

TEXTE

92/2019

# Emissions- und geruchsarme Bauprodukte für energieeffiziente Gebäude – Entwicklung von Anforderungen und Konzepten für den Blauen Engel aus Klimaschutzsicht

Abschlussbericht



TEXTE 92/2019

Umweltforschungsplan des  
Bundesministeriums für Umwelt,  
Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3713 95318  
UBA-FB 00276

## **Emissions- und geruchsarme Bauprodukte für energieeffiziente Gebäude – Entwicklung von Anforderungen und Konzepten für den Blauen Engel aus Klimaschutzsicht**

Abschlussbericht

von

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

Dr. Oliver Jann, Dr. Wolfgang Horn, Dipl.-Ing. Laura Brosig  
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

# Impressum

**Herausgeber:**

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

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

**Durchführung der Studie:**

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

**Abschlussdatum:**

März 2017

**Redaktion:**

Fachgebiet III 1.4 Stoffbezogene Produktfragen  
Dr. Frank Brozowski

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, August 2019

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

## Kurzbeschreibung

Menschen, die in der gemäßigten Klimazone leben, verbringen bis zu 90% ihres Lebens in Innenräumen. Deshalb hat das Innenraumklima eine sehr große Bedeutung für deren Wohlergehen, Gesundheit und Leistungsfähigkeit. In Deutschland wird ca. 40% der eingesetzten Primärenergie für das Heizen, Kühlen und Klimatisieren der Innenräume verwendet.

Das Forschungsvorhaben hat eine Laufzeit vom Oktober 2013 bis März 2017. Es wird in Kooperation mit der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) und der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (HTW Berlin) durchgeführt. Die HTW Berlin koordiniert das Projekt. Die Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTH) wird teilweise über einen Auftrag in das Projekt integriert.

Ziel des Projektes ist es Baustoffe auf ihre Geruchsemissionen zu untersuchen, um Bauprodukte mit niedrigen Emissionen und Gerüchen identifizieren zu können. Den Verbraucherinnen und Verbrauchern wird somit die Möglichkeit gegeben emissions- und geruchsarme Baustoffe zu wählen.

Die Aufgabenstellung des Projektes ist nachfolgend aufgeführt:

- ▶ Arbeitspaket 1: Geruchsmessung bei Produkten mit dem Blauen Engel (siehe Kapitel 4 und 5);
- ▶ Arbeitspaket 2: Untersuchung von Vergleichsmaßstäben (siehe Kapitel 6);
- ▶ Arbeitspaket 3: Untersuchung der Linearität der Acetonskala (siehe Kapitel 7);
- ▶ Arbeitspaket 4: Erstellung einer Produktdatenbank (siehe Kapitel 8).

Die Geruchsuntersuchung ist in den Vergabekriterien für den „Blauen Engel“ für textile Bodenbeläge (RAL UZ-128) eingebunden worden. Aus den weiteren Untersuchungen sind für die Normung wichtige Erkenntnisse erarbeitet worden.

## Abstract

People living in the temperate climate spend up to 90% of their lives in indoor areas. This is why the indoor climate is of great importance for their well-being, health and performance. In Germany, about 40% of the primary energy is used for heating, cooling and air-conditioning indoor spaces.

The research project ran from October 2013 to March 2017 and was carried out in cooperation between the Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) and the Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (University of Applied Sciences, HTW Berlin). HTW Berlin coordinated the project. The Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTH Aachen University) is partly included into the project through a contract.

The aim of the project is to test building materials for their odour emissions in order to identify building products with low emissions and odours. The consumers are thus given the opportunity to choose low-emission and low-odour building materials.

The project tasks were as follows:

- ▶ Work package 1: Odour measurement for products with the Blue Angel (see Sections 4 and 5);
- ▶ Work package 2: Investigation of comparative scales (see Section 6);
- ▶ Work package 3: Investigation of the acetone scale's linearity (see Section 7);
- ▶ Work package 4: Creating a product database (see Section 8).

Odour investigation has been included in the award criteria for the "Blue Angel" for textile floor coverings (RAL UZ-128). Further investigations have provided important findings for standardisation.

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	7
Tabellenverzeichnis .....	11
Abkürzungsverzeichnis .....	12
Zusammenfassung.....	13
Summary.....	22
1 Einleitung und Zielsetzung des Forschungsvorhabens .....	31
2 Aufgabenstellung .....	32
2.1 Erkenntnisstand zu Projektbeginn .....	32
2.2 Notwendigkeit .....	32
2.3 Arbeitspakete.....	33
3 Grundlagen .....	35
3.1 Sensorische Untersuchungen .....	35
3.1.1 Intensität .....	35
3.1.2 Hedonik .....	37
3.1.3 Genauigkeit der Bewertungen .....	37
3.1.4 Versuchsbeschreibung - Geruchsbewertungen von Innenraummaterialien .....	38
3.1.5 Einfluss von Temperatur und Feuchte .....	41
3.2 Analytische Untersuchungen .....	42
4 Untersuchungen - Textile Bodenbeläge .....	44
4.1 Produkte des ersten Herstellers .....	45
4.2 Produkte des zweiten Herstellers.....	47
4.3 Produkte des dritten Herstellers .....	48
4.4 Produkte des vierten und fünften Herstellers .....	50
4.5 Produkte Hersteller 6.....	51
4.6 Produkte des siebenten Herstellers.....	53
4.7 Vergleich der Ergebnisse.....	54
4.8 Ergebnisse VOC.....	56
4.9 Gemeinsame Untersuchungen HTW Berlin/RWTH/GUT.....	59
4.10 Zusammenfassung / Ausblick .....	64
5 Untersuchungen - Elastische Bodenbeläge .....	65
5.1 Produkte des ersten Herstellers .....	65
5.2 Produkte des zweiten Herstellers.....	67
5.3 Produkte des dritten Herstellers .....	68
5.4 Produkte des vierten Herstellers .....	69
5.5 Produkte des fünften Herstellers.....	70

5.6	Produkte des sechsten Herstellers .....	72
5.7	Produkte der Hersteller sieben und acht.....	73
5.8	Vergleich der Ergebnisse.....	74
5.9	Langzeituntersuchung.....	76
5.10	Ergebnisse VOC.....	78
5.11	Zusammenfassung / Ausblick .....	82
6	Untersuchung verschiedener Vergleichsmaßstäbe .....	83
7	Untersuchung der Linearität der Acetonskala.....	90
7.1	Einleitung .....	90
7.2	Versuchsbeschreibung.....	91
7.3	Versuchsergebnisse .....	93
7.4	Schlussfolgerungen der Ergebnisse .....	98
8	Datenbank.....	99
8.1	Eingabemaske für neue Daten.....	99
8.2	Filterfunktionen .....	100
8.3	Messprotokoll .....	100
8.4	Graphischer Vergleich der Bewertungsergebnisse verschiedener Produkte.....	101
9	Zusammenfassung/Ausblick .....	103
10	Quellenverzeichnis.....	105

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Konstruktionsprinzip des Vergleichsmaßstabs [Quelle: eigene Darstellung, <i>HTW Berlin</i> ]	36
Abbildung 2:	Vergleichsmaßstab im Luftqualitätslabor der HTW Berlin [Quelle: eigene Darstellung, <i>HTW Berlin</i> ]	37
Abbildung 3:	Hedonikskala [Quelle: eigene Darstellung, <i>HTW Berlin</i> ]	37
Abbildung 4:	Beispielhafte Darstellung für die empfundene Intensität [Quelle: eigene Darstellung, <i>HTW Berlin</i> ]	38
Abbildung 5:	LQ-Labor HTW Berlin [Quelle: eigene Darstellung, <i>HTW Berlin</i> ]	39
Abbildung 6:	CLIMPAQ-Emissionskammer [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]	40
Abbildung 7:	Vorgeschlagene sensorische Prüfwerte für den Blauen Engel [15]	41
Abbildung 8:	Vorgeschlagene sensorische Prüfwerte für das AgBB-Schema [15]	41
Abbildung 9:	TENAX® Röhrchen für die Adsorption von VOC [Quelle: eigene Darstellung, <i>BAM</i> ]	42
Abbildung 10:	Fotos - Beladung textile Bodenbeläge [Quelle: eigene Darstellung, <i>HTW Berlin</i> ]	44
Abbildung 11:	Empfundene Intensitäten Hersteller 1 (textile Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, <i>HTW Berlin</i> ]	46
Abbildung 12:	Hedonik Hersteller 1 (textile Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, <i>HTW Berlin</i> ]	46
Abbildung 13:	Empfundene Intensitäten Hersteller 2 (textile Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, <i>HTW Berlin</i> ]	47
Abbildung 14:	Hedonik Hersteller 2 (textile Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, <i>HTW Berlin</i> ]	48
Abbildung 15:	Empfundene Intensitäten Hersteller 3 (textile Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, <i>HTW Berlin</i> ]	49
Abbildung 16:	Hedonik Hersteller 3 (textile Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, <i>HTW Berlin</i> ]	49
Abbildung 17:	Empfundene Intensitäten Hersteller 4+5 (textile Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, <i>HTW Berlin</i> ]	50
Abbildung 18:	Hedonik Hersteller 4+5 (textile Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, <i>HTW Berlin</i> ]	51
Abbildung 19:	Empfundene Intensitäten Hersteller 6 (textile Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, <i>HTW Berlin</i> ]	52
Abbildung 20:	Hedonik Hersteller 6 (textile Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, <i>HTW Berlin</i> ]	52
Abbildung 21:	Empfundene Intensitäten Hersteller 7 (textile Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, <i>HTW Berlin</i> ]	53



Abbildung 22:	Hedonik Hersteller 7 (textile Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin] .....	54
Abbildung 23:	Zusammenfassung - empfundenen Intensitäten aller Produkte (textile Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin].....	54
Abbildung 24:	Zusammenfassung – Hedonik aller Produkte (textile Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin] .....	55
Abbildung 25:	Übersicht nach Zusammensetzung – empfundene Intensität (textile Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin].....	56
Abbildung 26:	TVOC-Werte der AgBB-Auswertung der textilen Bodenbeläge am 3. und 28. Tag (rote Linie: Grenzwert 28. Tag UZ 128 = 100 µg/m <sup>3</sup> ) [Quelle: eigene Darstellung, BAM] .....	57
Abbildung 27:	Konzentrationen von Essigsäure und Caprolactam der textilen Bodenbeläge [Quelle: eigene Darstellung, BAM] .....	57
Abbildung 28:	R-Werte der AgBB-Auswertung der textilen Bodenbeläge [Quelle: eigene Darstellung, BAM] .....	58
Abbildung 29:	Gegenüberstellung Intensität/wichtige VOC's am 28ten Tag [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin].....	59
Abbildung 30:	Notenskala GUT-Prüfung [23].....	60
Abbildung 31:	Vergleich der Bewertungen der Intensitäten [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin] .....	62
Abbildung 32:	Vergleich der Bewertungen der Hedonik [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin].....	63
Abbildung 33:	Gegenüberstellung Intensität/TVOC [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin].....	63
Abbildung 34:	Empfundene Intensität Hersteller 1 (elastische Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin].....	66
Abbildung 35:	Hedonik Hersteller 1 (elastische Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin] .....	66
Abbildung 36:	Empfundene Intensität Hersteller 2 (elastische Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin].....	67
Abbildung 37:	Hedonik Hersteller 2 (elastische Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin] .....	68
Abbildung 38:	Empfundene Intensität Hersteller 3 (elastische Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin].....	68
Abbildung 39:	Hedonik Hersteller 3 (elastische Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin] .....	69
Abbildung 40:	Empfundene Intensität Hersteller 4 (elastische Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin] .....	69
Abbildung 41:	Hedonik Hersteller 4 (elastische Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin] .....	70
Abbildung 42:	Empfundene Intensität Hersteller 5 (elastische Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin].....	71

Abbildung 43:	Hedonik Hersteller 5 (elastische Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin] .....	71
Abbildung 44:	Empfundene Intensität Hersteller 6 (elastische Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin].....	72
Abbildung 45:	Hedonik Hersteller 6 (elastische Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin] .....	73
Abbildung 46:	Empfundene Intensität Hersteller 7 und 8 (elastische Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin].....	73
Abbildung 47:	Hedonik Hersteller 7 und 8 (elastische Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin] .....	74
Abbildung 48:	Zusammenfassung - Empfundene Intensität (elastische Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin].....	75
Abbildung 49:	Zusammenfassung - Hedonik (elastische Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin].....	75
Abbildung 50:	Empfundene Intensitäten – Langzeitmessung elastische Bodenbeläge [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin].....	77
Abbildung 51:	Hedonik – Langzeitmessung elastische Bodenbeläge [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin] .....	78
Abbildung 52:	TVOC-Werte der AgBB-Auswertung der elastischen Bodenbeläge am 3. und 28. Tag (rote Linie: Grenzwert UZ 120 = 300 µg/m <sup>3</sup> ) [Quelle: eigene Darstellung, BAM].....	79
Abbildung 53:	R-Werte der AgBB-Auswertung der elastischen Bodenbeläge am 3. und 28. Tag, das Inset zeigt die gleichen Daten nur mit einer vergrößerten Achsenskalierung [Quelle: eigene Darstellung, BAM].....	80
Abbildung 54:	Σ-nicht-NIK-Werte der AgBB-Auswertung der elastischen Bodenbeläge am 3. und 28. Tag (Grenzwert UZ 120: 100 µg/m <sup>3</sup> am 28. Tag, rote Linie) [Quelle: eigene Darstellung, BAM] .....	81
Abbildung 55:	Gegenüberstellung Intensität/ TVOC's am 28ten Tag [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin] .....	81
Abbildung 56:	Vergleichsmaßstab HTW Berlin (links Frontalansicht, rechts Seitenansicht) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin] .....	83
Abbildung 57:	Mittelwerte der dargebotenen Acetonkonzentrationen (Vergleichsmaßstab 1) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin].....	85
Abbildung 58:	Mittelwerte der dargebotene Acetonkonzentrationen (Vergleichsmaßstab 2) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin].....	86
Abbildung 59:	Mittelwerte der dargebotene Acetonkonzentrationen (Vergleichsmaßstab 3) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin].....	87
Abbildung 60:	Mittelwerte der dargebotenen Acetonkonzentration (Vergleichsmaßstab 4) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin].....	88
Abbildung 61:	Mittelwerte der dargebotenen Acetonkonzentration (aller Vergleichsmaßstäbe) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin] .....	89

Abbildung 62:	Qualitativer Zusammenhang zwischen Reiz- und Empfindungsintensität (angelehnt an [26]).....	90
Abbildung 63:	Schematische Darstellung der Trichter bei den Mittenversuchen, mit einem Intensitätspaarbeispiel, Trichter A mit 0 pi und Trichter B mit 4 pi [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin] .....	92
Abbildung 64:	Ergebnisse der Mittenversuche – Phase 1 [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin] .....	94
Abbildung 65:	Ergebnisse der Mittenversuche – Phase 2 [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin] .....	96
Abbildung 66:	Ergebnisse der Mittenversuche – Phase 1 und 2 [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin] .....	97
Abbildung 67:	Datenbank – Eingabemaske [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin] .....	99
Abbildung 68:	Datenbank – Filterfunktion [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin].....	100
Abbildung 69:	Datenbank – Messprotokoll [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin] .....	101
Abbildung 70:	Datenbank – graphischer Vergleich der Ergebnisse [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin] .....	102

