wiederholung der Messung.

Demnach erfolgen die Geruchsbewertungen für die einzelnen Räume nach folgenden Bewertungsmethoden (a bis c):

- d. **Labor AirProbe:** Probenahme der Raumluft (mittels AirProbe) und anschließende Geruchsprüfung im Labor

Bei dieser Methode werden Raumluftproben mittels AirProbe in Probenbehälter genommen. Diese Behälter werden dann in das Luftqualitätslabor transportiert und zeitnah von den Probanden bewertet.

- e. **VorOrt direkt:** direkte Geruchsprüfung durch Begehung vor Ort (mittels Vergleichsmaßstab)

Bei dieser Methode wird ein Vergleichsmaßstab in einem Raum nahe der Versuchsräume aufgestellt. Die Probanden gehen dann direkt in den zu bewertenden Raum und nehmen dort den Geruch wahr. Anschließend vergleichen und bewerten sie diesen dann am Vergleichsmaßstab im Nachbarraum. Da der Vergleichsmaßstab bei dieser Methode in einem Raum ohne Abluft steht wird während der Messungen die Acetonkonzentration des Raums gemessen. Eine zu hohe Hintergrundkonzentration könnte die Bewertung der Proben beeinflussen. Die gemessene Raumluftkonzentration hat den Wert von 15 mg Aceton/m<sup>3</sup> nicht überschritten. Auch Geruchsbewertungen des Raums nach der Messung ergaben keine hohen Geruchsintensitäten. (< 2pi) Des Weiteren wird der Raum mehrmals während der Messpausen über das Fenster gelüftet.

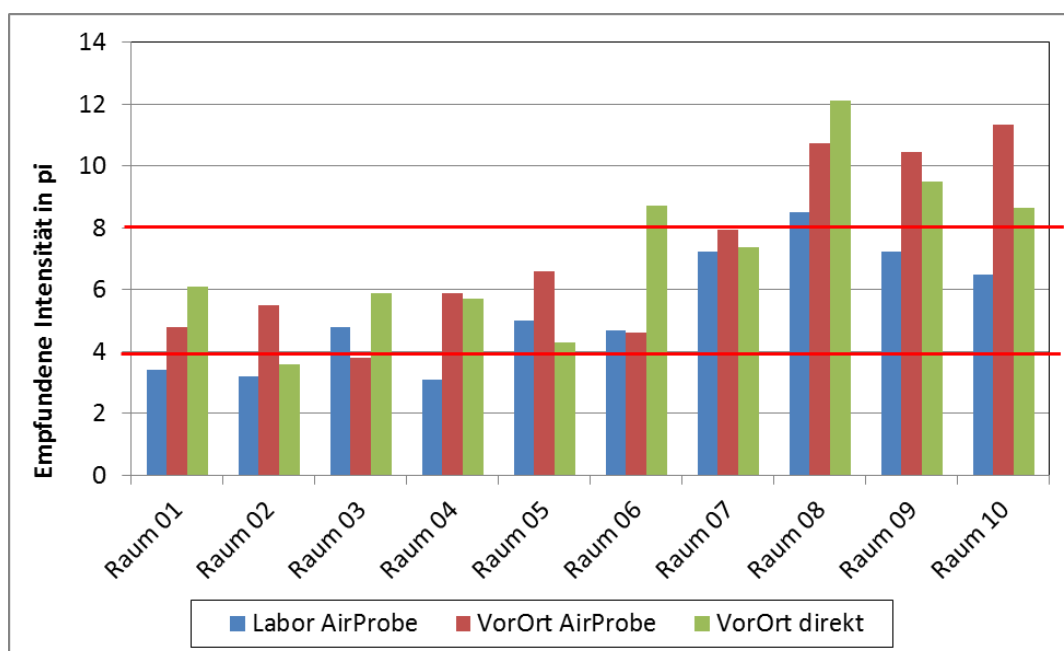
- f. **VorOrt AirProbe:** Probenahme der Raumluft (mittels AirProbe) und anschließende Geruchsprüfung Ort am Bismarckplatz

Bei dieser Varianten werden ähnlich Methode a. die Raumluftproben mittels AirProbe genommen. Diese werden dann aber am Vergleichsmaßstab vor Ort dargeboten und bewertet.

Nach der Auswertung der Ergebnisse der ersten 10 Räume wird, wie in Kapitel 2 beschrieben entschieden, ob weitere Messungen mit allen drei Methoden notwendig sind bzw. mit welchen Methoden die nachfolgenden Messungen durchgeführt werden.

Die nachfolgende Abbildung 9 zeigt einen Vergleich der empfundenen Intensitäten für die drei Bewertungsmethoden der untersuchten Räume.

Abbildung 9: Methodenvergleich Intensität

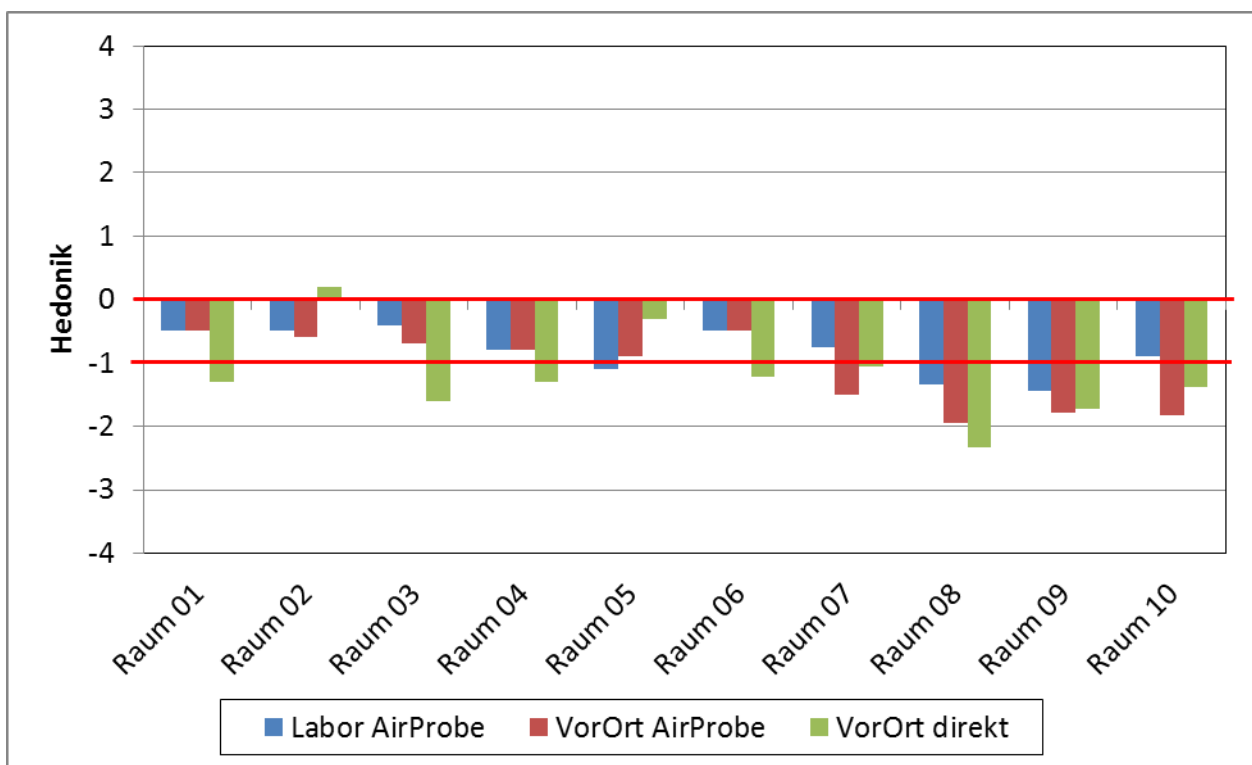




Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass die Ergebnisse aller drei Bewertungsmethoden im Rahmen der Genauigkeit schwanken (Abweichung  $\pm 2\pi$ ). Für die drei verschiedenen Methoden heißt das, dass der Mittelwert der drei Einzelwerte bestimmt wird und die Schwankungen um diesen Mittelwert nicht größer als die geforderte Genauigkeit von  $\pm 2\pi$  sein sollte. Sie liefern somit vergleichbare Werte. Diese Erkenntnis ist wichtig für das weitere Vorgehen im Projekt, und wichtig für die Entscheidung der weiter zu verwendenden Methoden, je nach Sanierungsstand. Die Bewertungen im Labor mit Hilfe des AirProbe liefern häufig die geringsten Intensitäten. Die Bewertungen mit Hilfe der beiden anderen untersuchten Methoden liefern zum Teil sehr gute Übereinstimmungen aber auch Unterschiede in den Bewertungen. Wenn man die Räume untereinander vergleicht fällt auf, dass Raum 01-Raum 07 im mittleren Raumlufqualitätsbereich liegen. Die Räume 08 bis 10 weisen etwas schlechte Raumlufqualitäten auf. (laut Tabelle 1, Kapitel 3.1).

Bei den Hedonikbewertungen in Abbildung 10 ist ebenfalls grundsätzlich eine gute Übereinstimmung aller Bewertungsmethoden zu erkennen. Bei der Betrachtung der Räume untereinander liegen die Räume 01 bis 06 im mittleren und die Räume 07 bis 10 im schlechten Qualitätsbereich (laut Tabelle 2, Kapitel 3.1).

Abbildung 10: Methodenvergleich Hedonik



Die gemessene VOC- und Aldehyd-Konzentrationen in den Räumen im leeren Zustand vor Beginn der Sanierung zeigen sehr niedrige Werte im Bereich der Bestimmungsgrenze. Aufgrund der hohen Anzahl an Stoffen werden diese Werte nicht im Bericht aufgeführt. Die Ergebnisse sind für seit mehreren Jahren leere und unmöblierte Räume nicht ungewöhnlich.

Methodenauswahl:

Auf Grundlage der durchgeführten Untersuchungen wurde zusammen mit dem Auftraggebern entschieden, dass für das Objekt am Bismarckplatz (siehe Kapitel 5.1) zunächst die beiden Methoden vor

Ort (b und c) weiter verfolgt werden. Die Methode im Labor ist aber immer dann vorzuziehen, wenn beispielsweise bei der Sanierung keine Bewertung vor Ort möglich ist.

## 5 Untersuchungen in Versuchsräumen

Aufgrund der sich zu diesem Zeitpunkt bereits andeutenden Bauverzögerungen werden als nächster Arbeitsschritt Kombinationsversuche in realen Räumen des Bismarckplatz untersucht (siehe Kapitel 2 und 5.1). Ergänzend werden dazu auch Versuche in Köln mit den eco-INSTITUT abgestimmt (siehe dazu Kapitel 5.2).

Gebäude werden aus Gründen der Energieeinsparung und -effizienz luftdicht gebaut. Die natürliche Belüftung durch Infiltration und die Fenster in luftdichten Gebäuden stellen keinen ausreichenden Luftaustausch zum Wohlbefinden der Raumnutzer und zur Entfernung der Feuchte dar. Innenraumgerüche sind daher vermehrt ein Grund für Beschwerden seitens der Raumnutzer. Die Geruchsquellen befinden sich meist im Innenraum; sie können aber auch aus der Umgebung des Gebäudes eingetragen werden. Geruchsquellen können sein: Bauprodukte, Materialien für das Innenraumdesign, Innenraumausstattungen einschließlich deren Emissions- und Zersetzungsprodukte, technische Ausrüstung, Gebäudeschäden, Tiere und die Raumnutzer selbst. In geschlossenen Räumen werden persistente Gerüche, deren Auftreten von den Raumnutzern nicht gesteuert werden können, meistens als störend empfunden. Bei der Exposition von solchen Geruchsbelastigungen kann sich sowohl das Wohlbefinden verschlechtern als auch die Leistungsfähigkeit vermindern. [2]

Emissionen aus Bauprodukten können die Qualität der Raumluft erheblich beeinflussen. Da in realen (bzw. genutzten) Räumen verschiedene anderwärtige Geruchsquellen auftreten können, haben sich sogenannte Versuchsräume zu Untersuchung von Geruchsbeeinträchtigungen von Bauprodukten sowie kombinierten Aufbauten bewährt. Hier werden andere Geruchsquellen (z.B. durch Nutzung des Raums) minimiert bzw. ausgeschlossen, weshalb lediglich die Einflüsse der Bauprodukte unter realen Bedingungen in die Geruchsbewertung der Raumluft einfließen. Zusätzlich zu den Bewertungen der Raumluft erfolgen Bewertungen der Produkte in den Emissionskammern (CLIMPAQ) (siehe Kapitel 3.1) im Luftqualitätslabor um dann Rückschlüsse auf dessen Einflüsse im realen Raum durchführen zu können.

Ziel dieser Untersuchungen ist es, mögliche Geruchsbeeinträchtigungen durch Bauprodukte bzw. deren Kombination bereits vor einer Sanierung herauszufinden bzw. durch die richtige Auswahl der Produkte zu minimieren.

### 5.1 Versuchsräume Bismarckplatz

#### 5.1.1 Versuchsbeschreibung

Im Dienstgebäude des Umweltbundesamtes Bismarckplatz befinden sich fünf sehr ähnliche, leerstehende Büroräume, welche im Rahmen der Untersuchung als Versuchsräume genutzt werden. Diese Räume wurden im Vorfeld der Untersuchung (IST-Zustand) auf Ihre Vergleichbarkeit hin überprüft und im gleichen Intensitäts- sowie Hedonikbereich eingestuft. (vgl. *Anhang Kapitel 5.1.1*)

Vier der fünf Räume werden mit verschiedenen Versuchsaufbauten bestückt. Hierbei wird der Schwerpunkt auf Varianten der Innenwanddämmung gelegt. Der Versuchsraum 5 bleibt unverändert (leer) und gilt als Vergleichswert. Die Räume werden in verschiedenen Abständen vor, während und nach dem Einbau der Aufbauten sensorisch und analytisch (vom UBA selbst) untersucht. Zusätzlich werden einige der eingesetzten Baumaterialien in den Emissionskammern im Luftqualitätslabor bewertet, um dann Rückschlüsse auf die Einflüsse des realen Raumes durchführen zu können.

Im Vorfeld der Untersuchungen werden in 2 der 5 Versuchsräumen Luftwechselfmessungen durchgeführt um auch bezüglich des Luftwechsels die Vergleichbarkeit der Räume nachzuweisen.

Die nachfolgende Tabelle 3 zeigt die Zusammensetzung der Aufbauten in den einzelnen Versuchsräumen.

Tabelle 3: Versuchsräume Bismarckplatz

Materialschicht	Versuchsraum 1	Versuchsraum 2	Versuchsraum 3	Versuchsraum 4	Versuchsraum 5
1	Innenwanddämmplatte (Mineralwolle)	Innenwanddämmplatte (Mineralwolle)	Innenwanddämmplatte (Mineralwolle)	Lehmdämmplatte	unverändert (dient als Vergleichswert)
2	Armierungsmörtel	Gipskartonplatte + Fugenspachtel	Armierungsmörtel	Lehmputz (Unter- und Oberputz)	
3	Dispersionsfarbe	Dispersionsfarbe	Lehmputz (Unter- und Oberputz)	Lehmfarbanstrich	

Die verschiedenen Materialien werden in drei aufeinanderfolgenden Bauabschnitten eingebracht. Nach jedem Bauabschnitt wird eine sensorische und analytische Bewertung der Versuchsraumluft durchgeführt.

Tabelle 4 zeigt eine Übersicht der durchgeführten Raumluftbewertungen am Objekt Bismarckplatz.

Tabelle 4: Übersicht Raumluftbewertung Bismarckplatz

Messphase	Zustandsbeschreibung
IST	IST-Zustand vor Sanierung
-14. Tag	nach dem 1. Bauabschnitt
-7. Tag	nach dem 2. Bauabschnitt
1. Tag	1 Tag nach Fertigstellung (nach 3. Bauabschnitt)
3. Tag	3 Tage nach Fertigstellung
7. Tag	7 Tage nach Fertigstellung
14. Tag	14 Tage nach Fertigstellung
28.Tag	28 Tage nach Fertigstellung

### 5.1.2 Luftwechselfmessung

Für die Bestimmung des Luftwechsels der Versuchsräume werden die Versuchsräume 1 und 4 exemplarisch ausgewählt. Fenster und Türen bleiben für den Zeitpunkt der Messung geschlossen. Als

Messmethode kommt die Konzentrationsabkling-Methode zum Einsatz (siehe Kapitel 3.3). Bei dieser Methode wird in den zu untersuchende Raum ein Indikatorgas (hier CO<sub>2</sub>) eingebracht und der Konzentrationsabfall in Abhängigkeit von der Zeit gemessen. Die nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 11 und Abbildung 12) zeigen den gemessenen Konzentrationsabfall der Versuchsräume 1 und 4. Die Berechnung der Luftwechselzahl n erfolgt nach VDI-4300 Blatt 7 [14] und ist ebenfalls im Diagramm aufgeführt.

Abbildung 11: CO<sub>2</sub>-Konzentrationsabfall Versuchsraum 1

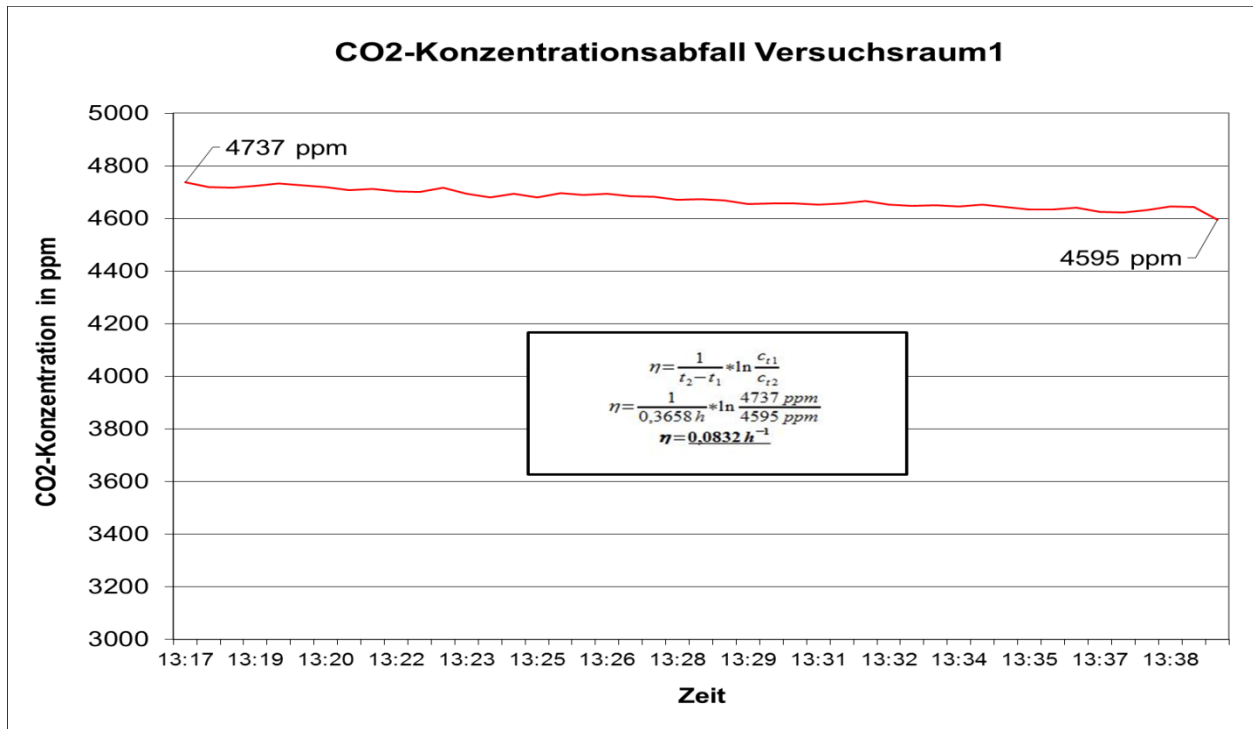
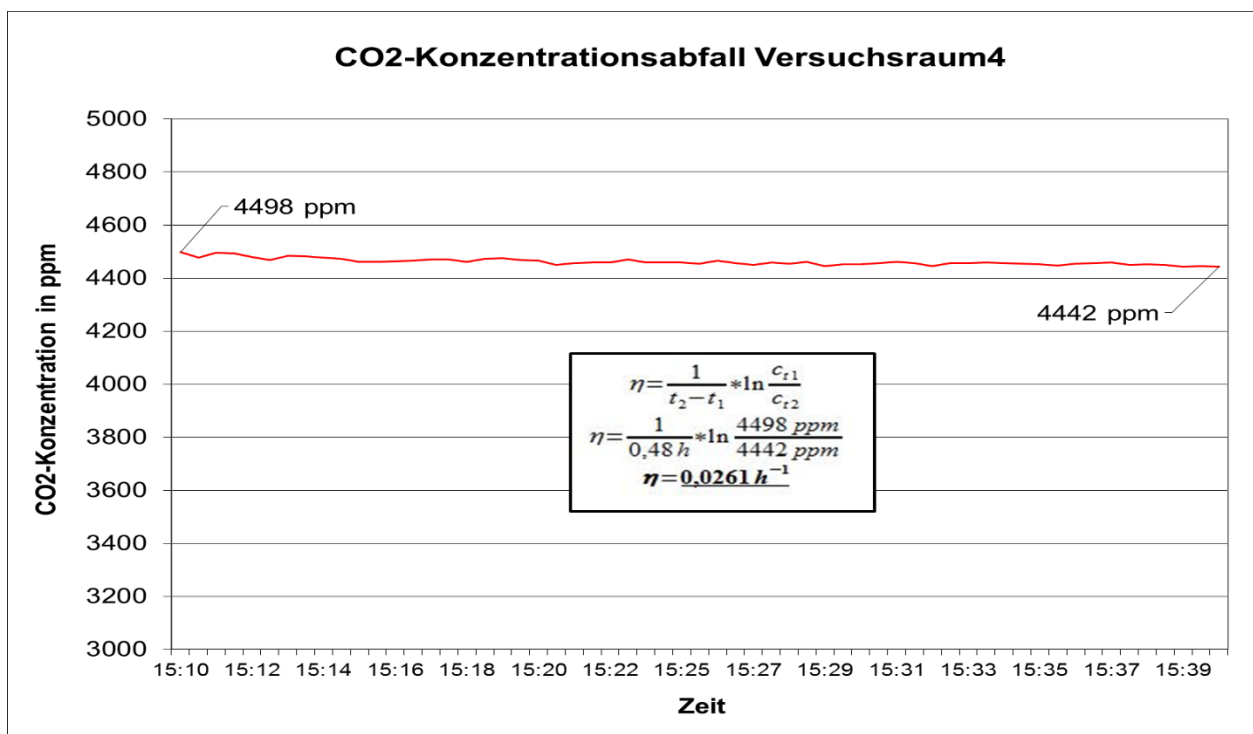


Abbildung 12: CO<sub>2</sub>-Konzentrationsabfall Versuchsraum 4



Es fällt auf, dass bei beiden Räumen die Konzentration des Indikatorgases mit der Zeit nur sehr langsam abnimmt. Bei Versuchsraum 1 beginnt die Messung mit einer CO<sub>2</sub>-Konzentration von 4737 ppm und fällt auf 4595 ppm ab. Dies entspricht nach VDI 4300-7 einer Luftwechselrate von 0,083 h<sup>-1</sup>. Bei Versuchsraum 4 liegt die Anfangskonzentration bei ca. 4498 ppm und fällt in etwa einer halben Stunde auf 4442 ppm. Dies entspricht einem Luftwechsel von 0,026 h<sup>-1</sup>. [3]

Somit finden in den Versuchsräumen so gut wie keine Luftwechsel statt, was für sehr dichte Räume spricht.

### 5.1.3 Raumlufuntersuchungen

Die Untersuchungen der Innenraumluft der Versuchsräume werden jeweils ein Tag nach Beendigung der jeweiligen Baumaßnahme durchgeführt. Am Vortag der Untersuchung werden die Versuchsräume 10 Minuten über die Fenster gelüftet. Bei der Probenahme werden Temperatur und relative Feuchte der Raumluf erfasst. Diese Werte sind in den Diagrammen der Intensitäten sowie in den Messprotokollen im *Anhang Kapitel 5.1.3* aufgeführt.

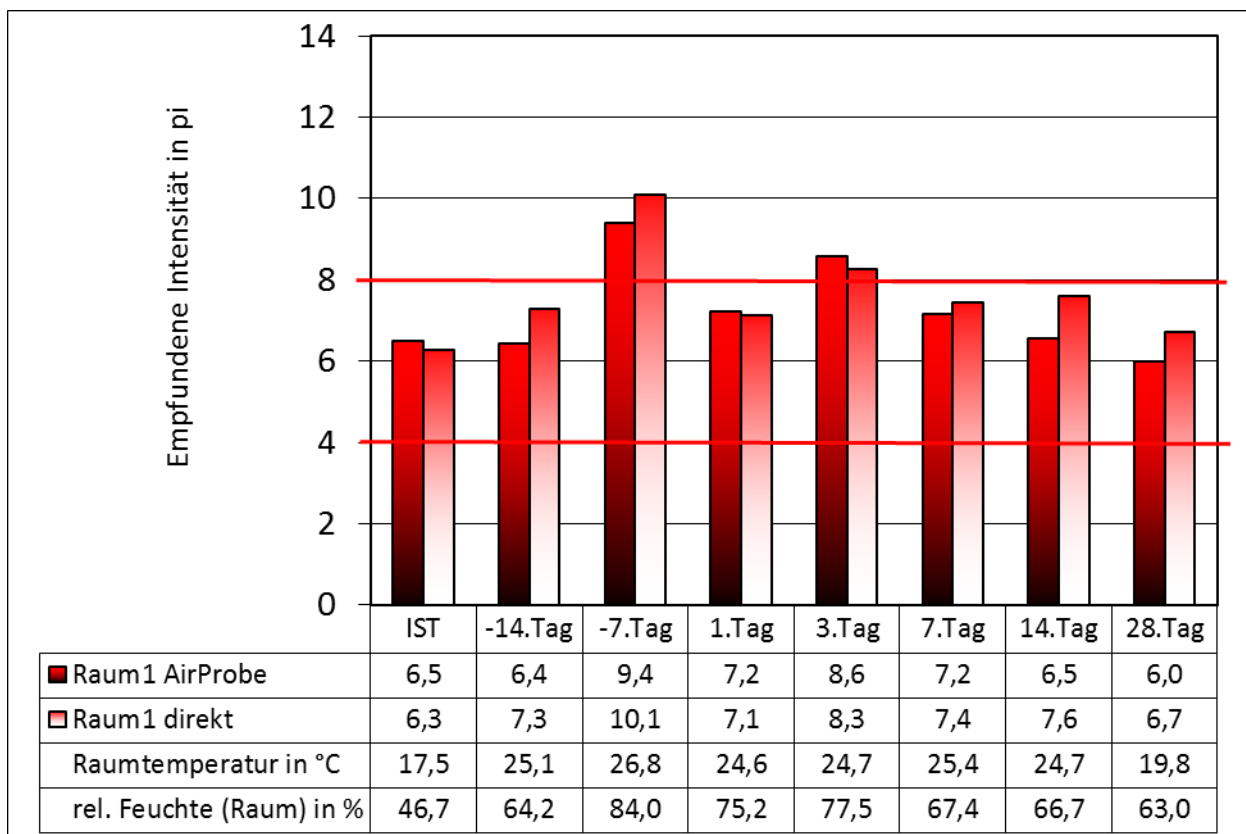
#### 5.1.3.1 Versuchsraum 1

Im Versuchsraum1 werden folgende Materialien in den entsprechenden Bauabschnitten eingebracht:

- Innenwanddämmplatte (-14.Tag)
- Armierungsmörtel (-7.Tag)
- Dispersionsfarbe (1.Tag)

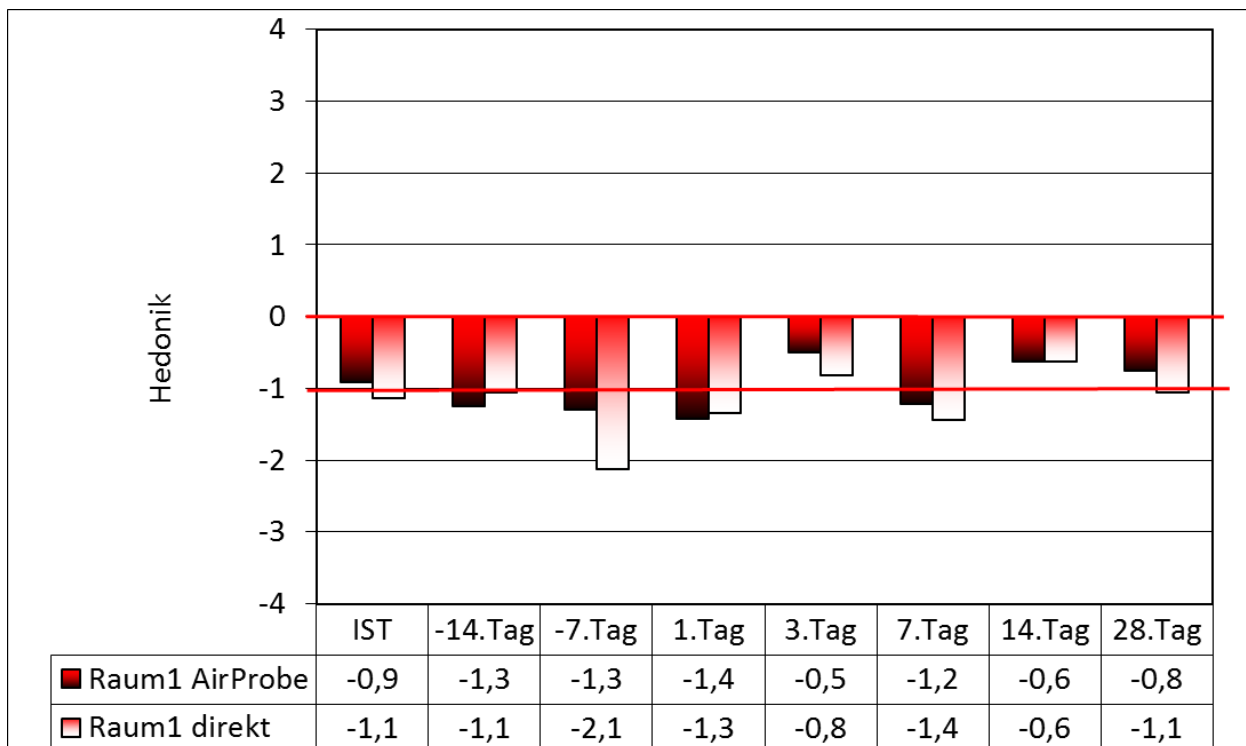
Die folgende Abbildung 13 stellt die empfundenen Intensitäten der direkten und indirekten (mittels AirProbe) Bewertungsmethode an den einzelnen Untersuchungstagen gegenüber.

Abbildung 13: Intensität Raum 1 (Bismarckplatz)



Versuchsraum 1 wird vor Sanierungsbeginn (IST) mit einer Intensität von 7pi bewertet. Im ersten Bauabschnitt (-14.Tag) werden Innenwanddämmplatten an die Seitenwände geklebt, was kaum Einfluss auf die Intensität hat. Im nächsten Bauabschnitt (-7.Tag) wird Armierungsmörtel aufgebracht, was die empfundene Intensität merklich erhöht. Hier wird aber am Untersuchungstag eine verhältnismäßig hohe Temperatur und Luftfeuchte im Raum festgestellt, was Einfluss auf die hohe Intensität haben kann (vgl. Kapitel 3.1.6). Als letzter Sanierungsschritt werden die Wände mit Dispersionsfarbe gestrichen. Am Tag danach (1.Tag) liegt die Intensität bei etwa 7pi. Nach einem leichten Anstieg zum Tag3 hin (auch hier treten immer noch hohe Temperaturen und Feuchten auf), sinkt die Intensität im Laufe des Untersuchungszeitraums auf etwa 6pi am Tag28 auf das Niveau vor Beginn der Sanierungsarbeiten und liegt damit im mittleren Raumluftqualitätsbereich (> 4pi und < 8pi).

Abbildung 14: Hedonik Raum 1 (Bismarckplatz)



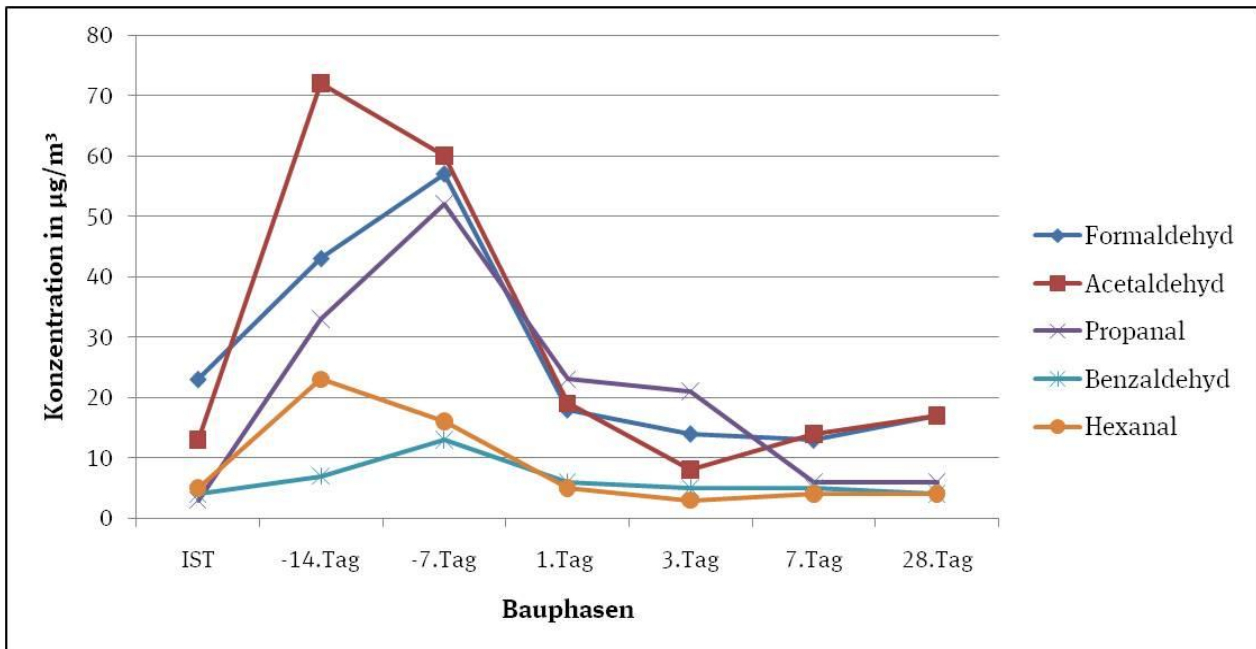
Die Abbildung 14 zeigt die Bewertungen der Hedonik für Versuchsraum 1. Hier liegen alle ermittelten Werte im nahezu gleichen Wertebereich zwischen -0,5 und -1,5.

Neben den Gerüchen werden auch die VOC- und Aldehydkonzentrationen im Versuchsraum 1 untersucht. Die detaillierten Ergebnisse sind im Anhang 5.1.3 (Tabellen 12 und 13) dargestellt. Der Einbau der Innenwanddämmplatte (-14.Tag) führt zu einem Anstieg der D4-Konzentration (Octamethylcyclotetrasiloxan) von 3 µg/m³ im IST-Zustand bis 66 µg/m³. Nach Anbringung der Dispersionsfarbe bleibt die D4-Konzentration in dieser Höhe (62 µg/m³), zusätzlich wird eine Erhöhung der Werte für 1-Butanol, D3 (Hexamethylcyclotrisiloxan), D5 (Decamethylcyclopentasiloxan) registriert. Eine Überschreitung der Innenraumrichtwerte kann aber nicht festgestellt werden. [15] Am 28.Tag nach Baufertigstellung sind die VOC-Konzentrationen vergleichbar mit den Werten im IST-Zustand.

Bei der Messung der Aldehyd- und Keton-Konzentrationen mit der DNPH-Methode zeichnet sich generell einen typischen Konzentrationsverlauf während einer Baumaßnahme ab (höhere Konzentrationen in den Bauphasen, anschließend Abnahme der Konzentrationen über die Zeit). Für einige ausgewählte Aldehyde ist der Konzentrationsverlauf über die Bauphasen in Abbildung 15 dargestellt.

Die Raumluftkonzentrationen steigen nach Einbau der Innenwanddämmplatte und bei Formaldehyd, Propanal und Benzaldehyd auch nach der Anbringung des Armierungsmörtels (-7.Tag) an. Die Konzentrationen von Hexanal und Acetaldehyd nehmen schon ab dem -7.Tag ab und erreichen am 28.Tag vergleichbare Werte wie im IST-Zustand. Die existierenden Innenraumrichtwerte für Aldehyde werden zu keinem Zeitpunkt erreicht bzw. überschritten. [15]

Abbildung 15: Aldehyd-Konzentrationen Versuchsraum 1 während der Bauphasen (DNPH-Methode)



Die chemische Analytik wird auch von der Temperatur und der relativen Feuchte beeinflusst. Bei Messungen ab einer Temperatur von 25 °C und einer relativen Feuchte von 60 % kann es bei der Auswertung zu Ungenauigkeiten kommen.

### 5.1.3.2 Versuchsraum 2

Im Versuchsraum 2 werden folgenden Materialien verbaut:

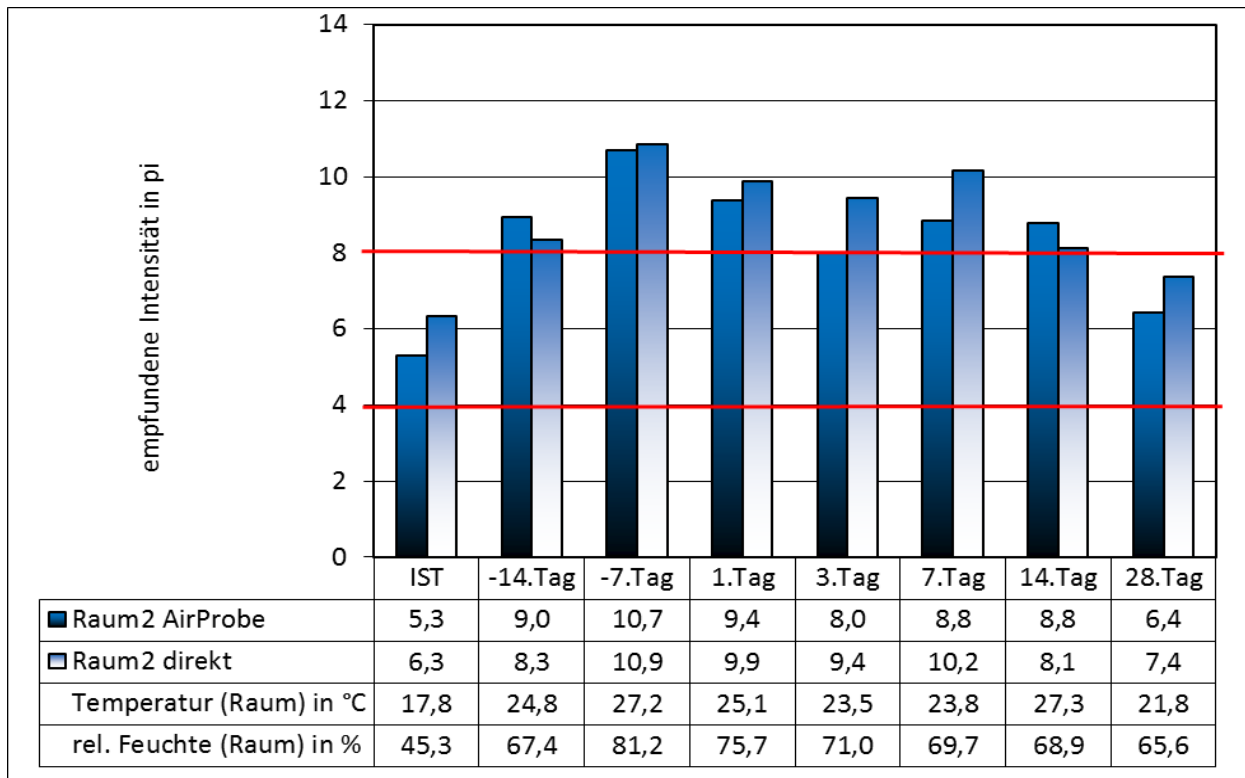
- Innenwanddämmplatte (-14.Tag)
- Gipskartonplatte + Fugenspachtel (-7.Tag)
- Dispersionsfarbe (1.Tag)

In der nachfolgenden Abbildung 16 sind die ermittelten Intensitäten der einzelnen Untersuchungstage dargestellt.

Vor Sanierungsbeginn weist der Versuchsraum 2 eine Intensität von etwa 5pi auf. Im ersten Bauabschnitt werden Dämmplatten an die Seitenwände geklebt, was die Intensität merklich erhöht (-14.Tag). Mit Bauabschnitt 2, in dem die Dämmplatten mit Gipskartonplatten verkleidet und verspachtelt werden, erhöhte sich die empfundene Intensität noch einmal (-7.Tag). Auch hier können an diesem Tag wieder hohe Temperatur- und Luftfeuchtwerte festgestellt werden. Mit Beendigung der Baumaßnahmen und somit einen Tag nach Aufbringen der Dispersionsfarbe (1.Tag) sinkt die empfundene Intensität bereits wieder. Am 28.Tag nach Beendigung der Baumaßnahme wird die Intensität mit etwa 6pi empfunden und liegt somit in etwa im Bereich des IST-Zustands vor der Sanierung.

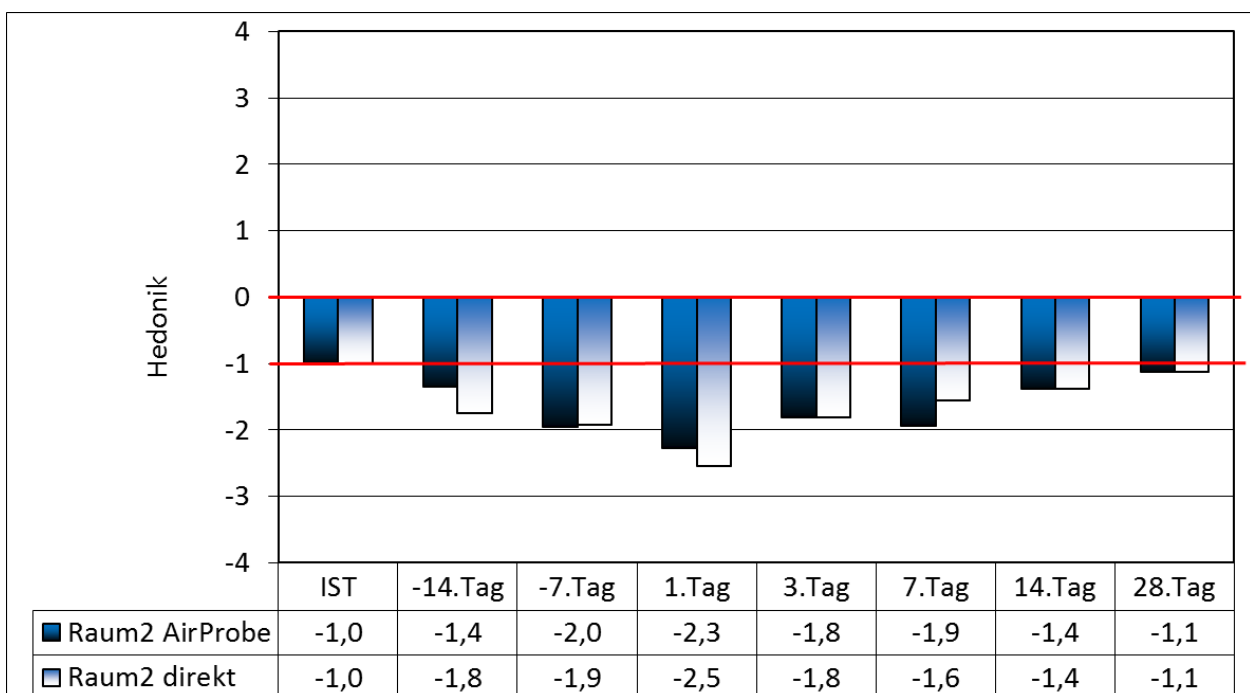


Abbildung 16: Intensität Raum 2 (Bismarckplatz)



Die Bewertungen der Hedonik im Versuchsraum 2 zeigt Abbildung 17. Vor Beginn der Baumaßnahmen wird die Hedonik des Raums mit -1 bewertet. Während der einzelnen Bauabschnitte verschlechtert sich diese geringfügig und liegt am Tag1 nach Beendigung der Baumaßnahmen bei etwa -2,4. Nach Beendigung der Baumaßnahmen (ab Tag3) verbessert sich die Hedonik wieder und liegt am 28.Tag im Bereich des Ausgangszustands, wird aber immer noch als eher unangenehm empfunden.

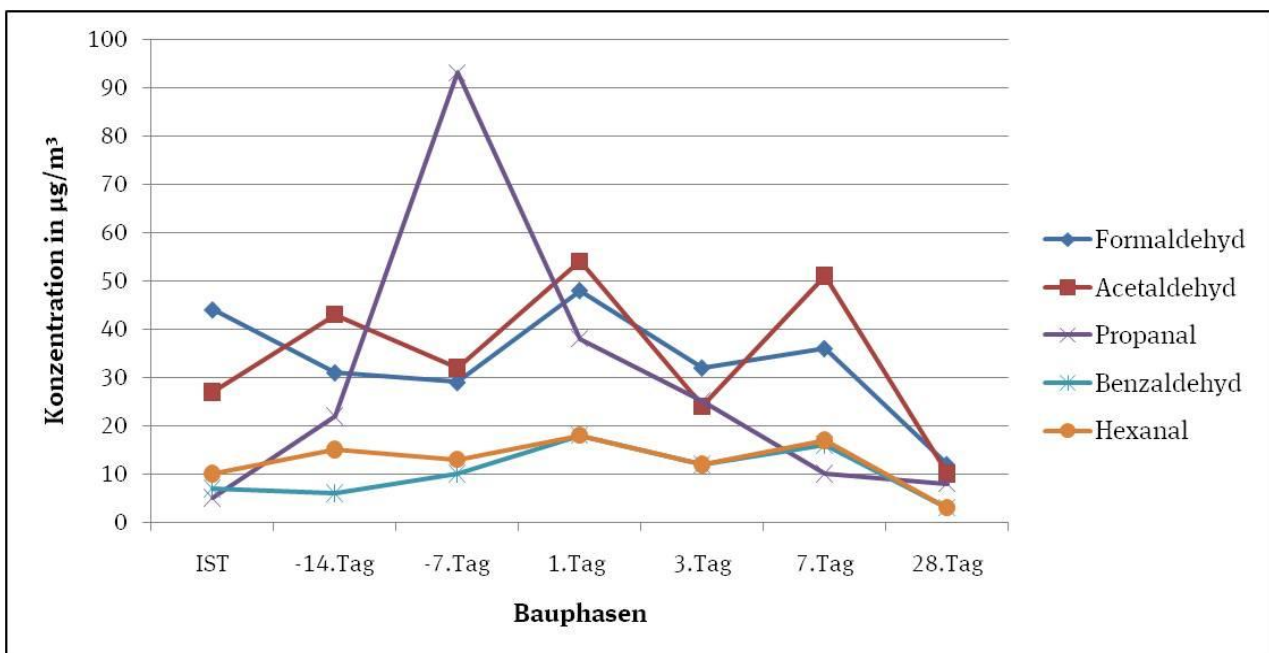
Abbildung 17: Hedonik Raum 2 (Bismarckplatz)



Neben den Gerüchen werden auch die VOC- und Aldehydkonzentrationen im Versuchsraum 2 untersucht. Die detaillierten Ergebnisse sind im Anhang 5.1.3 (Tabellen 14 und 15) dargestellt. Die Raumluftkonzentrationen steigen meistens in den Bauphasen analog zum Versuchsraum 1. So erhöhen sich, z.B. nach der Anbringung der Gipskartonplatten und des Fugenspachtels (-7.Tag), die Konzentrationen der Stoffen 1-Butanol von 6 auf 39  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , alpha-Pinen von 7 auf 24  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 3-Caren von 4 auf 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die Werte sinken anschließend bis zum 28.Tag auf dem Niveau des IST-Zustands. Einen hohen Konzentrationsanstieg in den Bauphasen zeigt hingegen D4: 223  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  werden am -7.Tag gemessen, 542  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nach Anwendung der Dispersionsfarbe und in diesem Fall wird der Richtwert I (RW I = 400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  für die Summe D3+D4+D5) überschritten. [15]

Bei der Betrachtung der Aldehyd- und Keton-Konzentrationen mit der DNPH-Methode zeichnet sich in diesem Fall generell kein typischer Konzentrationsverlauf d.h. eine Abnahme der Konzentrationen über die Zeit ab. Für einige ausgewählte Aldehyde ist dies in Abbildung 18 dargestellt. Am 7.Tag nach Baufertigstellung ist ein Konzentrationsanstieg registriert. Lediglich Propanal zeigt eine Abnahme der Konzentration bis zum 28.Tag. Die existierenden Innenraumrichtwerte für Aldehyde werden zu keinem Zeitpunkt überschritten [15]

Abbildung 18: Aldehyd-Konzentrationen Versuchsraum 2 während der Bauphasen (DNPH-Methode)



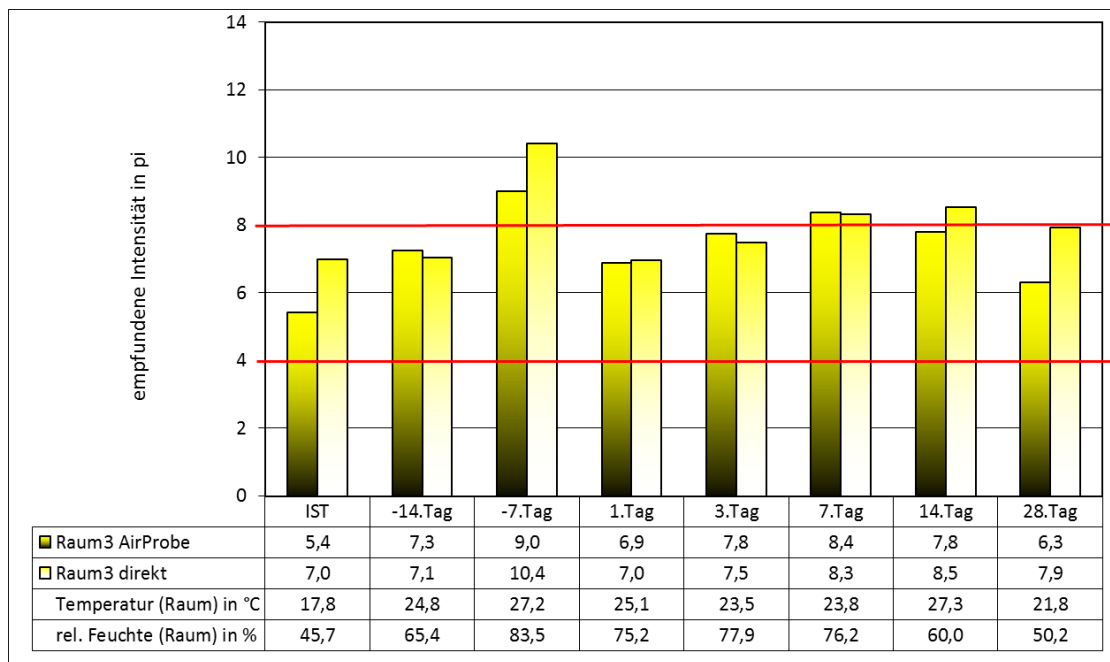
### 5.1.3.3 Versuchsraum 3

Im Versuchsraum 3 werden folgende Baumaßnahmen durchgeführt:

- Innenwanddämmplatte (-14.Tag)
- Armierungsmörtel (-7.Tag)
- Lehmputz (Unter- und Oberputz) (1.Tag)

Die nachfolgende Abbildung 19 zeigt die empfundenen Intensitäten der einzelnen Messphasen.

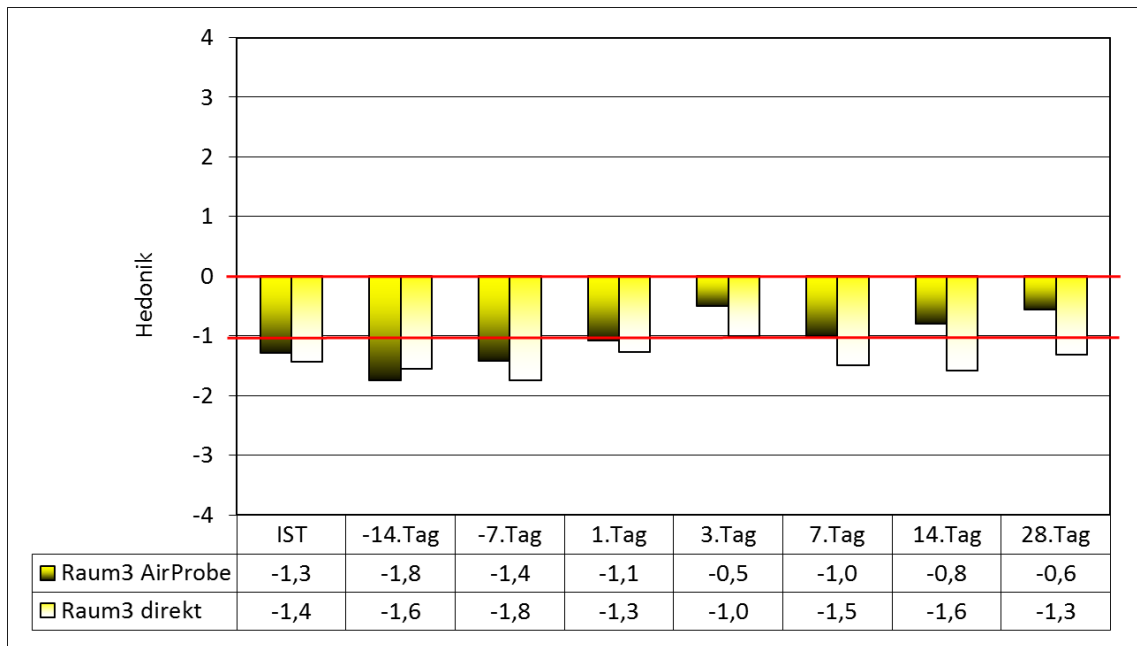
Abbildung 19: Intensität Raum 3 (Bismarckplatz)



Im ersten Bauabschnitt werden Innenwanddämmplatten an die Seitenwände geklebt. Mit Bauabschnitt 2, in dem die Dämmplatten mit Armierungsmörtel verputzt werden, erhöht sich die empfundene Intensität (-7.Tag). Wie bei den Versuchsräumen zuvor wird auch in diesem Raum eine hohe Temperatur und Luftfeuchte festgestellt. Mit Beendigung der Baumaßnahme und somit einen Tag (1.Tag) nach dem Verputzen mit Lehmputz sinkt die empfundene Intensität bereits wieder. In den darauf folgenden Tagen bleibt sie im Bereich zwischen 7 und 8pi. Am 28.Tag wird die empfundene Intensität mit etwa 6pi bewertet und liegt somit um eins höher als bei der Ausgangslage.

Die Hedonikbewertungen für Versuchsraum 3 sind in Abbildung 20 dargestellt. Vor Beginn der Baumaßnahmen liegt diese bei etwa -1 und verschlechtert sich während des ersten Bauabschnitts leicht. Mit zunehmender Untersuchungsdauer erreicht die Hedonik wieder mittlere Qualitätsbereiche (zwischen 0 und -1).

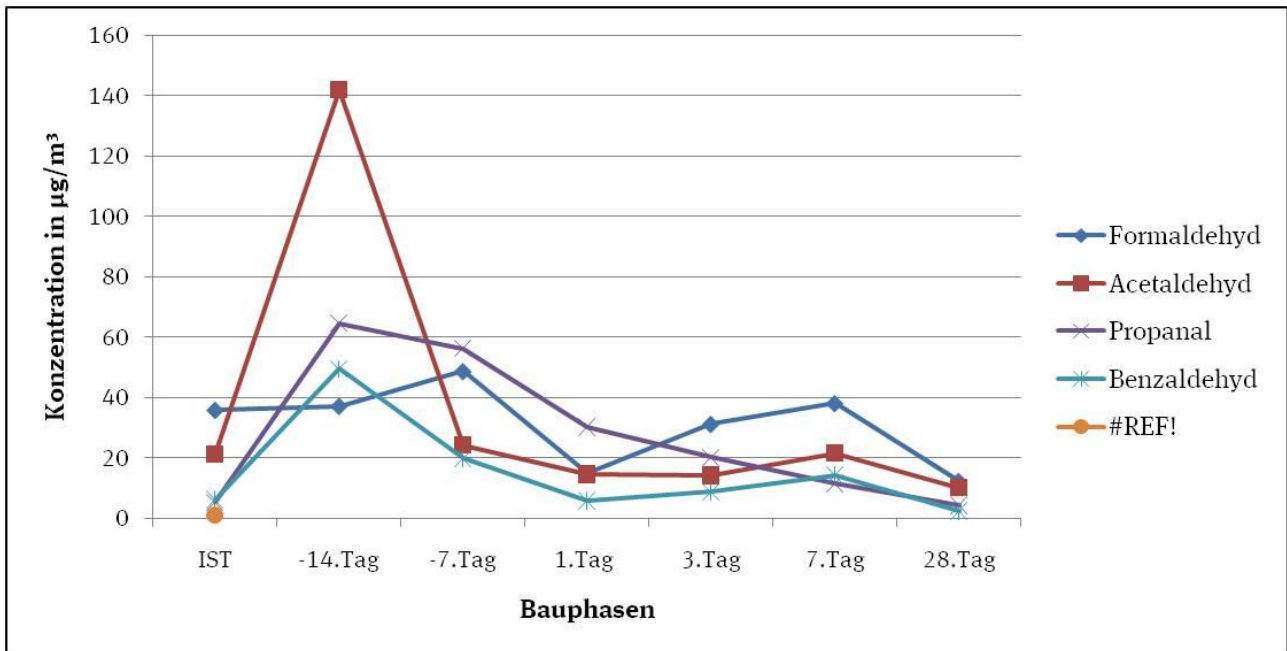
Abbildung 20: Hedonik Raum 3 (Bismarckplatz)



Neben den Gerüchen werden auch die VOC- und Aldehydkonzentrationen im Versuchsraum 3 untersucht. Die detaillierten Ergebnisse sind im Anhang 5.1.3 (Tabellen 16 und 17) dargestellt. Analog zum Versuchsraum 1 führt der Einbau der Innenwanddämmplatte (-14.Tag) zu einem Anstieg der D4-Konzentration von  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im IST-Zustand auf  $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Nach dieser Bauphase steigt auch die Konzentration von alpha-Pinen von 8 auf  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Am -7.Tag nimmt die D4-Konzentration nochmal zu ( $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), am Tag 14 nach Baufertigstellung ist dieser Stoff nicht bestimmbar. Im Falle vom D5 steigt die Konzentration von  $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$  am -7.Tag auf  $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$  am 14.Tag. Der Wert am 28.Tag konnte aus technischen Gründen nicht ermittelt werden. Eine Überschreitung der Innenraumrichtwerte findet nicht statt.

Bei der Messung der Aldehyd- und Keton-Konzentrationen mit der DNPH-Methode zeichnet sich spätestens ab 1.Tag nach Baufertigstellung (bei Hexanal und Propanal bereits ab -14.Tag bzw. -7.Tag) eine Abnahme der Konzentration über die Zeit (Abbildung 21). Bei Formaldehyd und Acetaldehyd wird am 28.Tag noch einen geringen Anstieg der Raumluftkonzentration erfasst. Die existierenden Innenraumrichtwerte für Aldehyde werden nicht überschritten. [15]

Abbildung 21: Aldehyd-Konzentrationen Versuchsraum 3 während der Bauphasen (DNPH-Methode)



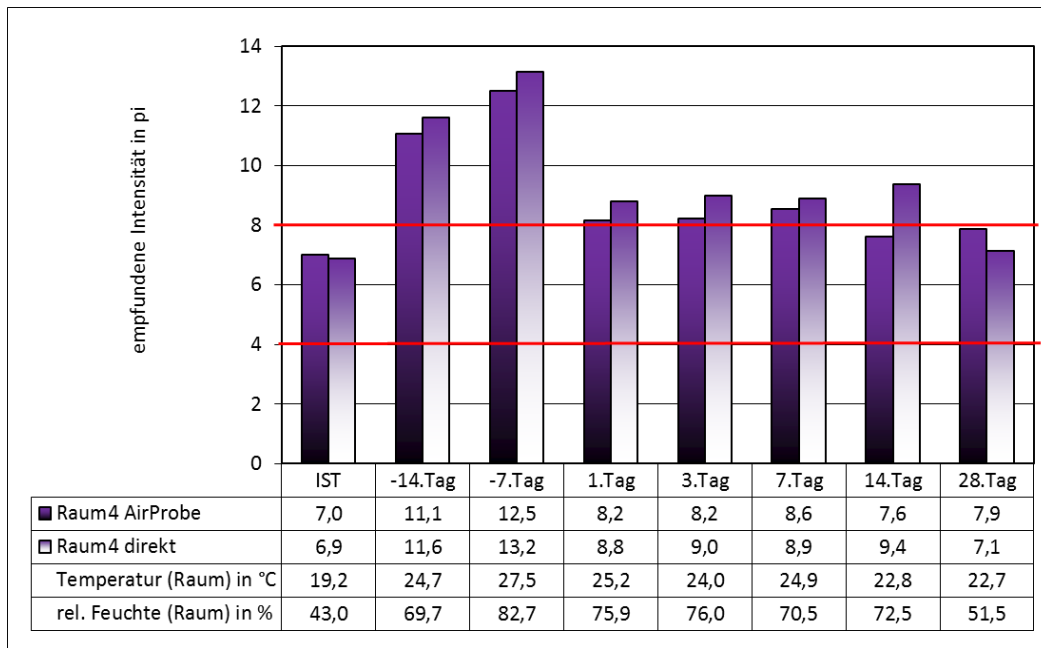
#### 5.1.3.4 Versuchsraum 4

Der Versuchsraum 4 wird mit folgenden Bauprodukten bestückt:

- Lehmämmplatte
- Lehmputz (Unter- und Oberputz)
- Lehmfarbenstrich

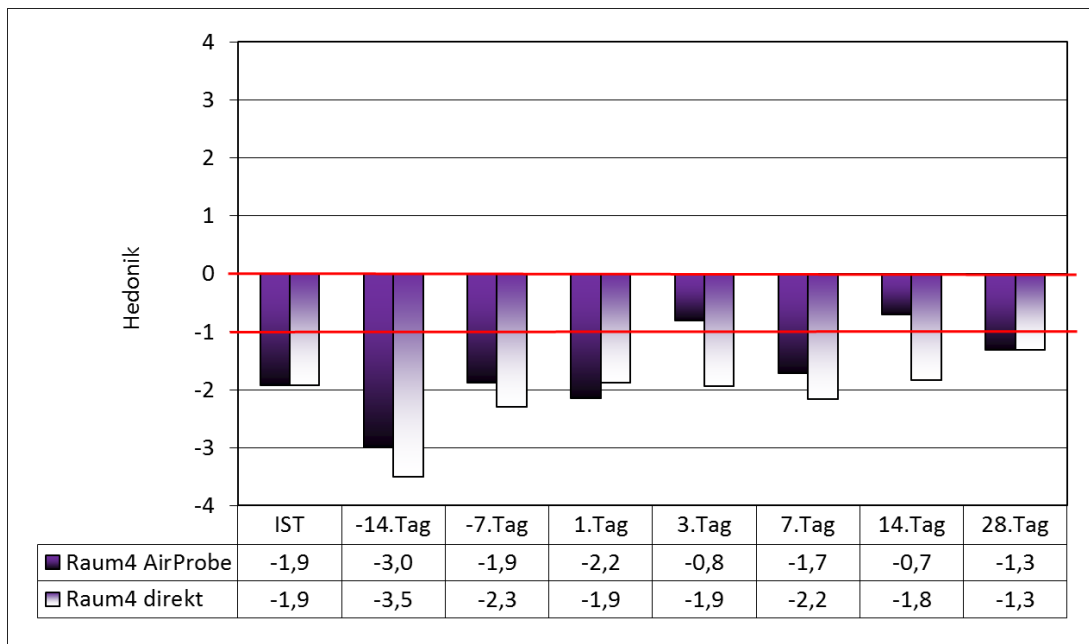
Die nachfolgende Abbildung 22 zeigt die empfundenen Intensitäten dieses Versuchsraums. Auch hier liegen die Ergebnisse beider Bewertungsmethoden in etwa gleichauf. Der Raum hat vor Baubeginn eine Intensität von 7pi. Im ersten Bauabschnitt werden die Seitenwände mit Lehmämmplatten verkleidet, was die Intensität bereits sehr stark auf etwa 11pi erhöht (-14.Tag). Mit Bauabschnitt 2 wird Lehmputz auf die Dämmplatten aufgebracht, was die Geruchsintensität noch einmal leicht ansteigen lässt. Analog zu den anderen Versuchsräumen wird auch hier eine hohe Temperatur und Luftfeuchte gemessen. Mit dem Aufbringen des Lehmfarbenstrichs (1.Tag) nimmt die Intensität aber schon wieder merklich ab (trotz hoher Feuchte) und bleibt dann bis Untersuchungsende in diesem Intensitätsbereich. Am 28.Tag wird die empfundene Intensität mit etwa 8pi bewertet und liegt somit leicht höher als bei der Ausgangslage (IST).

Abbildung 22: Intensität Raum 4 (Bismarckplatz)



Auch bei der Bewertung der Hedonik in Abbildung 23 zeigt sich ein ähnliches Bild. Am Tag nach Aufbringen der Lehmdämmplatten erreicht die Hedonik einen Wert von -3 und kommt somit sehr nah an den möglichen Tiefstwert von -4, also extrem unangenehm, heran. Bei der Bewertung im nächsten Bauabschnitt (-7.Tag) wird die Raumluft aber schon wieder als etwas angenehmer empfunden. Insgesamt fallen die Werte der Hedonik im Vergleich zu den anderen Räumen negativer aus. Trotzdem kann die Hedonik im Vergleich zum IST-Zustand um etwa einen halben Punkt verbessert werden.

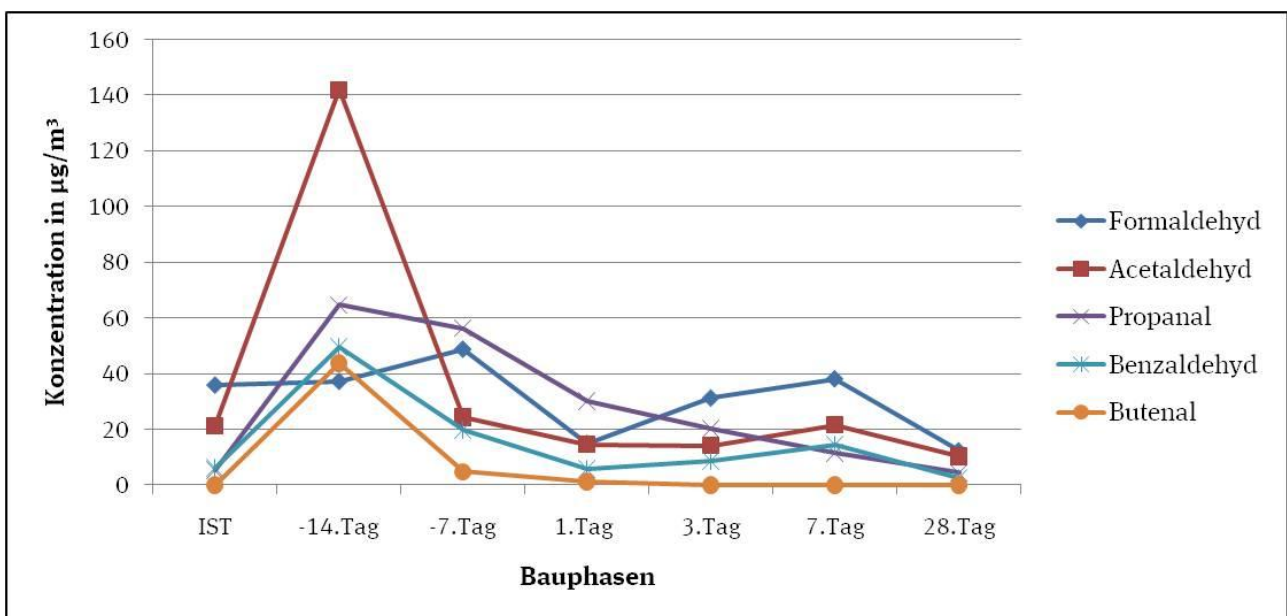
Abbildung 23: Hedonik Raum 4 (Bismarckplatz)



Neben den Gerüchen werden auch die VOC- und Aldehydkonzentrationen im Versuchsraum 4 untersucht. Die detaillierten Ergebnisse sind im Anhang 5.1.3 (Tabellen 18 und 19) dargestellt. In diesem Fall führt der Einbau der Lehmdämmplatte am -14.Tag zu einem starken Anstieg der Konzentration an flüchtigen organischen Verbindungen. Dies kann vor allem bei den Ergebnissen der Messung mit

der DNPH-Methode registriert werden. In der Abbildung 24 sind ausgewählte Ergebnisse für einige Aldehyde nach der DNPH-Methode dargestellt. Die gemessene Hexanal-Konzentration erreicht einen Wert von  $425 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Am -14.Tag werden die Richtwerte für die aliphatische Aldehyde und Benzaldehyd überschritten. Diese Messung findet allerdings 1 Tag nach Anbringung der Lehmdämmplatte im Raum statt, unter diesen Bedingungen ist die Baukonstruktion noch nicht ganz trocken. Die Temperatur in dem Versuchsraum beträgt  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  und die Luftfeuchte  $90 \%$ . Die Ergebnisse der Geruchsuntersuchungen korrelieren gut mit den analytischen Werten (Anstieg der Konzentration an flüchtigen organischen Verbindungen führt zu höheren Geruchsintensitäten). Neben den erhöhten Aldehydwerten (DNPH) steigen auch die Konzentrationen der Terpene am -14.Tag an. Im Fall von alpha-Pinen und 3-Caren sind die gemessenen Konzentrationen am 28.Tag höher als in der IST-Zustand. Generell sinken die Konzentrationen an flüchtigen organischen Verbindungen über die Zeit bis zum 28.Tag. [15]

Abbildung 24: Aldehyd-Konzentrationen Versuchsraum 4 während der Bauphasen (DNPH-Methode)



### 5.1.3.5 Versuchsraum 5

Im Versuchsraum 5 werden keine Baumaßnahmen durchgeführt. Da der Raum von Lage und Beschaffenheit ähnlich dem anderen Versuchsräumen ist, wird diese im unberührten Zustand mituntersucht und gilt als Vergleichswert. Abbildung 25 zeigt die empfundenen Intensitäten der Raumluft. Diese schwanken über die Dauer des Untersuchungszeitraums geringfügig um  $2\text{pi}$  zwischen  $6$  und  $8\text{pi}$ . Zwar bestehen auch hier zwischen den einzelnen Messtagen Temperaturunterschiede, die Luftfeuchte liegt aber nahezu im selben Wertebereich ( $40\text{-}65\%$ ).

Abbildung 25: Intensität Raum 5 (Bismarckplatz)

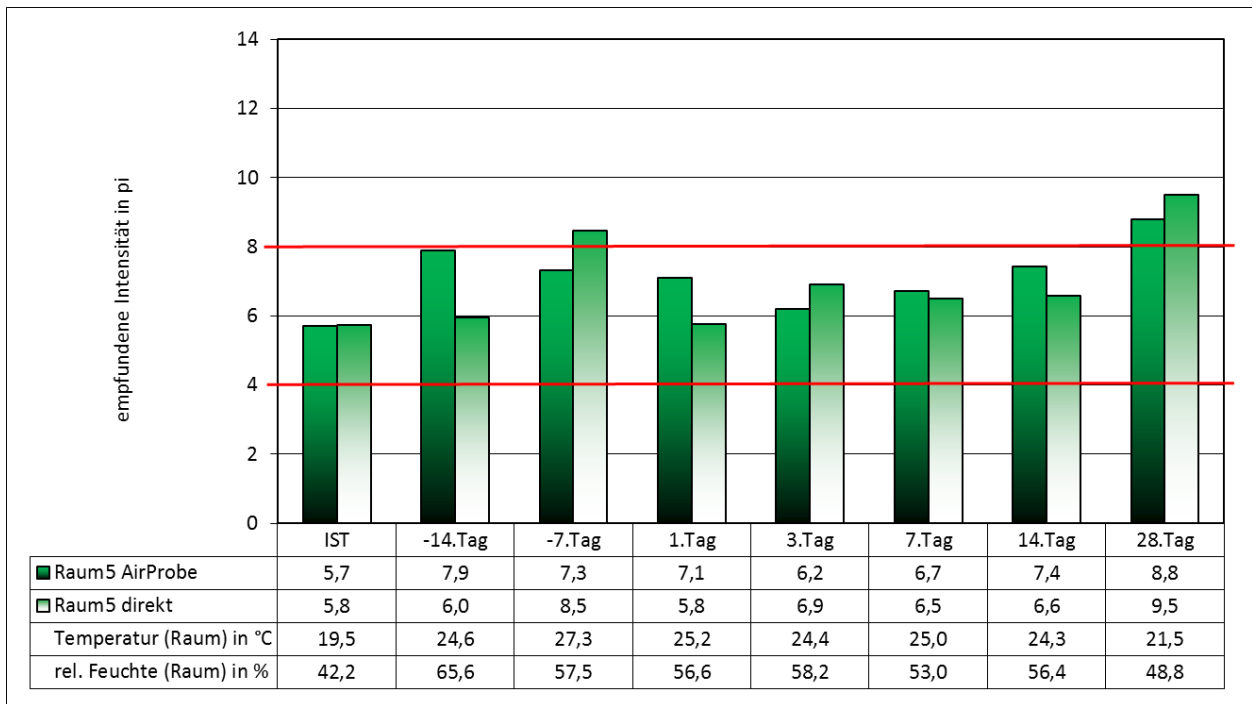
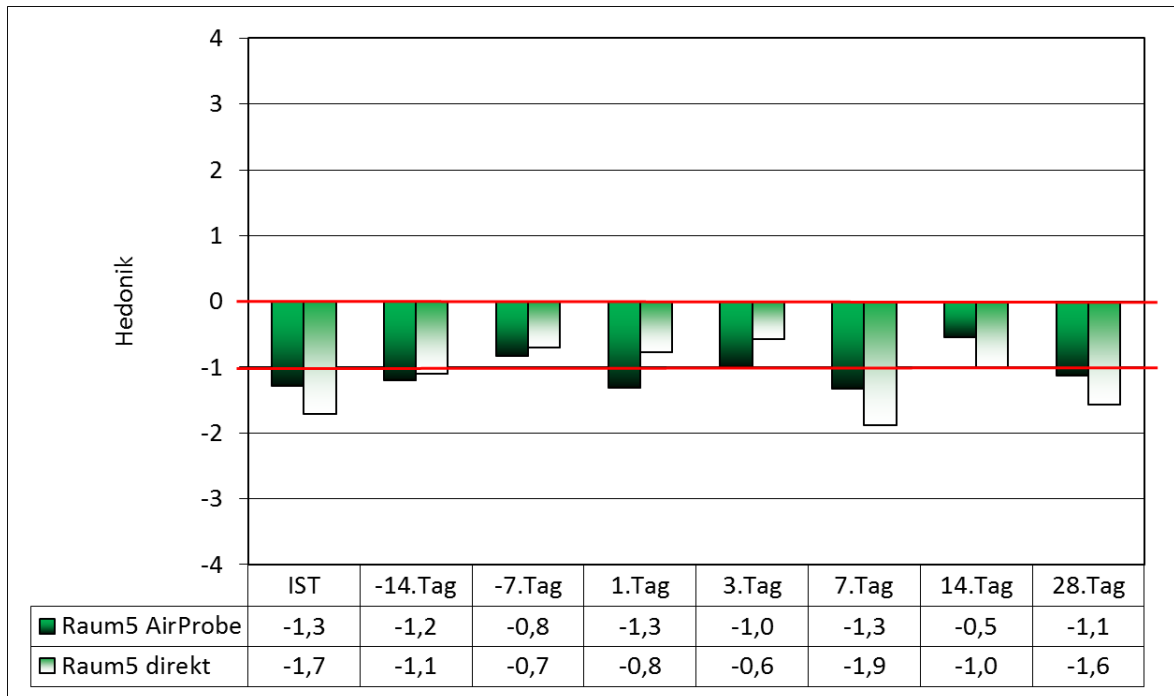


Abbildung 26 zeigt die Bewertungen der Hedonik. Auch hier sind ähnlich zur Intensität keine großen Unterschiede zu erkennen.

Abbildung 26: Hedonik Raum 5 (Bismarckplatz)



Im Versuchsraum 5 wurden keine analytischen Untersuchungen durchgeführt.



#### 5.1.4 Produktuntersuchungen im Luftqualitätslabor

In diesem Kapitel werden die Untersuchungsergebnisse der am Bismarckplatz verwendeten Bauprodukte im Luftqualitätslabor aufgeführt und den dazugehörigen Werten der Raumluftuntersuchungen mittels Probenahme (AirProbe) gegenübergestellt. Hierbei muss aber erwähnt werden, dass die ermittelten Werte unterschiedlichen Temperatur- bzw. Feuchtwerten zugrunde liegen. Die definierten Lüftungsverhältnisse in den Emissionskammern sind im Versuchsraum also der Raumluftprobe nicht immer gegeben.

Neben der Bewertung der Geruchsemissionen werden bei einigen Bauprodukten auch die chemische Konzentrationen (VOC und Aldehyde) in der Kammerluft bestimmt. Für die Innenwanddämmplatte, den Lehmputz, den Lehmunterputz, den Lehmoberputz und den Lehmfarbanstrich werden nur die VOC-Emissionen am Tag3 und 28 untersucht. Die gemessenen Konzentrationen von sehr wenigen Stoffen liegen im Bereich der Bestimmungsgrenze und werden im Bericht nicht dargestellt. Bei der Lehmdämmplatte werden neben den VOC auch die Aldehyd-Emissionen gemessen, die Konzentrationen von einigen wenigen Verbindungen sind sehr niedrig.

##### 5.1.4.1 Produkte Versuchsraum 1

Der Aufbau im Versuchsraum 1 besteht aus den folgenden Materialien:

- Innenwanddämmplatte (Mineralwolle)
- Armierungsmörtel
- Dispersionsfarbe

Die nachfolgende Abbildung 27 zeigt die Intensitäten der eingesetzten Produkte sowie der Raumluftuntersuchung. Alle Bewertungen der Einzelprodukte liegen am Tag28 unter dem Kriterium des Blauen Engels (<7pi). Die Intensität der Raumluft (sw/grau) liegt am Tag28 ebenfalls in diesem Wertebereich (6pi).