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht der untersuchten Produkte .....	45
Tabelle 2:	Unterschiede der Prüfbedingungen .....	60
Tabelle 3:	Produktübersicht gemeinsame Bewertung HTW Berlin/RWTH/GUT .....	61
Tabelle 4:	Produktübersicht elastische Bodenbeläge .....	65
Tabelle 5:	Zeitplan der Langzeitmessungen .....	76
Tabelle 6:	Zusammenfassung - Unterschiede der untersuchten Vergleichsmaßstäbe .....	84
Tabelle 7:	Ergebnisübersicht der Mittenversuche Phase 1 .....	95
Tabelle 8:	Ergebnisübersicht der Mittenversuche Phase 2 .....	96

## Abkürzungsverzeichnis

<b>4-PCH</b>	Phenylcyclohexene
<b>AgBB</b>	Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten
<b>AirProbe</b>	Probendarbietungseinrichtung für Geruchsproben
<b>CLIMPAQ</b>	chamber of laboratory investigations of materials, population and air quality
<b>DIBt</b>	Deutsches Institut für Bautechnik
<b>DIN</b>	Deutsches Institut für Normung
<b>GUT</b>	Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden e. V.
<b>HTW Berlin</b>	Hochschule für Technik und Wirtschaft (Berlin)
<b>IP</b>	Intensitätspaar
<b>ISO</b>	Internationale Organisation für Normung
<b>KAS</b>	Kaltaufgabesystem
<b>LQ</b>	Luftqualität
<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>PA</b>	Polyamid
<b>PAD</b>	photoacoustic detector
<b>PES</b>	<u>Polyethersulfon</u>
<b>PID</b>	photoionization detector
<b>PP</b>	Polypropylen
<b>RAL</b>	Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e. V.
<b>R-Wert</b>	Risikofaktor im AgBB-Schema, die Summe aller Quotienten aus den Einzelkonzentrationen pro NIK-Wert der VOC
<b>RWTH</b>	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
<b>TDS</b>	Thermodesorption
<b>TFI</b>	Institut für Bodensysteme an der RWTH Aachen e.V.
<b>TVOC</b>	Summe flüchtige organische Verbindungen
<b>UBA</b>	Umweltbundesamt
<b>VDI</b>	Verein Deutscher Ingenieure
<b>VGM</b>	Vergleichsmaßstab
<b>VOC</b>	flüchtige organische Verbindungen

## Zusammenfassung

### Einleitung und Aufgabenstellung

Menschen, die in der gemäßigten Klimazone leben, verbringen bis zu 90% ihres Lebens in Innenräumen. Deshalb hat das Innenraumklima eine sehr große Bedeutung für deren Wohlergehen, Gesundheit und Leistungsfähigkeit. In Deutschland wird ca. 40% der eingesetzten Primärenergie für das Heizen, Kühlen und Klimatisieren der Innenräume verwendet. Es ist sicher, dass der Bedarf an Kühlenergie deutschlandweit aber auch weltweit stark ansteigen wird. Eine Änderung des Klimas würde diesen Trend verstärken.

Bauprodukte haben bei der Beeinflussung des Innenraumklimas eine wichtige Bedeutung, da sie zum einen flächig eingebracht sind und die Nutzenden keinen bzw. kaum einen Einfluss auf die Abgabe an VOC-Emissionen und Geruchsstoffen haben.

Um eine gute Luftqualität in Gebäuden zu erreichen, müssen Luftverschmutzungen durch Lüften aus den Räumen abgeführt oder vermieden bzw. verringert werden. Um die Luftverschmutzungen und deren Wirkung auf die Raumnutzerinnen und -nutzer über das Geruchsempfinden zu verringern, ist neben einer messtechnischen Erfassung der Verunreinigungen auch eine sensorische Prüfung in Innenräumen und von Bauprodukten notwendig. Die aktuellen Untersuchungen haben gezeigt, dass die gemessenen Emissionen der untersuchten Produkte gering sind. Im Vergleich zu den Vorgängerprojekten nehmen die Werte sogar deutlich ab, daher wird es umso wichtiger, die Geruchsbewertung mit in die Prüfung zum „Blauen Engel“ aufzunehmen. Wird der Luftwechsel verringert, verschlechtert sich die Raumluftqualität, und die Zufriedenheit der Nutzerinnen und Nutzer nimmt ab. An Arbeitsplätzen kann es bei schlechter Luftqualität und der daraus resultierenden Unzufriedenheit zu einer geringeren Produktivität der Beschäftigten kommen [1], [2].

Der Geruch im Innenraum hat so einen wesentlichen Einfluss auf das Lüftungsverhalten der Nutzenden und somit auf den Energiebedarf eines Gebäudes. Im Gegensatz zu internationalen Normen zur Auslegung von raumluftechnischen Anlagen wird in den Richtlinien zur Berechnung der Heizlast DIN EN 12831 oder bei der energetischen Bewertung von Gebäuden DIN V 18599 dieses zusätzliche Lüften aufgrund einer geruchlichen Belastung nicht betrachtet. Luftqualität ist somit ein gesundheitlicher und auch wirtschaftlicher Aspekt, der zunehmend berücksichtigt werden sollte.

Bisher ist im AgBB-Schema eine Vorstufe der genormten sensorischen Prüfung verankert (abgeleitet aus den Forschungsvorhaben FKZ 202 63 320 und FKZ 370762300). Dieses Verfahren befindet sich jetzt in der Erprobungsphase.

Im Rahmen des Vorhabens wird auf den Ergebnissen des Forschungsprojekts „Sensorische Bewertung der Emissionen aus Bauprodukten – Blauer Engel und Bewertungsschema des Ausschusses zur gesundheitlichen Gefährdung von Bauprodukten“ (FKZ 3707 62 300) aufgebaut. Das dort erarbeitete Verfahren soll zur Anwendung gelangen.

Ziel des Projektes ist es, Baustoffe auf ihre Geruchsemissionen zu untersuchen, um Bauprodukte mit niedrigen Emissionen und Gerüchen identifizieren zu können. Den Verbraucherinnen und Verbrauchern wird somit die Möglichkeit gegeben emissions- und geruchsarme Baustoffe zu wählen.

Die Aufgabenstellung des Projektes ist nachfolgend aufgeführt. Im Laufe des Projektes haben sich aufgrund der Weiterentwicklung im Forschungsthema die Ausrichtungen der Fragestellungen verändert. So wurde die Aufmerksamkeit weg von Produktkombinationen hin zu textilen und elastischen Bodenbelegen gelenkt. Zusätzlich ist das Thema der Linearität der Acetonskala in den Vordergrund der Untersuchungen gerückt, so dass folgende Ziele im Projekt bearbeitet wurden (eine genauere Darstellung der Ziele erfolgt in Kapitel 2.3):

- ▶ Arbeitspaket 1: Geruchsmessung bei Produkten mit dem Blauen Engel (siehe Kapitel 4 und 5);
- ▶ Arbeitspaket 2: Untersuchung von Vergleichsmaßstäben (siehe Kapitel 6);
- ▶ Arbeitspaket 3: Untersuchung der Linearität der Acetonskala (siehe Kapitel 7);
- ▶ Arbeitspaket 4: Erstellung einer Produktdatenbank (siehe Kapitel 8).

Die Ergebnisse sollen dazu dienen, das Verfahren und die dazugehörigen Normen und Richtlinien zu validieren und bei Bedarf zu optimieren. Zusätzlich sollen die gesundheitlichen Belastungen durch geruchliche Emissionen aus Bauprodukten gesenkt werden, um Verbraucherinnen und Verbraucher zu schützen.

Mit der Einführung der Geruchsbewertung in die Vergabekriterien des Umweltzeichens des „Blauen Engels“, erhalten Verbraucherinnen und Verbraucher die Möglichkeit, gezielt gesundheitlich unbedenkliche und geruchsarme Baustoffe auszuwählen.

**Arbeitspaket 1: Geruchsmessung bei Produkten mit dem Blauen Engel** (siehe Kapitel 4 und 5)

Im Arbeitspaket 1 werden insgesamt 22 textile Bodenbeläge von 7 verschiedenen Herstellern untersucht. Tabelle 1 in Kapitel 4 zeigt eine Übersicht aller untersuchten textilen Bodenbeläge und gibt einen groben Überblick über die Zusammensetzung der Nutzschicht und des Belagsrückens. Zusätzlich werden im nächsten Schritt (Kapitel 5 und Tabelle 4) 16 elastische Bodenbeläge von 8 Herstellern untersucht. Nachfolgend werden die Zusammenfassungen der Intensitätsbewertungen der Produkte und der ermittelten TVOC -Werte dargestellt.

Abbildung Z1: Zusammenfassung der empfundenen Intensitäten der textilen Bodenbeläge [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]

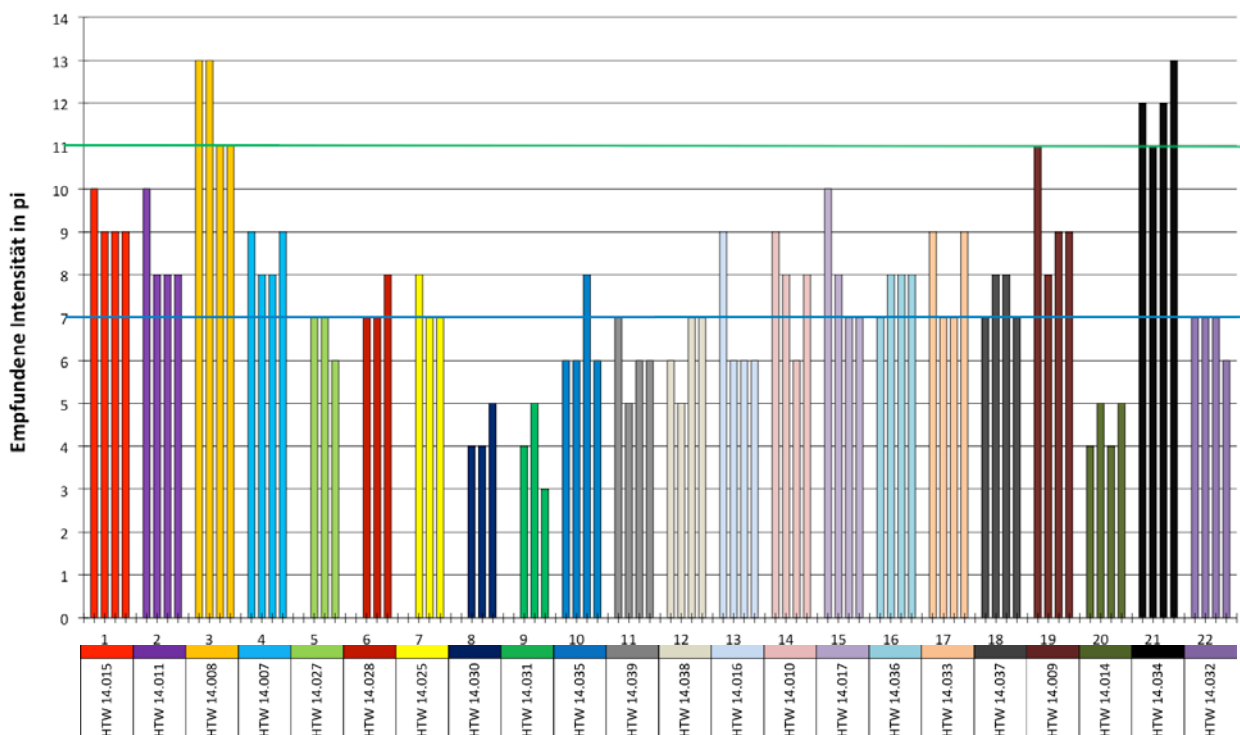
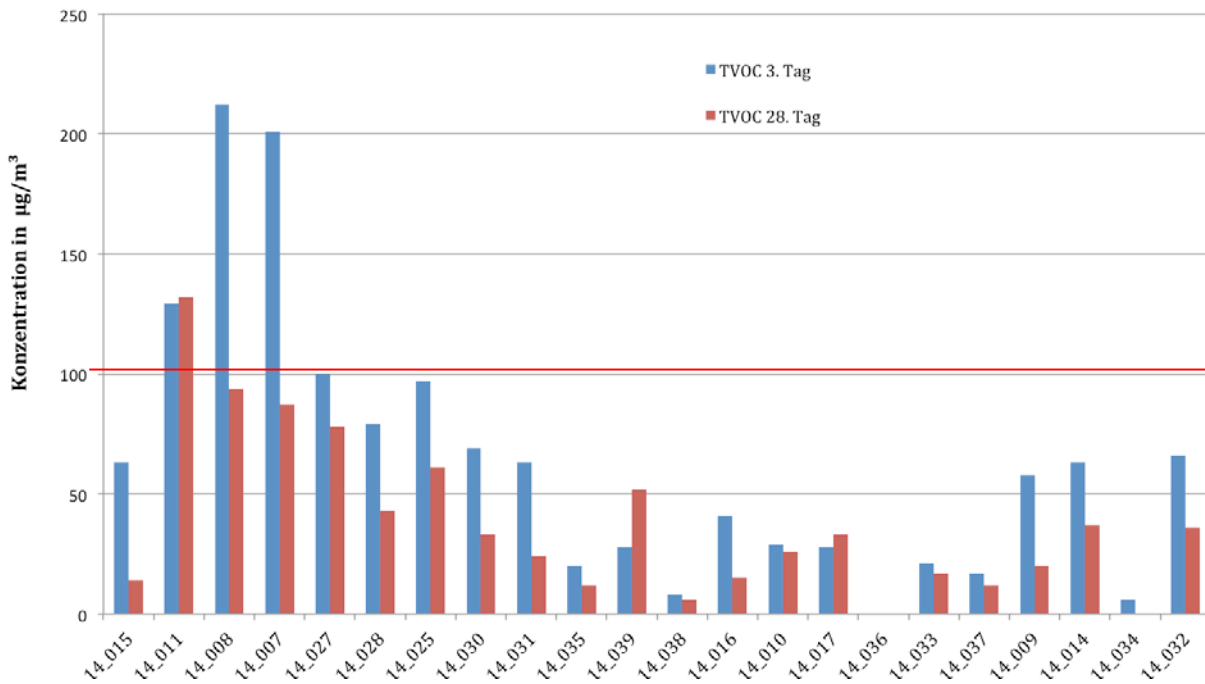


Abbildung Z2: TVOC-Werte der AgBB-Auswertung der textilen Bodenbeläge am 3. und 28. Tag (rote Linie: Grenzwert 28ter Tag UZ 128 = 100 µg/m³) [Quelle: eigene Darstellung, BAM]



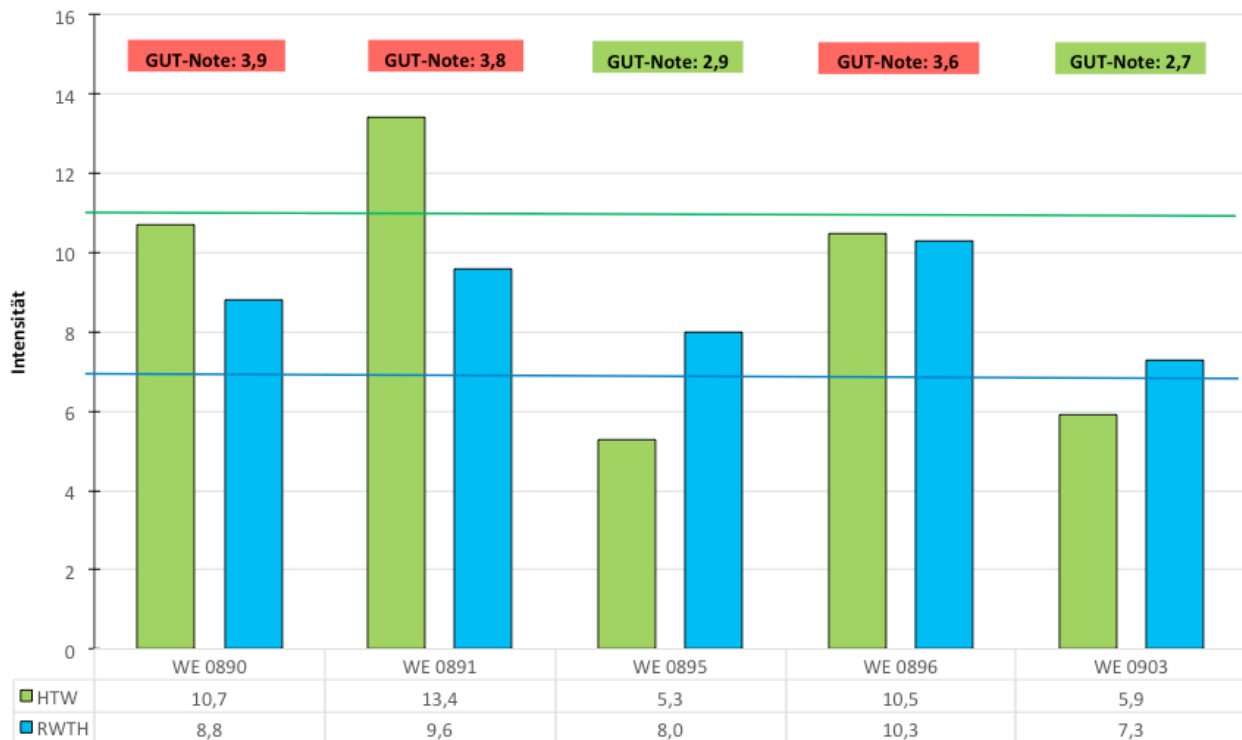
Wie man in der Abbildung Z1 erkennen kann, erreichen am 28sten Tag 12 der untersuchten textilen Bodenbeläge den geforderten Wert von 7 pi (blaue Linie). Die in Abbildung Z2 zusammengestellten Werte der TVOC zeigen sehr geringe Konzentrationen auf. Im Vergleich zu den Untersuchungen aus den Vorgängerprojekten kann man sagen, dass die Emissionswerte bei den untersuchten Produkten noch einmal deutlich geringer ausfallen. Diese Tatsache führt dazu, dass eine geruchliche Bewertung noch eine höhere Bedeutung erlangt.

Bei einem Fachgespräch mit dem projektbegleitenden Expertenkreis, sowie den Herstellern die untersuchten textilen Bodenbeläge werden die vorherigen Untersuchungsergebnisse diskutiert, wobei die deutlich unterschiedlichen Bewertungen der empfundenen Intensität der einzelnen Produkte besonders angesprochen werden. Des Weiteren wird die Geruchsmessung der Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden e. V. (GUT) diskutiert. Es wird vereinbart, dass Messungen nach GUT mit Messungen nach der der ISO 16000-28 und VDI 4301 Teil 1 bei gleichen Produkten gegenübergestellt werden sollen.

Dazu werden 5 Produkte ausgewählt und sowohl im Luftqualitätslabor der HTW Berlin in Kombination mit der BAM als auch Untersuchungen im Auftrag des GUT in Kombination der RWTH Aachen und dem der Textiles & Flooring Institute GmbH (TFI) durchgeführt. Die Prüfungen nach der ISO 16000-28 und VDI 4301 Teil 1 finden bei der HTW Berlin und der RWTH Aachen statt, die GUT Messung durch das TFI. Parallel werden TVOC Messungen an den Kammern in Aachen und Berlin durchgeführt.



Abbildung Z3: Vergleich der Bewertungen der empfundenen Intensität mit der GUT Methode [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



Die Abbildung Z3 zeigt die Bewertungen der empfundenen Intensitäten der HTW Berlin und der RWTH Aachen und die Bewertung nach dem GUT Verfahren. Man erkennt, dass die Urteile der GUT und der HTW Berlin gleich ausfallen. Die Produkte, welche nach DIN ISO 16000-28 / VDI 4302 Teil 1 den Prüfwert des Blauen Engels einhalten, würden auch bei der Bewertung nach GUT den Blauen Engel (siehe dazu auch Kapitel 4. 9) erhalten. Die Analytik in Aachen und Berlin führen zu Konzentrationen in vergleichbarer Größenordnung. Einfluss auf die unterschiedlichen Bewertungen der empfundenen Intensität in Aachen und Berlin bei den Proben WE (0890, 0891, 0895) können auch auf die Verwendung der Probenbehälter zurückzuführen sein.

Bei einer abschließenden Expertenanhörung zur Änderung der Vergabekriterien für den „Blauen Engel“ für textile Bodenbeläge (RAL UZ-128) am 28. Oktober 2015 werden alle bisherigen Untersuchungsergebnisse zum Thema textile Bodenbeläge vorgestellt, erläutert und diskutiert. In der Überarbeitung der RAL-UZ 128 wird die Geruchsprüfung nach DIN ISO 16000-28 wie folgt aufgenommen. Es folgt ein Zitat aus der RAL UZ-128 [24].

„Die Prüfung der Geruchseigenschaften ist im Zusammenhang mit der Emissionsprüfung unter Abschnitt (Ral-UZ-128) 3.2.1 (Innenraumlufthqualität) gemäß DIN ISO 16000-28 durchzuführen, wobei die gleichen Kriterien für einen vorzeitigen Prüfungsabbruch gelten. Die geprüften Bodenbeläge dürfen eine Geruchsintensität von nicht mehr als 7 pi nach 28 Tagen aufweisen. Bei einem Prüfungsergebnis von 8 pi kann am Folgetag eine weitere Messung durchgeführt werden. Wird dabei erneut ein Wert oberhalb von 7 pi gemessen, ist das Produkt durchgefallen. Wird dabei ein Wert von maximal 7 pi erreicht, besteht das Produkt die Geruchsprüfung. In mindestens jährlichen Abständen sind Folgeprüfungen durchzuführen und der RAL gGmbH auf Verlangen vorzulegen. Diese können gemäß DIN ISO 16000-28 oder GUT-Geruchsprüfung erfolgen. Dabei dürfen die Produkte 7 pi respektive die Note 3 (leicht unangenehm) nicht überschreiten. Für Produkte, die ein GUT-Signet tragen, sind gesonderte Folgeprüfungen nicht erforderlich.“

**Nachweis:**

Der Antragsteller legt für die Erstprüfung ein Prüfgutachten gemäß DIN ISO 16000-28 in Verbindung mit VDI 4302 vor. Der Antragsteller legt auf Verlangen der RAL gGmbH für die Folgeprüfungen für jede Produktgruppe ein Prüfgutachten gemäß DIN ISO 16000-28 respektive gemäß GUT-Geruchsprüfung (in Anlehnung an die Schweizer Norm SNV 195651) vor. Alternativ dazu kann der Antragsteller auch ein Zertifikat oder einen Vertrag vorlegen aus dem hervorgeht, dass die Produkte die Anforderungen des GUT-Signets erfüllen“. [24]

Mit der Einführung der Geruchsmessung in das RAL-UZ 128 ist ein sehr wichtiges Ziel dieses Projektes erreicht worden.

Auf Grundlage dieser Diskussionen werden in einem weiteren Projektgespräch (am 27.11.2015) die „elastischen Bodenbeläge“ als nächste zu untersuchende Produktgruppe festgelegt (siehe Kapitel 5).

Es werden 16 elastische Bodenbeläge von 8 Herstellern untersucht (Kapitel 5 und Tabelle 4). Nachfolgend werden die Zusammenfassungen der Intensitätsbewertungen der Produkte und der ermittelten TVOC -Werte dargestellt.

Abbildung Z4: Zusammenfassung der empfundenen Intensitäten der elastischen Bodenbeläge [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]

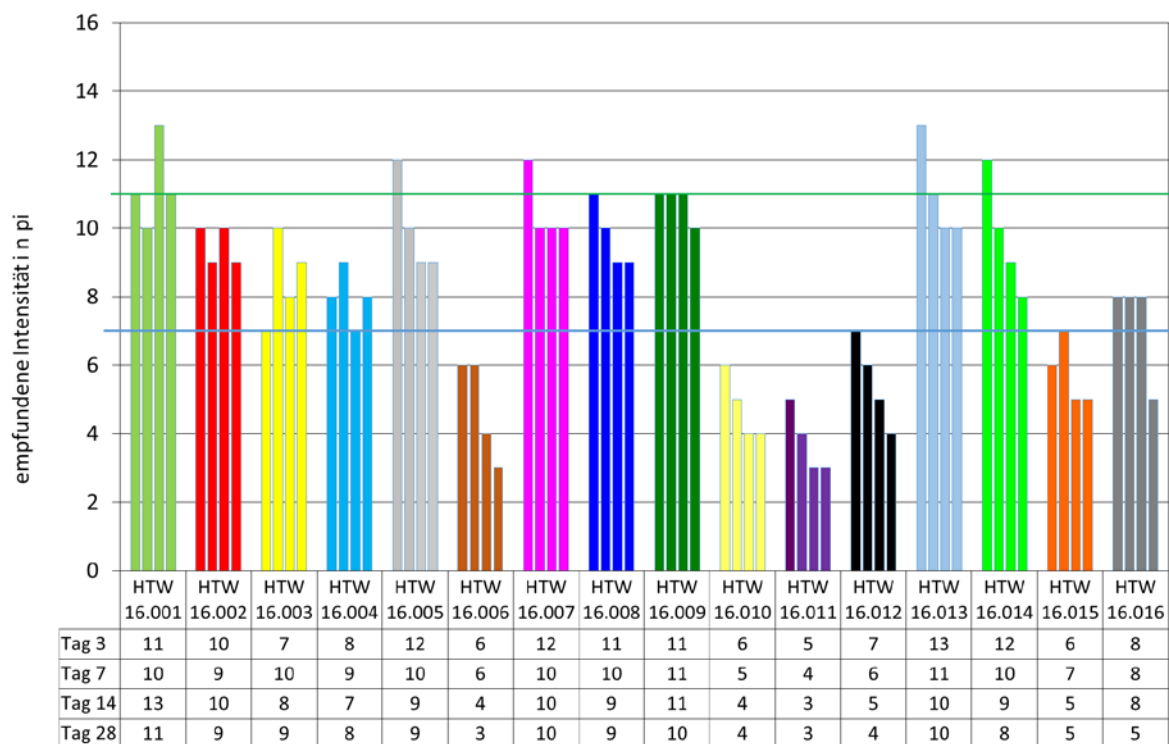
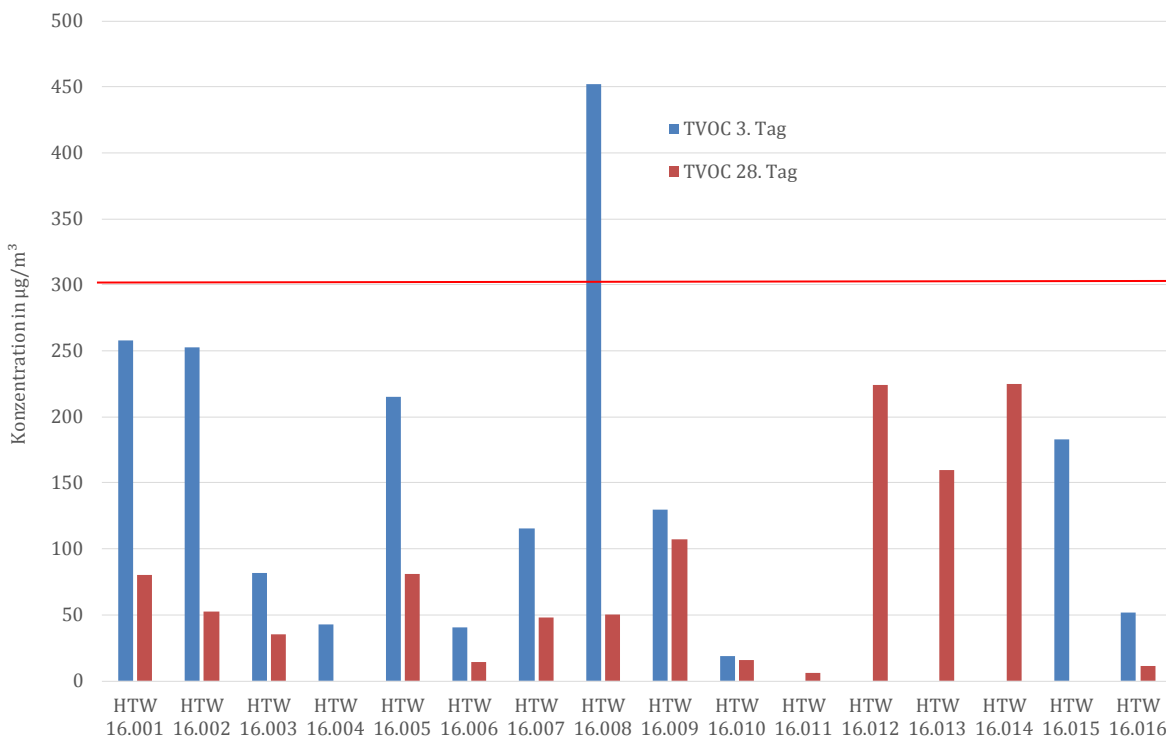


Abbildung Z5: TVOC-Werte der AgBB-Auswertung der elastischen Bodenbeläge am 3. und 28. Tag (rote Linie: Grenzwert UZ 120 = 300 µg/m<sup>3</sup>) [Quelle: eigene Darstellung, BAM]



Aufgrund der teilweise hohen Intensitäten und des geringen Abklingens (Abbildung Z4) einiger Produkte einigt man sich auf eine weitere Untersuchung über einen längeren Zeitraum (3 Monate). Hierbei gilt es zu prüfen, ob bzw. in welchem Zeitraum mit einem Abklingen der Intensitäten zu rechnen ist. Die Analytik zeigt keine Auffälligkeiten auf.