Abbildung 27: Intensität Produkte Versuchsraum 1 (Bismarckplatz)

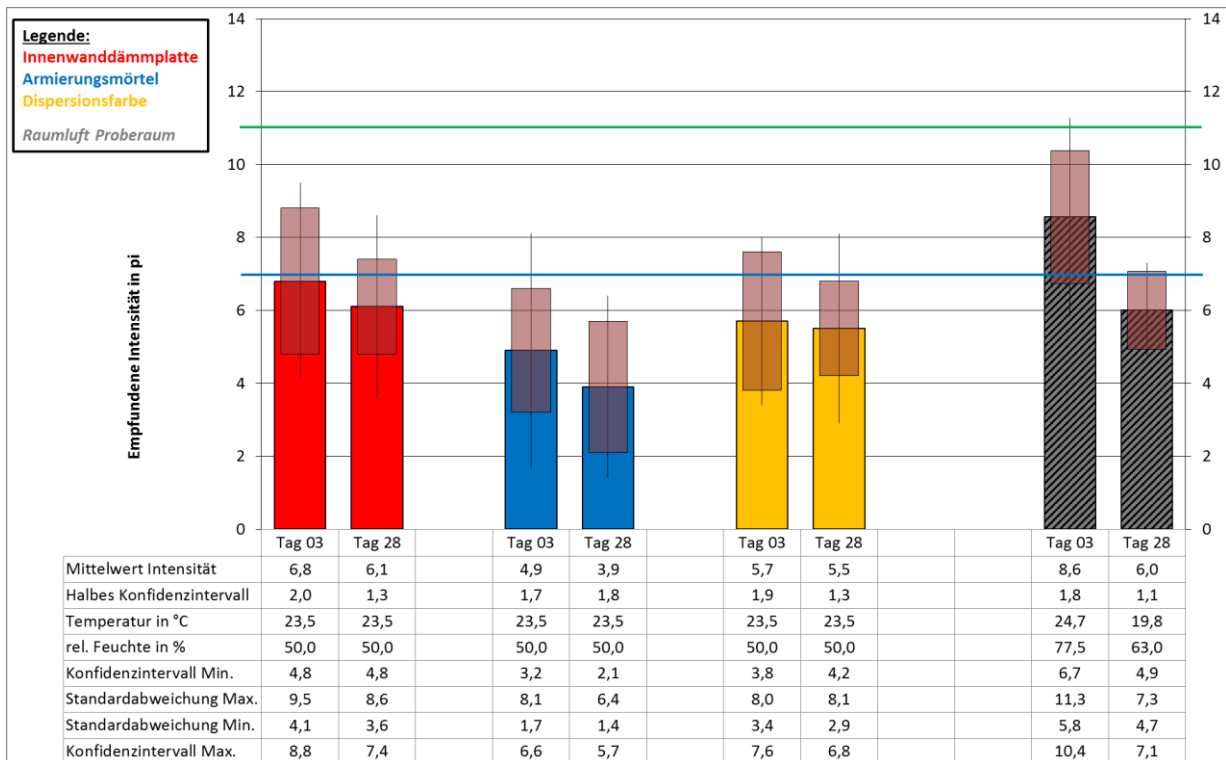
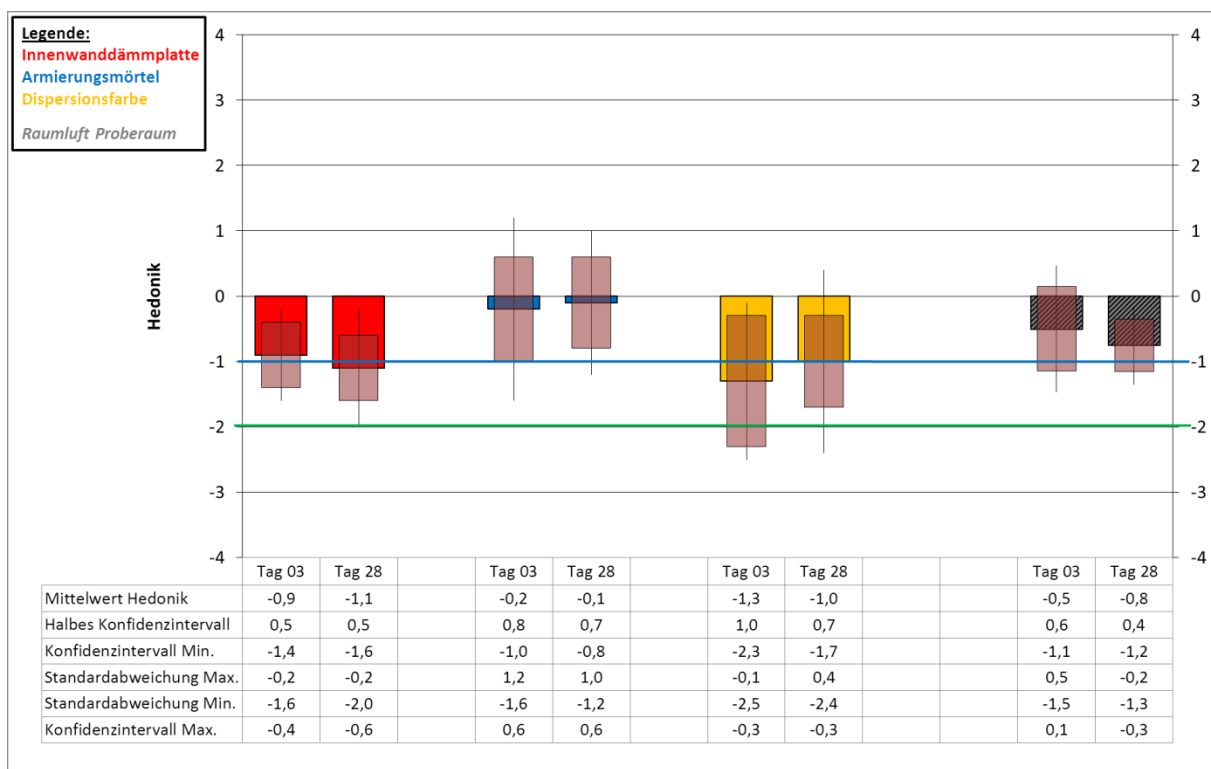


Abbildung 28 stellt die Bewertung der Hedonik der Produkte sowie der Raumluftht aus Versuchsraum 1 dar. Hier sind zwischen den Ergebnissen von Tag3 und Tag28 keine großen Unterschiede erkennbar. Die Produkte Innenwanddämmung (rot) und Dispersionsfarbe (gelb) liegen ähnlich wie die Raumlufthtbewertung knapp an der Blauer Engel-Grenze (bei -1). Der Armierungsmörtel erhält eine Bewertung im neutralen Bereich (bei etwa 0).

Abbildung 28: Hedonik Produkte Versuchsraum 1 (Bismarckplatz)



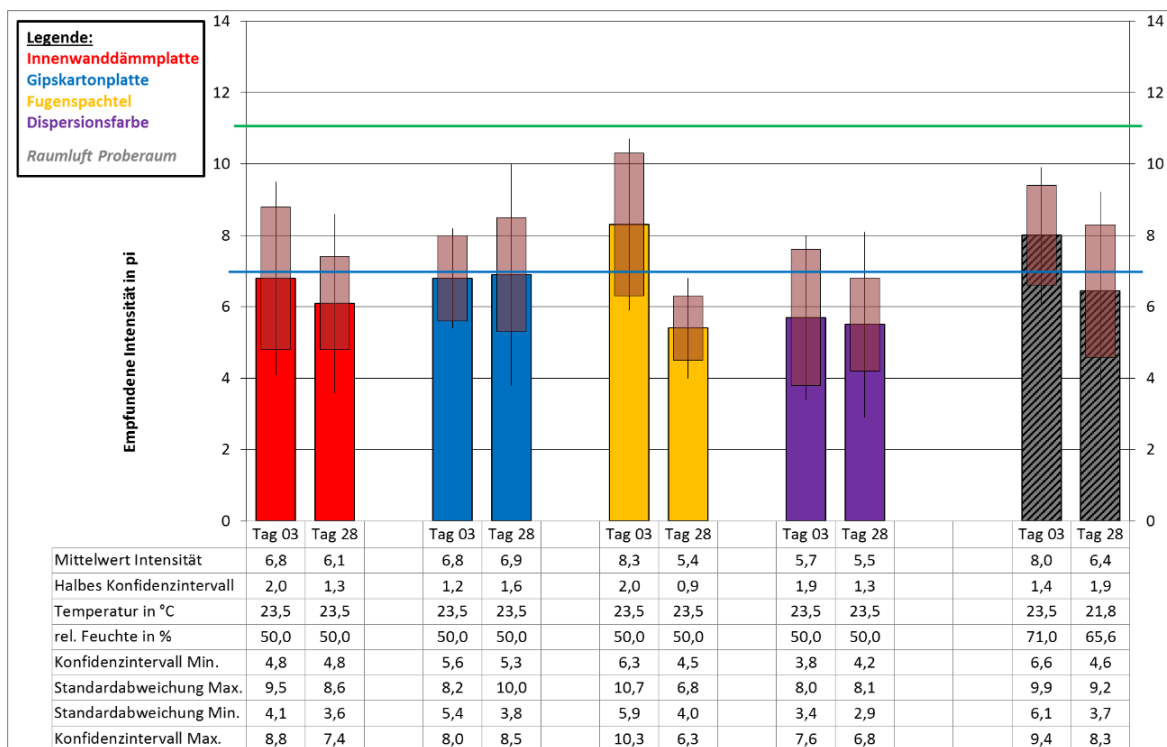
### 5.1.4.2 Produkte Versuchsraum 2

Im Versuchsraum 2 werden folgenden Materialien eingebracht und im Labor untersucht:

- Innenwanddämmplatte
- Gipskartonplatte
- Fugenspachtel
- Dispersionsfarbe

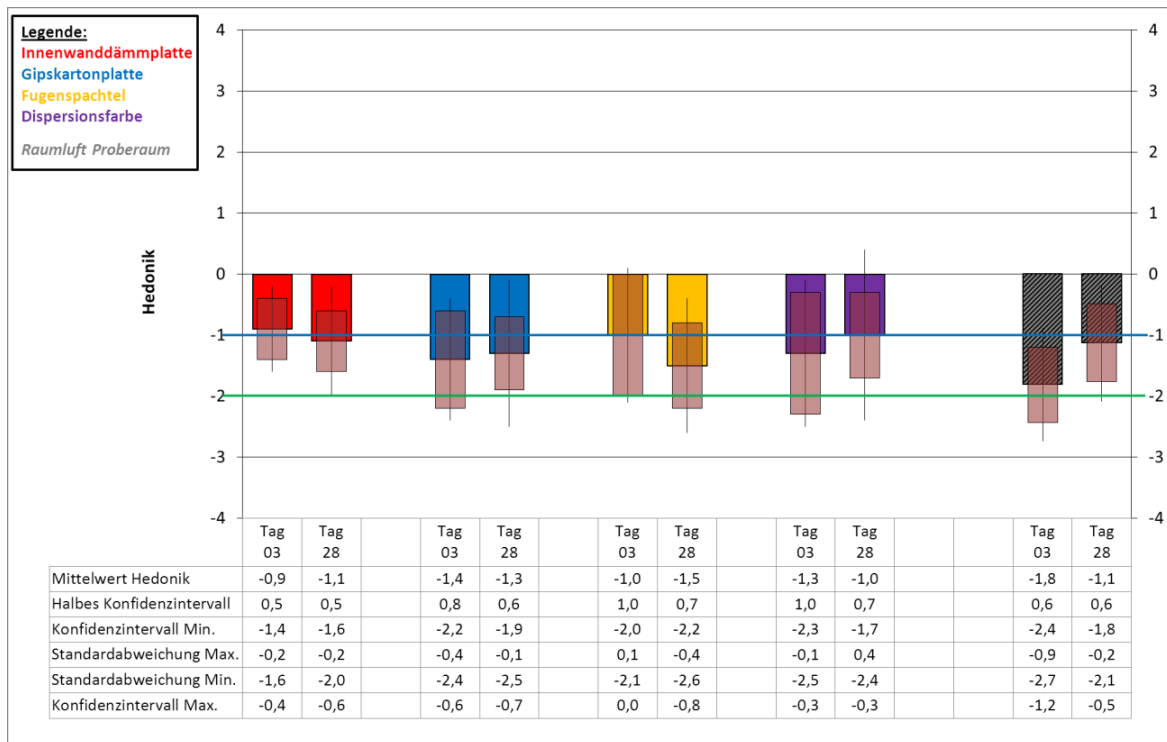
Abbildung 29 zeigt die dabei ermittelten Intensitäten. Auch hier ist erkenntlich, dass alle Produkte bis auf den Fugenspachtel (gelb) bereits am Tag3 unter 7pi bewertet werden. Zum Tag28 hin, verbessert sich auch die Intensität des Fugenspachtels (gelb), sodass alle Produkte den vorgeschlagenen Blauer Engel-Prüfwert erfüllen. Die Raumluftbewertung (grau) liegt am Tag3 bei 8pi und fällt zum Tag28 auf etwa 6pi und liegt damit auch im Wertebereich der Produktbewertungen.

Abbildung 29: Intensität Produkte Versuchsraum 2 (Bismarckplatz)



Bei der Hedonik in Abbildung 30 bleiben die Bewertungen annähernd gleich. Die Bewertung der Raumluft erreicht am Tag3 einen Hedonikwert von -1,8 und am Tag28 -1,1 und liegt damit auch in dem Bereich der Produktbewertungen.

Abbildung 30: Hedonik Produkte Versuchsraum 2 (Bismarckplatz)



### 5.1.4.3 Produkte Versuchsraum 3

Im Versuchsraum 3 werden folgende Baumaterialien verwendet:

- Innenwanddämmplatte
- Armierungsmörtel
- Lehm-Unterputz
- Lehm-Oberputz

Die nachfolgende Abbildung 31 stellt die Bewertungen der Intensität am Tag3 und Tag28 dar. Die Dämmplatte (rot) und der Armierungsmörtel (blau) weisen bereits am Tag3 niedrige Intensitäten auf. Dagegen liegen die Intensitäten der Lehmprodukte (gelb+lila) in diesem Aufbau im Bereich von etwa 8pi am Tag3, was hier auch zu der Bewertung der Raumluftht passt. Im Laufe des Untersuchungszeitraums fällt die Intensität der Lehmprodukte als auch die der Raumluftht auf etwa 6pi ab.

Abbildung 31: Intensität Produkte Versuchsraum 3 (Bismarckplatz)

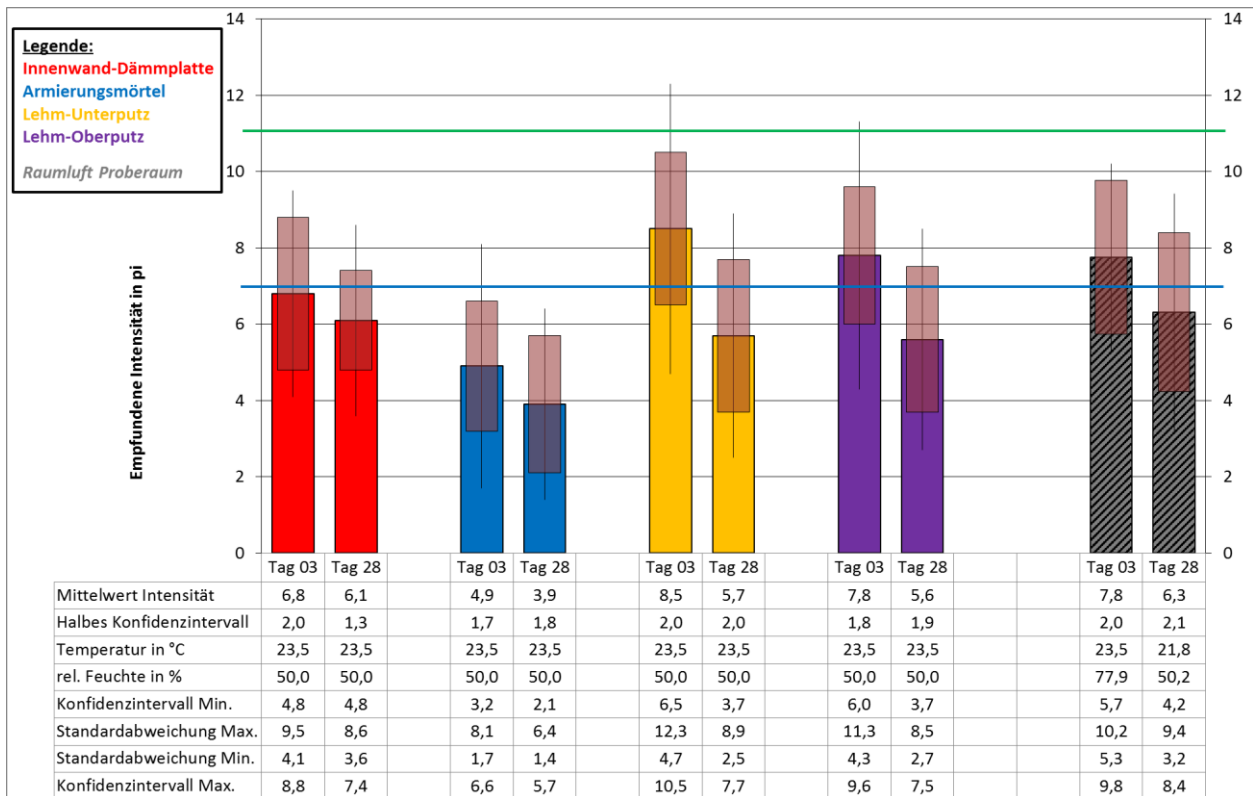
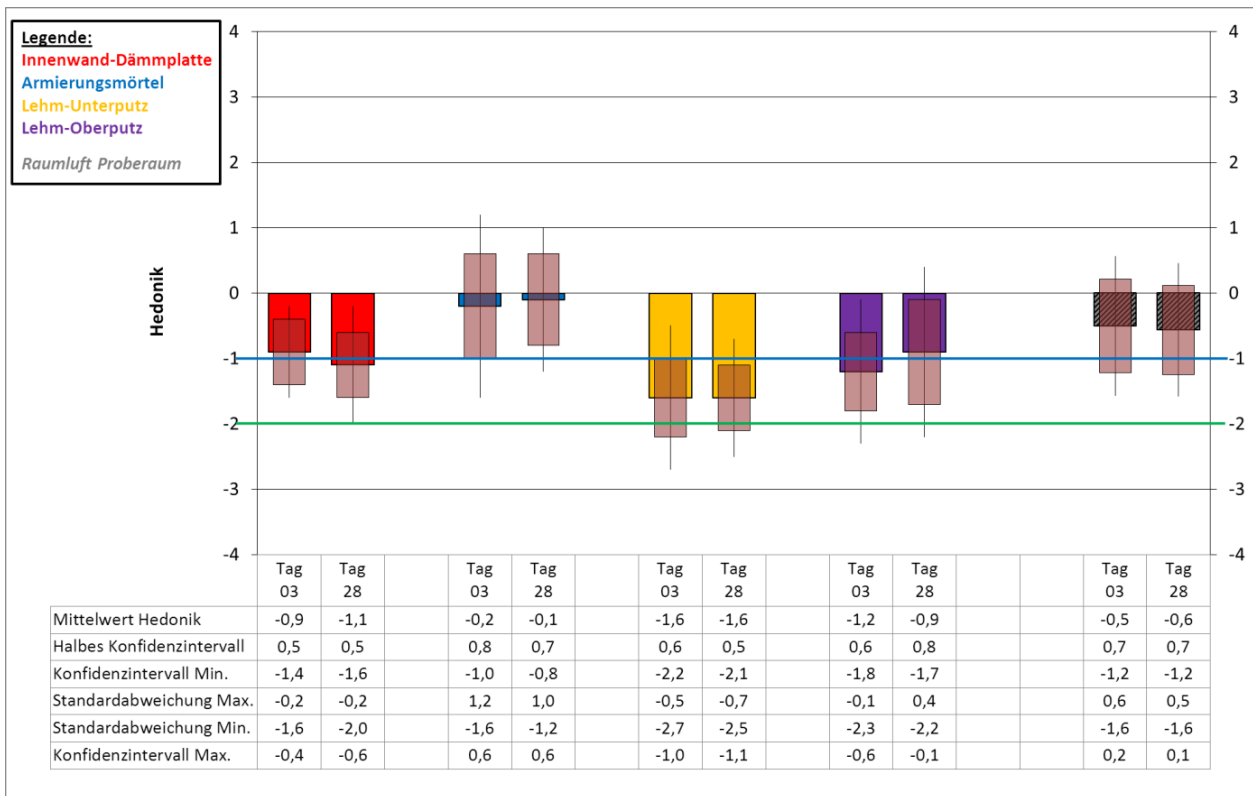


Abbildung 32 zeigt die Bewertungen der Hedonik zum Versuchsraum 3. Die Hedonik des Lehmoberputzes bleibt bis zum Tag28 unverändert (-1,6) und liegt unter den vorgeschlagenen Prüfwert für die AgBB-Anforderungen. Die Hedonik der Raumlufthaus wird hier etwas besser bewertet als die der Lehmprodukte.

Abbildung 32: Hedonik Produkte Versuchsraum 3 (Bismarckplatz)



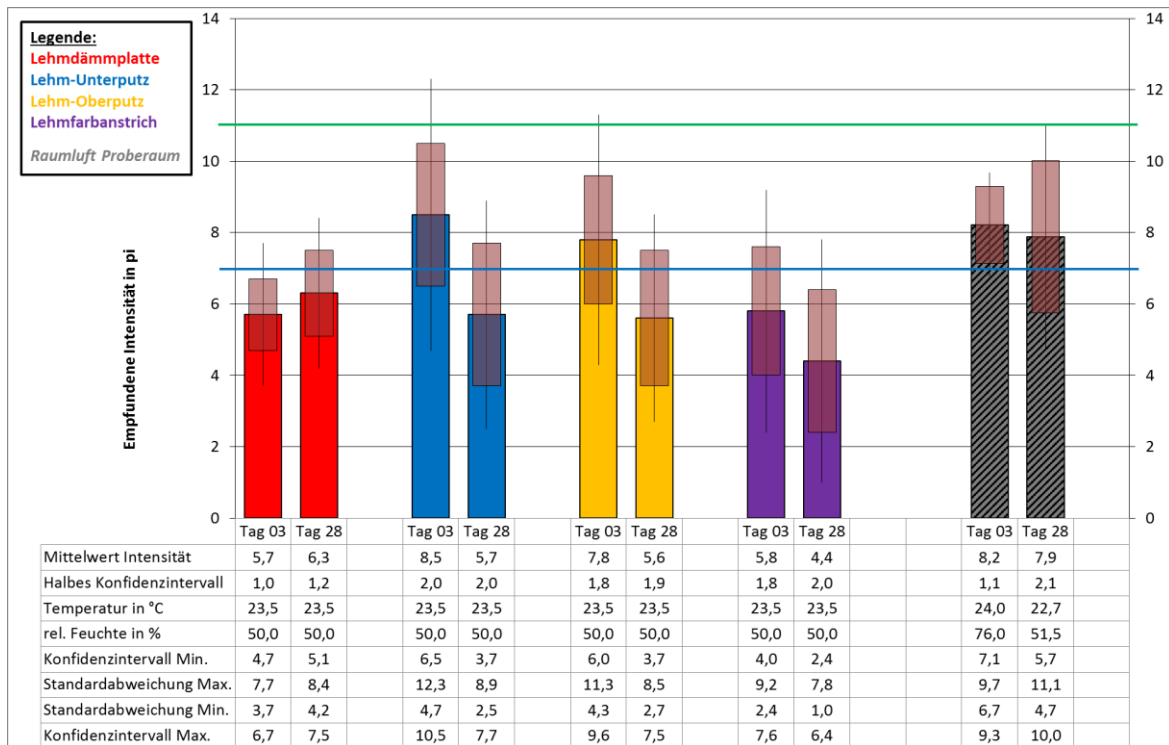
#### 5.1.4.4 Produkte Versuchsraum 4

Im Versuchsraum4 werden besonders viele Lehmprodukte eingesetzt:

- Lehmdämmplatte
- Lehm-Unterputz
- Lehm-Oberputz
- Lehmfarbanstrich

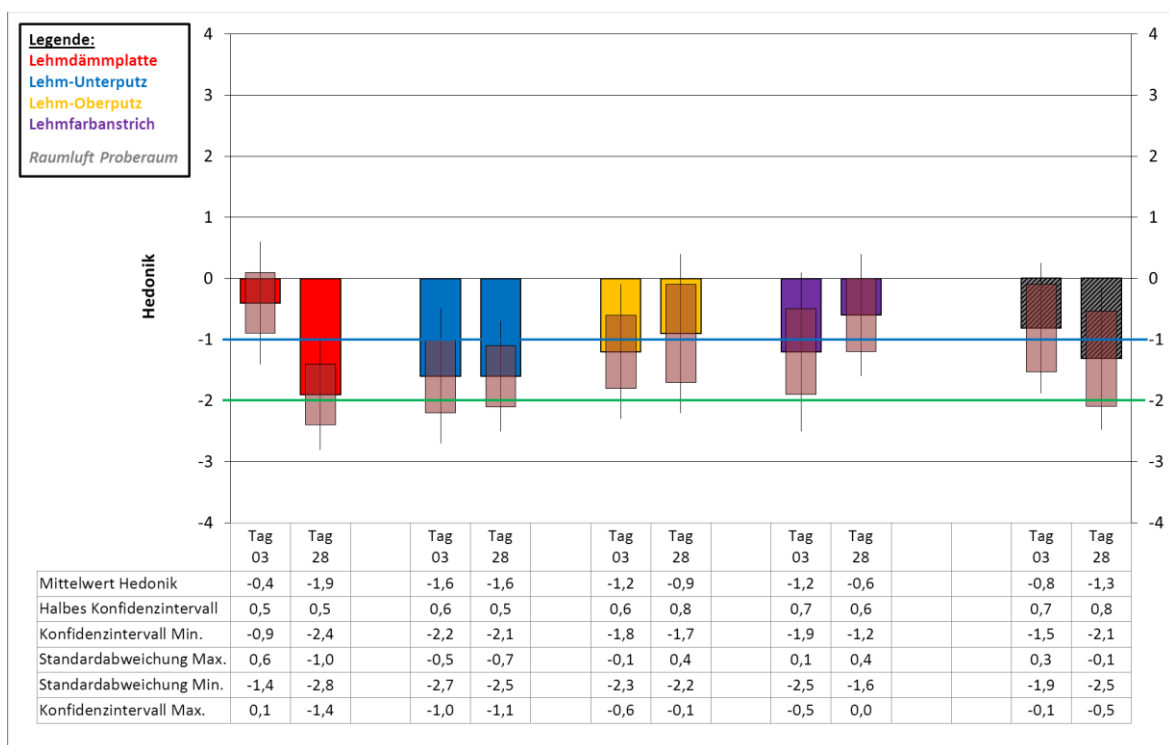
Wie auf Abbildung 33 ersichtlich, liegen die Intensitäten der Lehmdämmplatte (rot) und des Lehm-anstrichs (lila) bereits am Tag3 unter 7pi. Die Lehmputze weisen (wie im vorherigen Aufbau erläut-ert) etwas höhere Werte auf. Am Untersuchungstag 28 liegen alle Produktintensitäten im Bereich zwischen 4 und 6pi. Die Raumluft wird währenddessen weiterhin mit etwa 8pi bewertet. Dies kann durch die höhere relative Feuchte im Raum während des Untersuchungszeitraums erklärt werden.

Abbildung 33: Intensität Produkte Versuchsraum 4 (Bismarckplatz)



Auf Abbildung 34 sind die Bewertungen der Hedonik zu sehen. Hier fällt zunächst bei der Lehdämmplatte der Unterschied zwischen den Bewertungen am Tag3 (-0,4) und 28 (-1,9) auf. Die Lehdämmplatte und der Lehmunterputz erfüllen am Tag28 die vorgeschlagenen AgBB-Anforderungen, der Lehmoberputz und Farbanstrich sogar die Prüfwerte für den Blauen Engel. Die Hedonik der Raumluft verschlechterte sich geringfügig am Tag28 im Vergleich zum Tag3.

Abbildung 34: Hedonik Produkte Versuchsraum 4 (Bismarckplatz)



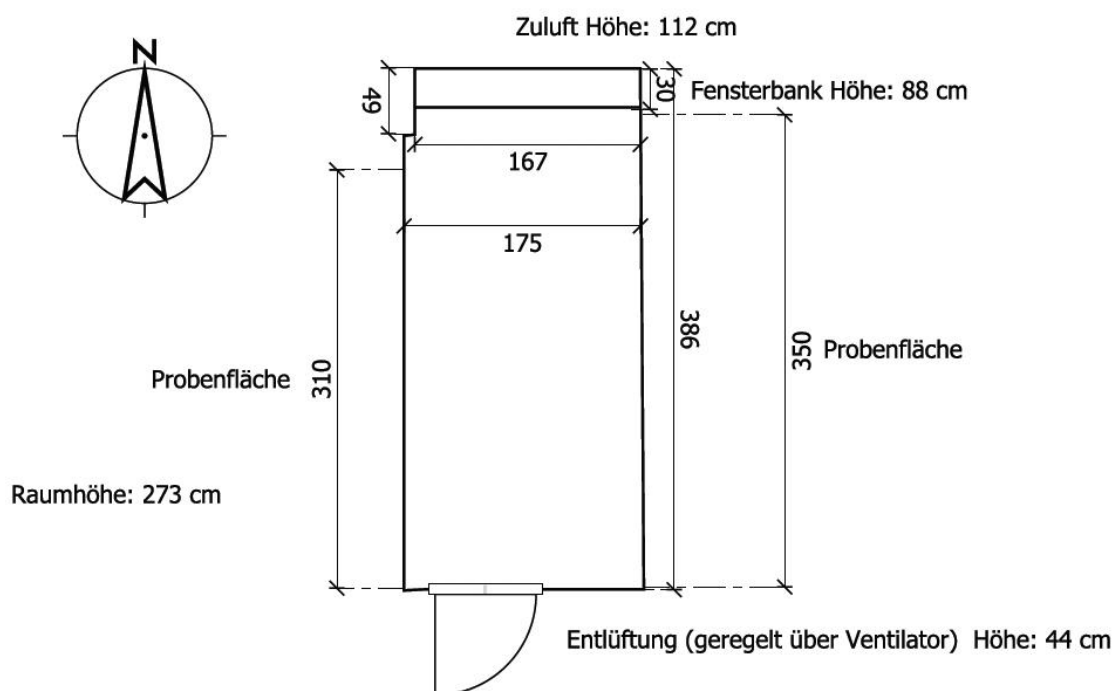
## 5.2 Versuchsräume eco-INSTITUT Köln

### 5.2.1 Versuchsbeschreibung

In diesem Versuchsteil werden jeweils vier verschiedene Wand- sowie Bodenaufbauten olfaktorisch und analytisch untersucht. Dazu wird der jeweils zu untersuchende Aufbau in zwei identische Versuchsräume am eco-INSTITUT in Köln eingebracht.

Das Raumvolumen der beiden Prüfräume beträgt jeweils 17,9 m<sup>3</sup>. Die Beladung wird in beiden Prüfräumen identisch gewählt, mit 1 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Die Luftwechselrate wird auf 0,5 h<sup>-1</sup> eingestellt. Die Prüfräume sind nicht klimatisiert, was bedeutet, dass Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit nicht beeinflusst werden können.

Abbildung 35: Skizze Prüfraum eco-INSTITUT [16]



Die Aufbauten werden jeweils am Freitag in die Prüfräume eingebracht. Untersuchungstag 1 beginnt dann am Montag um eine Trocknung der Materialien zu ermöglichen. Jeweils am Tag3 und Tag28 wird die Raumluft direkt im Raum sowie mithilfe von Luftprobenbehältern (AirProbe) von Probanden des eco-INSTITUT bewertet. Es ist festzuhalten, dass bei dieser Versuchsreihe ein anderes Probandenpanel (vom eco-INSTITUT), als bei den übrigen hier im Bericht enthaltenen Untersuchungen verwendet wird. Parallel zu den sensorischen Bewertungen führt das eco-INSTITUT analytische Untersuchungen durch.

Zusätzlich werden die in den Aufbauten verwendeten Baumaterialien einzeln, sowie in Kombination im Luftqualitätslabor der HTW sensorisch bewertet. Diese Bewertung findet am Tag3, Tag7, Tag14 und Tag28 nach der Einbringung des Produkts statt. Für diese Bewertungen wird das Probandenpanel der HTW genutzt. Die analytische Bewertung der Baumaterialien wird nur am Tag28 durchgeführt. Dazu werden Luftproben entnommen, welche dann vom eco-INSTITUT analytisch ausgewertet werden.



Abschließend werden die Bewertungen der Raumluft (Versuchsräume) mit den Bewertungen der einzelnen Bauprodukte, bzw. die Kombination dieser, verglichen.

Die nachfolgenden Tabellen 5 und 6 zeigen die Zusammensetzung der einzelnen Wand- bzw. Bodenaufbauten sowie die Prüfnummern der Einzelprodukte. Produkte, bei denen aus Erfahrungen heraus keine Geruchsbeeinträchtigungen zu erwarten sind, werden nicht einzeln untersucht. Die detaillierten Ergebnisse der olfaktorischen Untersuchungen sind im Anhang zu finden.

Tabelle 5: Übersicht Wandaufbauten eco-INSTITUT Köln

Material	Wandaufbau1	Wandaufbau2	Wandaufbau3	Wandaufbau4
1	Dämmwolle <i>HTW 12.004</i>	Spezialkleber <i>HTW 12.005</i>	Mineralwoll- dämmplatte <i>HTW 13.013</i>	Spritzputz- dämmplatten <i>HTW 13.020</i>
2	Dämmplatte <i>HTW 12.008</i>	Gipskartonplatte mit EPS-Dämmung <i>HTW 12.003</i>	Klebe- und Armierungsmörtel <i>HTW 13.024</i>	Klebe- und Armierungsmörtel <i>HTW 13.026</i>
3	Klebeband <i>HTW 13.004</i>	Fugenspachtel <i>HTW 13.002</i>	Kalk-Filzputz <i>HTW 13.025</i>	Universalgrundie- rung <i>HTW 13.027</i>
4	Gipskartonplatte <i>HTW 12.007</i>	Tiefengrund <i>HTW 13.001</i>		Scheibenputz <i>HTW 13.032</i>
5	Fugenspachtel <i>HTW 13.002</i>	Wandfarbe <i>HTW 12.006</i>		

Tabelle 6: Übersicht Bodenaufbauten eco-INSTITUT Köln

Material	Bodenaufbau 1	Bodenaufbau 2	Bodenaufbau 3	Bodenaufbau 4
1	Trockenestrich- Element <i>HTW 13.012</i>	Trockenestrich- Element <i>HTW 13.012</i>	Trockenestrich- Element <i>HTW 13.012</i>	Trockenestrich- Element <i>HTW 13.012</i>
2	Dünnestrich <i>HTW 13.028</i>	Holzbodenaus- gleich <i>HTW 13.021</i>	Haftgrund <i>HTW 13.023</i>	Grundierung <i>HTW 13.031</i>
3	Linoleumbelag <i>HTW 13.015</i>	Teppich-/ Linoleumkleber <i>HTW 13.019</i>	Fliesspachtel <i>HTW 13.029</i>	Designfloor <i>HTW 13.030</i>
4		PVC Designbelag <i>HTW 13.014</i>	Parkettklebstoff <i>HTW 13.022</i>	

## 5.2.2 Versuchsaufbau

In diesem Abschnitt werden die einzelnen Wand- sowie Bodenaufbauten noch einmal detailliert beschrieben.

### 5.2.2.1 Wandaufbau 1

Beim Wandaufbau 1 handelt es sich um einen mehrschichtigen Wandaufbau, bestehend aus folgenden Komponenten:

- Dämmwolle
- Dämmplatte
- Dampfbremse
- Gipskartonplatte
- Fugenspachtel

Zunächst wird die erste Dämmschicht aufgebracht und mit wenigen Schrauben an der darunter liegenden Wand befestigt. Dann werden Metallständer so an Decke und Boden befestigt, dass die zweite Dämmschicht entkoppelt von der ersten eingebaut werden kann. Der Abstand zwischen erster und zweiter Dämmschicht beträgt ca. 10 mm. Anschließend wird die Dampfsperrefolie mit einer allseitigen Überlappung aufgebracht und mit Klebeband dicht verklebt. Hierauf werden die Gipskartonplatten geschraubt und abschließend mit Fugenspachtel vollflächig verspachtelt. Die nicht zu untersuchenden Bauteile werden mit geruchsneutraler Folie abgeklebt um deren Einfluss auf die Ergebnisse zu minimieren. Die nachfolgende Abbildung 36 zeigt Bilder des eingebrachten Aufbaus im Versuchsraum.

Abbildung 36: Fotos Wandaufbau 1 [16]



### 5.2.2.2 Wandaufbau 2

Der Wandaufbau 2 besteht aus folgenden Komponenten:

- Spezialkleber zum Ansetzen von Verbundplatten
- Gipskarton-Verbundplatte mit EPS-Dämmung

- Fugenspachtel
- Tiefengrund
- Wandfarbe

Die Verbundplatten werden mit einzelnen Klebepunkten (Spezialkleber) an der Wand aufgebracht. Da der Untergrund (Alu-Verbundfolie) nicht tragfähig ist, werden die Verbundplatten zusätzlich mit wenigen Schrauben am Untergrund fixiert. Danach wird mit Fugenspachtel vollflächig verspachtelt und nach Trocknung über Nacht mit Tiefengrund gestrichen. Nach kurzer Trocknungszeit erfolgen zwei Anstriche mit Innensilikatfarbe. Nicht zu berücksichtigende Bauteile werden vollflächig mit geruchsneutraler Folie abgeklebt. (Abbildung 37)

Abbildung 37: Fotos Wandaufbau 2 [16]



### 5.2.2.3 Wandaufbau 3

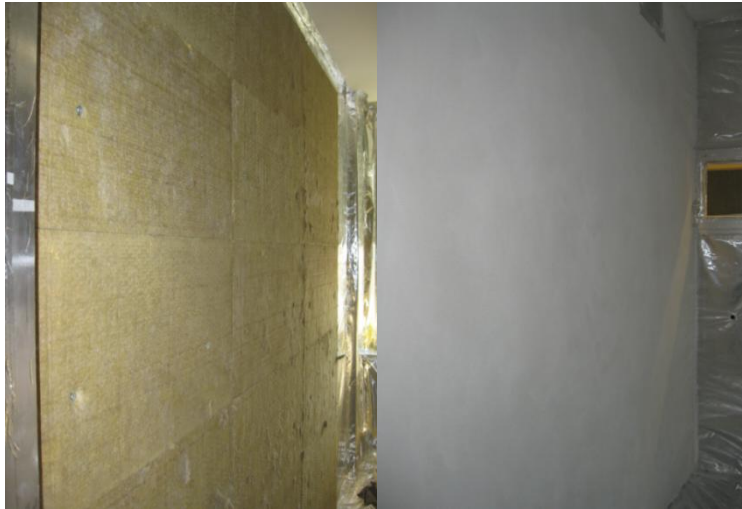
Der Wandaufbau 3 besteht aus folgenden Komponenten:

- Mineralwolle-Dämmplatte
- Klebe- und Armierungsmörtel
- Kalk-Filzputz

Zunächst wird die Mineralwolle-Dämmplatte eingebracht und mit wenigen Schrauben an der darunter liegenden Wand befestigt. Auf die Dämmung wird Armierungsgewebe mit dem Klebe- und Armierungsmörtel aufgeklebt. Nach Trocknung wird der Aufbau vollflächig mit Kalk-Filzputz verputzt.

Abbildung 38: Fotos Wandaufbau 3 [16]

---



#### 5.2.2.4 Wandaufbau 4

Folgende Komponenten werden im Wandaufbau 4 eingesetzt:

- vorgefertigte Spritzputz-Dämmplatten
- Klebe- und Armierungsmörtel
- Universalgrundierung
- Scheibenputz

Die vorgefertigten Spritzputz-Dämmplatten werden an der darunter liegenden Wand angeschraubt. Darauf wird grobmaschiges Armierungsgewebe mit Klebe- und Armierungsmörtel aufgebracht. Nach Trocknung wird dann Universalgrundierung aufgetragen und mit Scheibenputz verputzt. Nicht relevante Bauteile werden mit geruchsneutraler Folie abgeklebt.

Abbildung 39: Fotos Wandaufbau 4 [16]

---



### 5.2.2.5 Bodenaufbau 1

Der im Versuchsraum hergestellte Bodenaufbau 1 besteht aus folgenden Produkten:

- Estrichelement
- Dünnestrich
- Linoleumbelag

Abbildung 40: Foto Bodenaufbau 1 [16]

---



### 5.2.2.6 Bodenaufbau 2

Der Bodenaufbau 2 setzt sich aus den folgenden Materialien zusammen:

- Estrichelement
- Holzbodenausgleich
- Teppich/ Linoleumkleber
- PVC Designbelag

Abbildung 41: Foto Bodenaufbau 2 [16]

---



### 5.2.2.7 Bodenaufbau 3

Beim Bodenaufbau 3 handelt es sich um einen mehrschichtigen Aufbau, bestehend aus folgenden Komponenten:

- Estrichelement

- Haftgrund
- Fliesspachtel
- Parkettklebstoff

Die folgende Abbildung zeigt den fertigen Bodenaufbau im Versuchsraum.

Abbildung 42: Foto Bodenaufbau 3 [16]

---



#### 5.2.2.8 Bodenaufbau 4

Folgende Produkte bilden den Bodenaufbau 4:

- Estrichelement
- Grundierung
- Designfloor

Abbildung 43: Foto Bodenaufbau 4 [16]

---





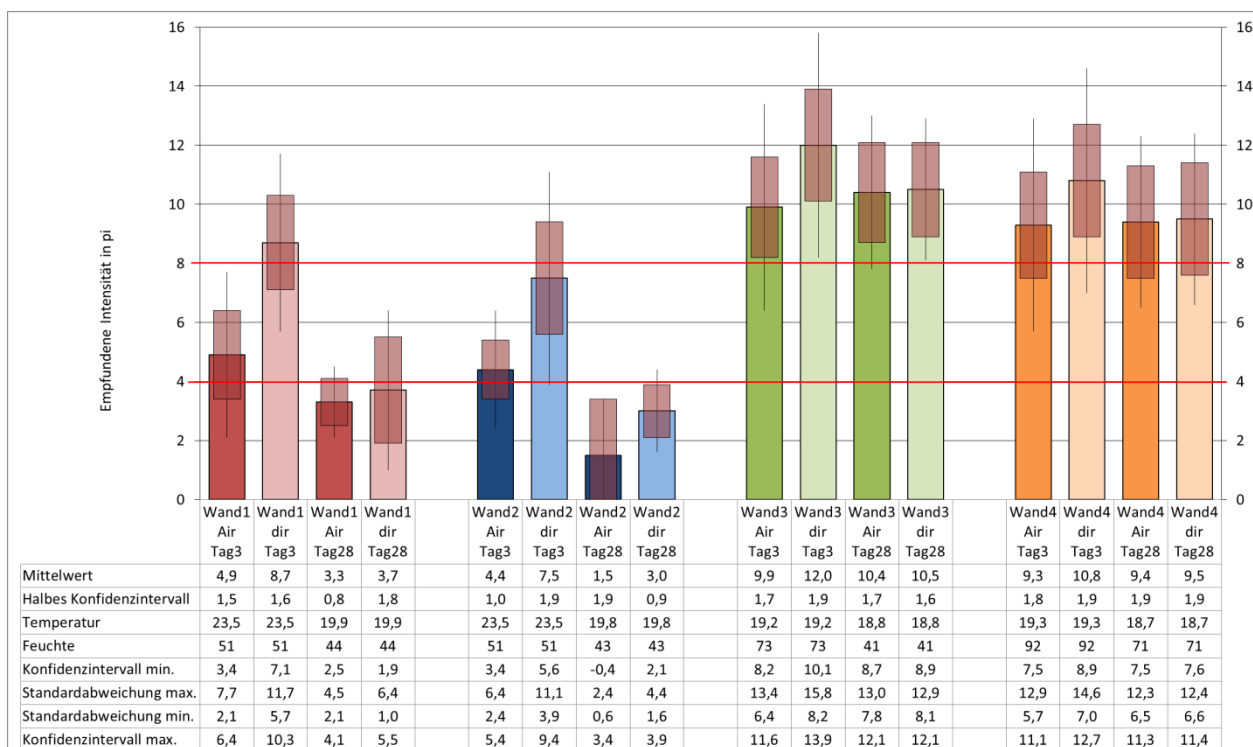
### 5.2.3 Raumlufuntersuchungen

Die olfaktorische Bewertung der Raumluf der Versuchsräume wird vom eco-INSTITUT Köln durchgeführt. Dazu wird das dortige Probandenpanel verwendet. Die Bewertung wird sowohl mittels Probenahme (AirProbe) als auch direkt durchgeführt. In den nachfolgenden Darstellungen werden die Ergebnisse der Aufbauten miteinander verglichen.

#### 5.2.3.1 Wandaufbauten

Die nachfolgende Abbildung 44 zeigt die empfundenen Intensitäten der Raumlufbewertungen der verschiedenen Wandaufbauten. Es wird jeweils am Tag3 und am Tag28 nach Fertigstellung der Versuchsaufbauten bewertet. Die dunkel schattierten Balken zeigen die Ergebnisse der Bewertung mittels Probenahme (Air), die helleren Balken die, der direkten Bewertung im Raum (dir).

Abbildung 44: Intensität Raumlufuntersuchungen Wandaufbauten

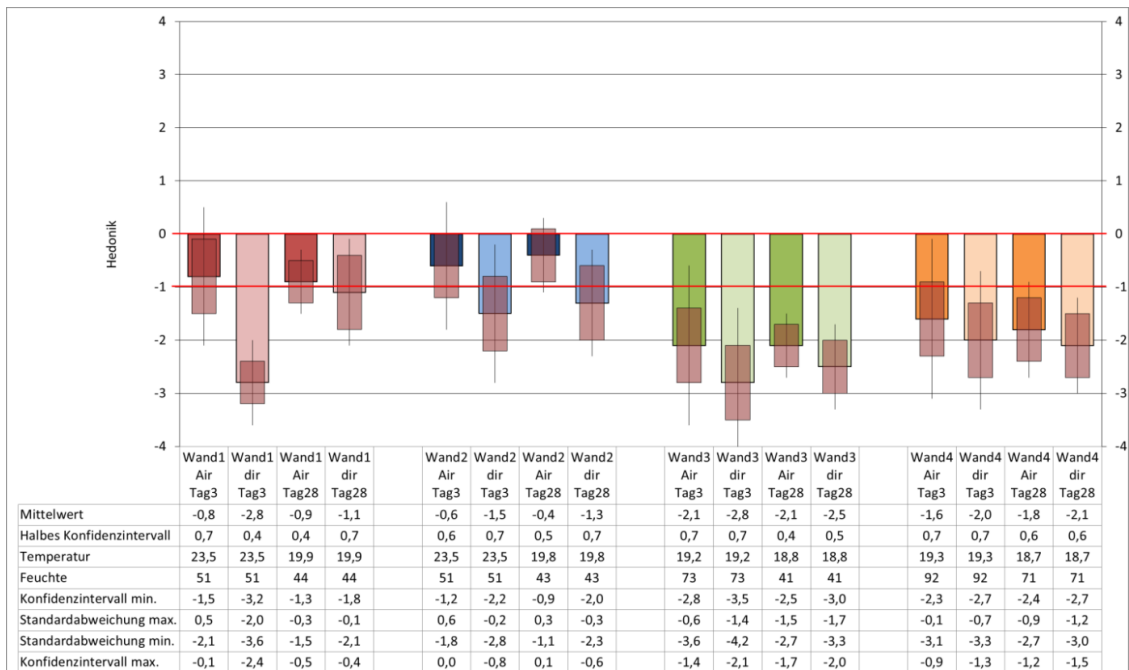


Beim ersten Blick auf die Darstellung fallen zunächst bei Wandaufbauten 1 und 2 vergleichsweise etwas höhere Unterschiede zwischen direkter (dir) und indirekter Bewertung (Air) am Tag3 auf. Bei der direkten Methode wird die Intensität etwas höher bewertet. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass die Geruchsbewertungen beim eco-INSTITUT gerade neu eingeführt wurden und auch das Befüllen und Darbieten der Luft aus Probenbehältern noch erprobt wurde. Bei den späteren Messungen (Wandaufbauten 3 und 4 und folgende) treten diese Unterschiede dann nicht mehr auf.

Des Weiteren fällt auf, dass bei Wandaufbauten 1 (rot) und 2 (blau) die Intensitäten im Laufe des Untersuchungszeitraums abnehmen und am Tag28 im guten Raumlufqualitätsbereich liegen. Bei Wandaufbauten 3 (grün) und 4 (orange) ist dagegen keine größere Abnahme der Intensität zu erkennen, weshalb diese am Tag28 weiterhin eine schlechte Raumlufqualität aufweisen. Außerdem kann bei diesen Aufbauten an den Untersuchungstagen teilweise eine sehr hohe Luftfeuchte festgestellt werden, welche Einfluss auf die Bewertungen hat.

Die nachfolgende Abbildung 45 zeigt ein ähnliches Bild. Die Wandaufbauten 3 und 4 erreichen nur Bewertungen im schlechten Qualitätsbereich.

Abbildung 45: Hedonik Raumlufthtuntersuchungen Wandaufbauten

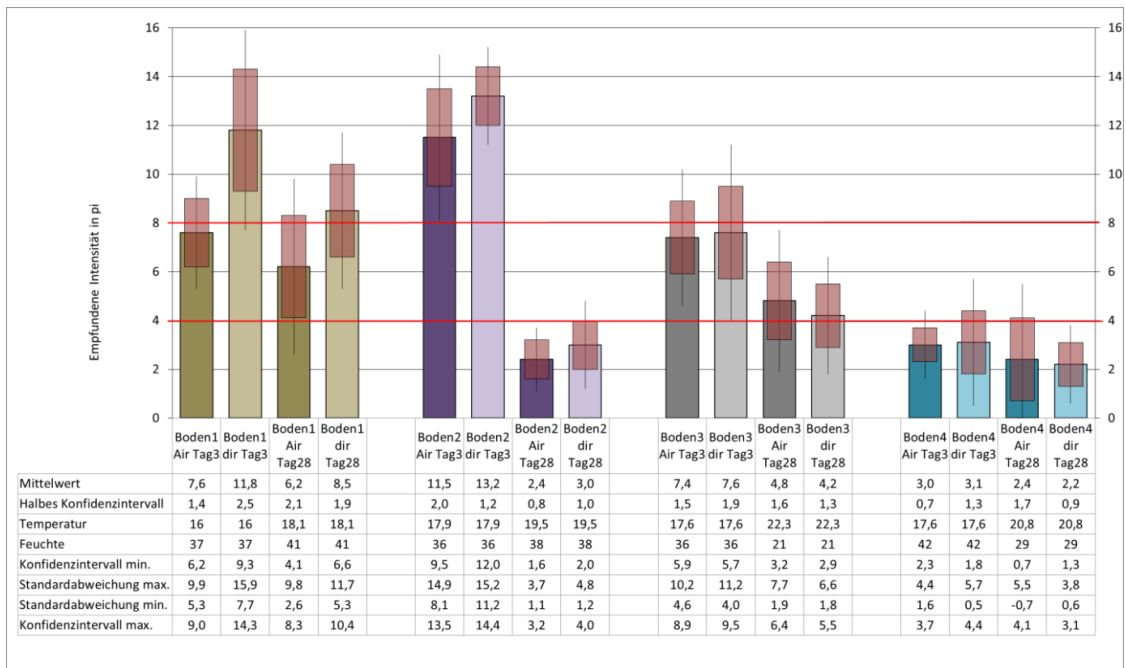


### 5.2.3.2 Bodenaufbauten

In der nachfolgenden Darstellung (Abbildung 46) werden die Bewertungen der empfundenen Intensität der Bodenaufbauten aufgeführt. Auffällig ist bei Bodenaufbau 2 (lila) der starke Abfall der Intensität zwischen Tag3 und Tag28. Bei Aufbauten 1 und 3 ist ein leichtes Abnehmen der Intensitäten über den Untersuchungszeitraum sichtbar. Bodenaufbau 4 (hellblau) weist bereits am Tag3 nach Einbringen der Materialien in den Versuchsraum sehr geringe Intensitäten im guten Qualitätsbereich auf.

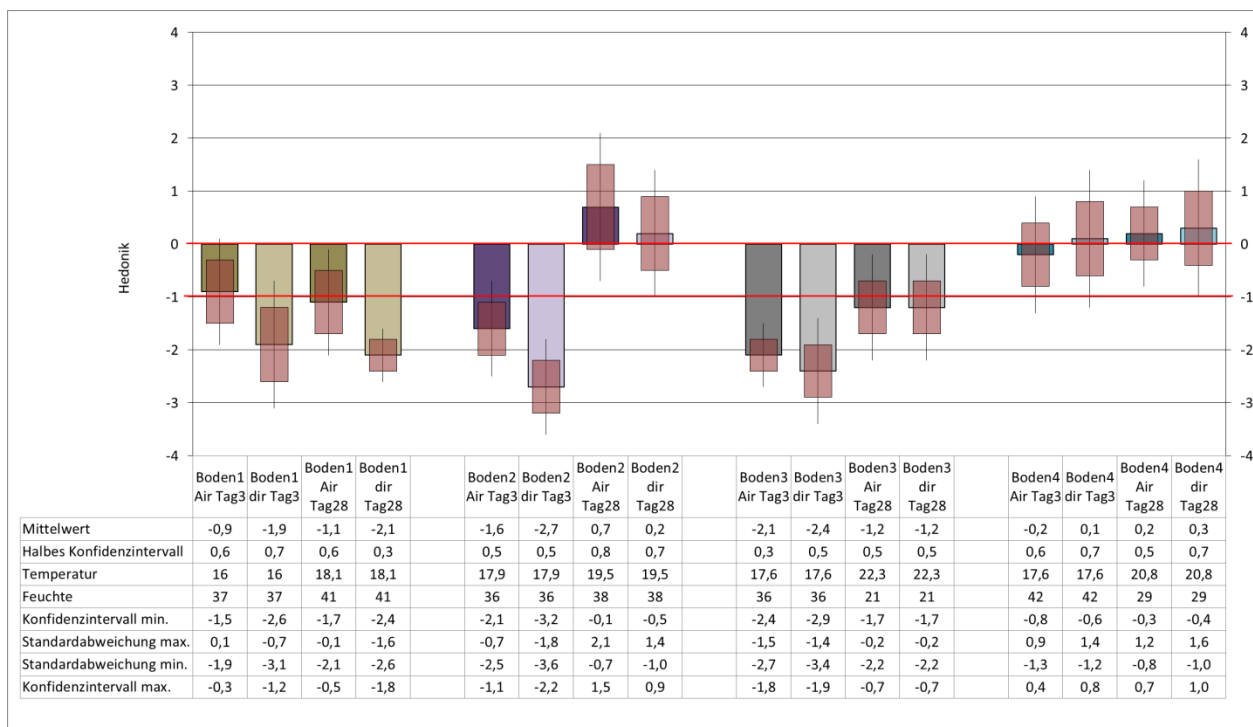


Abbildung 46: Intensität Raumlufthausuntersuchungen Bodenaufbauten



Die Bewertungsergebnisse der Hedonik sind in Abbildung 47 dargestellt. Analog zur Intensität ist bei Bodenaufbau 2 (lila) eine starke Verbesserung im Laufe des Untersuchungszeitraums zu erkennen. Auch hier muss festgehalten werden, dass die Temperatur und Feuchte der Versuchsräume außerhalb des Normbereichs liegen. [1]

Abbildung 47: Hedonik Raumlufthausuntersuchungen Bodenaufbauten



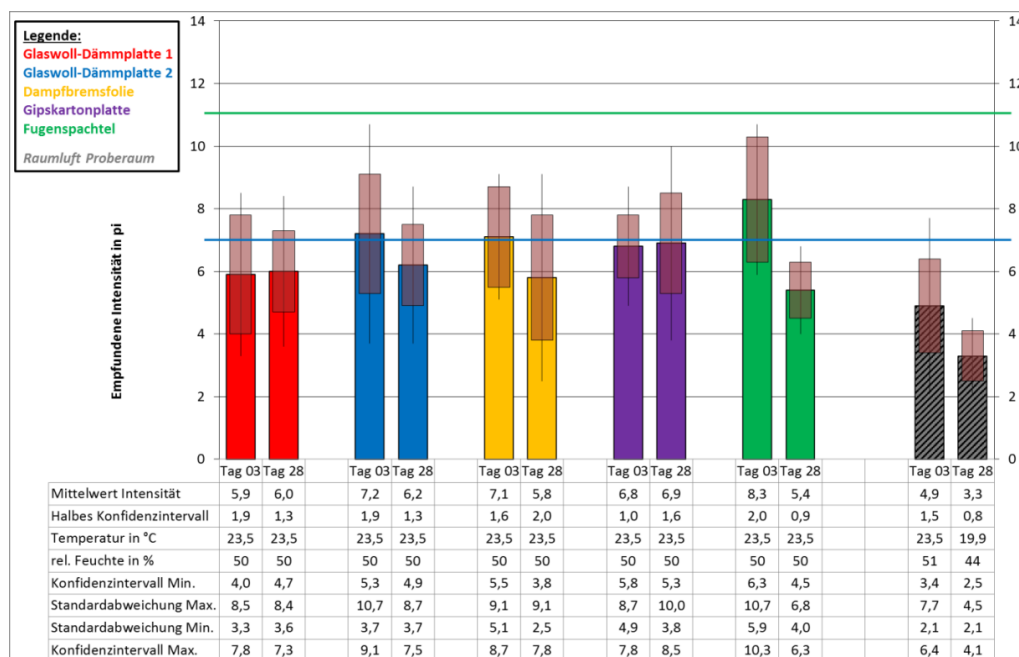
## 5.2.4 Produktuntersuchungen

In diesem Abschnitt werden die eingesetzten Produkte der einzelnen Aufbauten olfaktorisch und analytisch untersucht. Sofern technisch möglich, wird hier auch die Kombination der Einzelprodukte in die Emissionskammer eingebracht und bewertet. Bei den nachfolgenden Auswertungen der Ergebnisse werden auch die dazugehörigen Ergebnisse aus der Raumlufthuntersuchung (Kapitel 5.2.2) dargestellt und mit den Ergebnissen der Produktuntersuchungen verglichen. Zusätzlich sind in den Abbildungen zur Intensität auch Temperatur und rel. Feuchte aufgeführt, da diese bei den Untersuchungen der Raumlufth teilweise unterschiedlich zu den Untersuchungen in den Emissionskammern sind. Die Einzelergebnisse der Produktuntersuchungen befinden sich im Anhang.

### 5.2.4.1 Wandaufbau 1

In den nachfolgenden Darstellungen werden die Ergebnisse aus den Bewertungen der Raumlufth und der Einzeluntersuchungen der eingesetzten Baumaterialien gegenübergestellt. Eine Kombination der Einzelprodukte kann hier aufgrund der Materialdicken nicht in die CLIMPAQ eingebracht und daher nicht untersucht werden. Es werden jeweils die Bewertungen von Tag3 und Tag28 nach Einbringung des Materials aufgeführt.

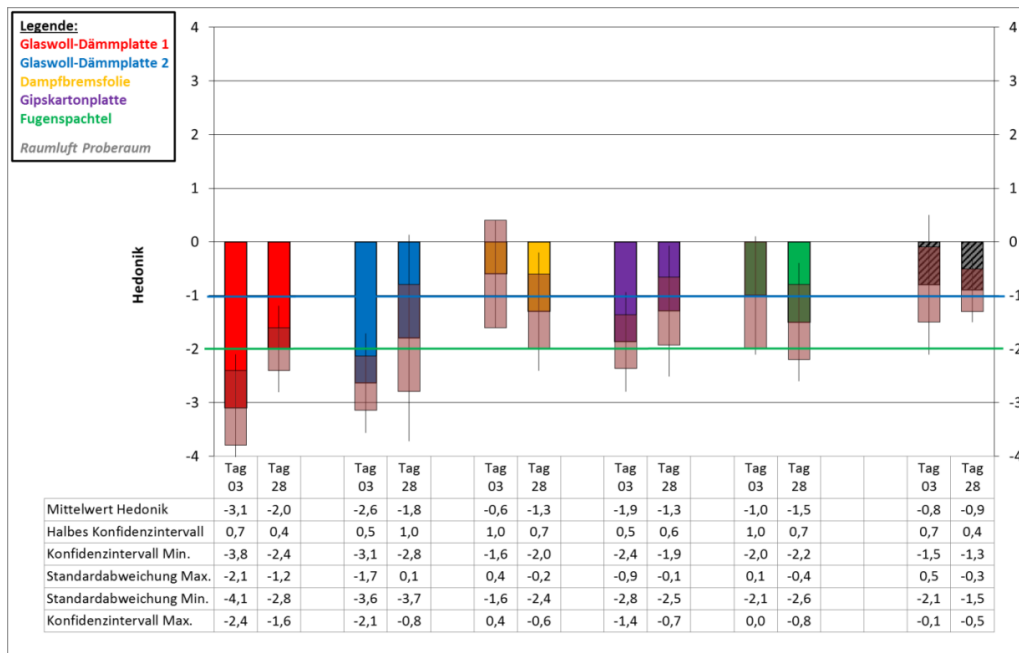
Abbildung 48: Intensität Wandaufbau 1 (eco)



Beim Vergleich der Intensitäten in Abbildung 48 fällt auf, dass die bewertete Raumlufth aus dem Versuchsraum (schwarz/grau Schraffur) etwas geringere Werte liefert, als die einzelnen Intensitäten der eingesetzten Bauprodukte. Hierbei muss aber nochmal darauf hingewiesen werden, dass die Untersuchungen an verschiedenen Messorten (Köln/Berlin) und mit verschiedenen Probandengruppen durchgeführt wurden. Des Weiteren kann festgestellt werden, dass alle für diesen Aufbau eingesetzten Produkte am Tag28 unter dem vorgeschlagenen Prüfwert des Blauen Engels bewertet werden (<7pi).

Bei der Bewertung der Hedonik in der Abbildung 49 zeigt sich ein analoges Bild. Auch hier wird die Raumlufth als am angenehmsten empfunden. Am Tag28 erreichen alle Produkte das vorgeschlagene Kriterium für das AgBB-Schema (grüne Linie) liegen aber über den Prüfwert des Blauen Engels (blaue Linie).

Abbildung 49: Hedonik Wandaufbau 1 (eco)



Die nachfolgende Tabelle 7 zeigt eine Zusammenfassung der Ergebnisse der analytischen Untersuchungen der Raumlufth für diesen Aufbau. Bei diesem Aufbau werden die Einzelprodukte nicht analytisch untersucht. Die detaillierten Prüfberichte sind im Anhang einsehbar.

Tabelle 7: Analytik Wandaufbau 1 [16]

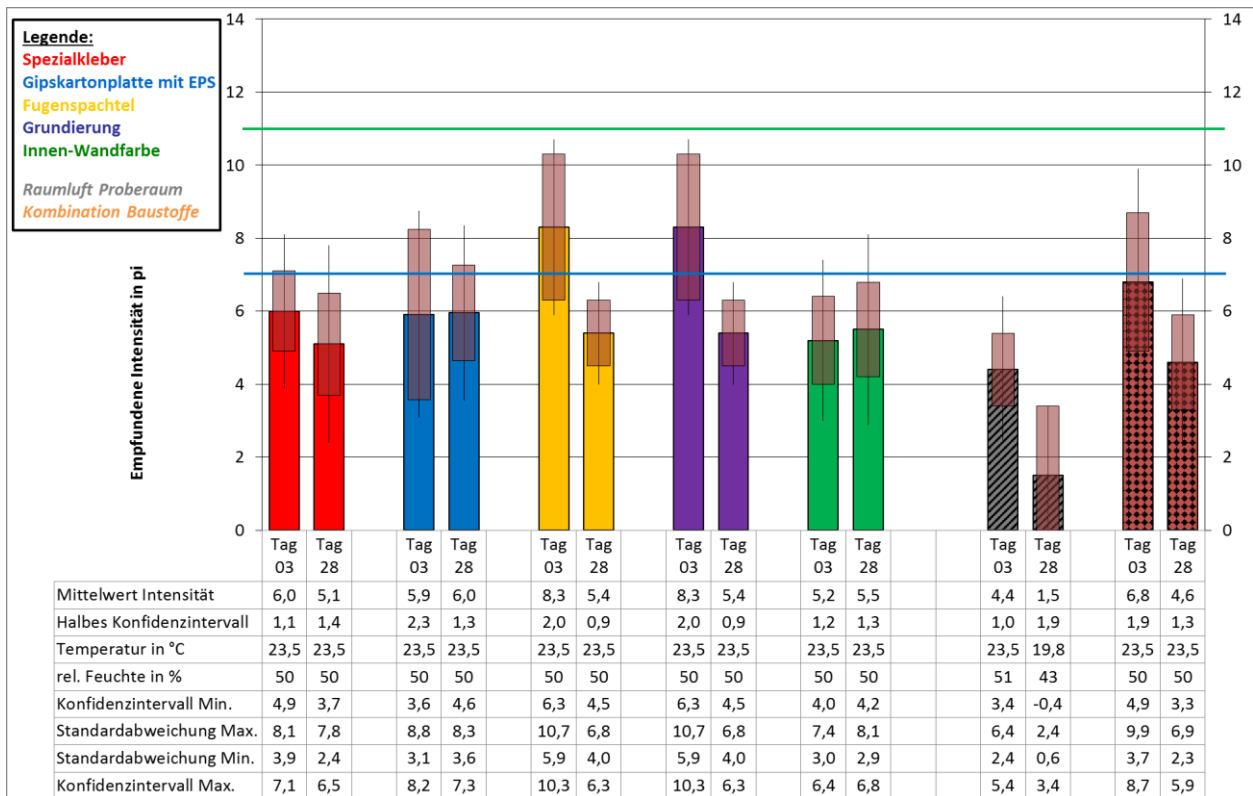
nachgewiesene Spuren	CAS Nr.	Tag3 Konzentration in µg/m³	Tag28 Konzentration in µg/m³
TVOC		13	2
Toluen	108-88-3	5	2
Styren	100-42-5	8	n.n.
Formaldehyd	50-00-0	30	11
Acetaldehyd	75-07-0	15	10

Die nachgewiesenen Verbindungen nehmen mit zunehmender Verweildauer ab.

### 5.2.4.2 Wandaufbau 2

Die nachfolgende Abbildung 50 stellt die empfundenen Intensitäten des Wandaufbaus 2 dar.

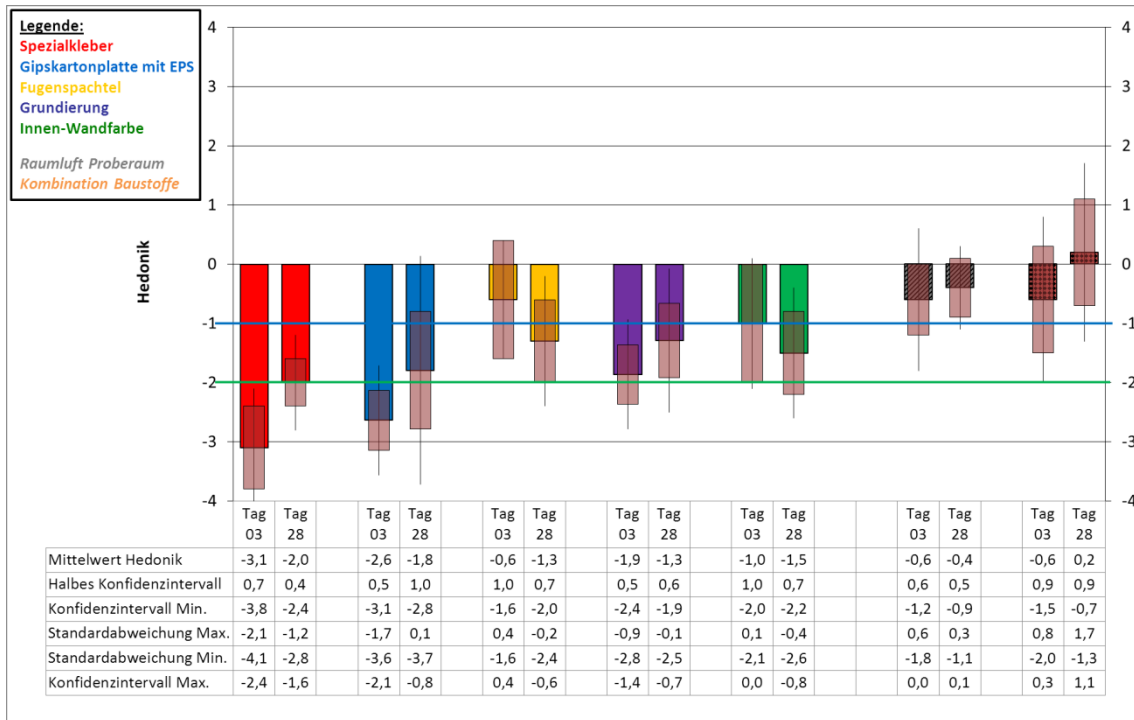
Abbildung 50: Intensität Wandaufbau 2 (eco)



Hier fällt zunächst die sehr geringe Bewertung der Raumlufthaus des Versuchsraums (schwarz/graue Schraffur) auf. Zusätzlich zu den Einzelprodukten wird dieser Aufbau auch als Kombination aller Einzelprodukte bewertet. Die Intensität der Kombination (rot/sw kariert) liegt am Tag28 in etwa in dem Bereich der Bewertung der Einzelprodukte. Am Tag3 ist die Intensität des Fugenspachtels (gelb) und Tiefengrund (lila) etwas höher als die der Kombination.

Bei der Bewertung der Hedonik in der nächsten Abbildung 51 weist die Kombination der Einzelprodukte am Tag28 die beste Bewertung auf und liegt sogar im positiven Bereich. Auch die Werte der Prüfraumlufthaus werden als angenehmer empfunden als die der Einzelprodukte. Die Produkte Fugenspachtel (gelb) und Wandfarbe (grün) werden nach längerer Verweildauer in der Emissionskammer als etwas unangenehmer empfunden.

Abbildung 51: Hedonik Wandaufbau 2 (eco)



Die nachfolgende Tabelle 8 zeigt eine Zusammenfassung der Ergebnisse der analytischen Untersuchungen für diesen Aufbau. Zusätzlich zu der Raumluf wird hier auch die Kombination der Einzelprodukte in der CLIMPAQ (am Tag28) analytisch untersucht. Die detaillierten Prüfberichte sind im Anhang einsehbar.

Tabelle 8: Analytik Wandaufbau 2 [16]

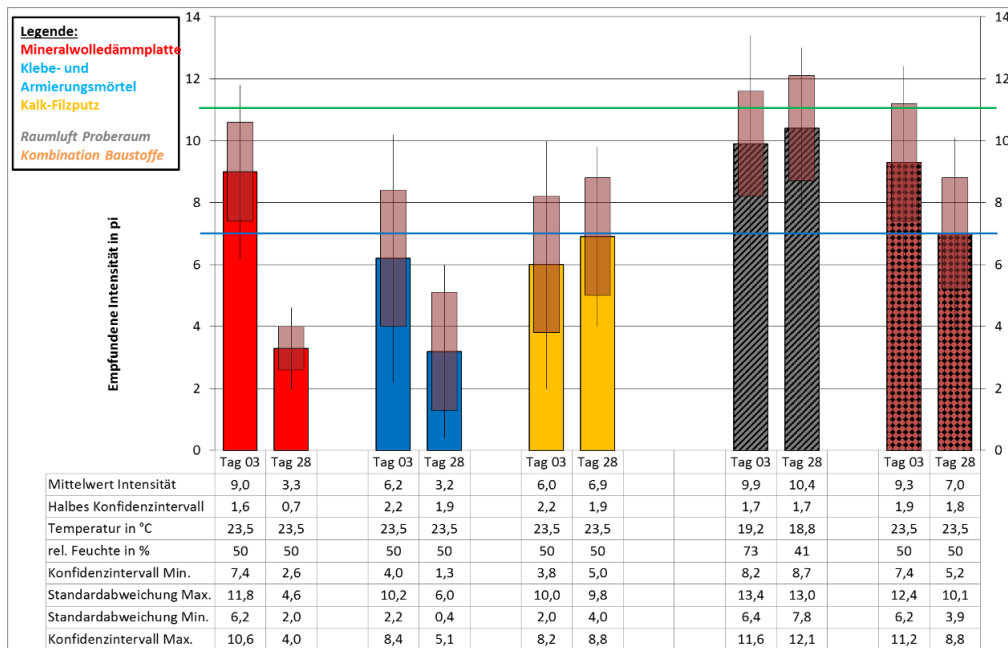
nachgewiesene Spuren	CAS Nr.	Raumluf		Kombination
		Tag3 Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Tag28 Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Tag28 Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
TVOC		96	125	47
Toluen	108-88-3	10	9	1
Styren	100-42-5	11	80	31
1-Butanol	71-36-3	25	5	n.n.
Formaldehyd	50-00-0	16	13	n.a.
Acetaldehyd	75-07-0	13	10	n.a.

Es wird eine Vielzahl von flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC) in sehr geringen Konzentrationen nachgewiesen. Die Konzentration von 1-Butanol nimmt zum Tag28 hin ab. Die Konzentration von Styren nimmt dagegen merklich zu. Die Konzentrationen der Kombination der Einzelprodukte weist im Vergleich zur Raumluf etwas geringere Werte auf.

### 5.2.4.3 Wandaufbau 3

Die nachfolgende Abbildung 52 vergleicht die für diesen Aufbau ermittelten Intensitäten.

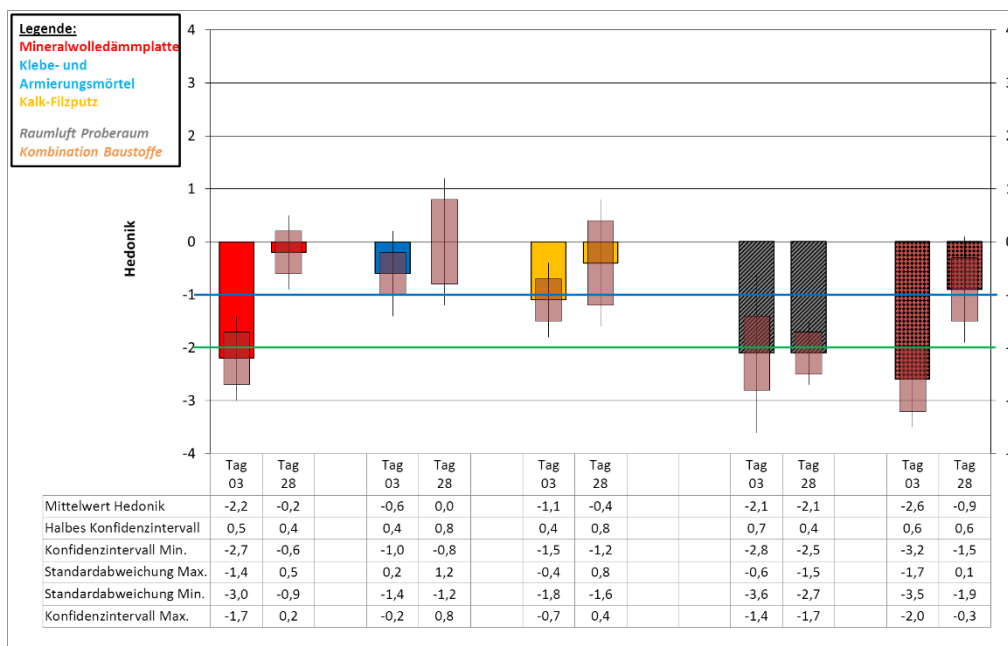
Abbildung 52: Intensität Wandaufbau 3 (eco)



Die Bewertung der Raumluft weist hier die höchsten Intensitäten auf. Es fällt auf dass die Temperatur- und Feuchtwerte im ungünstigen Bereich liegen. Die Intensität der Kombination liegt am Tag3 im Bereich der Mineralwolldämmplatte (rot). Am Tag28 ist die Bewertung der Kombination vergleichbar mit der Intensität der obersten Schicht (gelb). Die Bewertungen der Einzelprodukte sowie der Kombination liegen am Tag28 allesamt unter dem Prüfwert des Blauen Engels (blaue Linie).

Ähnliches kann auf der nachfolgenden Abbildung 53 für die Hedonik beobachtet werden. Auch hier wird die Raumluft sehr unangenehm bewertet. Die Kombination der Bauprodukte liegt am Tag3 im ähnlichen Bereich, wird aber im Laufe der Zeit als deutlich angenehmer empfunden.

Abbildung 53: Hedonik Wandaufbau 3 (eco)



Die nachfolgende Tabelle 9 zeigt eine Zusammenfassung der analytischen Untersuchung für diesen Aufbau. Die detaillierten Prüfberichte sind im Anhang einsehbar.