Die Abbildung 50 in Kapitel 5.9 stellt die Bewertungen der empfundenen Intensität an den einzelnen Untersuchungstagen dar. Es fällt auf, dass bei vier Produkten (4, 8, 13 und 14) ein, wenn auch geringer, Abfall der Intensität ab ca. dem Tag 56 zu erkennen ist. Insgesamt liegen vier der fünf Produkte auch nach einer Verweildauer von etwa 3 Monaten immer noch in einem Intensitätsbereich von 8 bis 10pi.

Das weitere Vorgehen mit dem Expertenkreis wird nach der Vorstellung der Ergebnisse diskutiert.

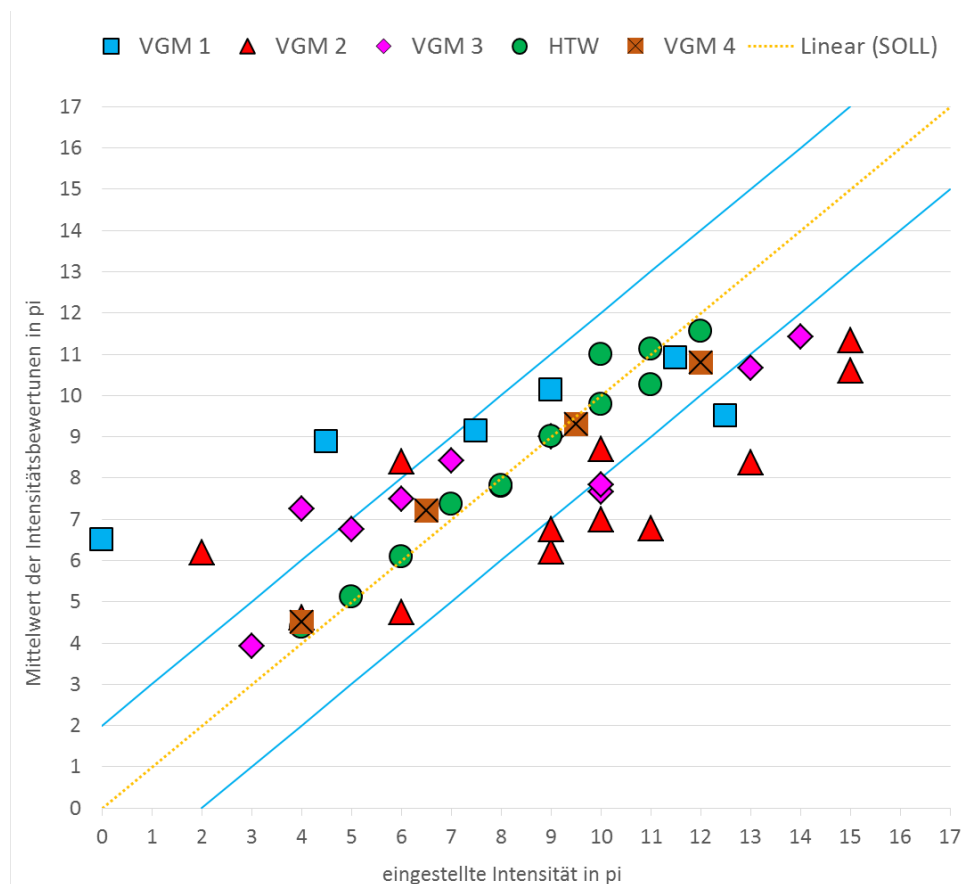
## **Arbeitspaket 2: Untersuchung von Vergleichsmaßstäben (Kapitel 6)**

Gerüche werden unter anderem mit der Methode der Geruchsintensität (empfundene Intensität mit der Einheit pi) bewertet. Dazu wird ein Vergleichsmaßstab verwendet. Diese Methode wurde in den Vorgängerprojekten des Umweltbundesamtes entwickelt und beschrieben und ist in den verschiedenen ISO und VDI Richtlinien (ISO 16000 -28, ISO 16000 -30 und VDI 4302 Teil 1) integriert. Der bei der Entwicklung verwendete Vergleichsmaßstab wird als eine Variante in den genannten Richtlinien erklärt. In der Zwischenzeit wurden verschiedene Vergleichsmaßstäbe entwickelt und verwendet. Aktuelle Ergebnisse zeigen nun, dass die unterschiedlichen Vergleichsmaßstäbe bei gleicher Konzentration aber unterschiedlicher relativer Luftfeuchtigkeit, Trichterformen, Luftvolumenströme etc. zu unterschiedlichen Ergebnissen führen können. Der Vergleichsmaßstab ist die Basis der Methodenentwicklung. Eventuell müssen die Normen dahingehend präzisiert werden, so dass genauere Regelungen zur Erstellung der Vergleichsmaßstäbe ergänzt werden, um eine Validierung vor dem Einsatz des Maßstabes durchführen zu können.

Für die geplanten Untersuchungen werden nach Absprache mit dem Mittelgeber vier Vergleichsmaßstäbe verschiedener Institute mit dem Vergleichsmaßstab der HTW Berlin verglichen. Die Untersuchungen finden an der HTW Berlin statt und werden mit den Prüferinnen und Prüfer der HTW Berlin durchgeführt, um möglichst immer gleiche Bedingungen bei den Untersuchungen zu erreichen.

Es sind zahlreiche Abweichungen zu dem Vergleichsmaßstab der HTW Berlin festzustellen, wie Trichtergröße, Volumenstrom, relative Luftfeuchte der dargebotenen Luft und so weiter, welche in Tabelle 6, Kapitel 6 zusammengefasst sind.

Abbildung Z6: Mittelwerte der dargebotenen Acetonkonzentration (aller Vergleichsmaßstäbe) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



In Abbildung Z6 sind alle Werte der Untersuchungen dargestellt. Die Sollkonzentration ist als gelbe Linie und die Toleranz von  $\pm 2 \text{ pi}$  um den Sollwert als blaue Linien dargestellt. Die grünen Kreise stellen jeweils die Kalibrierung der Probandinnen und Probanden am Vergleichsmaßstab der HTW Berlin dar.

Es wird sehr deutlich, dass Eigengerüche der Geräte zu vermeiden (blaue Vierecke, Vergleichsmaßstab 1) sind, da sonst keine Bewertung im Sinne der Methode der empfundenen Intensitätsbewertung mit Vergleichsmaßstab möglich ist.

Bei den Untersuchungen ist auch herausgekommen, dass das Messen der Acetonkonzentration mit einem Messgerät bereits eine Herausforderung darstellt. Daher muss man sich auch hier auf eine Standardmethode einigen. Der Vergleichsmaßstab und die verwendete Messtechnik für Aceton der HTW Berlin bietet sich dafür an, da dieses Messprinzip bei der Entwicklung der Methode verwendet wurde (siehe auch Kapitel 6).

Es wird deutlich, dass weitere Untersuchungen nötig werden, um klare Erkenntnisse über einzelne Einflussfaktoren erhalten zu können. Untersuchungen nach dem Ausschlussprinzip waren in der Kürze der Zeit (ca. 2 Messtage) nicht möglich. Es ist sehr gut zu erkennen, dass beispielsweise Vergleichsmaßstab 4 zu guten Übereinstimmungen kommt.

### **Arbeitspaket 3: Untersuchung der Linearität der Acetonskala (Kapitel 7)**

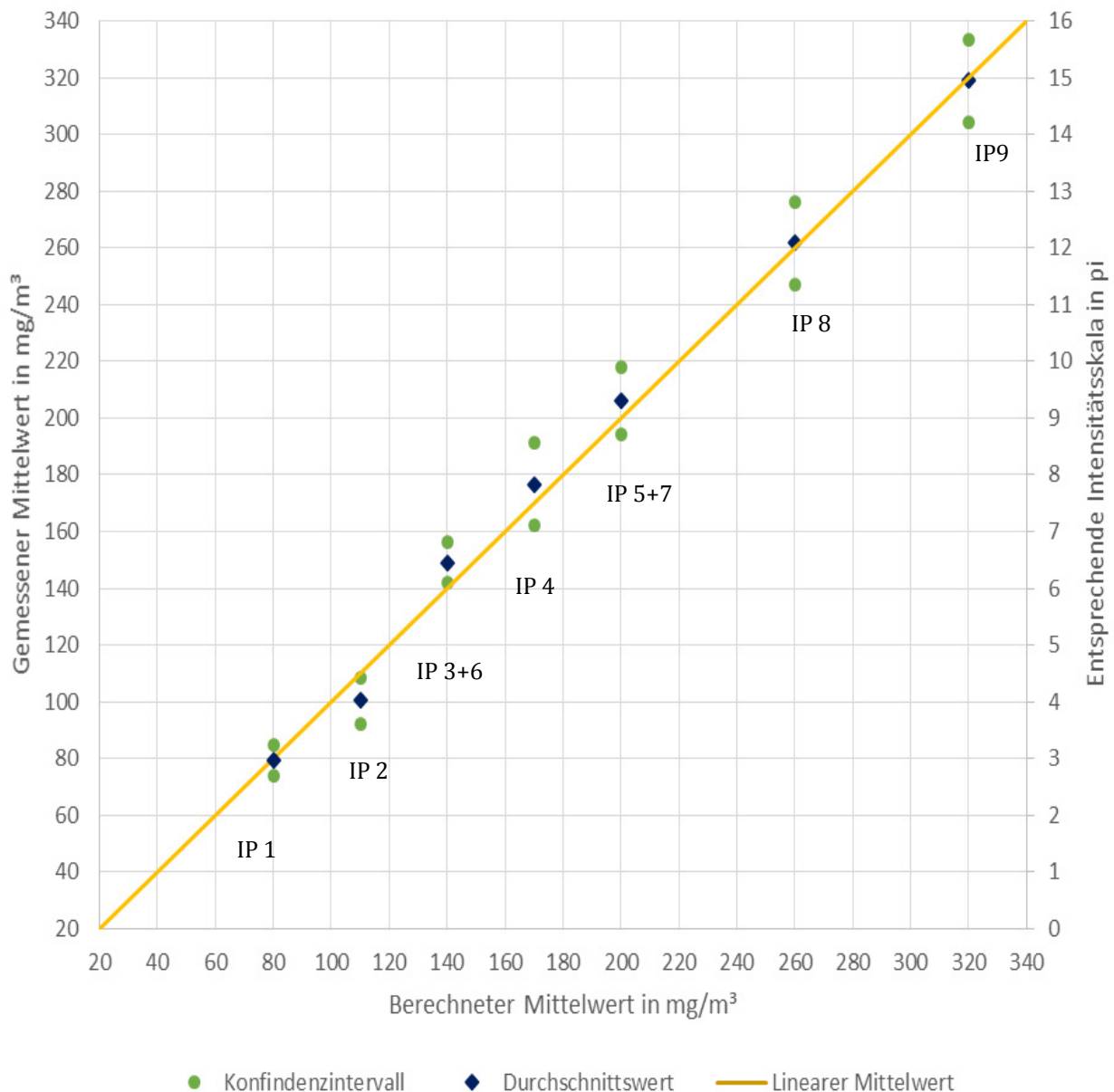
Im Gegensatz zu dem Weber-Fechner Gesetz (siehe Kapitel 7) werden am Vergleichsmaßstab linear ansteigende Konzentrationen aus einem Aceton-Luft-Gemisch zur Bewertung der empfundenen Intensität definiert. Die derzeit geltenden Normen beziehen sich auf diese Definition.

Inwieweit diese Gesetzmäßigkeit auch für die Geruchswahrnehmung von Aceton in dem hier angewendeten definierten Konzentrationsbereich zutrifft wird hier mit einem sogenannte „Mittenversuch“ untersucht.

Die Mittenversuche werden mit der folgenden Methodik durchgeführt. Es sind drei Trichter des Vergleichsmaßstabes für den Mittenversuch notwendig. Der erste Trichter (A) enthält ein geringeres Aceton-Luftgemisch im Vergleich zum dritten Trichter (B). Der Trichter in der Mitte (X) wird von Probandinnen und Probanden durch das Öffnen/Schließen eines Ventiles eingestellt, bis die für sie empfundene Mitte zwischen dem Trichter A und Trichter B erreicht ist. Es werden dazu unterschiedliche (siehe Kapitel 7.2 Versuchsbeschreibung) Intensitätspaare (IP) untersucht. Die Untersuchung teilt sich in zwei Phasen auf. Die Phase 1 beinhaltet drei Intensitätspaare (Paar 1-3), welche von der HTW Berlin und dem Institute for Energy Efficient Buildings and Indoor Climate, E.ON Energy Research Center der RWTH Aachen Universität, mit jeweils 50 untrainierten Personen durchgeführt wird. Zusätzlich werden an der HTW Berlin in der Phase 1 noch zwei weitere IP (Paar 4-5) untersucht. In der Phase 2 der Mittenversuche untersucht die HTW Berlin vier weitere IP (Paar 6-9). In diesem Fall bleibt die Konzentrationsamplitude mit 6 pi ( $120 \text{ mg/m}^3$ ) konstant.

Die Auswertungen der Ergebnisse (Abbildung Z7) zeigen eine große Übereinstimmung zwischen dem linearen Vergleichsmaßstab (gelbe Linie) und den empfundenen Mittelwerten (blaue Rauten) der Prüfenden. Die Linearität in dem untersuchten Intensitätsbereich ist deutlich zu erkennen.

Abbildung Z7: Ergebnisse der Mittenversuche – Phase 1 und 2 [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



**Arbeitspaket 4: Erstellung einer Produktdatenbank (Kapitel 8)**

Für die bessere Auswertung der Daten wird eine Datenbank erstellt, in der alle untersuchten Bauprodukte aus dem aktuellen Projekt und den vorangegangenen Projekten zusammengeführt werden. Die Datenbank wird dem Mittelgeber sowie den Projektbeteiligten zur Verfügung gestellt.

Die Datenbank ist wie folgt aufgebaut

1. Eingabemaske für neue Daten
2. verschiedene Filterfunktionen
3. Messprotokoll
4. Graphischer Vergleich der Bewertungsergebnisse verschiedener Produkte

Insgesamt umfasst die Datenbank aktuell die Messdaten von 131 verschiedenen Produkten (Stand: März 2017).

## Summary

### Introduction and tasks

People living in a temperate climate spend up to 90% of their lives in indoor areas. This is why the interior climate has a very great importance for their well-being, health and performance. In Germany, about 40% of the primary energy is used for heating, cooling and air-conditioning the indoor spaces. It is also certain that the demand for cooling energy will grow strongly throughout Germany and worldwide. A change in the climate would intensify this trend.

Building products play an important role in influencing the indoor climate since they are widely used and the users have little or no influence on the emission of VOCs and odours.