Tabelle 9: Analytik Wandaufbau 3 [16]

nachgewiesene Spuren Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ <sup>1</sup>	Raumlufthaus		Mineralwolle 13.013	Armierungsmörtel 13.024	Kalk- Filzputz 13.024	Kombination
	Tag3	Tag28	Tag28	Tag28	Tag28	Tag28
TVOC	164	41	4	11	9	23
Toluen	12	3	n.n.	1	n.n.	2
Styren	7	4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Methylcyclohexan	16	2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Hexanal	30	8	n.n.	n.n.	n.n.	3
Formaldehyd	8	12	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Acetaldehyd	34	12	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

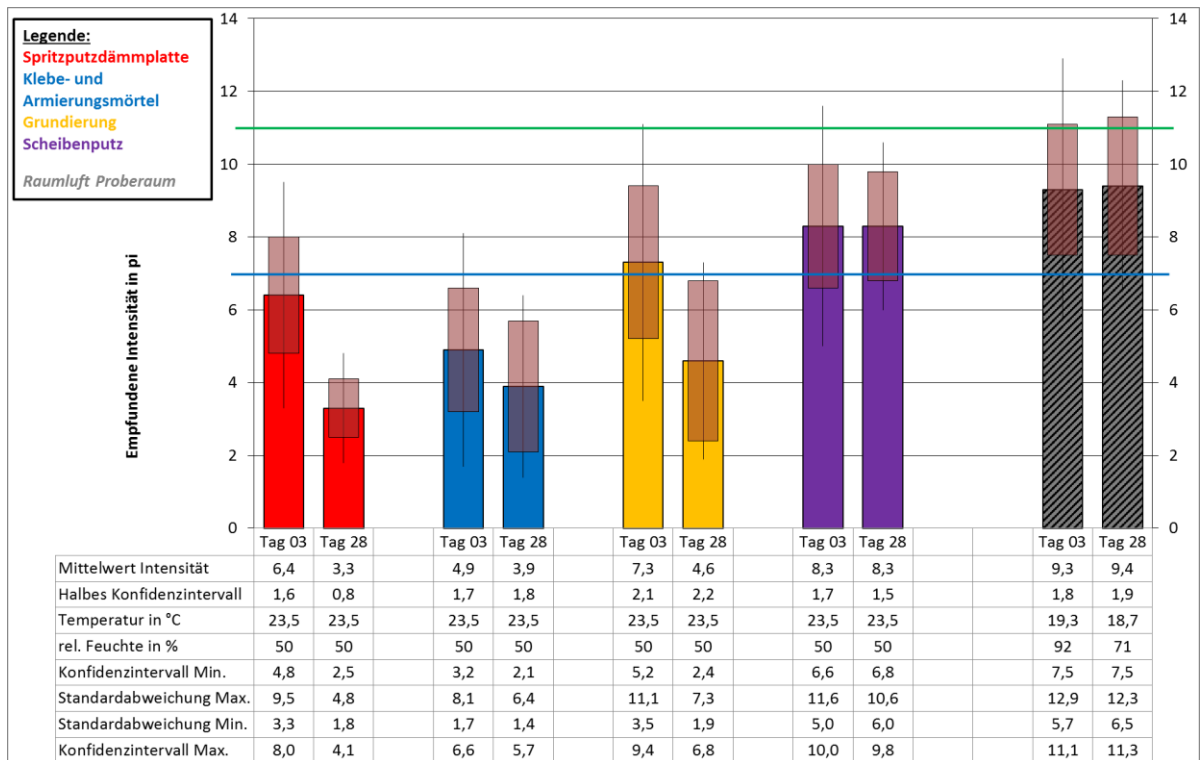
Es wird eine Vielzahl von flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC) in sehr geringen Konzentrationen nachgewiesen. Am stärksten sind hierbei Toluen, Styren, Methylcyclohexan und Hexanol vertreten, welche aber im Laufe der Untersuchung abnehmen. Bei den analytischen Bewertungen der Einzelprodukte in den Emissionskammern treten diese Konzentrationen am Tag28 nur noch in sehr geringen oder nicht nachweisbaren (n.n.) Konzentrationen auf. Generell weisen die Einzelprodukte nur sehr geringe Menge an Verbindungen auf.

#### 5.2.4.4 Wandaufbau 4

Auf Abbildung 54 ist erkennbar, dass die Intensität der Raumlufthaus leicht höher bewertet wird als die Intensitäten der Einzelprodukte. Allerdings können auch hier wieder sehr hohe Feuchtwerte während der Untersuchung festgestellt werden. Die höchste Intensität bei den Einzelprodukten weist der Scheibenputz (lila) auf, welche mit 8,3pi den vorgeschlagenen Prüfwert des AgBB-Schemas unterschreitet. Die drei anderen Produkte erreichen eine Intensität weit unter 7pi und erfüllen somit das Kriterium des Blauen Engels.

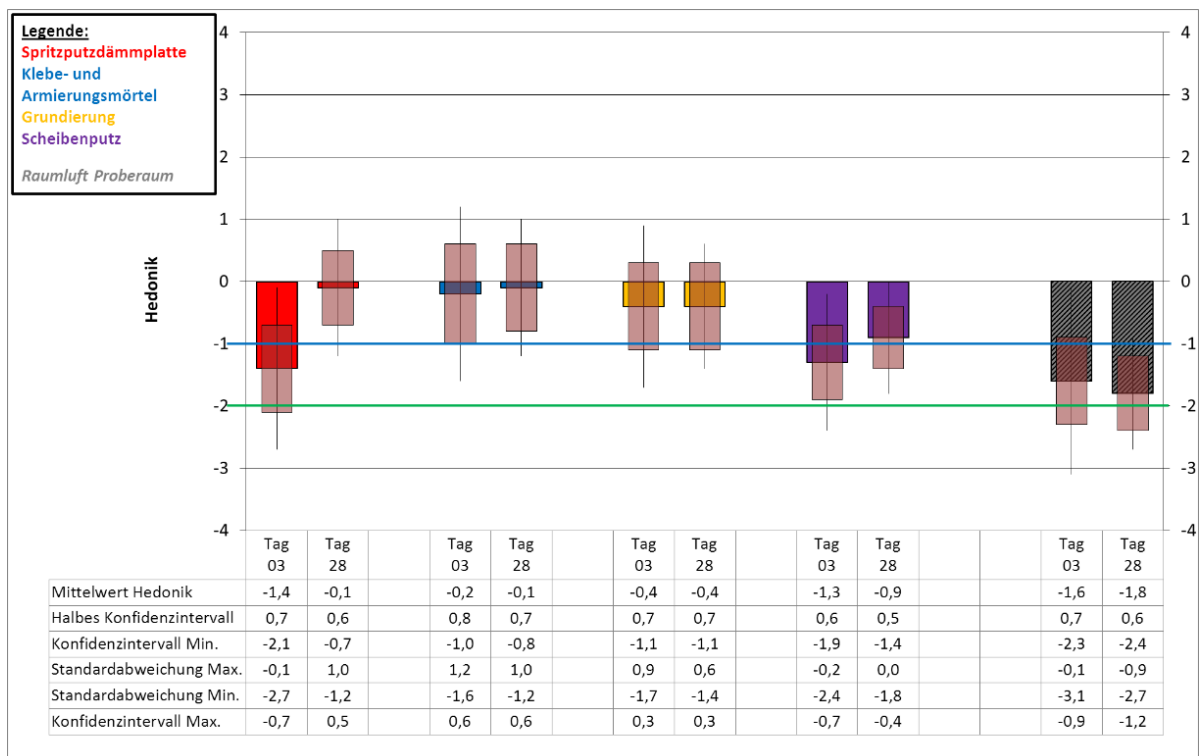
<sup>1</sup> CAS Nr.: Toluol 108-88-3, Styren 100-42-5, Methylcyclohexan 108-87-2, Hexanal 66-25-1, Formaldehyd 50-00-0, Acetaldehyd 75-07-0

Abbildung 54: Intensität Wandaufbau 4 (eco)



In der nachfolgenden Abbildung 55 ist die Hedonik dargestellt. Auch hier erreicht die Raumluft die schlechtesten Ergebnisse, was an der bereits beschriebenen hohen relativen Feuchte der Raumluft liegen kann. Hier hingegen erfüllen alle Einzelprodukte am Tag28 das Blaue-Engel-Kriterium.

Abbildung 55: Hedonik Wandaufbau 4 (eco)





Die nachfolgende Tabelle 10 zeigt eine Zusammenfassung der Ergebnisse der analytischen Untersuchungen für diesen Aufbau. Die detaillierten Prüfberichte sind im Anhang einsehbar.

Tabelle 10: Analytik Wandaufbau 4 [16]

nachgewiesene Spuren (in µg/m³) <sup>2</sup>	Raumluft		Armierungsmörtel 13.026	Grundierung 13.024	Scheibenputz 13.032
	Tag3	Tag28	Tag28	Tag28	Tag28
TVOC	194	97	6	10	3
Toluol	14	4	n.n.	n.n.	n.n.
Styren	18	40	n.n.	n.n.	n.n.
Limonen	1	15	n.n.	n.n.	n.n.
Cyclohexanol	29	5	n.n.	n.n.	n.n.
2-Ethyl-1-hexanol	61	2	n.n.	4	n.n.
Hexanal	14	5	n.n.	n.n.	n.n.
Formaldehyd	8	11	n.a.	n.a.	n.a.
Acetaldehyd	50	22	n.a.	n.a.	n.a.

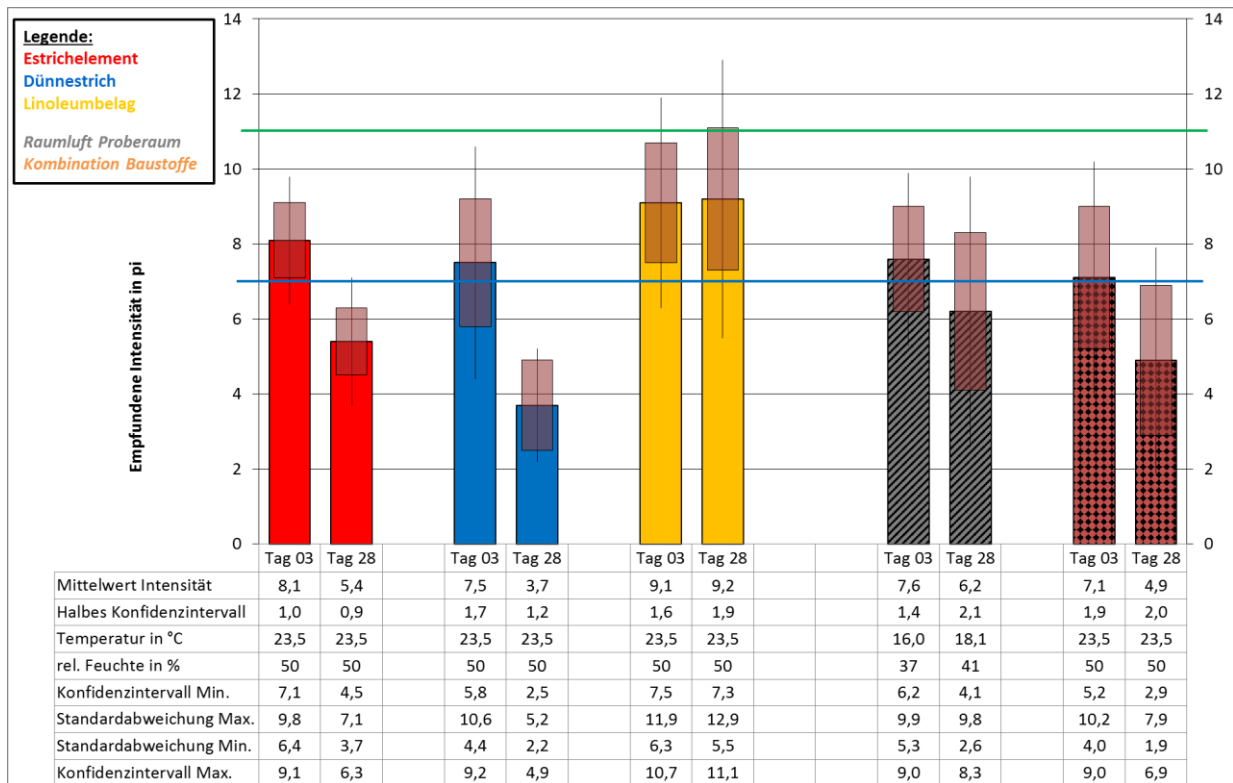
In der Raumlufte wird eine Vielzahl von flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC) in sehr geringen Konzentrationen nachgewiesen. Die Verbindungen mit den höchsten Konzentrationen sind in Tabelle 10 aufgeführt. Während die meisten Konzentration im Laufe der Zeit abnehmen, erhöht sich diese bei Styren, Limonen und auch Formaldehyd leicht. Bei den analysierten Einzelprodukten treten diese Konzentrationen nicht auf.

#### 5.2.4.5 Bodenaufbau 1

Die nachfolgende Abbildung 56 zeigt den Vergleich der Intensitäten des Bodenaufbaus 1. Hierbei ist zu beachten, dass die Kombination der Einzelprodukte ohne Linoleum bewertet wurde, weshalb diese im etwa gleichen Wertebereich mit den beiden Produkten Estrichelement (rot) und Dünnestrich (blau) liegt. Beim Aufbau im Versuchsraum wird Linoleum als oberste Schicht eingebracht, welches mit etwa 9pi eine stärkere Intensität aufweist als die anderen beiden Produkte. Das Estrichelement (rot) sowie der Dünnestrich (blau) liegen am Tag28 unter dem empfohlenen Prüfwert des Blauen Engels. Beim Linoleum (gelb) kann im Laufe des Untersuchungszeitraums keine Abnahme der Geruchsintensität festgestellt werden. Dieses Produkt erfüllt lediglich den empfohlenen Prüfwert für das AgBB-Schema. (vgl. Kapitel 3.1.5)

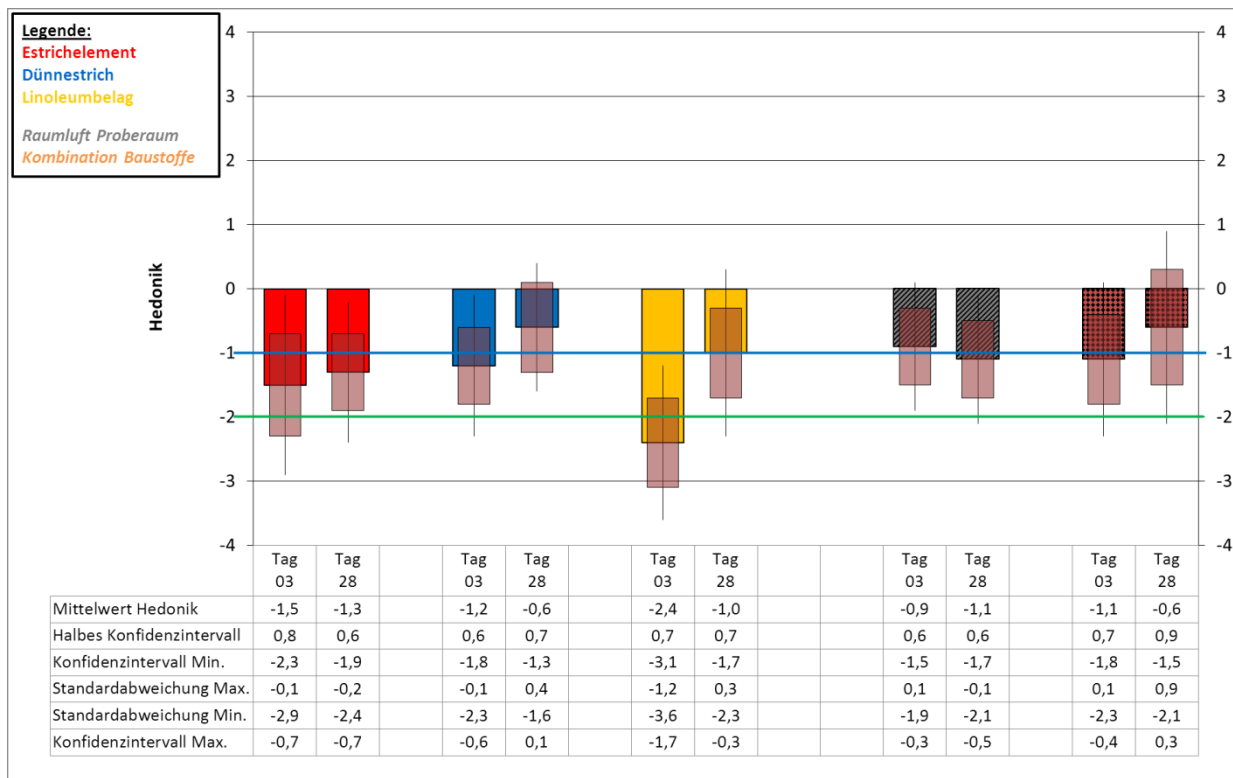
<sup>22</sup> CAS Nr.: Toluol 108-88-3, Styren 100-42-5, Limonen 138-86-3, Cyclohexanol 108-93-0, 2-Ethyl-1-hexanol 104-76-7, Hexanal 66-25-1, Formaldehyd 50-00-0, Acetaldehyd 75-07-0

Abbildung 56: Intensität Bodenaufbau 1 (eco)



Die Abbildung 57 zeigt die Bewertungen der Hedonik für Bodenaufbau 1. Der Linoleumbelag liefert am Tag3 mit -2,4 einen schlechten Wert, was bei der Bewertung der Raumluft (-0,9) nicht erkennbar ist. Am Tag28 liegen die Werte der obersten Schicht (Linoleum) im gleichen Bereich wie die Bewertung der Raumluft (ca. -1).

Abbildung 57: Hedonik Bodenaufbau 1 (eco)



Bei der analytischen Bewertung dieses Bodenaufbaus fällt besonders das Linoleum auf (siehe Tabelle 11).

Tabelle 11: Analytik Bodenaufbau 1 [16]

nachgewiesene Spuren (in µg/m³) <sup>3</sup>	Raumluft		Dünnestrich 13.028	Linoleum 13.015	Kombination (ohne Linoleum)
	Tag3	Tag28	Tag28	Tag28	Tag28
TVOC	163	64	22	261	23
Essigsäure	41	22	n.n.	88	n.n.
Propionsäure	16	6	n.n.	35	n.n.
n-Caprinsäure	15	5	n.n.	26	n.n.
n-Octansäure	7	3	n.n.	26	n.n.

Alle in der Raumluft nachgewiesenen Verbindungen nehmen im Laufe der Verweildauer ab. Bei den Einzelprodukten weist vor allem das Linoleum vergleichsweise hohe Emissionen auf. Da die anderen verwendeten Produkte sowie die Kombination (ohne Linoleum) kaum Emissionen aufweisen, ist davon auszugehen, dass die flüchtigen organischen Verbindungen im Versuchsraum hauptsächlich von der obersten Schicht Linoleum stammen.

#### 5.2.4.6 Bodenaufbau 2

Abbildung 58 zeigt die Intensitäten des Bodenaufbaus 2. Auch hierbei gilt zu beachten, dass die Kombination ohne den PVC Belag bewertet wird. Trotzdem weist die Kombination einen Wert über dem Blauen Engel-Prüfwert auf, was zu den Werten des Teppich/Linoleumklebers passt, der in diesem Aufbau die oberste Schicht darstellt. Der bereits bei den Raumluftuntersuchungen erwähnte starke Abfall der Intensität der Prüfraumluft (vgl. Kapitel 5.2.3) lässt sich auch im Vergleich mit den Bauprodukten nicht erklären. Hier wäre ein ähnlich hoher Wert wie beim PVC-Belag anzunehmen, da dieser die Oberfläche als im Versuchsraum darstellt. Eine so geringe Intensität von 2,4pi ist in diesem Fall aber recht unwahrscheinlich, weshalb es sich hierbei um einen Messfehler bei der Bewertung der Raumluft am Tag28 handeln muss.

<sup>3</sup> CAS Nr.: Essigsäure 64-19-7, Propionsäure 79-09-4, n-Caprinsäure 142-62-1, n-Octansäure 124-07-2

Abbildung 58: Intensität Bodenaufbau 2 (ECO)

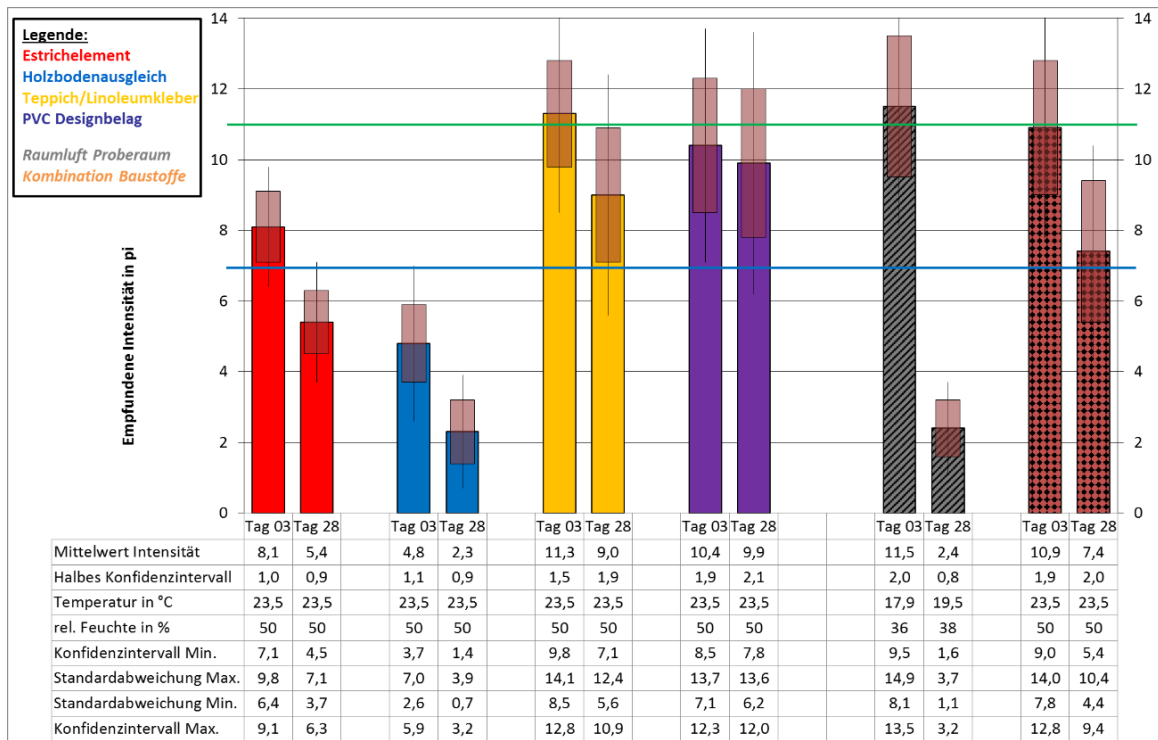
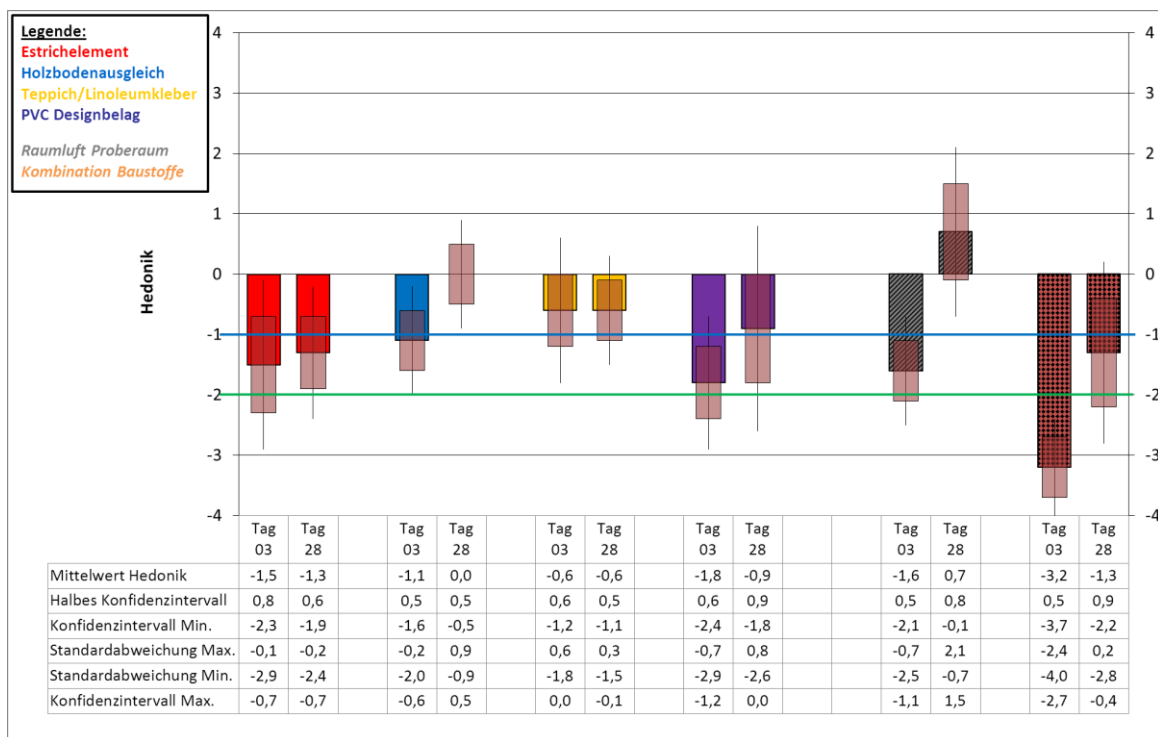


Abbildung 59 zeigt die Hedonikbewertungen des untersuchten Bodenaufbaus. Auch hier passt der gute Wert der Raumluft am Tag28 nicht zu den anderen Ergebnissen, was für den angenommenen Messfehler (analog zur Intensität) spricht. Weiterhin ist auffallend, dass die Kombination (rot/sw kariert) etwas unangenehmer empfunden wird als das Bauprodukt „Teppich/Linoleumkleber“ (gelb) an dessen Oberfläche.

Abbildung 59: Hedonik Bodenaufbau 2 (ECO)



Die nachfolgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der analytischen Bewertung.

Tabelle 12: Analytik Bodenaufbau 2 [16]

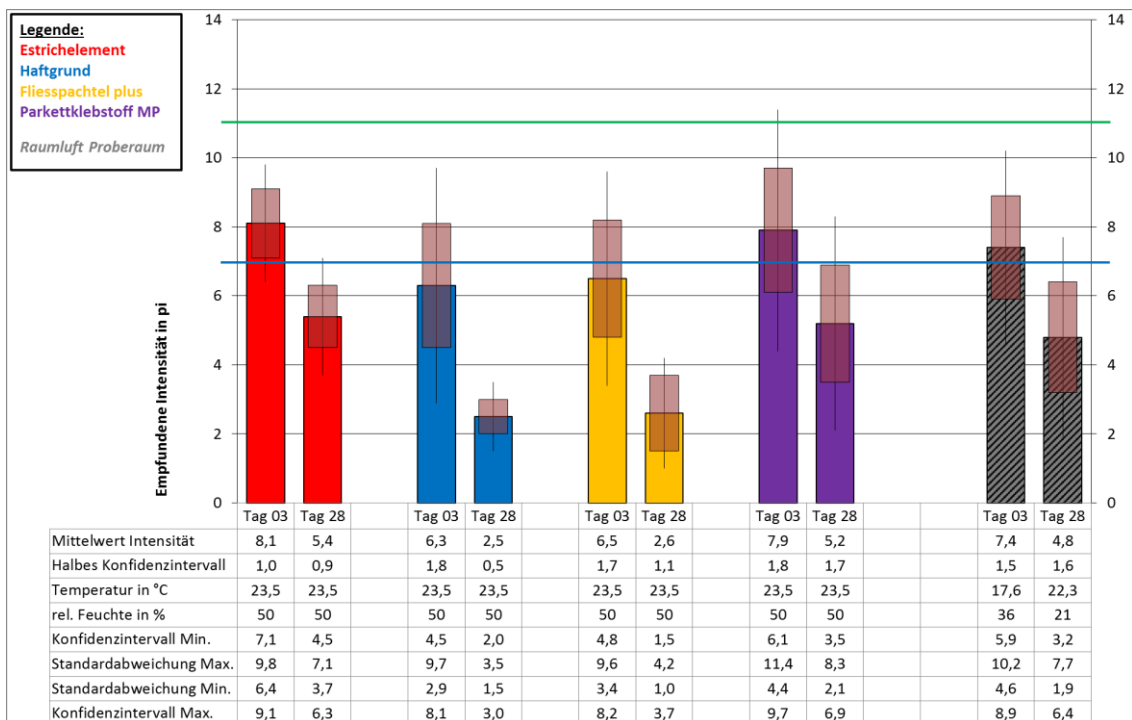
nachgewiesene Spuren (in µg/m³)	CAS Nr.	Raumluft		PVC-Belag 13.014	Kombination (ohne PVC-Belag)
		Tag3	Tag28	Tag28	Tag 28
TVOC		92	14	19	8
Naphthalin	91-20-3	16	2	10	n.n.
Formaldehyd	50-00-0	6	<3	n.a.	n.a.
Acetaldehyd	75-07-0	13	<3	n.a.	n.a.

Auch hier werden in der Raumlufth des Versuchsraums einige flüchtigen organischen Verbindungen in sehr geringen Konzentrationen nachgewiesen. Auffallend ist hier lediglich Naphthalin, was auch im PVC-Belag nachgewiesen wird. In der Kombination der Einzelprodukte (ohne PVC-Belag) wird diese Verbindung dagegen nicht nachgewiesen. Daher ist davon auszugehen, dass diese Verbindung aus dem PVC-Belag emittiert.

### 5.2.4.7 Bodenaufbau 3

In der nachfolgenden Abbildung 60 werden die empfundenen Intensitäten dieses Aufbaus gegenübergestellt.

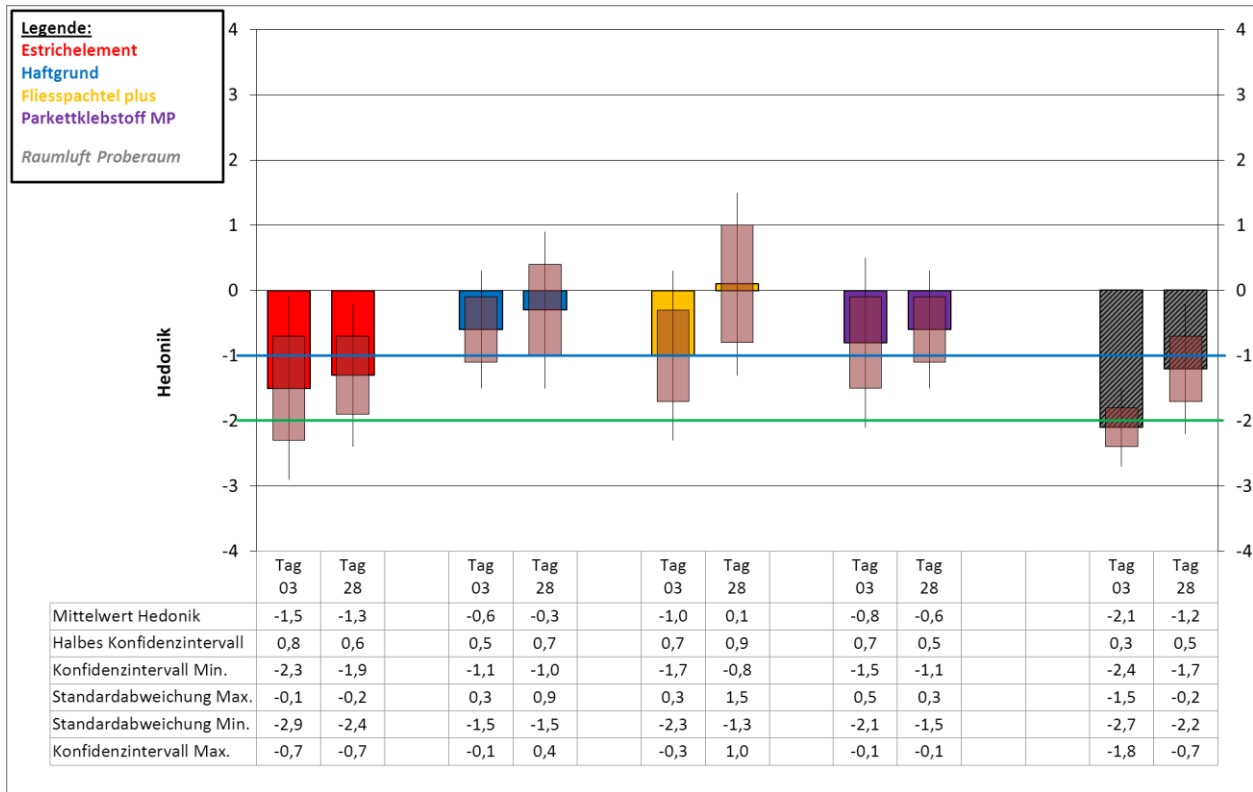
Abbildung 60: Intensität Bodenaufbau 3 (eco)



Es ist zu erkennen, dass alle Intensitäten am Tag28 deutlich geringer bewertet werden als am Tag3 und somit die Kriterien des Blauen Engel erfüllen. Die Intensität der Prüfraumlucht (grau/schwarz) liegt im Bereich des oberflächenbildenden Einzelprodukts „Parkettklebstoff“ (lila).

Abbildung 61 zeigt die Bewertungen der Hedonik. Die Raumlucht wird hier geringfügig schlechter bewertet als das oberste Produkt (lila). Bis auf das Estrichelement (rot) halten alle verwendeten Einzelprodukte den Prüfwert des Blauen Engels ein.

Abbildung 61: Hedonik Bodenaufbau 3 (eco)



Die nachfolgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der analytischen Bewertung der Prüfraumlucht. Analytische Bewertungen der Einzelprodukte finden bei diesem Aufbau nicht statt.

Tabelle 13: Analytik Bodenaufbau 3 [16]

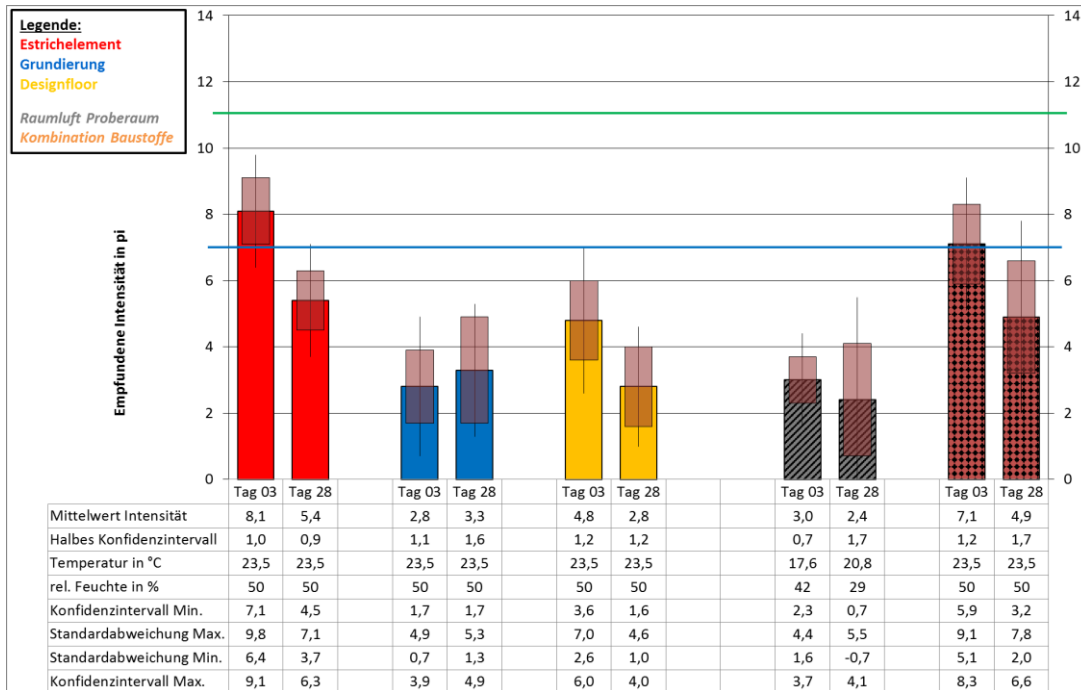
nachgewiesene Spuren	CAS Nr.	Tag3 Konzentration in µg/m <sup>3</sup>	Tag28 Konzentration in µg/m <sup>3</sup>
TVOC		111	29
Glykolverbindung		52	22
Formaldehyd	50-00-0	3	3
Acetaldehyd	75-07-0	6	4

Im Versuchsraum mit Bodenaufbau 3 werden einige flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC) in geringen Konzentrationen nachgewiesen. Lediglich eine unbekannte Glykolverbindung wird hier in höheren Konzentrationen gemessen. Diese nimmt aber im Laufe des Untersuchungsraums ab.

### 5.2.4.8 Bodenaufbau 4

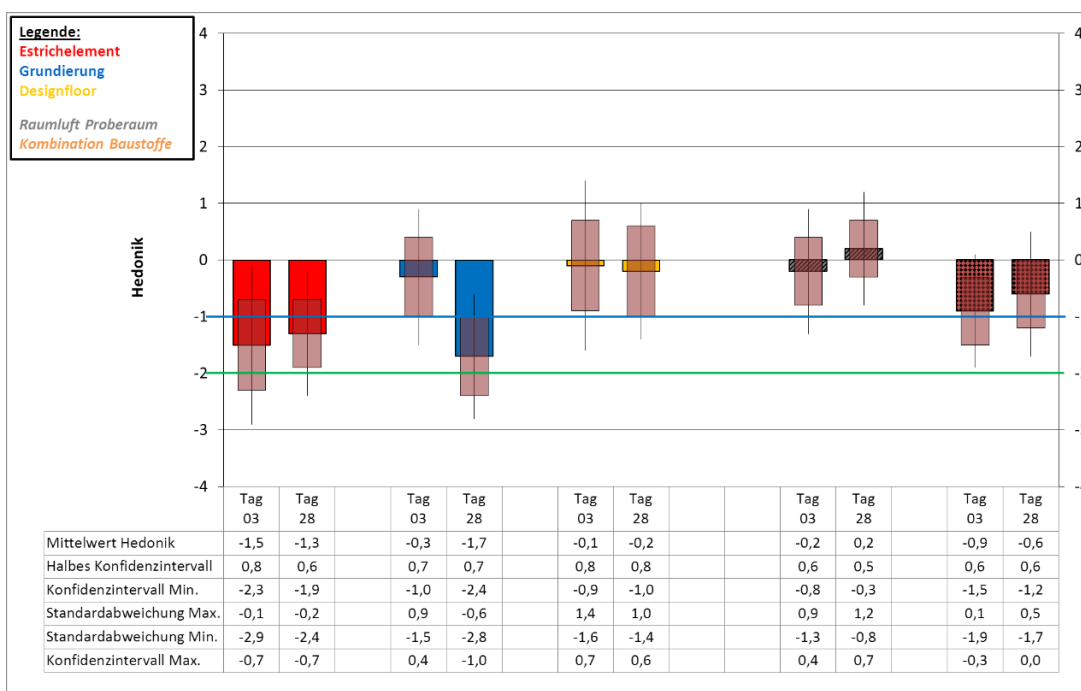
Die Abbildung 62 zeigt den Vergleich der Intensitäten von Bodenaufbau 4. Die Intensitäten der bewerteten Raumlufthaus liegen im sehr niedrigen Bereich und passen in etwa zu den Werten des Designfloor (gelb). Die Kombination liegt eine wenig höher, aber erreicht ebenfalls den Prüfwert des Blauen Engel.

Abbildung 62: Intensität Bodenaufbau 4 (eco)



Gleiches gilt für die Betrachtung der Hedonik in der folgenden Abbildung 63. Auch hier weist die Bewertung der Raumlufthaus die besten Werte auf. Die Bewertung der Kombination liegt hier ebenfalls im Bereich des Blauen Engel, obwohl einige Einzelprodukte (rot, blau) diesen Prüfwert nicht erfüllen.

Abbildung 63: Hedonik Bodenaufbau 4 (eco)



Die nachfolgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der analytischen Bewertung der Prüfraumlufte.

Tabelle 14: Analytik Bodenaufbau 4 [16]

nachgewiesene Spuren (in µg/m³)	CAS Nr.	Raumlufte		Grundierung 13.031	Designfloor 13.030	Kombination
		Tag3	Tag28	Tag28	Tag28	Tag28
TVOC		55	29	22	3	23
Decamethylcyclopentasiloxan	541-02-6	18	1	n.n.	n.n.	n.n.
Phthalat		n.n.	n.n.	n.n.	19	n.n.
Formaldehyd	50-00-0	8	6	n.a.	n.a.	n.a.
Acetaldehyd	95-07-0	9	5	n.a.	n.a.	n.a.

Im Versuchsraum mit Bodenaufbau 4 werden geringen Konzentrationen von einigen flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC) nachgewiesen. Bei der Analyse der Einzelprodukte fällt beim Designfloor ein unbekanntes Phthalat auf, welches aber nicht in der Raumlufte oder Kombination nachgewiesen wird. Ansonsten liegen die Ergebnisse der Kombination und der Raumlufte am Tag28 im gleichen Bereich.

### 5.3 Zwischenfazit

Die Raumlufteuntersuchungen in den Versuchsräumen am Bismarckplatz zeigen, dass während bzw. zwischen den einzelnen Sanierungsschritten zu teils sehr hohen empfundenen Intensitäten kommt. Mit Beendigung der Baumaßnahmen fallen diese wieder recht zügig und liegen am Tag28 im Bereich des IST-Zustands des jeweiligen Raums.

Bei der Untersuchung der eingesetzten Produkte im Luftqualitätslabor kann festgestellt werden, dass alle Produkte gute Bewertungen im Bereich des vorgeschlagenen Prüfwerts des Blauen-Engels erhalten.

Die chemische Analytik der Raumlufte in den Versuchsräumen zeigt generell einen Anstieg der VOC- und Aldehyd-Konzentrationen während der Baumaßnahmen, die Werte nehmen aber mit der Zeit ab. Bei den untersuchten Produkten werden kaum Emissionen detektiert.

Bei den Raumlufteuntersuchungen in den Versuchsräumen des ECO-Instituts in Köln kamen die direkte und indirekte Bewertungsmethode zum Einsatz. Größtenteils führen beide Bewertungsmethoden zu ähnlichen Ergebnissen.

Die Bewertungen der eingesetzten Produkte sowie derer Kombination führen zu guten Ergebnissen und liegen größtenteils im Bereich der Empfehlung des Blauen Engels. Auch hier führen analog zu den Untersuchungen am Bismarckplatz gute Einzelproduktbewertungen zu guten Bewertungen der Kombination. Es wird bei diesen Untersuchungen festgestellt, dass die Bewertungen der Produktuntersuchung nicht immer (anders als beim Bismarckplatz) zu den Bewertungen der jeweiligen Raumlufte im Versuchsraum passen. Gründe hierfür sind, wie bereits erläutert, die unterschiedlichen Raum-



luftbedingungen (Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit), das unterschiedlich erfahrene Probandenpanel und Leitungspersonal und zusätzlich unterschiedliches Laborequipment.

Die meisten eingesetzten Produkte sind emissionsarm und die gemessenen Konzentrationen von flüchtigen organischen Verbindungen sind sehr niedrig. Auch die Ergebnisse der Raumluftmessungen zeigen niedrige VOC-Konzentrationen.

## 6 Untersuchungsobjekt UBA Haus 2019

### 6.1 Objektbeschreibung

In Berlin-Marienfelde entstand in den Jahren 2011 bis 2013 ein Nullenergiehaus mit 31 Büroarbeitsplätzen und drei Besprechungsräumen. Seinen Arbeitstitel „Haus 2019“ erhielt das Gebäude, da es schon jetzt die Vorgabe der europäischen Gebäuderichtlinie erfüllen soll, dass Gebäude der öffentlichen Hand ab dem Jahr 2019 eine übers Jahr gerechnet ausgeglichene Energiebilanz vorweisen sollen. Der barrierefreie Holztafelbau soll den „Gold“-Standard nach dem Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude erreichen. Eine Photovoltaikanlage auf dem Dach liefert den elektrischen Strom. Eine Wärmepumpe entzieht dem Grundwasser Wärme oder Kühle für die Temperierung des Gebäudes. Der gesamte Rohbau und die Fassade wurden aus dem nachwachsenden Rohstoff Holz gefertigt. Die Wärmedämmung besteht aus Zellulosefasern, welche aus recyceltem Altpapier gewonnen wurden. Eine geregelte Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung minimiert die Lüftungswärmeverluste des Gebäudes. Der für die Energiebereitstellung vor Ort (i. W. Umwälzpumpen) und während der Nutzung des Gebäudes benötigte Strom (Beleuchtung, Büromaschinen etc.) wird im Jahresmittel durch Photovoltaikflächen auf dem Dach produziert. Deshalb werden in allen Anlagenteilen hocheffiziente Geräte und Ausstattungen eingesetzt. Zur Beleuchtung werden besonders effektive Leuchtmittel genutzt.

### 6.2 Raumlufthuntersuchungen

Während der Bauarbeiten im Innenbereich sowie nach Bezug der Räumlichkeiten werden in bestimmten Abständen olfaktorische und analytische Raumlufthbewertungen durchgeführt. Tabelle 15 zeigt eine zeitliche Übersicht der verschiedenen Untersuchungstage:

Tabelle 15: Zeitplan Raumlufthuntersuchung UBA Haus 2019

Bauabschnitt	Datum	Beschreibung
BA 1	12.04.2013	Bewertung von 10 Raumlufthproben nach Einbringen des Bodenestrichs
BA 2	17.07.2013	Bewertung von 10 Raumlufthproben nach Beendigung der Baumaßnahmen
BA 3	02.09.2013	Bewertung von 10 Raumlufthproben nach Einrichtung der Räume (Möbel) jedoch vor der Nutzung
BA 4	30.10.2013	Bewertung von 10 Raumlufthproben nach etwa zweimonatiger Nutzung
BA 5	04.12.2013	Bewertung von 10 Raumlufthproben nach etwa dreimonatiger Nutzung
BA 6	05.03.2014	Bewertung von 9 Raumlufthproben nach etwa sechsmonatiger Nutzung

Alle 10 bzw. 9 Raumlufthproben werden olfaktorisch untersucht, analytische Messungen werden aus Kapazitätsgründen nur bei 3 Raumlufthproben durchgeführt. Aufgrund der Erfahrungen bei Untersu-

chungsobjekt „UBA Bismarckplatz“ und der örtlichen Gegebenheiten kommt beim Objekt „UBA Haus2019“ nur die Bewertungsmethode „Probenahme mittels AirProbe und Bewertung im Luftqualitätslabor der HTW“ zur Anwendung. Bei allen Untersuchungen werden immer dieselben Räume beprobt. Es werden jeweils 5 Räume im Erdgeschoss und 5 Räume im Obergeschoss ausgewählt. Die jeweiligen Raumlufttemperaturen und -feuchten an den Untersuchungstagen sind im jeweiligen Diagramm aufgeführt.

Die Tabelle 16 zeigt die Raumübersicht und kurze Informationen zum Zeitpunkt der Probenahme:

Tabelle 16: Raumübersicht UBA Haus 2019

Raum	Raumbeschreibung	BA1	BA2	BA3	BA4	BA5	BA6
1	Erste-Hilfe-Raum	leer, keine Tür	leer	Möbel	unge-nutzt	unge-nutzt stickig	unge-nutzt, stickig
2	Büro	leer, keine Tür	leer	Möbel	genutzt	unge-nutzt	genutzt, stickig
3	Büro	leer, keine Tür	leer, Bau-geruch	Möbel	unge-nutzt	unge-nutzt	unge-nutzt
4	Archiv	leer, keine Tür	leer, Bau-geruch	Möbel	genutzt	genutzt	genutzt
5	Eltern-Kind-Büro	leer, keine Tür	leer, Bau-geruch	Möbel, Spiel-zeug	unge-nutzt	unge-nutzt	unge-nutzt
6	Büro	leer, keine Tür	leer	Möbel	genutzt (Kaffee)	genutzt	genutzt
7	Büro	leer, keine Tür	leer, Bau-geruch	Möbel	unge-nutzt	unge-nutzt	unge-nutzt
8	Büro	leer, keine Tür	leer, Bau-geruch	Möbel	genutzt	genutzt	genutzt (Parfüm)
9	Büro mit Durchgangstür	leer, keine Tür	leer, Bau-geruch	Möbel	unge-nutzt	genutzt	genutzt (Parfüm)
10	Bespre-chungsraum	leer, keine Tür	leer	leer, kühl	unge-nutzt	genutzt	entfällt (Fremd-gerüche)

In der Tabelle ist der Zustand der Räume an den einzelnen Untersuchungstagen (BA's) beschrieben. Im BA1 befand sich das Objekt noch im Bauzustand und die einzelnen Räume hatten noch keine verschließbaren Türen. Deshalb ist hier davon auszugehen, dass nicht nur die Raumluft des jeweiligen Raumes sondern auch Umgebungsluft aufgenommen wurde.

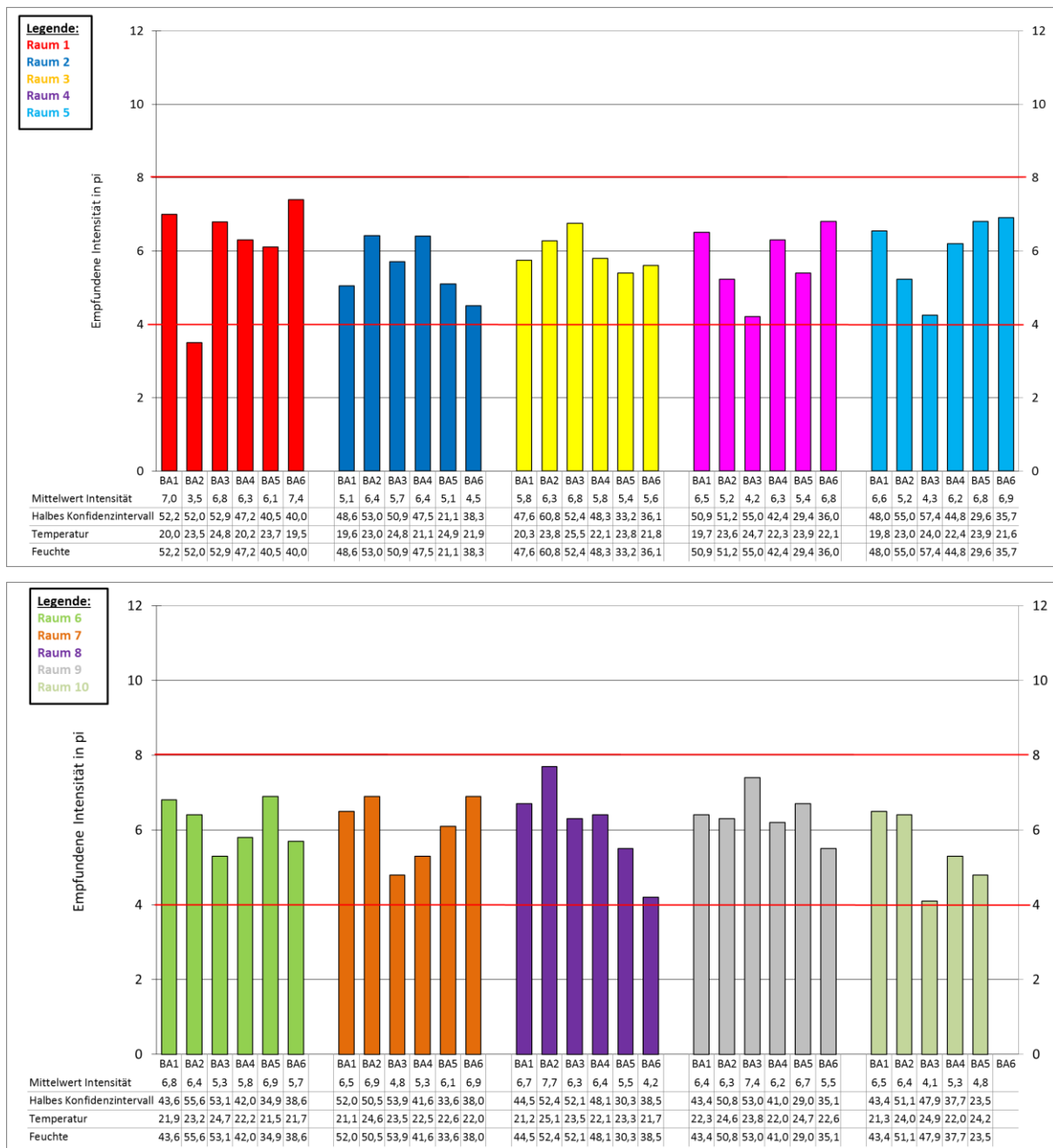
Ab BA4 wurde das Objekt von Mitarbeitern genutzt. In der Tabelle werden die Bezeichnungen „genutzt“ und „ungenutzt“ verwendet. „Genutzt“ bedeutet hier, dass sich am Tag der Untersuchung

jemand im Raum aufhielt. „Ungenutzt“ meint, dass am Untersuchungstag keine Personen vor und während der Probenahme im Raum waren. Die Bezeichnungen in den Klammern beschreiben den Geruch der bei den Probenahmen wahrgenommen wurde. Der Raum 10 wurde am BA6 nicht untersucht, da dort eine Besprechung stattfand und starke Fremdgerüche wahrnehmbar waren.

Die VOC-Probenahme in den 3 Räumen (2, 7 und 8) erfolgt aktiv. Im Rahmen der ersten 3 Bauabschnitte werden die Aldehyd-Probenahmen aktiv durchgeführt. Um die Belastung der Nutzer zu reduzieren werden die Aldehyd-Probenahmen in den letzten Bauabschnitten passiv durchgeführt.

Abbildung 64 zeigt die empfundenen Intensitäten der untersuchten Räume an den verschiedenen Untersuchungstagen (Bauabschnitten).

Abbildung 64: Intensität Raumluf (UBA Haus 2019)

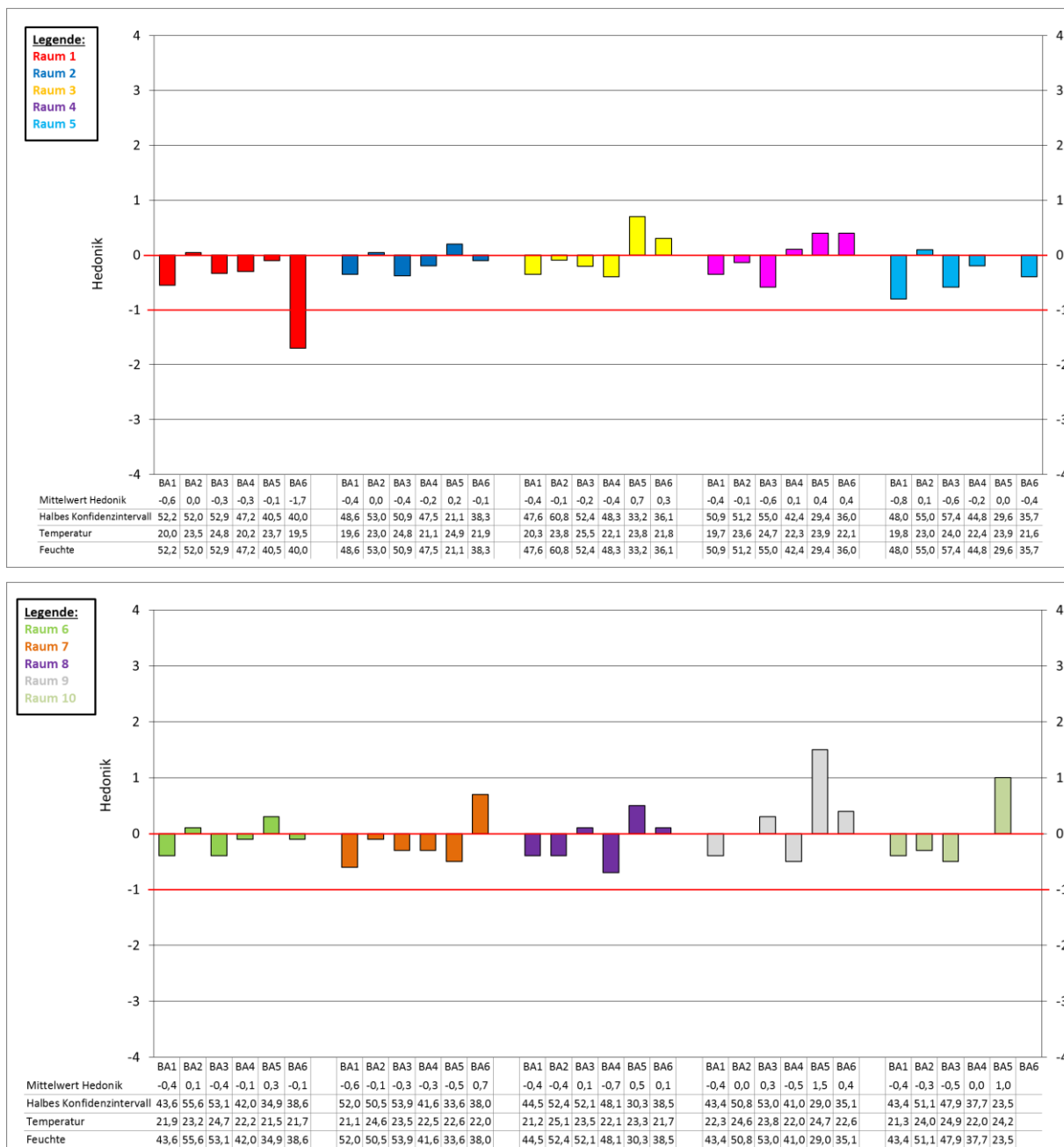


Hauptsächlich werden alle empfundenen Intensitäten der Räume im mittleren Qualitätsbereich eingestuft. Im Laufe der Baumaßnahmen also vor Nutzung der Räumlichkeiten (BA1-3) sind die Raum-

Luftintensitäten bei den Räumen 2 (blau), 3 (gelb) und 9 (grau) leicht gestiegen, bei den übrigen Räumen aber gesunken.

Mit fortlaufender Nutzung der Räumlichkeiten (BA4-6) bleiben die Intensitäten bei den Räumen 2 (blau), 3 (gelb), 8 (lila) sowie 9 (grau) in etwa im gleichen Bereich bzw. sinken leicht. Bei den anderen Räumen steigen die teilweise bereits niedrigen Intensitäten nach Beendigung der Baumaßnahmen (BA3) im Laufe der Nutzung (BA4-6) wieder an. Daraus lässt sich schließen, dass mit der Nutzung der Räumlichkeiten weitere Gerüche eingebracht werden, welche unabhängig von den Baumaßnahmen (siehe Tabelle 16 z.B. Kaffee) einen Einfluss auf die Geruchsqualität der Räume haben.

Abbildung 65: Hedonik Raumluft (UBA Haus 2019)



Die Abbildung 65 stellt die Bewertungsergebnisse der Hedonik für die untersuchten Räume dar. Die Bewertungen für die Hedonik liegen hauptsächlich im neutralen Bereich zwischen -0,5 und +0,5. Der Raum 1 (rot) weist bei BA6 mit -1,7 eine vergleichsweise schlechte Hedonik auf. Es handelt sich hier um den Erste Hilfe Raum der selten benutzt wird. Die Büroräume des Gebäudes UBA 2019 sind mit

Präsenzmelder ausgestattet. Bei nicht Nutzung oder Öffnen der Fenster schaltet sich die Lüftung ab. Das heißt Räume die nicht genutzt werden auch nicht gelüftet (es sei denn es ist ein Fenster geöffnet). Konferenzräume sind mit CO<sub>2</sub> Sensoren ausgestattet um eine Bedarfsgerechte Lüftung zu ermöglichen. Des Weiteren liefert der Raum 9 (grau) beim BA5 mit +1,5 eine vergleichsweise sehr angenehm empfundene Raumlufthqualität. Dies lässt sich damit erklären, dass am Untersuchungstag der Raum leicht nach Parfüm roch, was sich somit positiv auf die Bewertung der Hedonik auswirkt (vgl. Tabelle 16). Interessant sind auch die Hedonikbewertungen von Raum 4 (pink), welche nach Beendigung der Baumaßnahmen olfaktorisch angenehmer empfunden werden als während der Baumaßnahmen, obwohl die Intensitäten zunehmen. Des Weiteren fällt auf, dass viele Räume mit Nutzung ein geruchlich angenehmer empfundenes Raumklima aufweisen, was unabhängig von den Baumaterialien auf das Einbringen von angenehm empfundenen Gerüchen (z.B. Parfüm) zurückgeführt werden kann.

Die VOC- und Aldehyd-Konzentrationen werden in den Räumen 2, 7 und 8 gemessen. Die detaillierten Ergebnisse werden im Anhang 6.2 (Tabellen 28-33) dargestellt.

Während der ersten Bauabschnitte werden hohe Raumlufthkonzentrationen gemessen, dies ist aber aufgrund der durchgeführten Baumaßnahmen nicht ungewöhnlich. Bei der ersten Messung sind an den Räumen noch keine Türen vorhanden und somit verteilt sich die Luft in das gesamte Gebäude. Die Ergebnisse der zweiten Messung im Juli 2013 zeigen hohe Konzentrationen besonders bei einigen aromatischen Kohlenwasserstoffen wie o,m,p-Xylen, Ethylbenzen und Toluen (Abbildung 67, Abbildung 69 und Abbildung 71). Diese Substanzen werden als Lösungsmittel industriell verwendet. Zum Zeitpunkt der Messung war die Lüftungsanlage ausgeschaltet. Die Raumlufth weist auch typische ‚Holzemissionen‘ wie die Terpene und Hexanal auf. Die Terpen-Konzentrationen sind relativ niedrig über den gesamten Untersuchungszeitraum; alpha-Pinen wird in Konzentrationen um 100 µg/m<sup>3</sup> auch 6 Monate nach Nutzung gemessen (die Lüftungsanlage wird unter normalen Nutzungsbedingungen betrieben) (Abbildung 66 und Abbildung 70).

Abbildung 66: Raum 2 – Raumlufthkonzentrationen einiger VOC im Untersuchungszeitraum

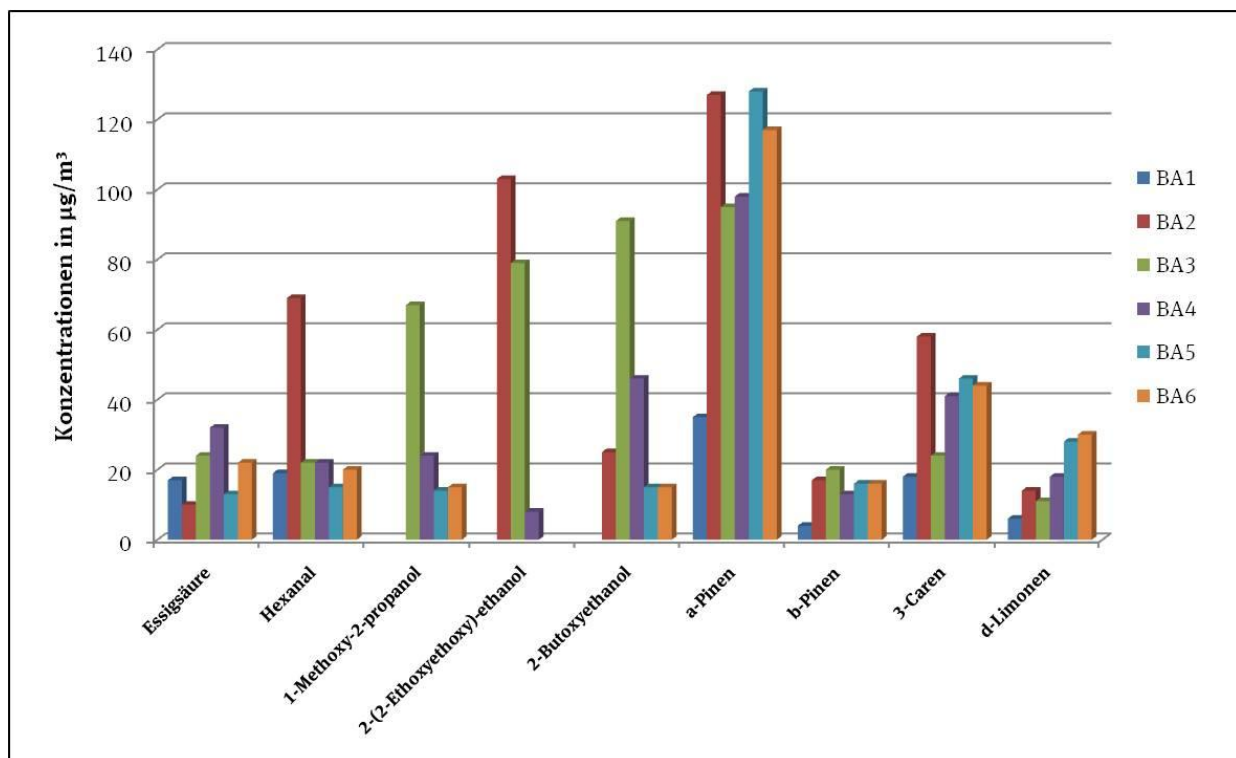


Abbildung 67: Raum 2 – Raumlufthkonzentrationen von aromatischen Kohlenwasserstoffen

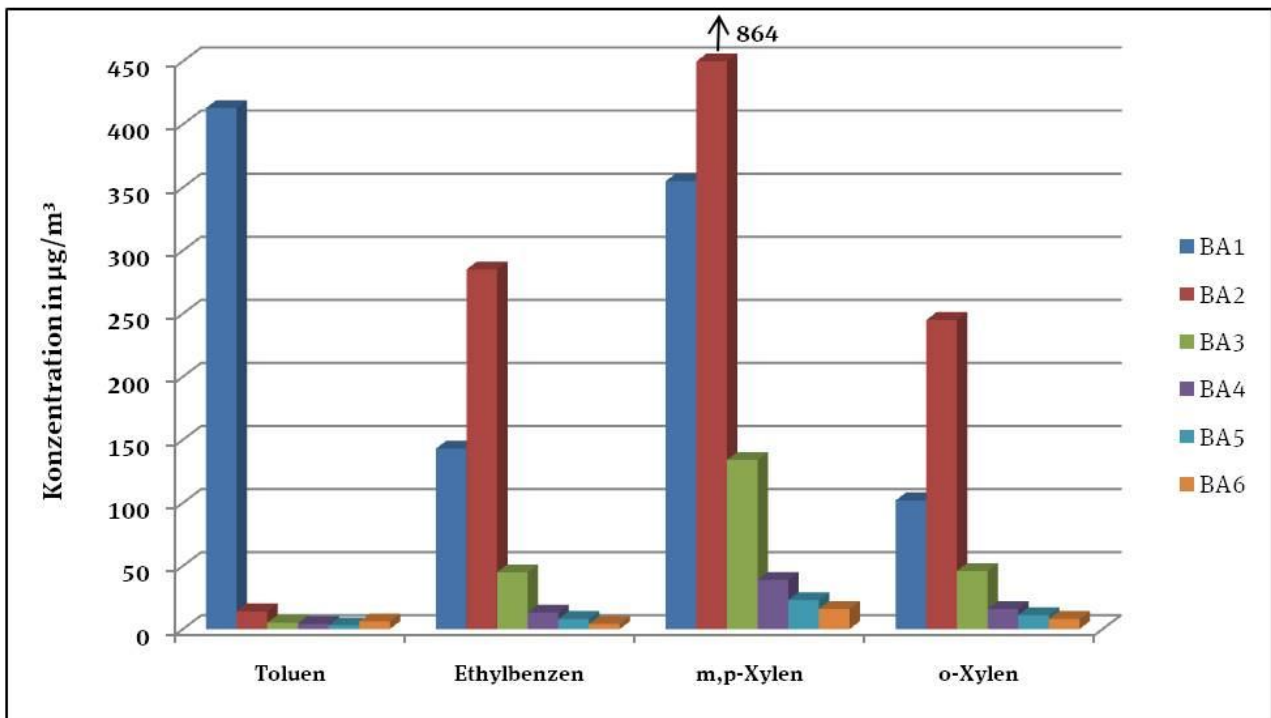


Abbildung 68: Raum 7 – Raumlufthkonzentrationen einiger VOC im Untersuchungszeitraum

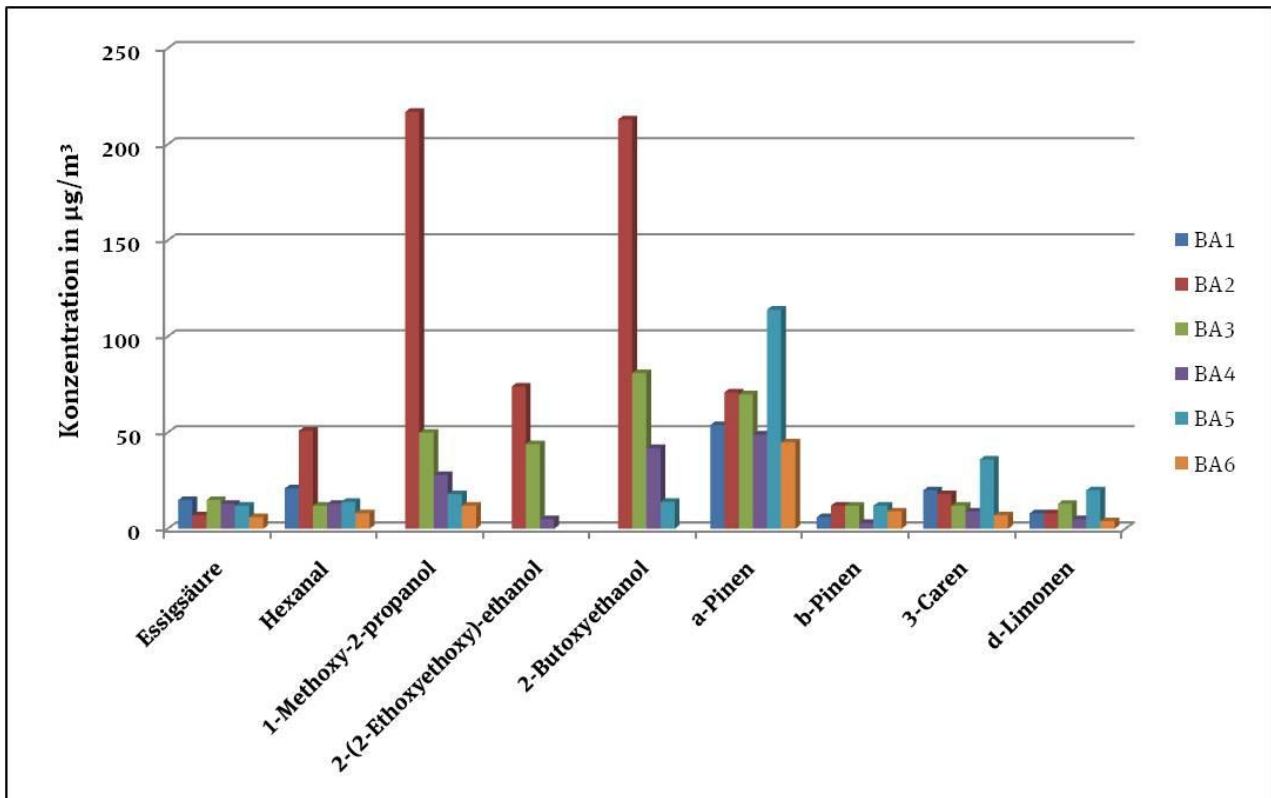


Abbildung 69: Raum 7 – Raumlufkonzentrationen von aromatischen Kohlenwasserstoffen

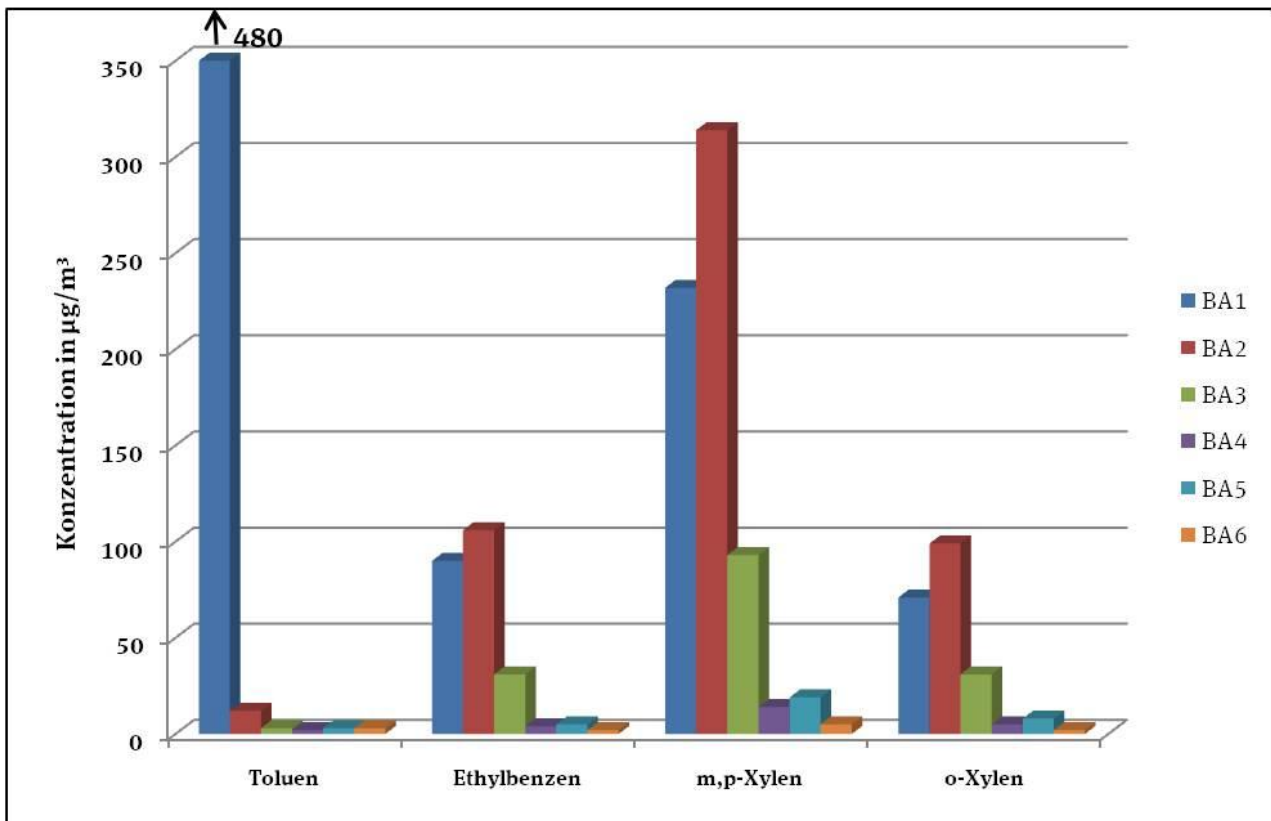


Abbildung 70: Raum 8 – Raumlufkonzentrationen einiger VOC im Untersuchungszeitraum

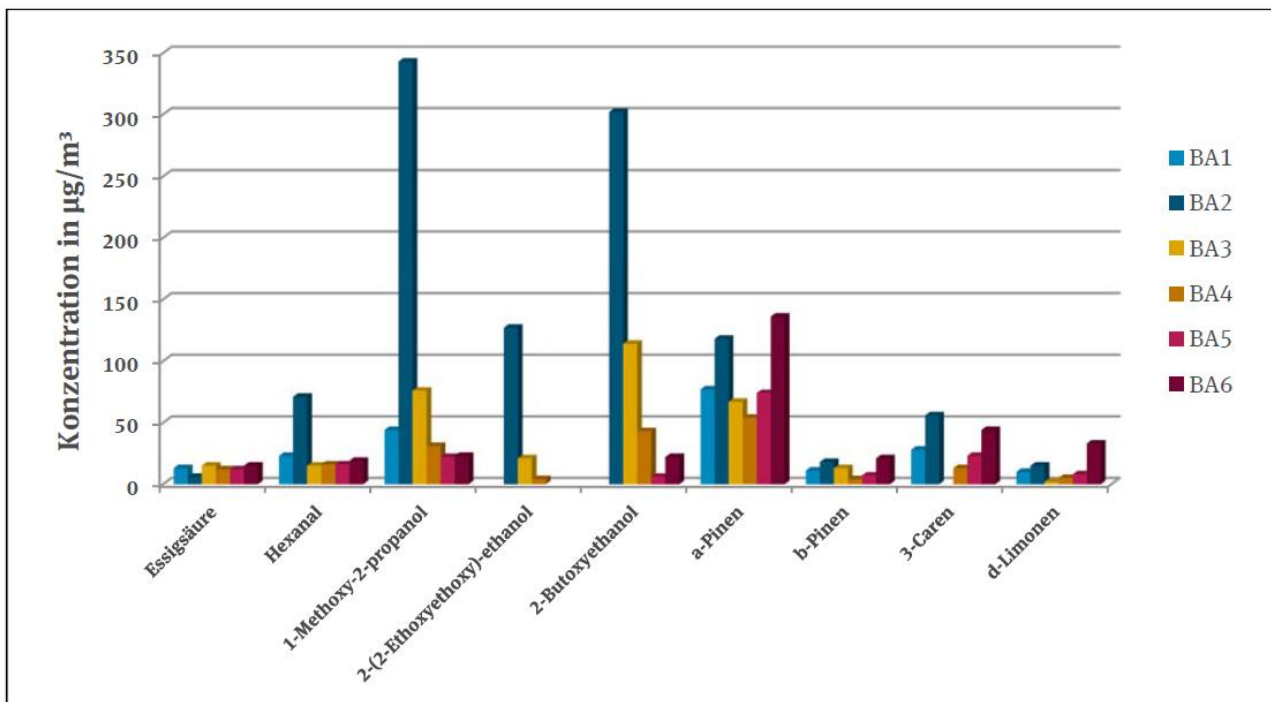
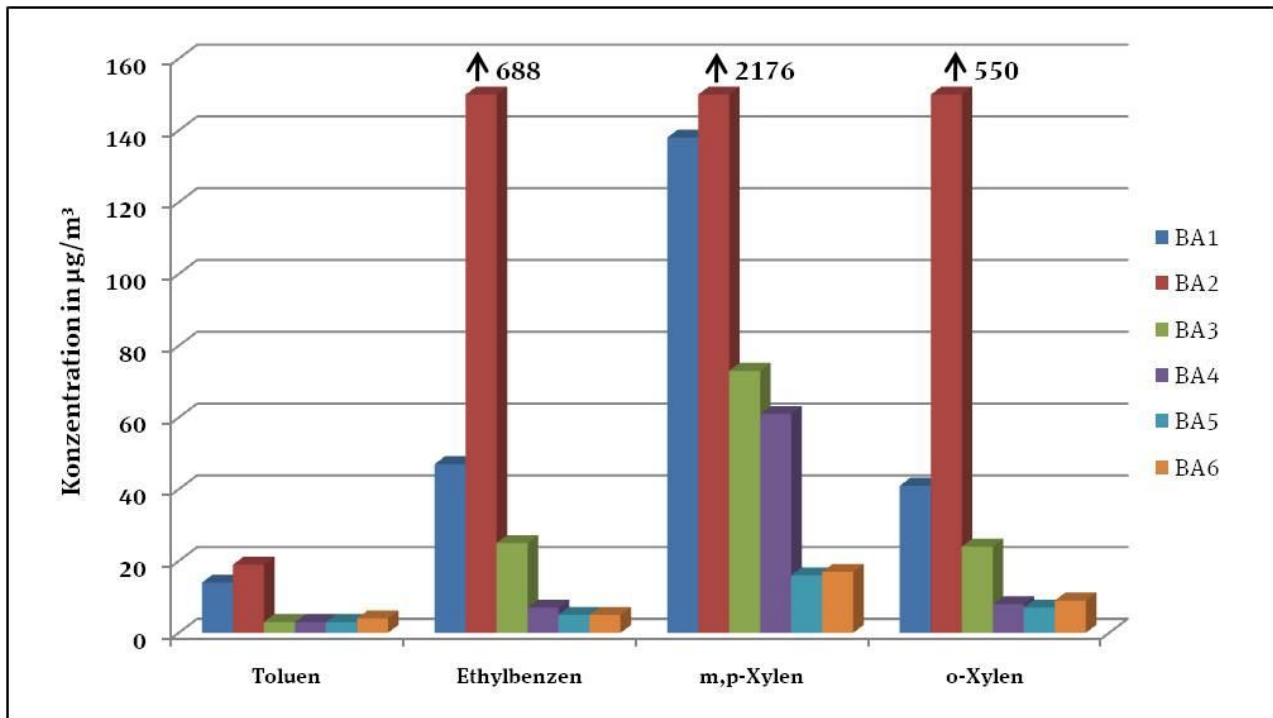


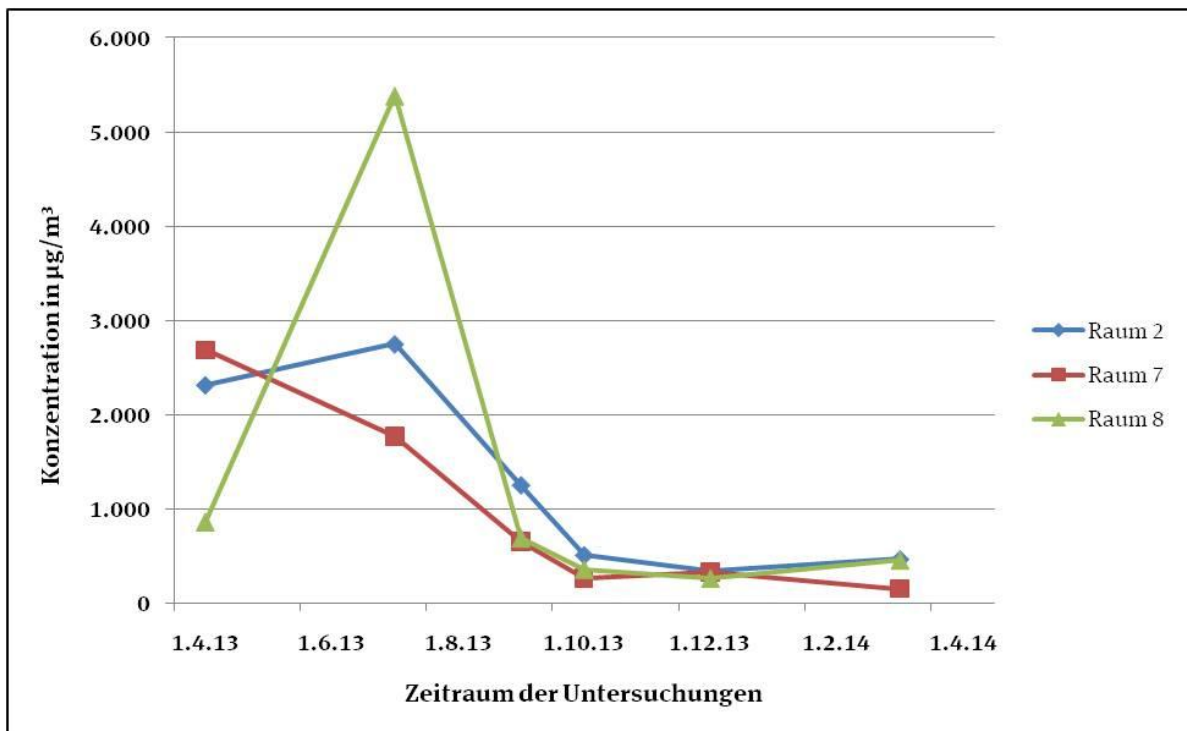


Abbildung 71: Raum 8 – Raumlufkonzentrationen von aromatischen Kohlenwasserstoffen



Bei der Betrachtung der TVOC-Werte in den Räumen ist einen typischen Verlauf im Rahmen von Baumaßnahmen zu erkennen (Abbildung 72). Der starke Anstieg des TVOC-Werts im Raum 8 am zweiten Untersuchungstag geht auf die hohe m,p-Xylene-Konzentration zurück. Diese Messung findet aber im Sommer kurze Zeit nach Beendigung der ‚Haupt‘-Baumaßnahmen und ohne Lüftungsanlage im Betrieb statt. Die TVOC-Konzentrationen nehmen mit der Zeit ab und erreichen 6 Monaten nach Nutzung des Gebäudes Werte zwischen 153 und 466 µg/m<sup>3</sup> (Lüftungsanlage ist unter Nutzungsbedingungen betrieben).