In order to achieve good air quality in buildings, airborne contaminations must be removed from the rooms by ventilation or avoided or reduced. In order to reduce airborne contaminations and their effect on the room's inhabitant's sense of smell, a sensory test of indoor spaces and building products is necessary in addition to measuring the contaminants. Current investigations have shown that the measured emissions from the tested products are low. Compared to predecessor projects, the values even decrease significantly, so it becomes all the more important to include odour assessment in the test for "Blue Angel". If the air exchange rate is reduced, room air quality deteriorates, and the satisfaction of the users decreases. Poor air quality and the resulting dissatisfaction in workplaces can lead to a lower staff productivity [1], [2].

Indoor odour thus has a major influence on the ventilation needs of the users and thus on the energy demands of a building. In contrast to international standards for the design of air-conditioning installations, the guidelines for calculating the heating load DIN EN 12831 or the energetic evaluation of buildings DIN V 18599 do not consider this additional ventilation due to unpleasant odours. Air quality is therefore a health and economic aspect that should be increasingly taken into account.

To date, the AgBB scheme includes a preliminary stage of the standardised sensory test (derived from the research projects FKZ 202 63 320 and FKZ 370762300). This procedure is now in its trial phase.

The initiative is based on the results of the research project "Sensory evaluation of emissions from construction products – Blue Angels and assessment scheme of the Committee on the health hazards from construction products" (FKZ 3707 62 300). The procedure developed in this project will be applied within the new project.

The aim of the project is to test building materials for their odour emissions in order to identify low-emission and low-odour construction products. The consumers are thus given the opportunity to choose low-emission and low-odour building materials.

The project task is listed below. During the course of the project, the orientation of the questions has changed due to further development of the research area. The focus has shifted from product combinations to textile and elastic floor coverings. In addition, the investigators have prioritised the topic of the acetone scale's linearity, so that the project developed the following goals (a more detailed presentation of the objectives is given in Section 2.3):

- ▶ Work package 1: Odour measurement for Blue Angel products (see Sections 4 and 5);
- ▶ Work package 2: Investigation of comparative scales (see Sections 6);
- ▶ Work package 3: Investigation of linearity of the acetone scale (see Section 7);
- ▶ Work package 4: Creating a product database (see Section 8).

The results are intended to validate and, if necessary, optimise the process and the relevant standards and guidelines. In addition, the health burdens caused by emissions from construction products must be reduced in order to protect consumers.

The introduction of odour assessment into the award criteria of the "Blue Angel" eco-label provides consumers with the opportunity to select targeted, safe and low-odour building materials.

**Work package 1: Odour measurement for Blue Angel products** (see Sections 4 and 5)

Work package 1 examined a total of 22 textile floor coverings from 7 different manufacturers. Table 1 in Section 4 gives an overview of all the textile floorings examined and provides a rough overview of the composition of the wear layer and the back of the covering. In addition, the next step (Section 5 and Table 4) examines 16 elastic floor coverings from 8 manufacturers. The summaries of the intensity assessments of the products and the determined TVOC values are presented below.

Figure Z1: Summary of the perceived intensities of textile floor coverings [Source: own illustration, HTW Berlin]

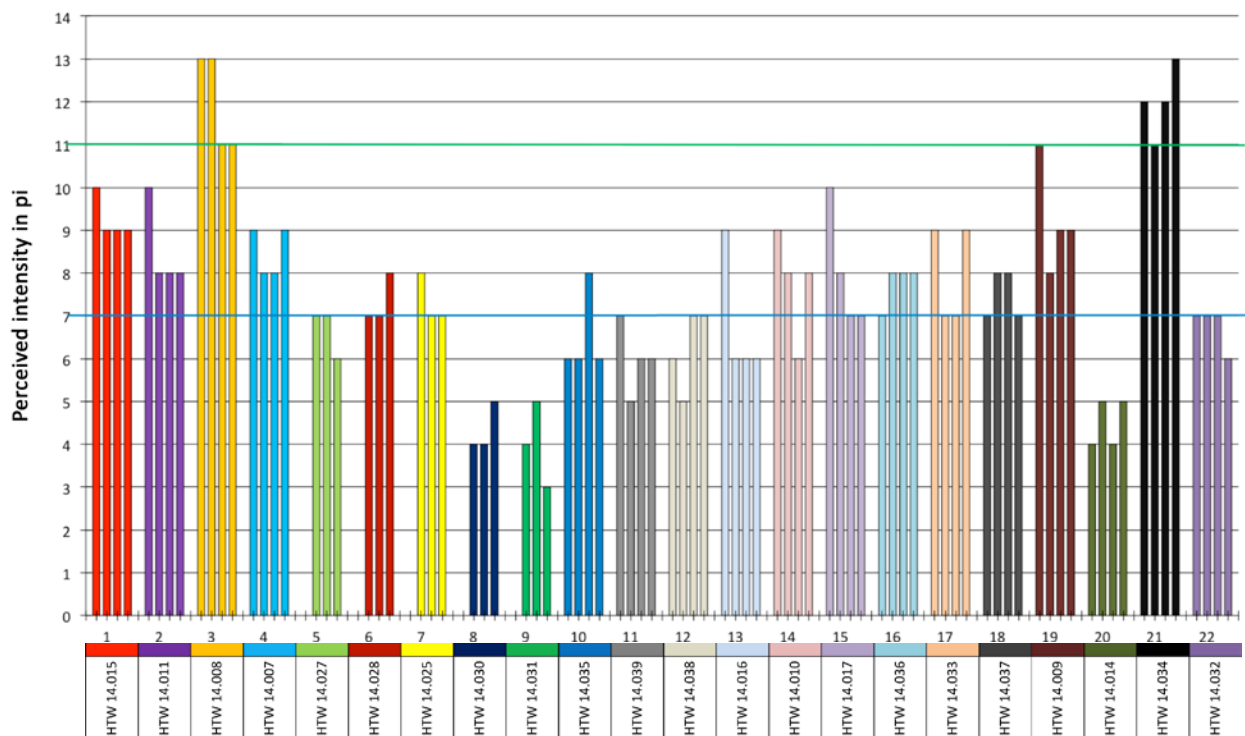
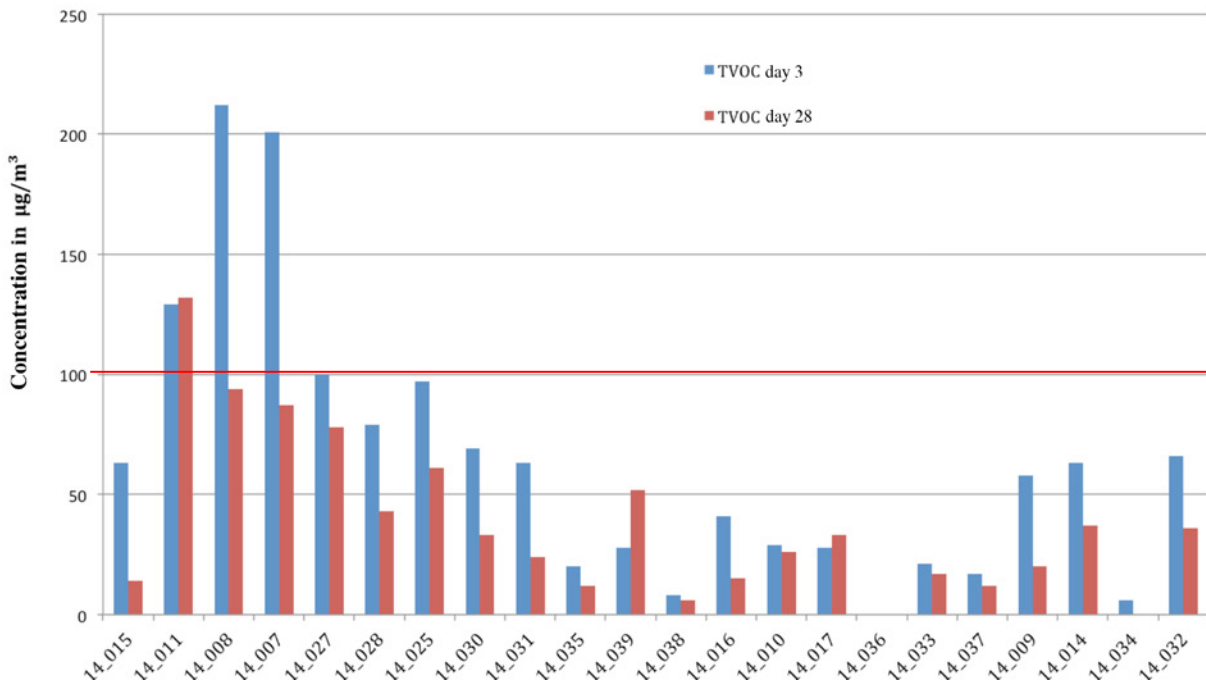




Figure Z2: TVOC values of the AgBB evaluation of the textile floor coverings on day 3 and 28 (red line: limit value on day 28 UZ 128 = 100 µg/m<sup>3</sup>) [Source: own illustration, BAM]



As can be seen in Figure Z1, 12 of the textile floor coverings examined reach the required value of 7 pi (blue line) on day 28. The TVOC values summarised in Figure Z2 show very low concentrations. Compared to the investigations from previous projects, it is fair to say that the emission values for the investigated products are once again significantly lower. This means that an odour assessment is even more important.

A specialist discussion with the expert project support group and the manufacturers of the tested floor coverings analysed the previous research results particularly addressing the clearly different evaluations of the perceived intensity of the individual products. Furthermore, the odour measurement of the Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden e. V. (Ecofriendly Wall-to-wall Carpet Association, GUT) was also discussed. It was agreed that GUT measurements should be compared with measurements according to ISO 16000-28 and VDI 4301 Part 1 for the same products.

To this end, five products were selected and tests were carried out both in the HTW Berlin air quality laboratory in cooperation with BAM as well as on behalf of GUT in cooperation with RWTH Aachen and the Textiles & Flooring Institute GmbH (TFI). Tests in accordance with ISO 16000-28 and VDI 4301 Part 1 were carried out at HTW Berlin and RWTH Aachen, while GUT measurement was carried out by TFI. TVOC measurements were carried out in parallel in the chambers in Aachen and Berlin.

Figure Z3: Comparison of the perceived intensity assessments with the GUT method [Source: own illustration, HTW Berlin]

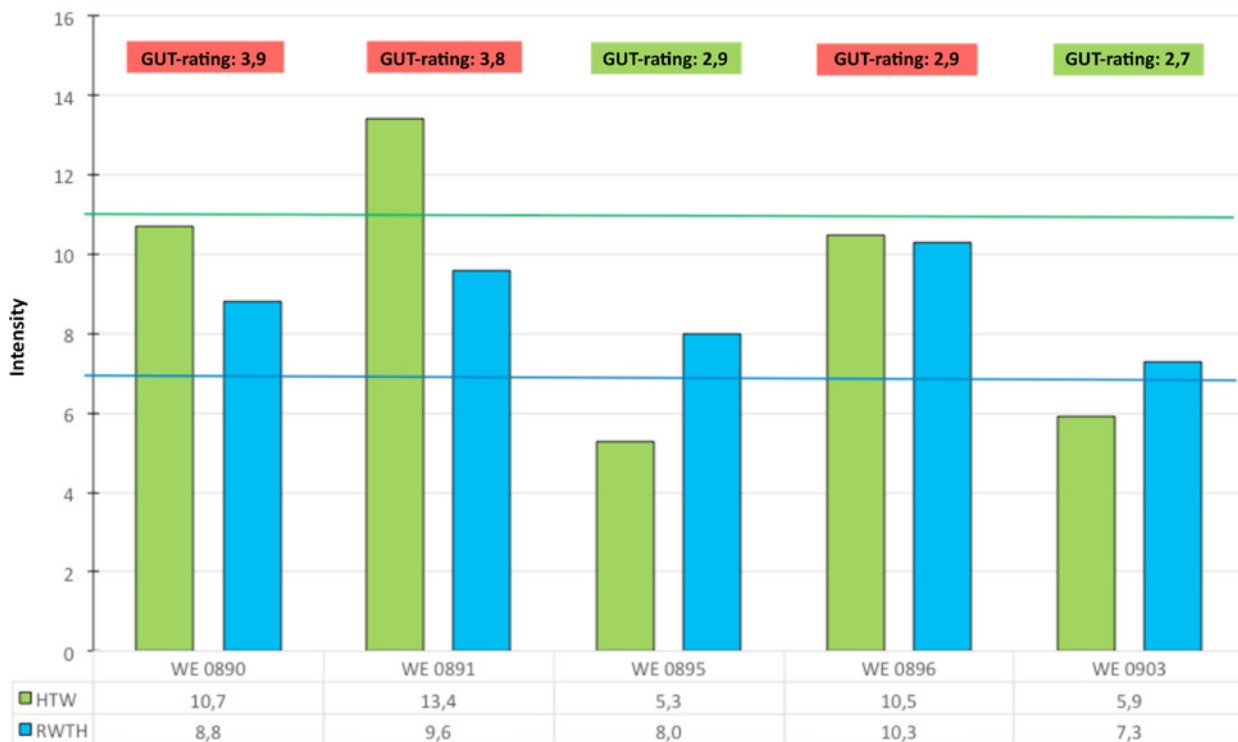


Figure Z3 shows the perceived intensity assessments of HTW Berlin and RWTH Aachen and the assessment according to the GUT method. It can be seen that the GUT and the HTW Berlin ratings coincide. Products that comply with the Blue Angel test value according to DIN ISO 16000-28/VDI 4302 Part 1 would also receive the Blue Angel according to the GUT assessment (see also Section 4.9). Analyses in Aachen and Berlin led to concentrations of comparable magnitude. The different perceived intensity assessments in Aachen and Berlin in WE samples (0890, 0891, 0895) can also be attributed to the use of the sample containers.

At a final expert hearing on changing the "Blue Angel" award criteria for textile floor coverings (RAL UZ-128) on October 28, 2015, all previous research results on textile floor coverings were presented, explained and discussed. The revision of the RAL-UZ 128 includes the odour test according to DIN ISO 16000-28 as follows. The following is a citation from the RAL UZ-128 [24].

"The investigation of the odour properties shall be carried out in connection with emission tests under section (RAL-UZ-128) 3.2.1 (indoor air quality) in accordance with DIN ISO 16000-28, whereby the same criteria apply for early investigation termination. The tested floor coverings may exhibit an odour intensity of no more than 7 pi after 28 days. For a test result of 8 pi, a further measurement can be carried out the following day. If the measured value is once again above 7 pi, the product has failed. If the value is a maximum of 7 pi, the product passes the odour test. Follow-up tests must be carried out at least once a year and presented to RAL gGmbH on request. These can be carried out according to DIN ISO 16000-28 or GUT odour tests. The products may not exceed 7 pi or a GUT-rating of 3 (slightly unpleasant). Products bearing a GUT seal do not require separate follow-up tests."

**Evidence:**

For the initial test, the applicant will submit a test report in accordance with DIN ISO 16000-28 in conjunction with VDI 4302. For subsequent tests, RAL gGmbH requests the applicants to submit a test

report for each product group in accordance with DIN ISO 16000-28 or in accordance with the GUT odour test (based on the Swiss standard SNV 195651). Alternatively, the applicant may also provide a certificate or contract stating that the products meet the requirements of the GUT label. [24]

The introduction of odour measurement in the RAL-UZ 128 helped to achieve a very important goal of this project.

Based on these discussions, a further project meeting (on 27.11.2015) identified "elastic floor coverings" as the next product group to be tested (see Section 5).

16 elastic floor coverings from 8 manufacturers were tested (Section 5 and Table 4). The intensity ratings of the products and the TVOC values are summarised below.

Figure Z4: Summary of perceived intensities of elastic floor coverings [Source: own illustration, HTW Berlin]

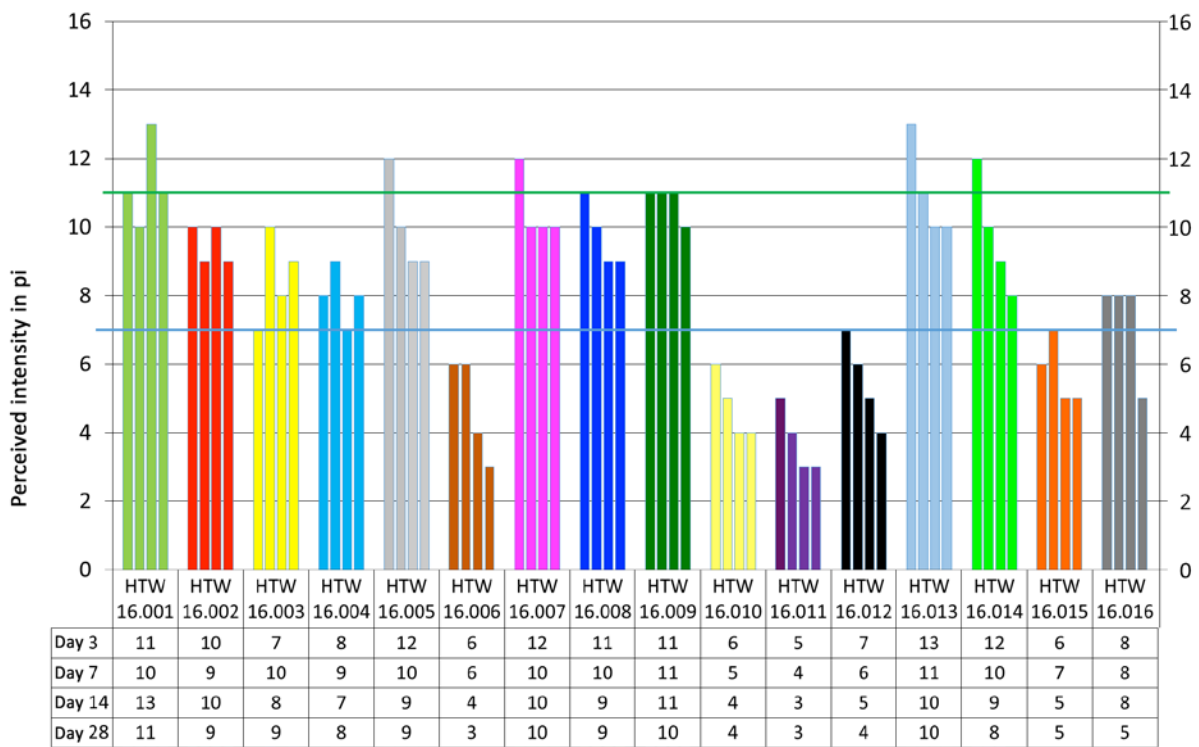
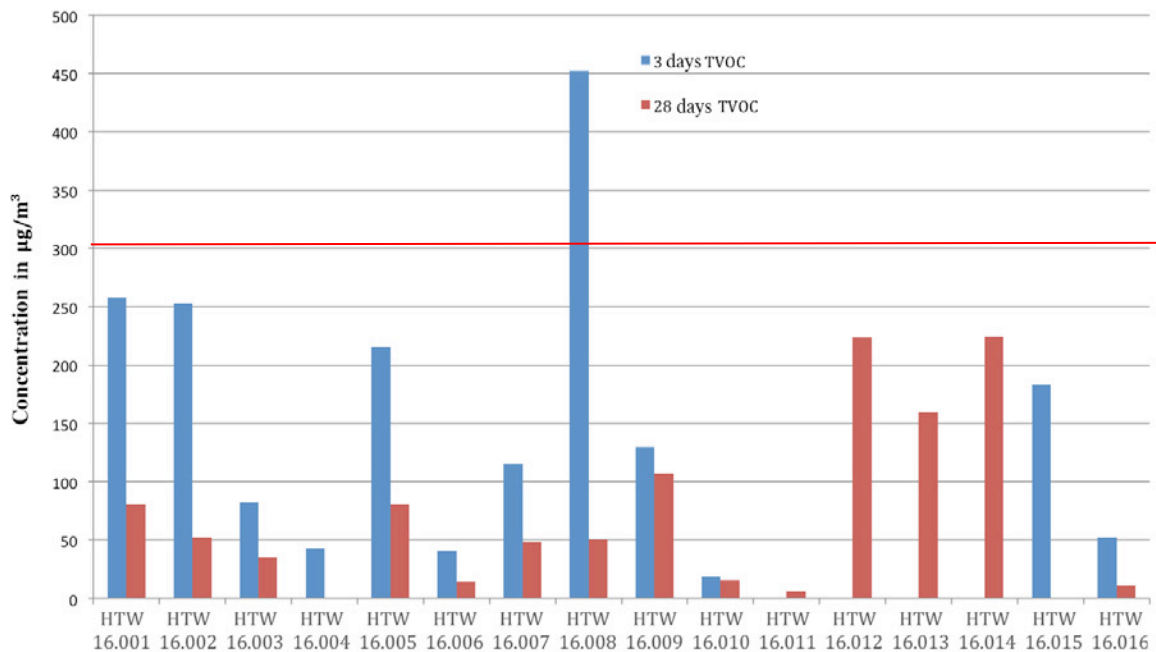


Figure Z5: TVOC values of the AgBB evaluation of the elastic floor coverings on the days 3 and 28 (red line: limit value UZ 120 = 300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) [Source: own illustration, BAM]



Further tests were carried out over a longer period of time (3 months) due to the partially high intensities and low decay (Figure Z4) of some products. In this case, it was important to check whether intensity decay could be expected and in which time period. The analysis showed no abnormalities.

Figure 50 in Section 5.9 shows the perceived intensity evaluations on the individual days of examination. Four products (4, 8, 13 and 14) show a slight but striking intensity decrease from about day 56. Overall, four of the five products were still in the intensity range of 8 to 10pi, even after about 3 months.

Further procedures will be discussed with the group of experts after the presentation of the results.

### **Work package 2: Examination of comparative scales (Section 6)**

One of the methods for evaluating odours is the odour intensity method (perceived intensity using the unit pi). A comparative scale is used for this purpose. This method was developed and described in the forerunner projects of the German Environment Agency and is integrated in the various ISO and VDI guidelines (ISO 16000-28, ISO 16000-30 and VDI 4302 Part 1). The guidelines explain the comparative scale used in the development as a variant. Various other comparative scales have been developed and used in the meantime. Current results now show that the different comparative scales can lead to different result in the case of the same concentration but different relative humidity, funnel shapes, air flow rates etc. The comparative scale forms the basis of method development. It may be necessary to clarify the standards to add more detailed rules for the establishment of comparative scales in order to be validated before using the scale.

For the planned tests, four comparative scales from different institutes were compared with HTW Berlin's comparative scale after consultation with the funding agency. The examinations will take place at HTW Berlin and preferably will be conducted with in-house analysts in order to provide the same conditions for the tests.

There are numerous deviations from HTW Berlin’s comparative scale such as the size of the funnel, the volume flow rate, the relative humidity of the air provided and so on. These are summarised in Table 6, Section 6.

Figure Z6: Average values of the acetone concentration provided (of all comparative scales) [Source: own illustration, HTW Berlin]

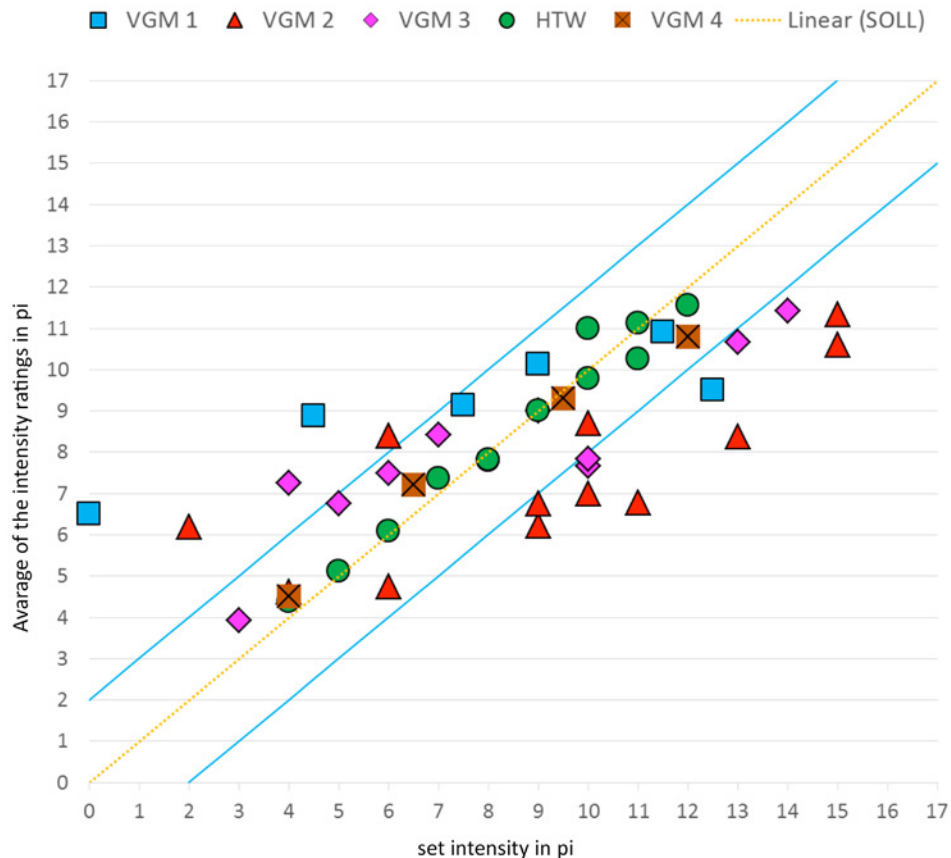


Figure Z6 shows all examination values. The yellow line represents the target concentration and the blue lines show the tolerance of  $\pm 2$  pi around the target value. The green circles each represent the calibration of the panellists on HTW Berlin’s comparative scale.

It becomes very clear that the device's own odours must be avoided (blue squares, comparative scale 1), otherwise no evaluation in the sense of the perceived intensity evaluation method using a comparative scale is possible.

The investigations also showed that measuring the acetone concentration using a measuring device is challenging in itself. Therefore, a standard method must be agreed upon. The comparative scale and the measuring technology used by HTW Berlin for acetone are most suited to this because this was the measuring principle used in the development of the method (see also Section 6).

It is clear that further examinations are necessary to obtain clear information about individual parameters. Investigations according to the exclusion principle were not possible during the short time (about 2 measuring days). Comparative scale 4, for example, shows good agreement.

### **Work package 3: Investigation of the acetone scale's linearity (Section 7)**

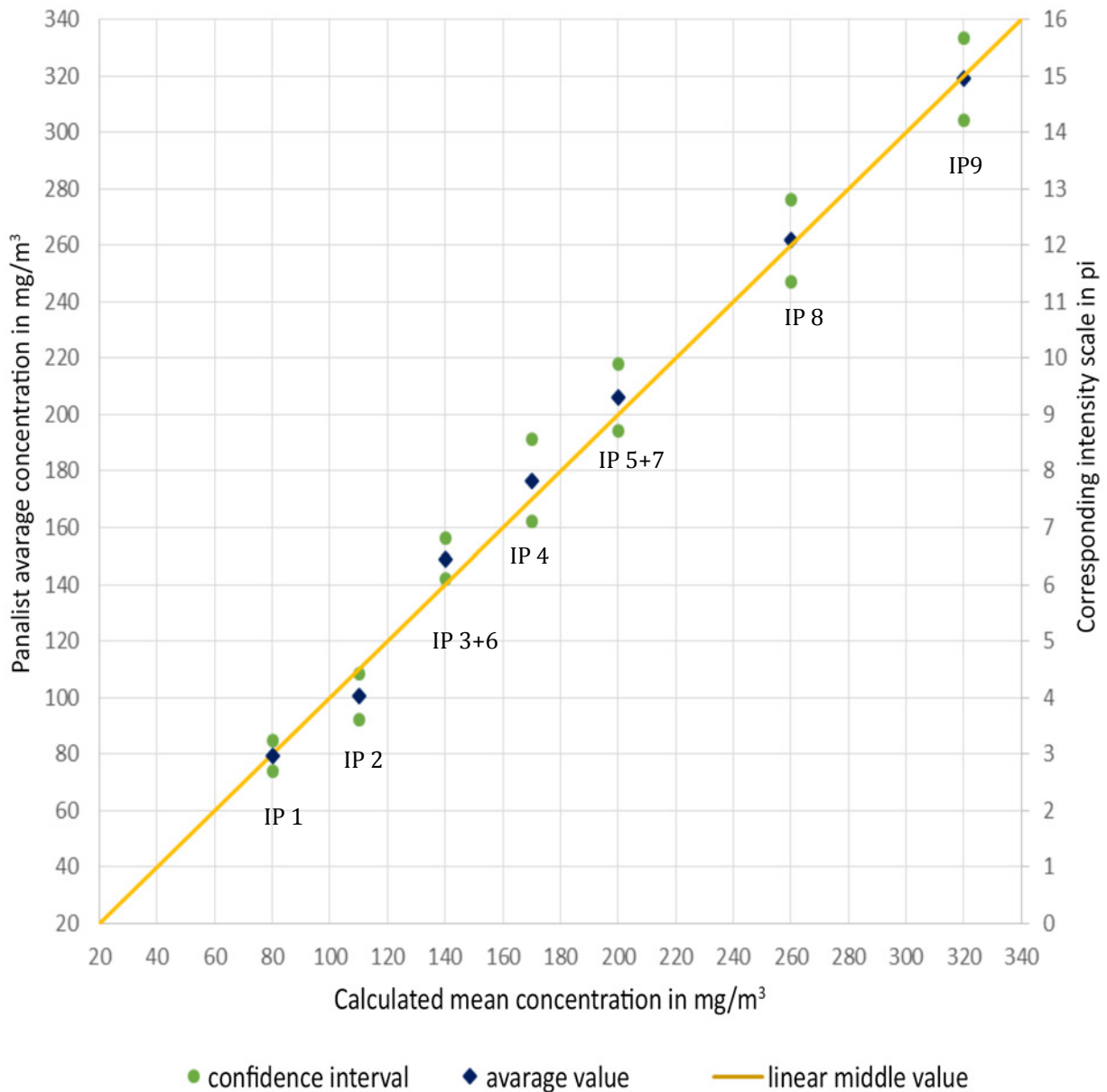
Unlike Weber-Fechner's law (see Section 7), linearly increasing concentrations of an acetone-air mixture are defined on the comparative scale to evaluate the perceived intensity. The current standards refer to this definition.