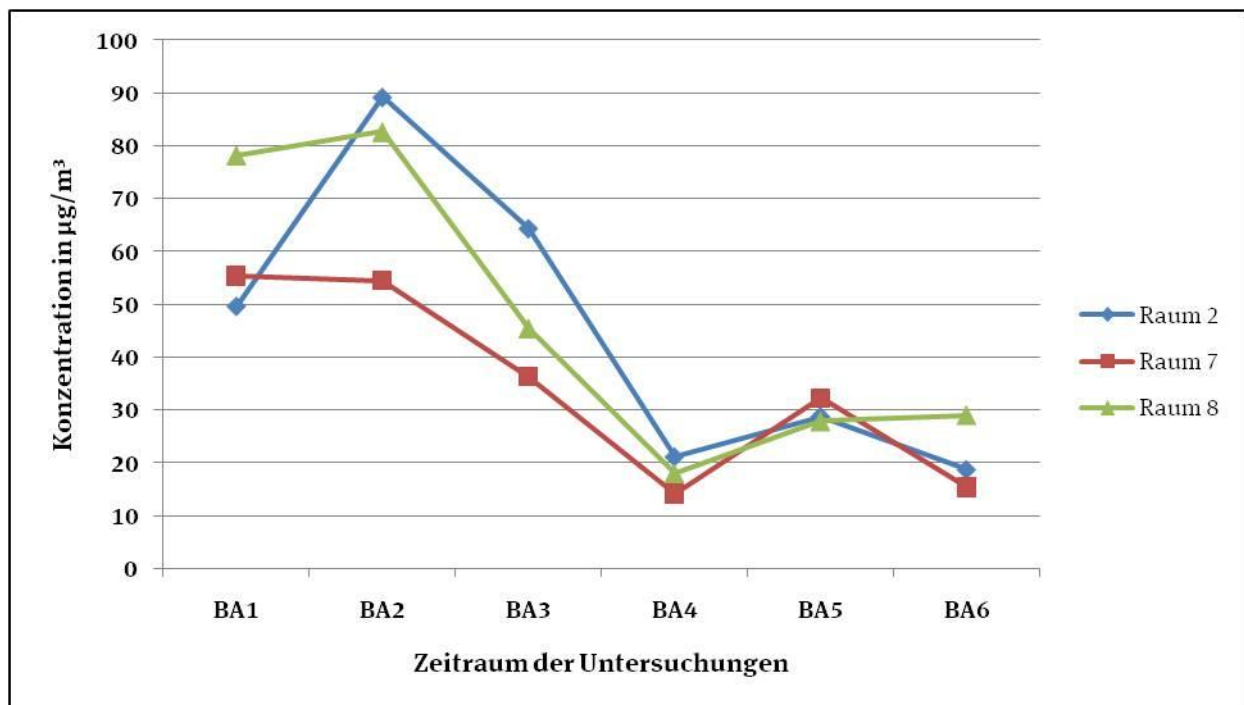
Abbildung 72: Verlauf der TVOC-Werte in den Räumen 2, 7 und 8 im Untersuchungszeitraum



Die Ergebnisse der Aldehyd-Untersuchungen mittels der DNPH-Methode zeigen für Formaldehyd, trotz der Verwendung des nachwachsenden Rohstoffs Holz für den gesamten Rohbau und die Fassade, generell niedrige Konzentrationen über den Untersuchungszeitraum (siehe Anhang 6.2 Tabellen 29, 31 und 33). Für den Neubau UBA Haus 2019 wurden spezielle Holzwerkstoffplatten die formaldehydfrei verleimt sind, eingesetzt. Somit liegen die Formaldehyd-Konzentrationen am Ende der Untersuchungen zwischen 7 und 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Lüftungsanlage ist unter Nutzungsbedingungen betrieben).

Im Rahmen dieser Untersuchungen fällt Hexanal, eine geruchsaktive Substanz und typisch für Holzemissionen, auf. Während der Baumaßnahmen werden bis zu 90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  gemessen, die Konzentrationen in den Räumen nehmen mit der Zeit ab und erreichen 6 Monate nach Nutzung zwischen 15 und 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Da Hexanal eine niedrige Geruchsschwelle hat, können diese Konzentrationen zum Geruchseindruck beitragen. Die Hexanal-Konzentration kann auch mittels der VOC-Tenax-Methode bestimmt werden. Die Werte in diesem Projekt zeigen hierzu vergleichbare Ergebnisse (siehe Anhang 6.2 Tabellen 28-33).

Abbildung 73: Hexanal-Konzentrationen während der Baumaßnahmen (UBA Haus 2019, DNPH-Methode)



Die VOC- und Aldehyd-Messungen am letzten Untersuchungstag, 6 Monate nach Nutzung des UBA Hauses 2019 zeigen keine Überschreitungen von existierenden Richtwerten des Ausschusses für Innenraumrichtwerte für Einzelstoffe und Stoffgruppen. [15]

In den Räumen 2 und 8 werden die TVOC-Werte in der Stufe 2 ( $> 0,3-1 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) der Tabelle mit den Leitwerten für TVOC in der Innenraumlufth des Ausschusses für Innenraumrichtwerte eingeordnet. TVOC-Werte in dieser Stufe werden als noch hygienisch unbedenklich angesehen, sofern keine Richtwertüberschreitungen für Einzelstoffe bzw. Stoffgruppen vorliegen (dies ist hier nicht der Fall). [15]

Generell gibt es keinen direkten Zusammenhang zwischen den chemisch-analytischen Ergebnissen und die geruchliche Bewertung. So z.B. steigt im Raum 7 die empfundene Intensität des Geruchs in den letzten drei Bauphasen während die TVOC-Konzentrationen abnehmen.

### 6.3 Produktuntersuchungen im Luftqualitätslabor

Zusätzlich zu den Untersuchungen der Raumluftproben, werden ausgewählte, im Haus2019 eingesetzte, Baumaterialien einzeln sowie deren Kombinationen in den Prüfkammern der HTW olfaktorisch und analytisch untersucht. Ein Vergleich mit den Ergebnissen der Raumluftuntersuchungen ist in diesem Fall nicht zielführend, da die Raumluft nicht nur durch das jeweilige zu untersuchende Bauteil beeinflusst wird (keine Versuchsraumbedingungen). Die nachfolgende Tabelle zeigt die Zusammensetzung der Aufbauten:

Tabelle 17: Produktbewertung UBA 2019

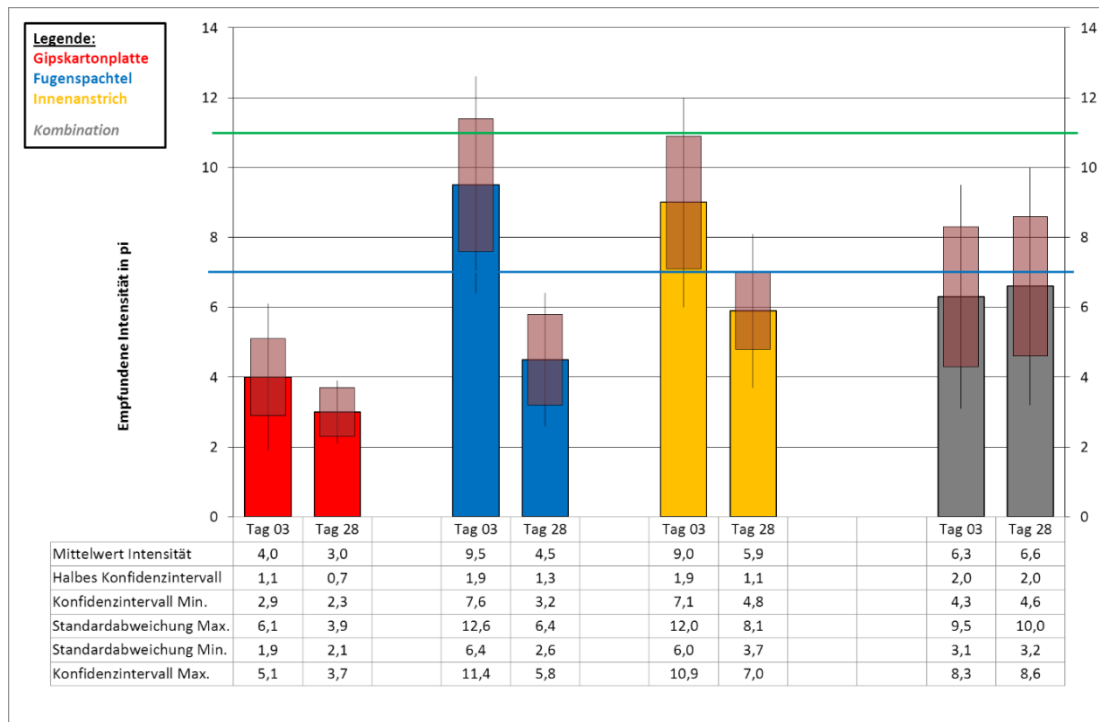
Materialschicht	Innenwand	Fußboden	Parkett
1	Innenanstrich	Zementestrich	Versiegelung
2	Fugenspachtel	Estrich-Dämmplatte	Industrieparkett
3	Gipskartonplatte	Trittschalldämmung Steinwolle	Parkettkleber
4			Glätt- und Nivelliermasse
5			Grundierung

Zusätzlich zu den Einzelprodukten werden auch die Kombinationen dieser Produkte untersucht.

#### 6.3.1 Innenwand

Abbildung 74 zeigt die Intensitäten der Produkte der Innenwand sowie deren Kombination.

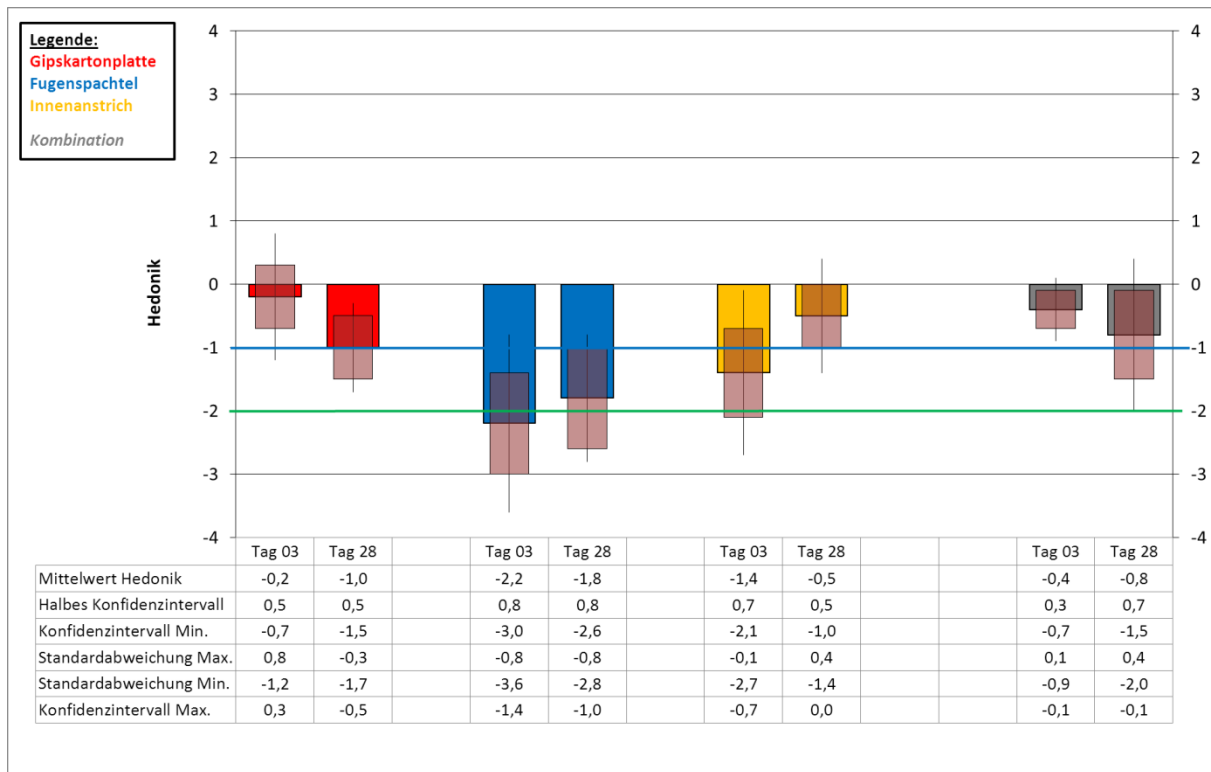
Abbildung 74: Intensität Innenwand (UBA Haus 2019)



Die Intensität der Gipskartonplatte zeigt bereits am Tag 3 einen sehr geringen Wert. Die Produkte Fugenspachtel (blau) und Innenanstrich (gelb) weisen am Tag 3 eine Intensität von ca. 9pi auf. Am Tag28 sind die Intensitäten der Produkte auf unter 7pi gesunken. Die Intensität der Kombination hat sich hingegen nicht geändert, liegt aber im Bereich der äußersten Materialschicht (Innenanstrich).

Auf Abbildung 75 sind die Hedonikbewertungen dargestellt. Hier fällt die etwas schlechtere Bewertung des Fugenspachtels (blau) auf. Diese hat aber keinen Einfluss auf die Kombination der Produkte (grau), welche am Tag28 bei -0,8 liegt und damit das Kriterium des Blauen Engels erfüllt.

Abbildung 75: Hedonik Innenwand (UBA Haus 2019)



Die detaillierten Ergebnisse der VOC- und Aldehyd-Messungen sind im Anhang 6.2 (Tabellen 33-41) dargestellt. Die gemessenen Konzentrationen der emittierenden Stoffe sind vernachlässigbar und weit unter den jeweiligen NIK-Werten des AgBB-Schemas.

### 6.3.2 Fußboden

Der Fußbodenaufbau besteht aus den folgenden Produkten:

- Zementestrich
- Estrich-Dämmplatte
- Trittschalldämmung Steinwolle

Die nachfolgende Abbildung 76 zeigt die empfundenen Intensitäten dieser Produkte sowie deren Kombination. Die Kombination der Einzelprodukte (grau) weist am Tag3 eine geringere Intensität als die Einzelprodukte auf. Am Tag28 sind die empfundenen Intensitäten der Kombination und der obersten Aufbauschicht Zementestrich (grün) vergleichbar.

Abbildung 76: Intensität Fussboden (UBA Haus 2019)

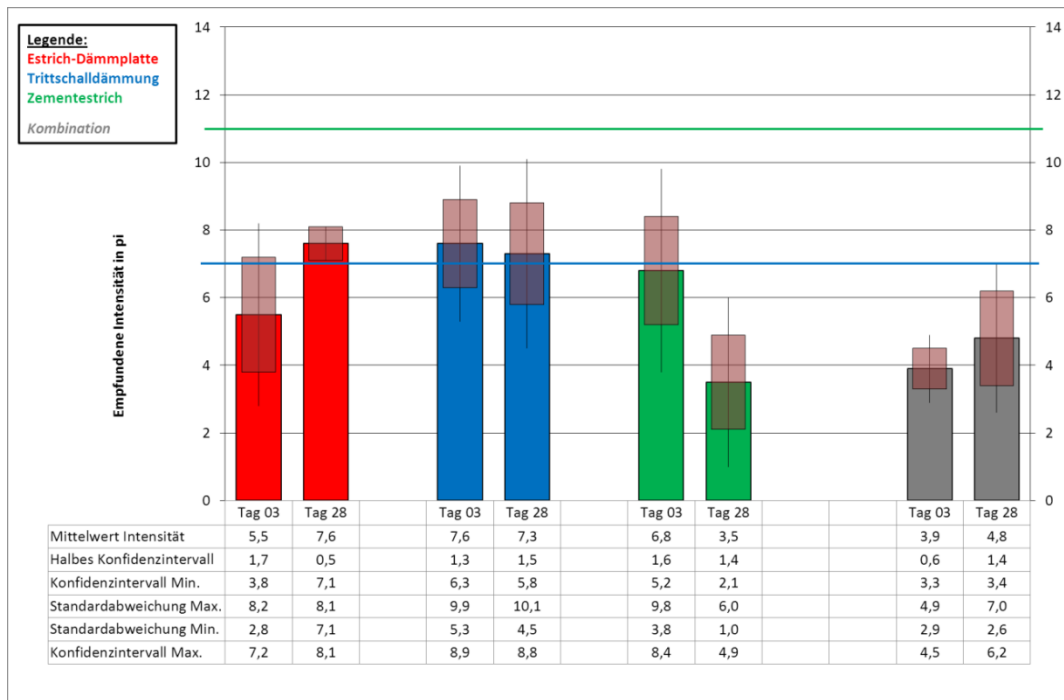
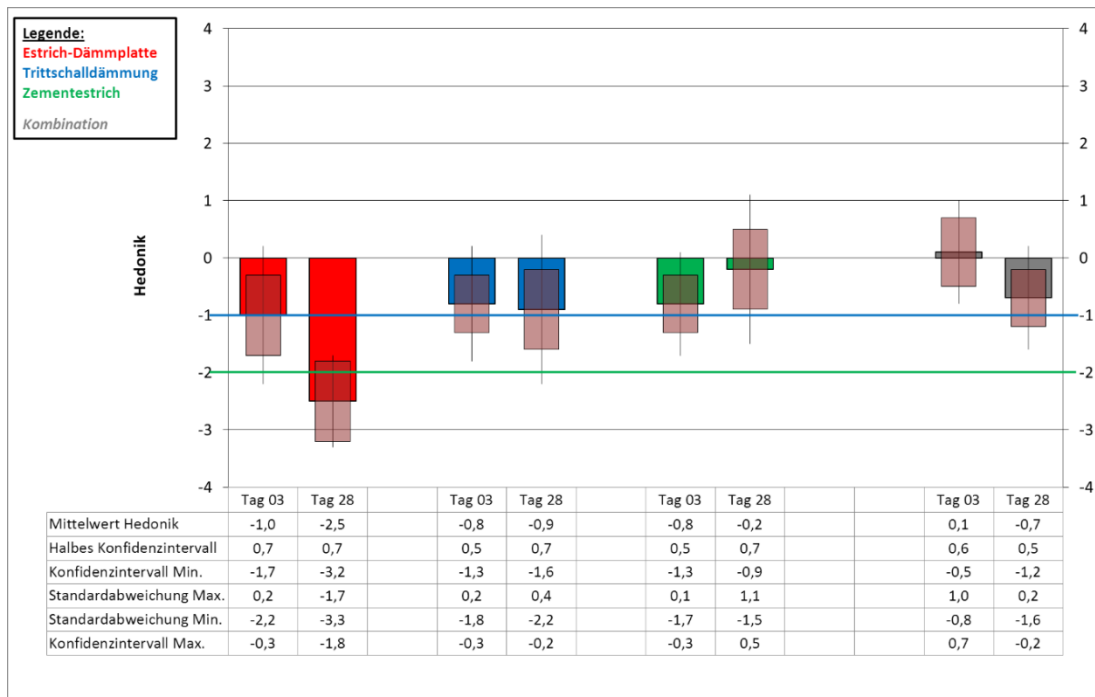


Abbildung 77 zeigt die dazugehörigen Hedonikbewertungen. Auffällig ist die schlechte Bewertung des Estrichelements (rot) am Tag28. Auch die Kombination wird im Laufe des Untersuchungszeitraums leicht schlechter bewertet, liegt aber wie die anderen beiden Einzelprodukte (blau, grün) unter dem Prüfwert des Blauen Engels.

Abbildung 77: Hedonik Fussboden (UBA Haus 2019)



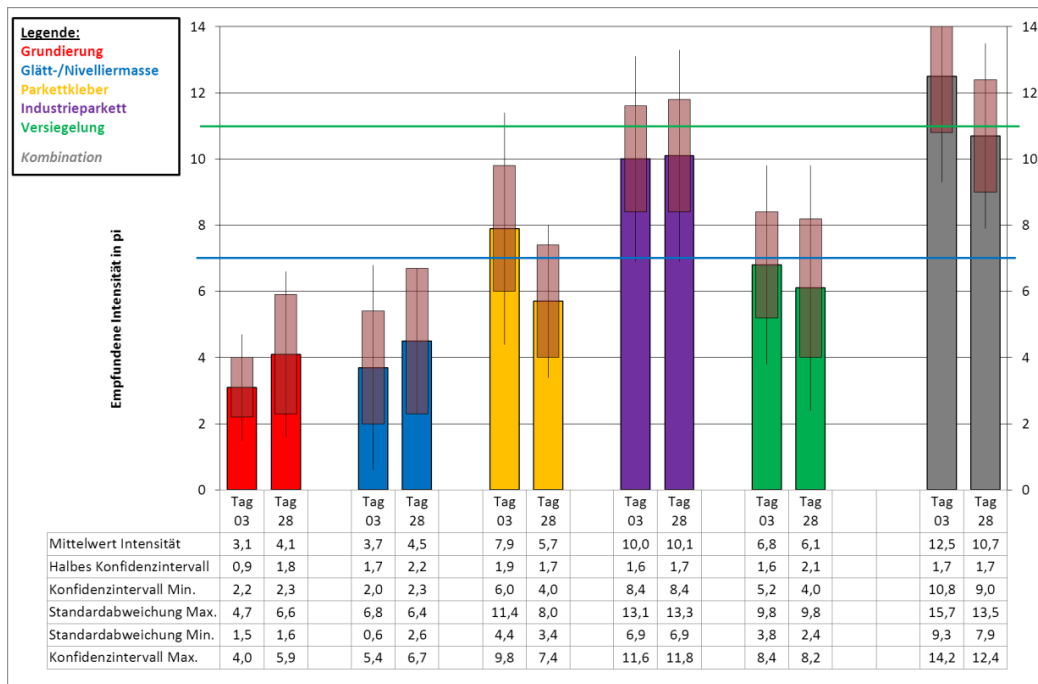
Die detaillierten Ergebnisse der VOC- und Aldehyd-Messungen sind im Anhang 6.2 (Tabellen 42-46) dargestellt. Der Zementestrich wurde analytisch nicht untersucht. Die gemessenen Konzentrationen

der emittierenden Stoffe für die Trittschalldämmung, die Estrich-Dämmplatte und die Kombination sind vernachlässigbar und weit unter den jeweiligen NIK-Werten.

### 6.3.3 Parkett

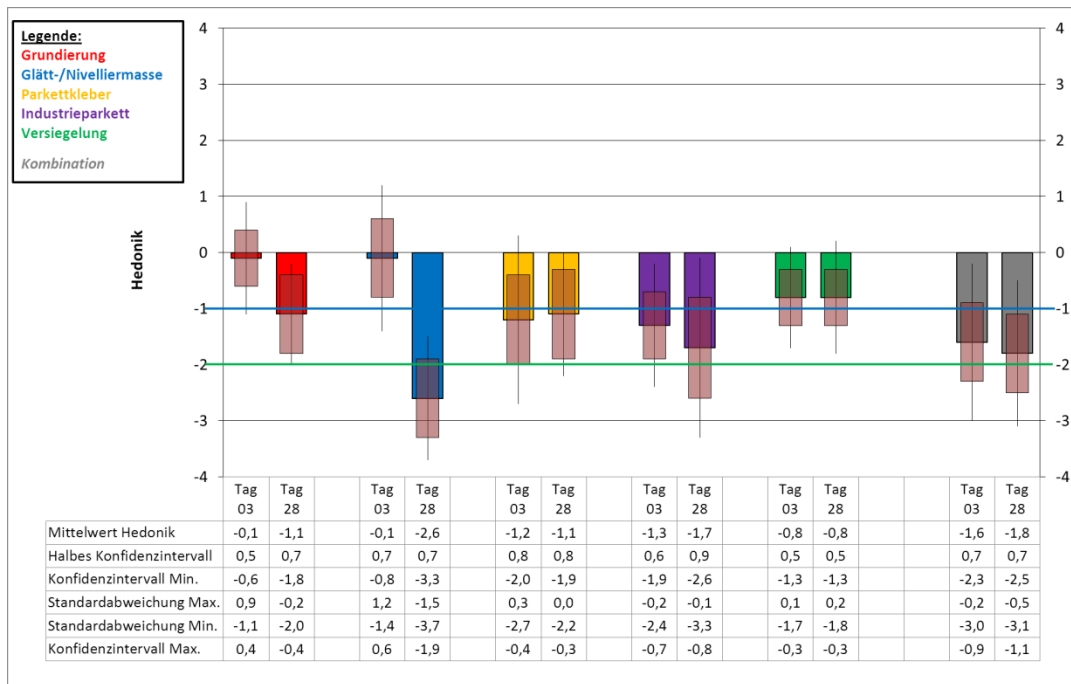
Der Parkettaufbau besteht aus 5 verschiedenen Bauteilen (vgl. Tabelle 17). Die dazugehörigen Intensitäten sind in Abbildung 78 aufgeführt. Hier weist die Kombination der Produkte eine Vergleichsweise sehr hohe Intensität auf, weshalb ungünstige Wechselwirkungen zwischen den Einzelprodukten nicht ausgeschlossen werden. Ansonsten weisen alle Einzelprodukte bis auf das Parkett in Rohform (lila) am Tag28 Intensitäten unter 7pi auf.

Abbildung 78: Intensität Parkett (UBA Haus 2019)



Die Betrachtung der Hedonikbewertung in Abbildung 79 zeigt ein ähnliches Bild. Auch hier zeigt die Kombination die ungünstigsten Bewertungen. Bei der Nivelliermasse verzeichnet sich eine starke Verschlechterung der Hedonikbewertung am Tag28.

Abbildung 79: Hedonik Parkett (UBA Haus 2019)



Die detaillierten Ergebnisse der VOC- und Aldehyd-Messungen sind im Anhang 6.3 (Tabellen 47-58) dargestellt. Die gemessenen Konzentrationen der emittierenden Stoffe für die Grundierung, die Glätt- und Nivelliermasse und den Parkettkleber sind vernachlässigbar und weit unter den jeweiligen NIK-Werten. Der Hauptemittent des Industrieparketts ist Essigsäure, allerdings mit niedrigen Konzentrationen (Tag7: 43 µg/m³ und Tag28: 11 µg/m³). Die Versiegelung zeigt nur am Tag3 wenige Emissionen, die höchste Konzentration ist 19 µg/m³ Triethylamin. Bei den eingesetzten Produkten im UBA Haus 2019 werden bei der Kombination der Materialien die meisten Emissionen gemessen (Tabelle 18). Die Konzentrationen der emittierenden Stoffe nehmen über die Zeit ab, sodass am Tag28 die Kombination eine Prüfung in Anlehnung an das AgBB-Schema besteht.

Tabelle 18: Konzentrationen ausgewählter Verbindungen aus der Kombination Parkett<sup>4</sup>

Substanzen	CAS Nr.	Tag 7 (µg/m³)	Tag 28 (µg/m³)
Essigsäure	64-19-7	71	30
Triethylamin	121-44-8	5	n.b.
4-Ethylmorpholin	100-74-3	14	n.b.
Ethylenglykolmonobutylether	111-76-2	169	11
Unbekannte Glykol-Verbindung		50	4
Unbekannte Glykol-Verbindung		51	7
Unbekannte Glykol-Verbindung		94	10

<sup>4</sup> (keine Aldehyd-Messung am Tag28)



2-Butoxyethylacetat		112-07-2		63		n.b.
---------------------	--	----------	--	----	--	------

## 6.4 Zwischenfazit

Bei den Untersuchungen im Objekt UBA Haus2019 lässt sich feststellen, dass die ermittelten Intensitäten während der Baumaßnahmen (BA1-3) im mittleren Qualitätsbereich liegen. Hierbei ist die maschinelle Lüftungsanlage noch nicht in Betrieb. Mit Ausnahme einiger Räume lässt sich grundsätzlich sagen, dass die Intensität mit der Zeit, also mit Beendigung der Baumaßnahmen abnimmt. Mit der Nutzung werden andere Geruchs- und Immissionsquellen, wie zum Beispieldurch Bücher, Papier, Parfüm, Tee etc., unabhängig von den Bauprodukten eingebracht. Diese beeinflussen die Bewertungen der empfundenen Luftqualität, wie an der Hedonikbewertung erkennbar ist. Zusätzlich wird die Lüftungsanlage in Betrieb genommen, was die Intensitäten im weiteren Verlauf positiv beeinflusst. Es handelt sich hier um eine bedarfsgerechte Lüftung die nur bei Nutzung einen erhöhten Volumenstrom liefert. Bei Nichtbenutzung ist die Zuluftversorgung des jeweiligen Raumes abgeschaltet. In einigen Räumen wie beispielsweise im Erste-Hilfe-Raum kann es dann aufgrund der Nichtnutzung - und somit keiner zusätzlichen Lüftung - zu höheren Bewertungen der Intensität kommen. Insgesamt liegen die Raumluftqualitäten im mittleren Bereich. Die analytischen Untersuchungen zeigen für einen Neubau gute Ergebnisse, am letzten Untersuchungstag werden in den analysierten Räumen keine Innenraumrichtwerte überschritten.

Bei den Produktuntersuchungen werden eine Vielzahl der eingesetzten Bauprodukte sowie deren Kombinationen untersucht. Im Allgemeinen werden hierbei sehr gute Ergebnisse erzielt und die Produkte erfüllen größtenteils die Vorgaben des Blauen Engels. Es kommt zu erhöhten Intensitäten beim eingesetzten Industrieparkett bzw. bei der Kombination mit diesem Produkt. Diese hohen Bewertungen sind nicht in den Raumluftuntersuchungen wiederzufinden.

Die meisten eingesetzten Materialien sind emissionsarm.

## 7 Untersuchungsjekt Büroanierung

### 7.1 Objektbeschreibung

In diesem Abschnitt wird die Sanierung neuer Büroräume in einer Etage eines großen Bürogebäudes in Berlin begleitet. Die Büroetage verfügt über keine Lüftungsanlage, weshalb nur ein manuelles Lüften über Öffnen der Fenster möglich ist. Im Vorfeld der Geruchsbewertung wird in zwei Räumen exemplarisch der Luftwechsel bestimmt. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse der Untersuchungen.

Abbildung 80: CO<sub>2</sub>-Konzentrationsabfall Raum 1 (Büroanierung)

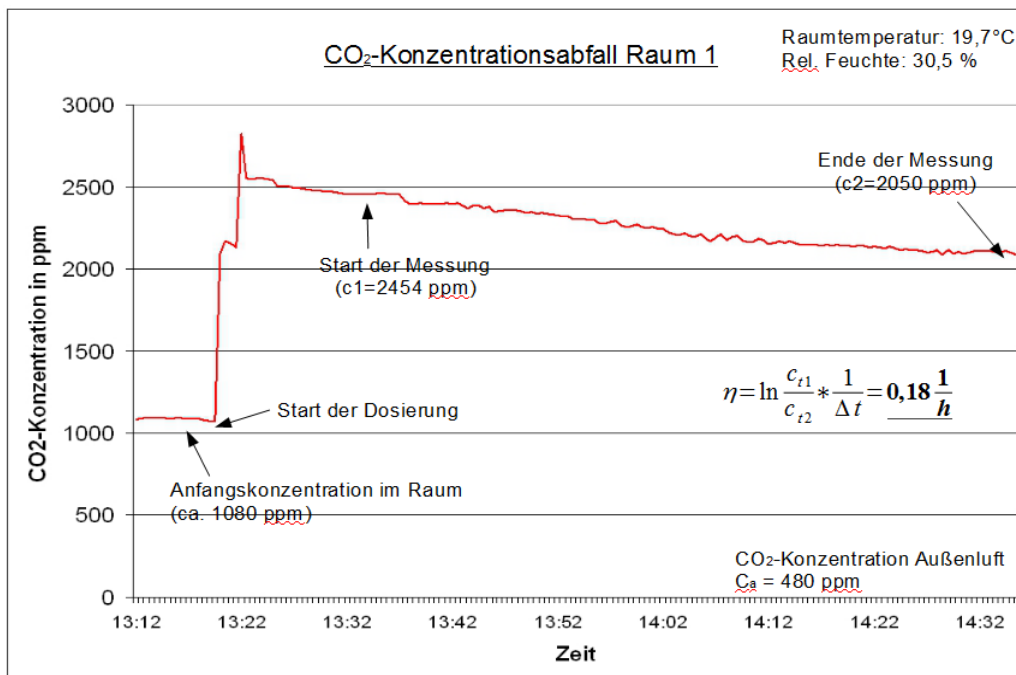
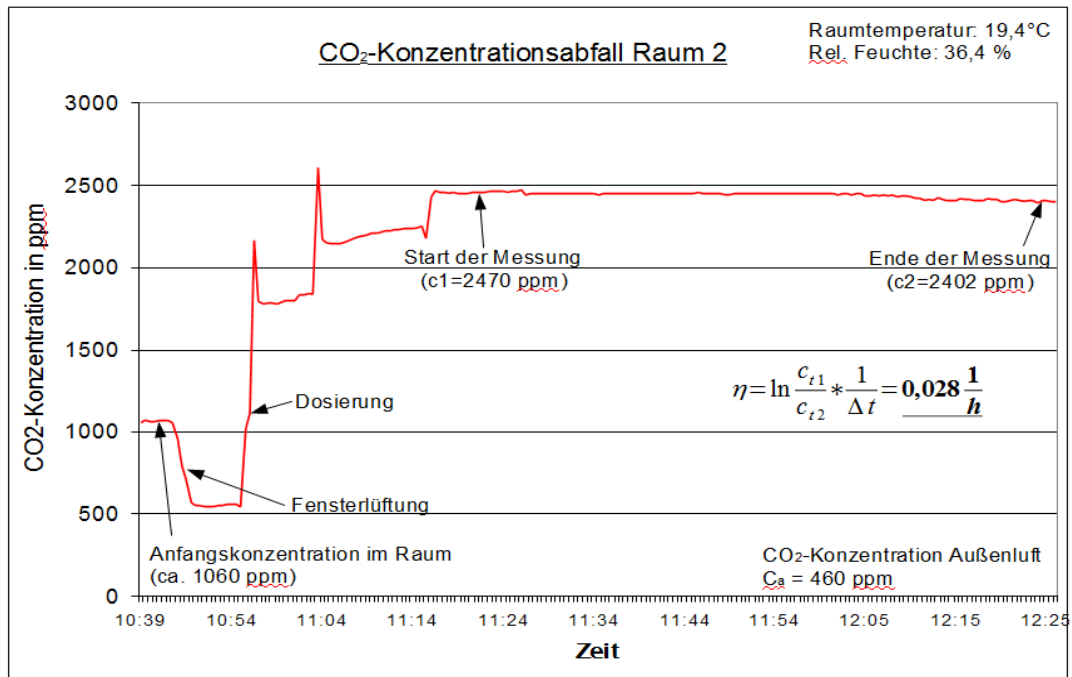


Abbildung 81: CO<sub>2</sub>-Konzentrationsabfall Raum 2 (Bürosanierung)



Als zu dosierende Konzentration des Indikatorgases CO<sub>2</sub> wurde etwa 2500 ppm gewählt. Wenn man beide Abbildungen vergleicht fällt auf, dass bei Raum 1 ein größerer Konzentrationsabfall zu verzeichnen ist. Dies könnte daran liegen, dass die Bürotür des Raums nicht so fest schließt wie die von Raum 2. Trotzdem sind beide Luftwechselraten mit 0,028 1/h und 0,18 1/h sehr gering und liegen unter der empfohlenen hygienischen Mindestluftwechselrate von 0,5 1/h.