The extent to which this law also applies to the odour perception of acetone in the defined concentration range used is investigated using a so-called "middle test".

The middle tests are carried out using the following methodology. It requires three funnels in the comparative scale. The first funnel (A) contains a lower acetone-air mixture compared to the third funnel (B). The funnel in the middle (X) is adjusted by the panellist opening/closing a valve until the middle intensity between funnel A and funnel B is perceived. Different (see Section 7.2 Experiment description) intensity pairs (IP) are tested. The test is divided into two phases. Phase 1 includes three intensity pairs (pair 1-3), which are carried out by HTW Berlin and the Institute for Energy Efficient Buildings and Indoor Climate, E.ON Energy Research Center of the RWTH Aachen University, each by 50 untrained persons. In addition, Phase 1 at HTW Berlin examines two more IPs (pair 4-5). In Phase 2 of the middle tests, HTW Berlin investigates four more IPs (pair 6-9). In this case the concentration amplitude remains constant at 6 pi (120 mg/m<sup>3</sup>).

The evaluations of the results (Figure Z7) show a strong agreement between the linear comparison scale (yellow line) and the perceived average values (blue diamonds) of the analysts. The linearity in the investigated intensity range can clearly be seen.

Figure Z7: Results of the middle tests – Phase 1 and 2 [Source: own illustration, HTW Berlin]



**Work package 4: Creating a product database (Section 8)**

To better evaluate the data, a database is created which merges all tested building products from the current and previous projects. The database will be made available to the funding agency as well as to the project participants.

The database is structured as follows

5. Input mask for new data
6. Different filter functions
7. Measurement report
8. Graphic comparison of the evaluation results of different products

Overall, the database currently includes the measurement data from 131 different products (as of March 2017).

## 1 Einleitung und Zielsetzung des Forschungsvorhabens

Menschen, die in der gemäßigten Klimazone leben, verbringen bis zu 90% ihres Lebens in Innenräumen. Deshalb hat das Innenraumklima eine sehr große Bedeutung für deren Wohlergehen, Gesundheit und Leistungsfähigkeit. In Deutschland wird ca. 40% der eingesetzten Primärenergie für das Heizen, Kühlen und Klimatisieren der Innenräume verwendet. Es ist sicher, dass der Bedarf an Kühlenergie deutschlandweit aber auch weltweit stark ansteigen wird. Eine Änderung des Klimas wird diesen Trend verstärken.

Bauprodukte haben bei der Beeinflussung des Innenraumklimas eine wichtige Bedeutung, da sie zum einen flächig eingebracht sind und der Nutzer keinen bzw. kaum einen Einfluss auf die Abgabe an VOC-Emissionen und Geruchsstoffen hat.

Um eine gute Luftqualität in Gebäuden zu erreichen, müssen Luftverunreinigungen durch Lüften aus den Räumen abgeführt oder vermieden bzw. verringert werden. Um die Luftverunreinigungen und deren Wirkung auf die Raumnutzenden über das Geruchsempfinden zu verringern, ist neben einer messtechnischen Erfassung der Verunreinigungen auch eine sensorische Prüfung in Innenräumen und von Bauprodukten notwendig. Wird der Luftwechsel verringert, verschlechtert sich die Raumluftqualität, und die Zufriedenheit der Nutzer nimmt ab. An Arbeitsplätzen kann es bei schlechter Luftqualität und der daraus resultierenden Unzufriedenheit zu einer geringeren Produktivität der Beschäftigten kommen [1], [2].

Im Rahmen des Vorhabens wird auf den Ergebnissen des Forschungsprojekts „Sensorische Bewertung der Emissionen aus Bauprodukten – Blauer Engel und Bewertungsschema des Ausschusses zur gesundheitlichen Gefährdung von Bauprodukten“ (FKZ 3707 62 300) aufgebaut. Das dort erarbeitete Verfahren soll zur Anwendung gelangen.

Ziel des Projektes ist es, Baustoffe auf ihre Geruchsemissionen zu untersuchen, um Bauprodukte mit niedrigen Emissionen und Gerüchen identifizieren zu können. Den Verbraucherinnen und Verbrauchern wird somit die Möglichkeit gegeben, emissions- und geruchsarme Baustoffe zu wählen.

Die Aufgabenstellung des Projektes ist nachfolgend aufgeführt. Im Laufe des Projektes haben sich aufgrund der Weiterentwicklung im Forschungsthema die Ausrichtungen der Fragestellungen verändert. So wurde die Aufmerksamkeit weg von Produktkombinationen hin zu textilen und elastischen Bodenbelegen gelenkt. Zusätzlich ist das Thema der Linearität der Acetonskala in den Vordergrund der Untersuchungen gerückt, so dass folgende Ziele im Projekt bearbeitet wurden (eine genauere Darstellung der Ziele erfolgt in Kapitel 2.3):

- ▶ Arbeitspaket 1: Geruchsmessung bei Produkten mit dem Blauen Engel (siehe Kapitel 4 und 5);
- ▶ Arbeitspaket 2: Untersuchung von Vergleichsmaßstäben (siehe Kapitel 6);
- ▶ Arbeitspaket 3: Untersuchung der Linearität der Acetonskala (siehe Kapitel 7);
- ▶ Arbeitspaket 4: Erstellung einer Produktdatenbank (siehe Kapitel 8).

Die Ergebnisse sollen dazu dienen, das Verfahren und die dazugehörigen Normen und Richtlinien zu validieren und bei Bedarf zu optimieren. Zusätzlich sollen die gesundheitlichen Belastungen durch geruchliche Emissionen aus Bauprodukten gesenkt werden, um Verbraucherinnen und Verbraucher zu schützen.

Mit der Einführung der Geruchsbewertung in die Vergabekriterien des Blauen Engels, erhalten Verbraucherinnen und Verbraucher die Möglichkeit, gezielt gesundheitlich unbedenkliche und geruchsarme Baustoffe auszuwählen.



## 2 Aufgabenstellung

### 2.1 Erkenntnisstand zu Projektbeginn

Die Raumluftqualität in Gebäuden gewinnt immer mehr an Bedeutung. Ingenieure, Gebäudebetreiber etc. werden mit Äußerungen von unzufriedenen Raumnutzerinnen und -nutzern konfrontiert, die sich über schlechte Luftqualität in Gebäuden beschweren. Die Qualität der Innenraumluft wird durch Emissionen aus Bauprodukten erheblich beeinträchtigt. Mit Hilfe des vom Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten entwickelten Schemas (AgBB-Schema) werden die Emissionen flüchtiger organischer Komponenten (VOC) aus Bauprodukten bewertet.

Da VOC-Emissionen, die zu gesundheitlichen Belastungen (Reizungen der Atemwege, Kopfschmerzen, Übelkeit, Konzentrationsschwäche, Schlafstörungen) führen, mit Geruchswahrnehmungen verbunden sein können, ist die sensorische Prüfung der Baustoffe ein wichtiges Element bei der Bewertung von Bauprodukten. Analytische und sensorische Untersuchungen sind notwendig, da wie von Brüning [3] und van Hahn [4] beschreiben, nicht alle schädlichen Stoffe sensorisch erfassbar sind. Des Weiteren müssen auch einige Duftstoffe, welche vom Menschen wahrgenommen und eventuell als störend empfunden werden können, nicht mehr analytisch erfassbar sein.

Mehrere Faktoren tragen zu der häufig genannten „dicken Luft“ in Innenräumen bei. Raumluftqualität ist eine Funktion mehrerer Verunreinigungsquellen, die in Innenräumen vorkommen. Neben den Raumnutzenden selbst sind es unter anderem auch die Außenluftqualität, die Schimmelpilze, der Zigarettenrauch, die Raumausstattung und (dazugehörige) fest eingebaute Bauprodukte. Bauprodukte wie z.B. Fußbodenbeläge kommen meistens großflächig in Räumen vor und stellen eine große Emissionsfläche und in vielen Fällen auch eine große Geruchsquelle dar. Zur Beseitigung der geruchlichen Belastung wird als Lösung zumeist häufiges Lüften vorgeschlagen.

Der Geruch im Innenraum hat so einen wesentlichen Einfluss auf das Lüftungsverhalten der Nutzenden und somit auf den Energiebedarf eines Gebäudes. Im Gegensatz zu internationalen Normen zur Auslegung von raumlufttechnischen Anlagen wird in den Richtlinien zur Berechnung der Heizlast DIN EN 12831 oder bei der energetischen Bewertung von Gebäuden DIN V 18599 dieses zusätzliche Lüften aufgrund einer geruchlichen Belastung nicht betrachtet. Luftqualität ist somit ein gesundheitlicher und auch wirtschaftlicher Aspekt der zunehmend berücksichtigt werden sollte.

Bisher ist im AgBB-Schema eine Vorstufe der genormten sensorischen Prüfung verankert (abgeleitet aus den Forschungsvorhaben UFOPLAN-Nr. 202 63 320 und UFOPLAN-Nr. 370762300)). Dieses Verfahren befindet sich jetzt in der Erprobungsphase.

### 2.2 Notwendigkeit

Emissionen aus Bauprodukten beeinträchtigen die Qualität der Innenraumluft erheblich. Die EU-Bauproduktenverordnung und die Landesbauordnungen fordern, dass die Gesundheit der Gebäudenutzer nicht beeinträchtigt werden darf. Mit Hilfe des Bewertungsschemas des AgBB werden die Emissionen der VOC aus Bauprodukten bewertet. Störende Gerüche entstehen aber nicht nur durch VOCs, sondern auch durch gasförmige Verunreinigungen, Staub, sonstige Partikel, Allergene (z.B. Pollen), Mikroorganismen wie Bakterien, Viren und Pilzsporen [5]. Sie stammen größtenteils aus inneren Quellen wie Baumaterialien, Einrichtungsgegenständen, raumlufttechnischen Anlagen [6], [7] und im Raum befindlichen Personen, sie werden aber auch durch die Außenluft eingetragen. Darüber hinaus entstehen Schadstoffe nicht nur durch Emissionen aus diesen sogenannten primären Quellen, sondern auch durch Interaktionen der emittierten Stoffe an den Oberflächen mit Reinigungsmitteln und anderen Verunreinigungen [5]. Durch Reaktionen entstehen sekundäre Emissionen [8], [9]. Neben diesen

Emissionen können zudem Sorptionseffekte auftreten [10]. Die Wahrnehmung eines Geruchs lässt keine Rückschlüsse auf seine gesundheitliche Relevanz zu [3]. Für manche Stoffe ist die menschliche Nase sehr empfindlich. Problematisch wird es, wenn die Konzentration eines Geruchsstoffes so niedrig ist, dass sie messtechnisch nicht erfasst, aber dennoch mit der Nase wahrgenommen werden kann. Die Erfassung und Bewertung von Gerüchen entzieht sich daher oftmals den bekannten chemisch-physikalischen Messverfahren. Umgekehrt kann nicht jeder potenziell gefährliche Stoff vorab an seinem Geruch erkannt werden [4].

Daher ist es notwendig, die Bewertung der Luftqualität – sowohl analytisch als auch sensorisch durchzuführen. Durch die Betrachtung beider Untersuchungen kann das Ziel dieses Vorhabens, emissions- und geruchsarme Bauprodukte für energieeffiziente Gebäude zu erkennen und zu fördern, maßgeblich unterstützt werden. In diesem Sinne wird das sensorische Prüfverfahren in diesem Forschungsprojekt untersucht und gegebenenfalls optimiert.

## 2.3 Arbeitspakete

Der Ablauf des Forschungsprojekts gliedert sich, wie folgt beschrieben, in vier Arbeitspakete auf. Diese werden teilweise zeitgleich durchgeführt. Es werden halbjährliche Zwischenberichte erstellt. Zusätzlich finden in regelmäßigen Abständen Projekttreffen mit allen Projektbeteiligten (HTW Berlin, UBA, BAM) und auch Expertenkreise zu den jeweiligen Themengebieten statt.

Folgende Arbeitspakete werden bearbeitet:

- ▶ Arbeitspaket 1: Geruchsmessung bei Produkten mit dem Blauen Engel (siehe Kapitel 4 und 5);
- ▶ Arbeitspaket 2: Untersuchung und Weiterentwicklung des Vergleichsmaßstabes (siehe Kapitel 6);
- ▶ Arbeitspaket 3: Untersuchung der Linearität der Acetonskala (siehe Kapitel 7);
- ▶ Arbeitspaket 4: Erstellung der Datenbank (siehe Kapitel 8).

### Arbeitspaket 1: Geruchsmessung bei Produkten mit dem Blauen

Für die Geruchsmessung wird in Absprache mit dem Zuwendungsgeber eine repräsentative Zahl von textilen und elastischen Bodenbelägen ausgewählt. Insgesamt werden im Rahmen des Projekts 48 verschiedene Produkte, davon 5 nochmals im Langzeitversuch, olfaktorisch untersucht. Die sensorische Prüfung gemäß ISO 16000-28 erfolgt üblicherweise am dritten, siebenten, 14. und 28. Tag nach dem Einbringen der Produkte in die Prüfkammer.

Dabei sind die empfundenen Intensitäten und die Hedonik durch die Prüferinnen und Prüfer (8 – 12 trainierte Personen) zu bewerten.

Die Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen sind, um eine gesundheitliche Charakterisierung der Produkte zu ermöglichen, ergänzend für ausgewählte Produkte zu prüfen und nach dem AgBB-Schema auszuwerten. Die Emissionsmessungen erfolgen üblicherweise am dritten und 28. Tag. Nahezu alle Produkte werden auch analytisch untersucht.

### Arbeitspaket 2: Untersuchung von Vergleichsmaßstäben

Für die empfundene Intensität ist der Vergleichsmaßstab von ausschlaggebender Bedeutung. Aus dem vorherigen Projekt (UFOPLAN-Nr.370762300), aber auch aus weiteren Entwicklungen, wird ersichtlich, dass es aufgrund unterschiedlicher Aufbauten des Bewertungsmaßstabes zu unterschiedlichen Bewertungen der empfundenen Intensität kommen könnte.

Daher werden vier Vergleichsmaßstäbe verschiedener Institute untersucht und deren Ergebnisse dem Vergleichsmaßstab der HTW Berlin gegenübergestellt. Idee dabei ist, zu ermitteln, ob die Vergleichsmaßstäbe zu gleichen Ergebnissen führen. Sollte dies nicht der Fall sein, müssen evtl. bestimmte Parameter am Vergleichsmaßstab definiert und in die Normung überführt werden.