## 7.2 Raumlufuntersuchung

Im Zuge der Sanierung der Büroetage werden sensorische sowie analytische Bewertungen nach bestimmten Bauabschnitten bzw. Nutzungszeiträumen durchgeführt. Als Bewertungsmethode kommt die Methode der Raumlufprobenahme mittels „AirProbe“ und einer anschließenden Bewertung im Luftqualitätslabor der HTW zur Anwendung, da eine Bewertung vor Ort aufgrund der Baumaßnahmen nicht möglich ist.

Die nachfolgende Tabelle zeigt einen Zeitplan der durchgeführten Untersuchungen:

Tabelle 19: Zeitplan Bürosanierung

Bauabschnitt	Datum	Bezeichnung
1	07.05.2013	Bewertung von 10 Raumlufproben nach dem Einbringen des Bodenestrichs
2	31.05.2013 14.06.2013	Bewertung von 10 Raumlufproben nach Einbringung des Bodenbelags (Teppich/Linoleum)

Bauabschnitt	Datum	Bezeichnung
3	10.07.2013	Bewertung von 10 Raumluchtproben nach Bezug der Büroräume (inkl. Einrichtung)
4	12.09.2013	Bewertung von 10 Raumluchtproben nach etwa zweimonatiger Nutzung
5	16.10.2013	Bewertung von 10 Raumluchtproben nach etwa dreimonatiger Nutzung

In Tabelle 20 werden die zu untersuchenden Räume und Besonderheiten an den Untersuchungstagen (Bauabschnitte) aufgeführt.

Tabelle 20: Raumübersicht (Bürosanierung)

Raum	Raumbeschreibung	BA1	BA2	BA3	BA4	BA5
1	Bürraum (14,5 m <sup>2</sup> )	Wände verputzt, keine Tür	leer (Teppich)	ungenutzt (Möbel)	ungenutzt (Möbel)	ungenutzt (Möbel)
2	Bürraum (33 m <sup>2</sup> )	keine Tür, Möbel, Kartons, Gipsplatten	leer (Teppich)	ungenutzt (Möbel)	ungenutzt (Möbel)	ungenutzt (Möbel)
3	Bürraum (29,5 m <sup>2</sup> )	leer, Wände verputzt	leer (Teppich)	genutzt (Möbel)	genutzt (Möbel)	ungenutzt (Möbel)
4	Bürraum (14,5 m <sup>2</sup> )	leer, Wände geputzt	leer (Teppich)	genutzt, (Möbel / Parfüm)	ungenutzt (Möbel)	genutzt (Möbel)
5	Bürraum (13,5 m <sup>2</sup> )	leer, Wände verputzt	leer (Teppich)	genutzt (Möbel / Parfüm)	genutzt, gelüftet (Möbel)	genutzt (Möbel)
6	Besprechungsraum (56 m <sup>2</sup> )	leer, keine Tür, gelüftet	leer (Teppich)	Lagerung von Möbeln	genutzt (Möbel)	nicht bewertet (unzugänglich)
7	Bürraum (29,5 m <sup>2</sup> )	keine Tür, frisch gestrichen	leer (Teppich)	ungenutzt (Möbel)	genutzt (Möbel)	genutzt
8	Bürraum (14,5 m <sup>2</sup> )	leer, gestrichen	leer (Teppich)	ungenutzt (Möbel)	ungenutzt (Möbel)	ungenutzt
9	Bürraum (14,5 m <sup>2</sup> )	leer, gestrichen	leer (Teppich)	ungenutzt (Möbel)	ungenutzt (Möbel)	ungenutzt, (Teppich)
10	Sportraum	nicht bewertet, (starker Putzgeruch)	leer (Linoleum)	ungenutzt, stickig (Linoleum)	ungenutzt, stickig (Linoleum)	ungenutzt, stickig (Linoleum)

BA1 und BA2 sind Bewertungen während der Baumaßnahmen. Bei BA1 sind die Räume teilweise frisch gestrichen, verputzt oder noch ohne Türen. Bei BA2 sind die Räume frisch mit Bodenbelägen (Teppich bzw. Linoleum) ausgestattet. Ab BA3 werden die Räumlichkeiten teilweise genutzt und teilweise Fremdgerüche festgestellt. In der Tabelle werden die Bezeichnungen „genutzt“ und „ungenutzt“ verwendet. „Genutzt“ bedeutet, dass sich am Tag der Untersuchung jemand im Raum aufhielt. „Ungenutzt“ heißt, dass am Untersuchungstag keine Personen vor und während der Probenahme im

Raum waren. Die Bezeichnungen in den Klammern beschreiben den Geruch der bei der Probenahme wahrgenommen wird.

Abbildung 82: Intensität Raumluf (Bürosanierung)

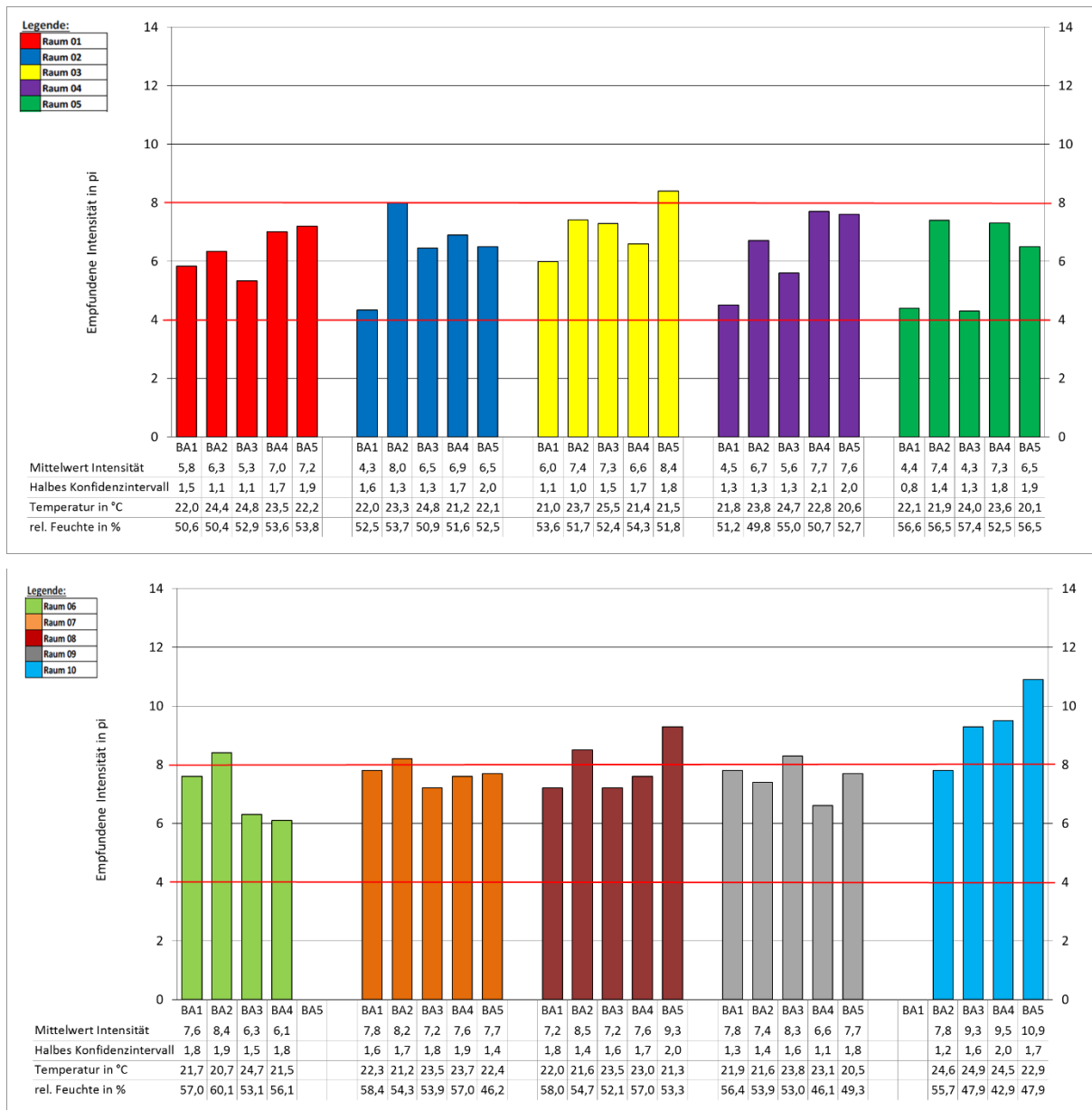


Abbildung 82 zeigt die empfundenen Intensitäten aller untersuchten Räume an den einzelnen Untersuchungstagen (BA1-BA5). Der Übersicht halber sind die Standardabweichungen und Konfidenzintervalle hier nicht graphisch dargestellt. Das halbe Konfidenzintervalle ist in der Datentabelle aufgeführt und wurde bei allen Untersuchungen eingehalten. Grundsätzlich steigt bei fast allen Räumen die Intensität nach dem 2. Bauabschnitt (BA2) etwas an, was auf das Einbringen des Bodenbelags hinweist. Bei BA3, also etwa ein Monat nach BA2, fallen die Intensitäten wieder etwas geringer aus. Ausnahme ist hier Raum 10, welcher mit Linoleum ausgestattet ist und im Vergleich zu den anderen Räumen die höchsten Intensitäten im Laufe des Untersuchungszeitraums aufweist. Ansonsten ändern sich die Intensitäten im Laufe des Untersuchungszeitraums nur noch geringfügig und liegen mit einigen Ausnahmen knapp im mittleren Raumlufqualitätsbereich (zwischen 6 und 8pi).

Abbildung 83: Hedonik Raumluf (Bürosanierung)



Abbildung 83 zeigt die Bewertungen der Hedonik der Raumlufuntersuchungen. Auch hier liegen die Werte hauptsächlich im mittleren Qualitätsbereich (zwischen 0 und -1). Analog zur Intensität wird auch hier bei Raum 10 (hellblau) am schlechtesten bewertet.

Ergänzend zu den Geruchsuntersuchungen werden auch die VOC- und Aldehyd-Konzentrationen in der Raumluf der Räume 1, 3, 5 und 8 gemessen. Die detaillierten Ergebnisse befinden sich im Anhang 7.2 (Tabellen 67 bis 74).

Während der Sanierungsarbeiten, nach Einbringen des Bodenestrichs (BA1) und des Bodenbelags (BA2) werden höhere Raumlufkonzentrationen gemessen. Da die Etage im Bürogebäude gerade saniert wird, sind diese Raumlufgehalte an TVOC nicht auffällig. Im BA 1 werden im Raum 5 TVOC-Werte von 475 µg/m<sup>3</sup> (über TÄ) und 575 µg/m<sup>3</sup> (Summe der einzelnen Werte) gemessen. Für die nachgewiesenen VOC Einzelstoffe gibt es zum Zeitpunkt der Untersuchung keine Richtwertüberschreitungen. Im Raum 8 werden TVOC-Werte von 530 µg/m<sup>3</sup> (über TÄ) und 610 µg/m<sup>3</sup> (Summe der



einzelnen Werte) gemessen. In diesem Raum liegt die Formaldehyd-Konzentration ( $147 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) über den Richtwert von  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Da in den Räumen 1 und 3 vor kurzem Sanierungsarbeiten durchgeführt wurden, scheint eine weitere Probenahme in diesen Räumen nicht angebracht zu sein.

Im BA2 werden in allen untersuchten Räumen die höchsten Raumluftkonzentrationen nachgewiesen. Im Raum 1 werden TVOC-Werte von  $1360 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (über TÄ) und  $1520 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Summe der einzelnen Werte) gemessen. Der RW I für einige Glykol-Verbindungen wird in diesem Raum überschritten. Die Formaldehyd-Konzentration im Raum 1 ist relativ hoch ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), aber noch unterhalb des Richtwertes von  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Im Raum 3 erreichen die TVOC-Werte  $1155 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (über TÄ) und  $1480 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Summe der einzelnen Werte). Der RW I für einige Glykol-Verbindungen wird auch in diesem Raum überschritten. Die Formaldehyd-Konzentration von  $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$  liegt unterhalb des Richtwertes. In den Räumen 5 und 8 sind die TVOC-Werte niedriger als in den ersten beiden Büros (5:  $660 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (TÄ) und  $850 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Summe der einzelnen Werte); 8:  $700 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (TÄ) und  $800 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Summe der einzelnen Werte)). Auch in diesen Räumen werden Überschreitungen des RW I für einige Glykol-Verbindungen festgestellt.

Generell korrelieren die höheren Raumluftkonzentrationen im BA2 mit einer Zunahme der Intensitätswerte, in einigen Räumen ist aber die Hedonik im BA1 schlechter bewertet.

Ab dem BA3 sinken die Raumluftkonzentrationen. Im Raum 5 werden sehr niedrige TVOC-Werte gemessen ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (über TÄ) und  $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Summe der einzelnen Werte)). Der Raum ist möbliert, seit ca. 2 Wochen in Nutzung und somit auch regelmäßig gelüftet. Bis kurz vor der Probenahme war das Fenster gekippt. Im Raum 8 sind die TVOC-Konzentrationen höher ( $570 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (über TÄ) und  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Summe der einzelnen Werte)), der Raum ist mit Möbel eingerichtet aber noch nicht in Benutzung, d.h. es wird auch nicht regelmäßig gelüftet. Daher sind diese Raumluftgehalte an TVOC nach einer Sanierung nicht auffällig. Für die nachgewiesenen Einzelstoffe gibt es im Raum 8 für die Stoffgruppe der Aldehyde (C4 bis C11, gesättigt, azyklisch, aliphatisch) zum Zeitpunkt der Untersuchung eine Überschreitung ( $143 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , DNPH-Methode) des RW I von  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Auffällig ist auch die Hexanal-Konzentration von  $94 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (DNPH-Methode), die auch zu der unangenehmen Geruchsempfindung beitragen kann (siehe auch Abbildung 82). Die Formaldehyd-Konzentration im Raum 8 ist mit  $85 \mu\text{g}/\text{m}^3$  noch relativ hoch.

Die TVOC-Konzentrationen sinken bis zum Ende des Untersuchungszeitraums auf unter  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und entsprechen der Stufe I ‚Hygienisch unbedenklich‘ des Leitwerte-Konzepts des Ausschusses für Innenraumrichtwerte. [15]

Abbildung 84 und Abbildung 85 zeigen den Verlauf von Formaldehyd, Acetaldehyd und Hexanal-Konzentrationen (gemessen mit der DNPH-Methode) in den Räumen 5 und 8 während des Untersuchungszeitraums. Die bereits erwähnten hohen Formaldehyd-Werten erreichen bis zum letzten Messtag Konzentrationen von ca.  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wobei beim Raum 8 noch einen starken Anstieg vom BA2 zum BA4 zu verzeichnen ist. Raum 8 ist bis zum letzten Untersuchungstag nicht genutzt und somit auch nicht regelmäßig gelüftet. In diesem Raum werden auch hohe Hexanal-Konzentrationen nachgewiesen, die im BA5  $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$  betragen. Hexanal ist eine geruchsaktive Substanz und kann zum Geruchseindruck beitragen. Im Raum 5 sind die Hexanal-Konzentrationen niedriger als im Raum 8 allerdings steigt die Konzentration kontinuierlich (bis  $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$  am letzten Untersuchungstag). Beim Acetaldehyd ist ein Anstieg der Raumluftkonzentration in beiden Räumen vom BA4 zum BA5 zu verzeichnen.

Abbildung 84: Verlauf der Aldehyd-Konzentrationen im Raum 5 (DNPH-Methode)

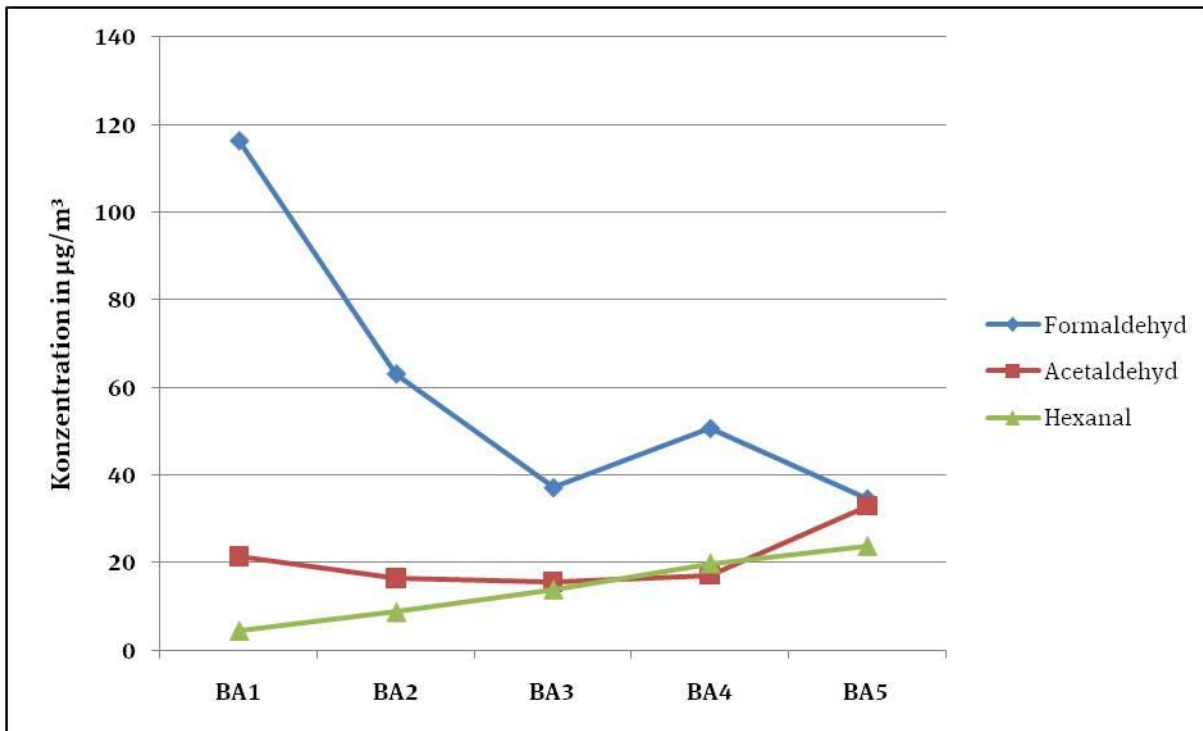
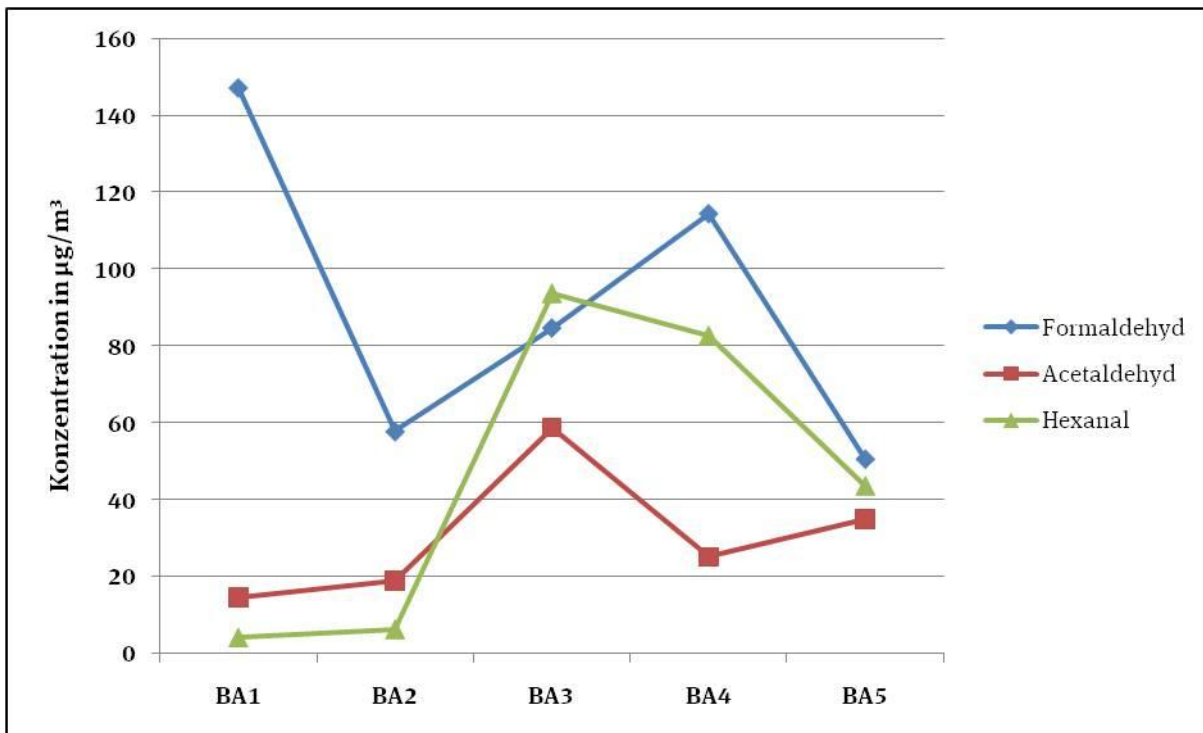


Abbildung 85: Verlauf der Aldehyd-Konzentrationen im Raum 8 (DNPH-Methode)

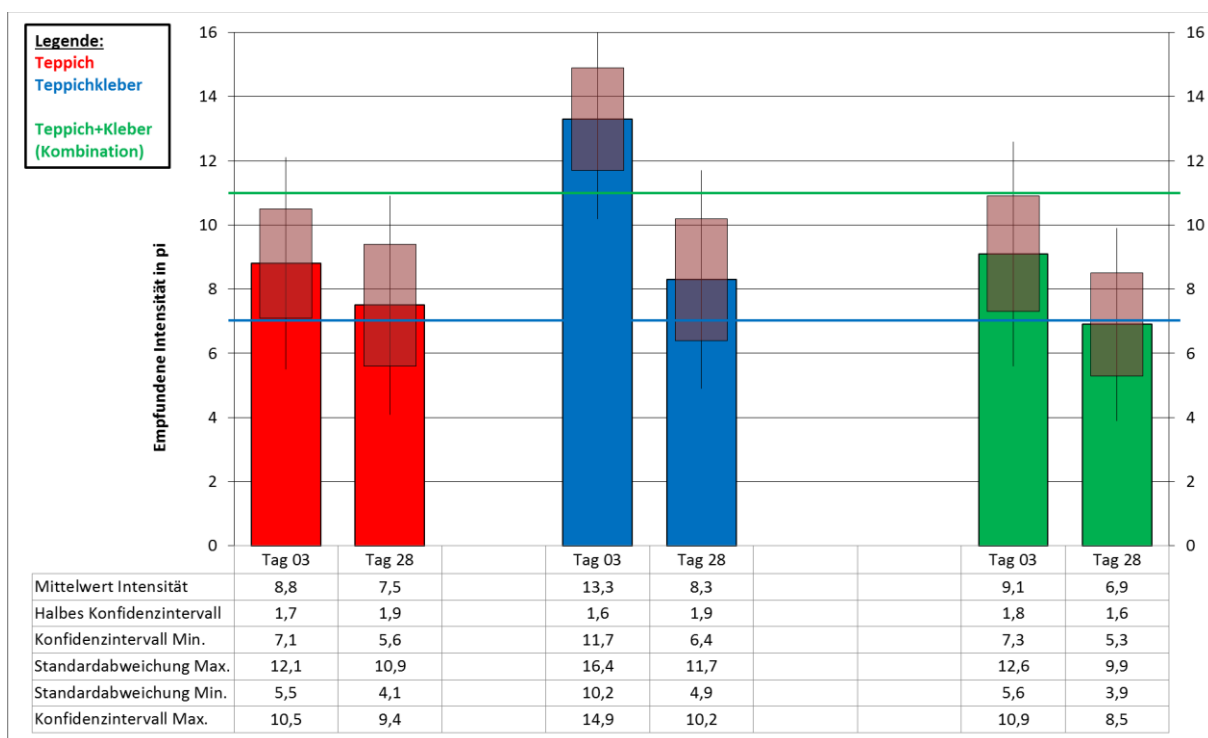


### 7.3 Produktuntersuchungen im Luftqualitätslabor

Auch bei diesem Untersuchungsobjekt werden eingesetzte Produkte in den Emissionskammern (CLIMPAQ) im Luftqualitätslabor eingebracht und bewertet. Hierbei werden der Teppichbelag, der dazugehörige Teppichkleber sowie die Kombination beider Produkte untersucht.

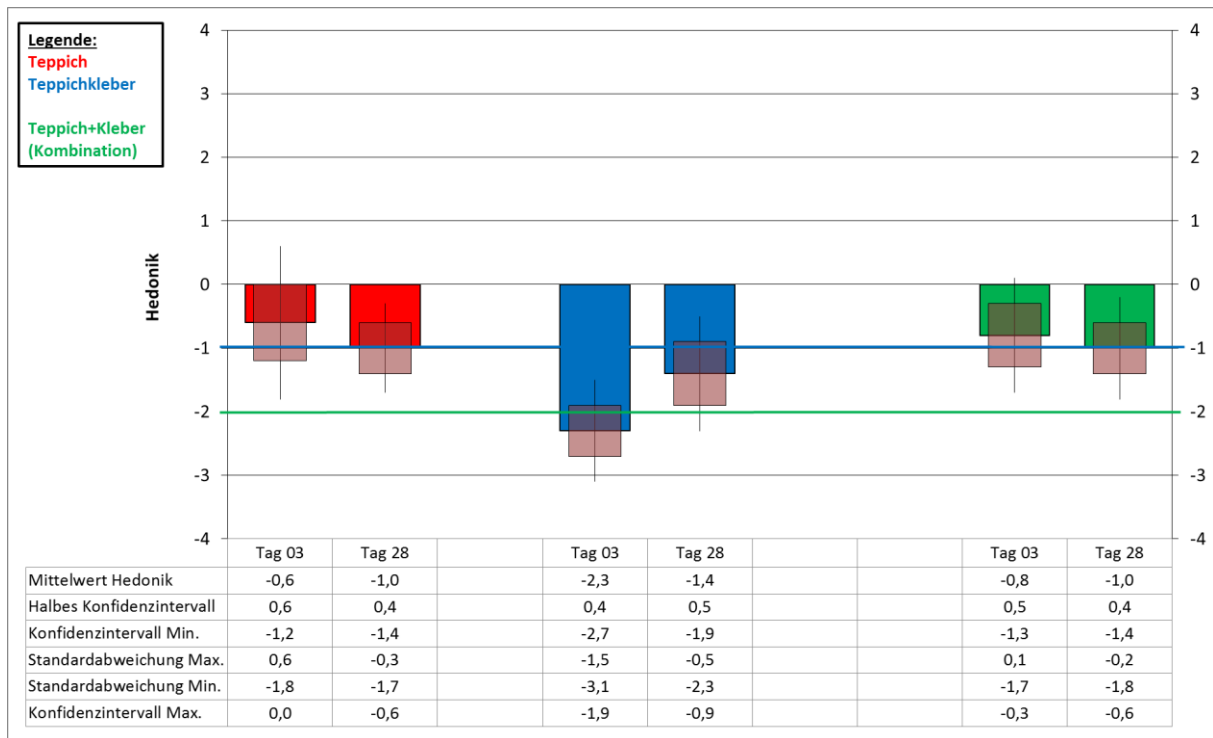
Abbildung 86 zeigt die hierbei ermittelten Intensitäten am Tag3 und Tag28 nach Einbringen der Produkte. Es fällt auf, dass der Teppichkleber (blau) am Tag3 eine sehr hohe Intensität mit etwa 13pi aufweist. Diese findet sich allerdings nicht in der Kombination (grün) der Produkte wieder. Dessen Intensität liegt mit etwa 9pi im Bereich des Teppichbelags (rot). Am Tag28 fällt auch die Intensität des Klebers herab. Der Teppichbelag hat eine Intensität von etwa 7pi und liegt damit auch hier im Bereich der Kombination. Somit scheint die Intensität der Kombination beider Produkte hauptsächlich vom Teppich beeinflusst zu werden.

Abbildung 86: Intensität Produkte (Bürosanierung)



Die Hedonikbewertung in Abbildung 87 untermauert diese Erkenntnis. Die etwas ungünstigen Bewertungen des Klebers schlagen sich nicht auf die Kombination nieder. Die Bewertungen der Kombination passen auch hier zu denen des Teppichbelags.

Abbildung 87: Hedonik Produkte (Bürosanierung)



Für die eingesetzten Materialien werden auch die VOC- und Aldehyd-Emissionen untersucht. Die detaillierten Ergebnisse sind im Anhang 7.3 (Tabellen 75-80) dargestellt. Die Produkte zeigen generell niedrige Emissionen am Tag28, sodass alle eine Prüfung in Anlehnung an das AgBB-Schema bestehen würden. Analog zu den Geruchsbewertungen werden einige nachgewiesene Substanzen bei der Emissionsmessung der Kombination (Teppich+Kleber) auch bei der Kammerbewertung des Teppichs gemessen (z.B. 4-Phenylcyclohexen, Alkanberg). Die Substanz 4-Phenylcyclohexen (typisch für Teppichemissionen) wird nach Einbringen des Teppichs in den Räumen in der Raumluft nachgewiesen.

## 7.4 Zwischenfazit

Bei den Raumluftuntersuchungen kann festgestellt werden, dass die untersuchten Räume grundsätzlich Intensitäten im mittleren Raumluftqualitätsbereich aufweisen. Größtes Problem der Räumlichkeiten ist die ausschließliche manuelle Lüftungsmöglichkeit. Besonders in ungenutzten Räumen (deren Luftwechsel liegen je Außenbedingungen bei um die 0,1 Luftwechsel je Stunde), die nicht regelmäßig gelüftet werden treten teilweise hohe Intensitäten auf. Auch können dort eventuell auftretende Geruchsbelästigungen aus Möbeln oder Bauprodukten dadurch nur schlecht abgeführt werden.

Es wurden sehr geringe Luftwechsel in den Räumen festgestellt. Dies führt dazu, dass egal welche Geruchsbelastungen oder auch andere Substanzen die in den Raum eingebracht werden nicht weggelüftet werden können. Diese Substanzen können nur über eine aktive Fensterbetätigung und der Lüftung über die Fenster beseitigt werden. Bei Nutzung der Räume ist zusätzlich zu den vorhandenen Emissionen auch mit einem schnellen Anstieg der CO<sub>2</sub> Konzentration zu rechnen. Ein Mensch gibt ca. 20l/h bei sitzender Tätigkeit an CO<sub>2</sub> ab.

Die Intensität-Bewertung der verwendeten Baumaterialien liegt am Tag 28 in etwa einem Bereich von 7 bis 8 pi. Die Kombination beider Produkte liegt im gleichen Bereich bei 7 pi. Diese Produkte sind nicht besonders geruchlich auffällig. Die Ergebnisse der Raumluftmessungen in den ausgewählten Büros zeigen am letzten Untersuchungstag unauffällige TVOC-Werte.

Außer Raum 8 werden alle Büros genutzt und somit während der Anwesenheit der Nutzer gelüftet. Allerdings werden in einigen Räumen, die aufgrund von längerer Abwesenheit (wegen Dienstreisen) ungenutzt bleiben, Geruchsbelästigungen verzeichnet. Wie bereits erwähnt ist, aufgrund des geringen Luftwechsels, die Abführung der Geruchsemissionen aus Bauprodukten oder Einrichtungsgegenständen erschwert. Einige geruchsaktive Aldehyde werden in Konzentrationen gemessen, bei denen eine Geruchswahrnehmung nicht ausgeschlossen werden kann.

## 8 Zusammenfassung/Ausblick

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurde die Innenraumluftqualität im Hinblick auf flüchtigen organischen Verbindungen VOC- und Gerüche in einigen energieeffizienten Gebäuden untersucht.

Ziel des ursprünglichen Forschungsvorhabens war es, die Innenraumluftqualität nach Einbau von Bauprodukten in energetisch sanierten Gebäuden am Beispiel des Dienstgebäudes Bismarckplatz des Umweltbundesamtes in Berlin zu untersuchen. Aufgrund der Verschiebung des Beginns der Sanierungsarbeiten am Dienstgebäude Bismarckplatz wurde eine Änderung der Leistungsbeschreibung vorgenommen. In der neuen Leistungsbeschreibung sind als Untersuchungsobjekte der Neubau des UBA „Haus 2019“ sowie eine zu sanierende Etage in einem Bürogebäude ausgesucht worden. Beide Objekte befinden sich in Berlin. In Ergänzung dazu wurden weitere olfaktorische Untersuchungen von verschiedenen Wand- sowie Fussbodenaufbauten in Prüfräumen am eco-STITUT in Köln durchgeführt. Bei den Raumluftuntersuchungen in den Versuchsräumen in den Objekten Bismarckplatz und am eco-STITUT in Köln wurde sowohl die direkte als auch indirekte Bewertungsmethode (AirProbe) angewandt. Beide Bewertungsmethoden zeigen hier vergleichbare Ergebnisse.

Im Rahmen dieses Projekts werden etwa 60 Einzelprodukte bzw. Kombinationen von Produkten olfaktorisch und analytisch im Luftqualitätslabor untersucht. Zusätzlich werden diese Produkte in Neubauten oder Sanierungen oder nachgestellten Sanierungen verwendet und in „realen Räumen“ bewertet. Viele der untersuchten Einzelprodukte erzielten sehr gute olfaktorische Bewertungen und die Mehrzahl der Produkte erfüllt somit die vorgeschlagenen Kriterien des Blauen Engels bzw. des AgBB-Schemas für die Geruchsbewertung. Des Weiteren liefern, die in diesem Projekt durchgeführten Produktbewertungen, eine sehr gute Datengrundlage für eine olfaktorische Produktdatenbank, welche in zukünftigen Projekten hilfreich sein kann. Damit lassen sich verschiedene Produkte miteinander vergleichen und die Auswahl von Bauprodukten hinsichtlich ihrer möglichen Geruchsbeeinträchtigung im Vorfeld von Baumaßnahmen erleichtern.

Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse dieses Projekts den Einfluss von Kombinationen verschiedener Einzelprodukte auf die empfundene Luftqualität auf. Die Bewertung der empfundenen Geruchsintensitäten von Einzelprodukten kann in der Bewertung der Produktkombinationen wiedergefunden werden.. Die dazugehörigen Emissionsmessungen zeigen ein ähnliches Verhalten. Der Vergleich von Raumluft- und Produktuntersuchungen in Kammern zeigt, dass Gerüche aus Bauprodukten in der Raumluft wiederzufinden sind bzw. beide Untersuchungen die gleichen Ergebnisse liefern.

Bei Messungen in realen Räumen muss berücksichtigt werden, dass es nicht immer möglich ist die Raumlufttemperatur und relative Feuchte wie im Labor einzustellen. Die Untersuchungen im Labor finden unter ständiger definierter Belüftung statt. Es kann also zu unterschiedlichen Versuchsbedingungen kommen. Daher sollten weitere Messungen gerade auch mit Kombinationen von Produkten durchgeführt werden, um die Datenbasis zu erhöhen und genauere Aussagen treffen zu können.

Die Messung der VOC- und Aldehyd-Konzentrationen zeigen am letzten Untersuchungstag in den Gebäuden oder Prüfräumen gute Ergebnisse. Die Auswahl der eingesetzten Produkte hat einen großen Einfluss auf die Ergebnisse. Während der Baumaßnahmen werden auch höhere Schadstoff-Konzentrationen in der Raumluft der beprobten Räume gemessen. Diese nehmen aber generell über den Untersuchungszeitraum ab. In ‚unbenutzten‘ Räume ist, aufgrund des niedrigen Luftwechsels, eine langsamere Abnahme der VOC- und Aldehyd-Konzentrationen zu verzeichnen. Hierzu muss im Rahmen eines Neubaus oder einer Sanierung dafür gesorgt werden, dass der empfohlene hygienische Mindestluftwechsel von 0,5 1/h erreicht wird.

Die eingesetzten Baumaterialien zeigen niedrige bis sehr niedrige Emissionen.

Die Ergebnisse zeigen, dass geruchlich unauffällige und emissionsarme Bauprodukte zu geruchlich unauffälligen und emissionsarmen Räumen führen können.

## 9 Quellenverzeichnis

- [1] DIN EN ISO 16000-28. 2012-12 Innenraumluftverunreinigungen – Teil 28: Bestimmung der Geruchsstoffemissionen aus Bauprodukten mit einer Emissionsprüfkammer (ISO 16000-28:2012); Berlin: Beuth-Verlag
- [2] DIN EN ISO 16000-30. 2015-05 Innenraumluftverunreinigungen – Teil 30: Sensorische Prüfung der Innenraumlufte (ISO 16000-30:2014), Berlin: Beuth-Verlag
- [3] VDI 4302 Blatt 1, (2015/04), Geruchsprüfung von Innenraumluft und Emissionen aus Innenraummaterialien - Grundlagen, Verein der Ingenieure e.V., Düsseldorf
- [4] 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, <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3197.pdf> (Abrufdatum: 21.01.2015)
- [5] Müller B, Horn W, Panaskova J et al. (2011): Sensorische Bewertung der Emissionen aus Bauprodukten – Integration in die Vergabegrundlagen für den Blauen Engel und das AgBB-Schema. Texte Nr. 35/2011. Umweltbundesamt. <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/sensorische-bewertung-emissionen-aus-bauprodukten> (Abrufdatum: 21.01.2015)
- [6] Müller, B.: Entwicklung eines Gerätes zur Entnahme und Darbietung von Luftproben zur Bestimmung der empfundenen Luftqualität, Fortschritt-Berichte VDI, Düsseldorf: VDI-Verlag, 2002
- [7] DIN EN ISO 16000-9. 2008-04 Innenraumluftverunreinigungen - Teil 9: Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen aus Bauprodukten und Einrichtungsgegenständen - Emissionsprüfkammer-Verfahren (ISO 16000-9:2006); Berlin: Beuth-Verlag
- [8] Fang, L.: Impact of Temperature and Humidity on Perceived Indoor Air Quality, Dissertation, Technische Universität von Dänemark, 1997
- [9] Fang, L.; Clausen, G.; Fanger, P.O.: Impact of Temperature and Humidity on the Perception of Indoor Air Quality, Indoor Air, Volume 8, Issue 2, pages 80–90, 1998
- [10] Böttcher, O.: Experimentelle Untersuchungen zur Berechnung der empfundenen Luftqualität, Dissertation, Technische Universität Berlin, 2003
- [11] Kerka, W.F.; Humphreys, C.M.: Temperature and humidity effect on odour perception, ASHRAE Transactions 62 (1956), pp. 531–552
- [12] DIN ISO 16000-6:2011 Innenraumluftverunreinigungen – Teil 6: Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern, Probenahme auf Tenax TA®, thermische Desorption und Gaschromatographie mit MS oder MS-FID (ISO 16000-6:2011); Berlin: Beuth-Verlag
- [13] DIN ISO 16000-3:2011 Innenraumluftverunreinigungen – Teil 3: Messen von Formaldehyd und anderen Carbonylverbindungen in der Innenraumluft und in Prüfkammern – Probenahme mit einer Pumpe (ISO 16000-3:2011); Berlin: Beuth-Verlag
- [14] VDI 4300 Blatt 7, (2001/07) Messen von Innenraumluftverunreinigungen, Bestimmung der Luftwechselzahl in Innenräumen, Verein der Ingenieure e.V., Düsseldorf
- [15] Webseite des Umweltbundesamts - Ausschuss für Innenraumrichtwerte (Vormals Ad-hoc-Arbeitsgruppe) <http://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/ausschuss-fuer-innenraumrichtwerte-vormals-ad-hoc> (Abrufdatum: 25.01.2015)
- [16] Prüfberichte und -unterlagen vom eco-INSTITUT Germany GmbH, Köln, Alexandra Kühn, 2013