#### Arbeitspaket 3: Untersuchung der Linearität der Acetonskala (siehe Kapitel 7)

Sensorische Bewertungen müssen so objektiv und aussagekräftig wie möglich ausgeführt werden, damit ihre Ergebnisse zu einer positiven Entwicklung der Luftqualitätsbestimmung führen können. Die Verlaufskurve der Geruchswahrnehmung von Aceton soll auf ihre Linearität untersucht werden, um den Vergleichsmaßstab der sensorischen Luftqualitätsuntersuchungen zu validieren. In der ISO 16000- 28 und 30 ist die Skala des Maßstabs linear festgelegt, das Weber-Fechner-Gesetz besagt, dass die Sensorik des Menschen, und dazu zählt auch der Geruchsinn, einem logarithmischen Verlauf unterliegt. Der sogenannte „Mittenversuch“ ermittelt die Empfindungsintensität der Probanden nach Vorgabe einer Reizintensität.

#### Arbeitspaket 4: Erstellung einer Produktdatenbank

Für die bessere Auswertung der Daten wird eine Datenbank erstellt, in der alle untersuchten Bauprodukte aus dem aktuellen Projekt und den vorangegangenen Projekten zusammengeführt werden.

## 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, sind veröffentlicht [3] [11] [12] [13].

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. Einige dieser geruchlich aktiven Komponenten liegen nur in sehr geringen Konzentrationen vor und sind nur mit deutlich erhöhtem Aufwand oder bislang gar nicht analytisch nachweisbar. Die übliche Standard-Analytik mit 3 bis 5 Liter Probenahmevolumen auf Tenax® hat jedenfalls keine ausreichende Genauigkeit, um hier zu präziseren Aussagen zu kommen.

Es haben sich verschiedene Verfahren zur Bewertung der empfundenen Luftqualität etabliert, einige von ihnen wurden in den Vorgängerprojekten ([14] und [15]) untersucht und ein Verfahren zur Bewertung von Bauprodukten ausgewählt: die Bewertung der empfundenen Intensität mit Vergleichsmaßstab in Kombination mit der Hedonik. Im Zuge des neuen Vorhabens wird wiederum neben der empfundenen Intensität mit Vergleichsmaßstab 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. Die Intensität eines Geruchs kann mit zwei unterschiedlichen Verfahrensansätzen bestimmt werden:

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

Die Ergebnisse der Bewertung (Zahlenwerte) der beiden Verfahrensansätze sind nicht gleichbedeutend. Von geschulten Prüferinnen und Prüfern spricht man, wenn diese ein 5-tägiges Training am Vergleichsmaßstab durchgeführt haben und somit in der Lage sind, genaue, reproduzierbare Bewertungen mit geringen Standardabweichungen durchzuführen. Dieses Training ist in DIN ISO 16000-28 und VDI 4301 beschrieben [11], [12]. Für die in diesem Forschungsprojekt durchgeführten Untersuchungen wird der Verfahrensansatz 1 angewendet. Dabei wird die Probenluft mit Referenzreizen verglichen. Dies ermöglicht eine Standardisierung der Intensitätsbewertung und verringert die Varianz der Messwerte durch die Vereinheitlichung des Bewertungskriteriums. Die Bewertung der Intensität mit der Kategorienskala wird hier nicht weiter erläutert.

Die Einheit der empfundenen Intensität  $\pi$  ist pi. Der Vergleichsmaßstab wird mit Aceton als Referenzstoff festgelegt. Der Vergleichsmaßstab sollte das gesamte Intensitätsspektrum der zu untersuchenden Proben abdecken und aus mindestens fünf pi-Stufen bestehen. Empfehlenswert sind sechs unterschiedliche, fest eingestellte pi-Stufen im Bereich zwischen 0 pi und 15 pi. Die Konzentration der pi-Stufen muss über den gesamten Prüfzeitraum konstant bleiben. Bis 10 pi ist eine maximale Abweichung 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 ist über 15 pi hinaus nach oben erweiterbar.
- ▶ Die Acetonkonzentrationen für 1 pi bis n pi folgen 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 Prüferinnen und Prüfer in geruchsneutralen Räumen auf. Zu Beginn der Prüfung verweilen alle Prüferinnen und Prüfer mindestens zehn Minuten lang im Aufenthaltsraum. Diese Zeit kann für Erläuterungen zu den Zielen der Geruchsprüfung durch die Versuchsleitung genutzt werden [12].

Die nachfolgende Abbildung 1, zeigt das Konstruktionsprinzip des Vergleichsmaßstabs. Abbildung 2 zeigt ein Foto des oberen Teils des Vergleichsmaßstabs der HTW Berlin mit der Absaugung.

Abbildung 1: Konstruktionsprinzip des Vergleichsmaßstabs [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]

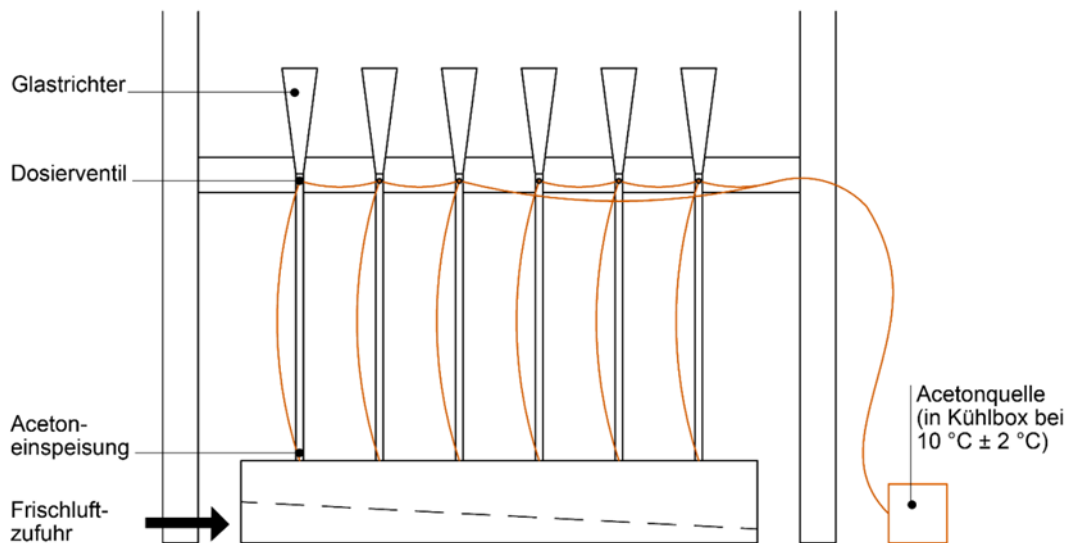


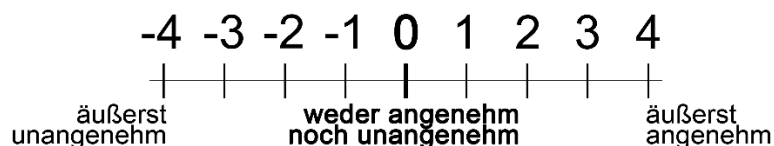
Abbildung 2: Vergleichsmaßstab im Luftqualitätslabor der HTW Berlin [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



### 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 Prüfergruppe dar. Zur Beurteilung der hedonischen Geruchswirkung wird die in Abbildung 3 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 [12].

Abbildung 3: Hedonikskala [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



### 3.1.3 Genauigkeit der Bewertungen

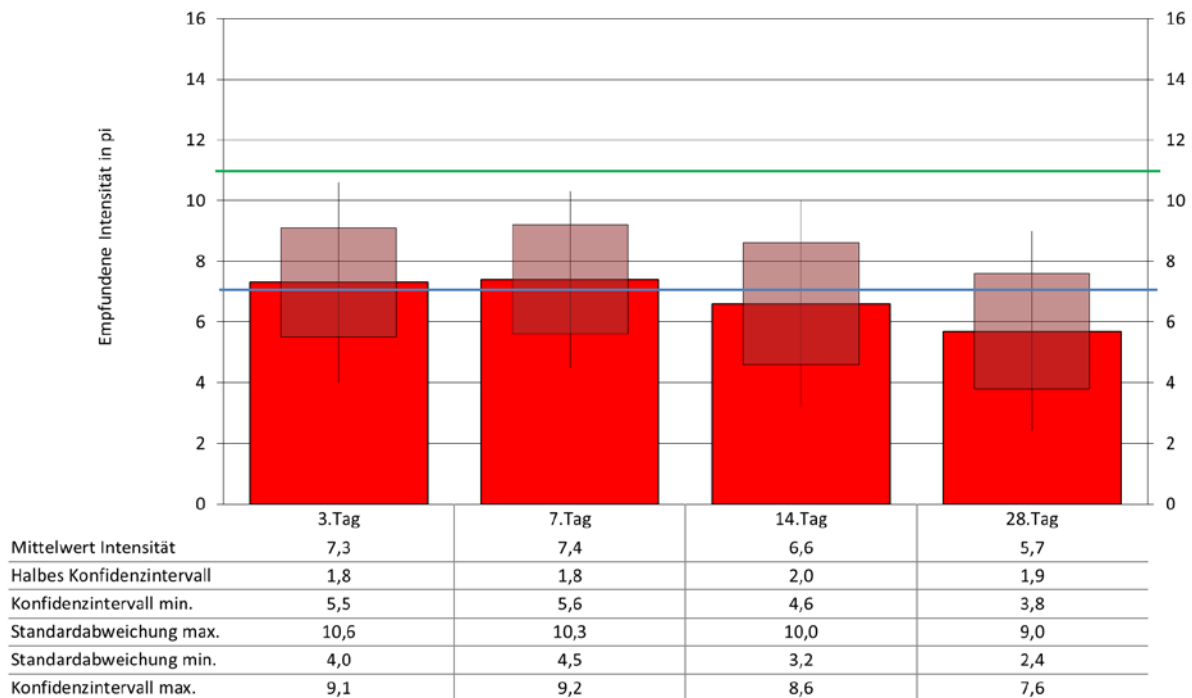
Die Genauigkeit der Geruchsprüfungen kann nach VDI 4302 Blatt 1 durch das 90%ige Konfidenzintervall des Mittelwerts (Vertrauensintervall) ausgedrückt werden. Aus den ermittelten Einzelwerten der Prüferinnen und Prüfer wird der arithmetische Mittelwert der Ergebnisse und das 90%ige Konfidenzintervall des Mittelwerts berechnet.

Die Breite des Konfidenzintervalls wird durch die Anzahl der Prüferinnen und 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.

In Abbildung 4 ist beispielhaft für die in Kapitel 4 und 5 nachfolgenden Auswertungen die Darstellung der Ergebnisse aufgeführt. Es sind die Bewertungsergebnisse der empfundenen Intensität für ein Produkt dargestellt, welches am Tag 3, 7, 14 und 28 nach Einbringung in die Prüfkammer bewertet wird.

Die Höhe der dunkelroten Balken gibt den Mittelwert der empfundenen Intensität an. Das hellrote Kästchen stellt die Breite des oben beschriebenen Konfidenzintervalls dar. Die schwarze, senkrechte Linie zeigt die Standardabweichung an. Unter der Grafik sind in einer Datentabelle die Werte dazu noch einmal aufgeführt. Die Bewertungen und deren Daten sind immer auf eine Stelle hinter dem Komma gerundet. Bei einigen Darstellungen wird der Übersicht halber auf ganze Zahlen gerundet. Dies wird in den jeweiligen Darstellungen dann gesondert erläutert. Das gleiche Darstellungsprinzip gilt auch für die Hedonik.

Abbildung 4: Beispielhafte Darstellung für die empfundene Intensität [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



Die Genauigkeit der empfundenen 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 [12]. Werden diese Werte nicht eingehalten müssen die Messungen wiederholt werden. In den folgenden Untersuchungen wird auf eine Wiederholung verzichtet, da es sich um keine Produktprüfungen handelt.

### 3.1.4 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 Prüferinnen und Prüfer die Bewertungen durchführen, sowie einem Aufenthaltsbereich, in dem die Prüferinnen und Prüfer sich zwischen den Bewertungen zur Erholung des Geruchssinns aufhalten. Beide Bereiche werden durch Klimaanlage geregelt. Ein leichter Überdruck in der Bewertungskabine verhindert, dass Umgebungsluft in die Kabine 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 Prüferinnen und Prüfer den Geruch bewerten. Die zu bewertende Probe ist dabei für die Prüferinnen und Prüfer 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 [16].

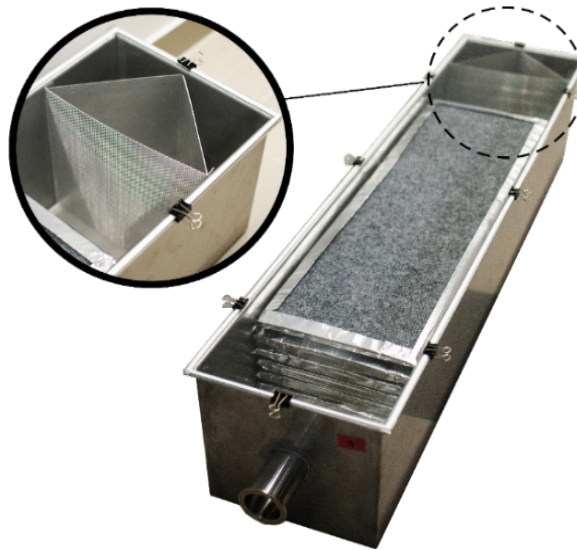
Die folgende Abbildung 5 zeigt das LQ-Labor. Auf der linken Seite ist die Kammer mit dem Vergleichsmaßstab und auf der rechten Seite befinden sich die CLIMPAQ-Emissionskammern. Abbildung 6 zeigt eine mit einem textilen Bodenbelag beladene Emissionskammer (CLIMPAQ).

Abbildung 5: LQ-Labor HTW Berlin [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]





Abbildung 6: CLIMPAQ-Emissionskammer [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



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 der zu untersuchenden Materialien nach ISO 16000-9 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  $q = 44 \text{ m}^3/(\text{h m}^3)$  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. [12]

Die olfaktorische Bewertung durch geschulte Prüferinnen und Prüfer 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 und Tag 28 statt. [16]

Ein vorheriges Forschungsvorhaben [15] untersuchte eine Vielzahl von Bauprodukten olfaktorisch. 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 für die empfundene Intensität und einer Hedonik von -1 (Abbildung 7), bei dem AgBB-Schema bei 11 pi für die empfundene Intensität und einer Hedonik von -2 (Abbildung 8).

Diese Prüfwerte sind aktuell in der Diskussion und befinden sich noch in der Abstimmung.

Abbildung 7: Vorgeschlagene sensorische Prüfwerte für den Blauen Engel [15]

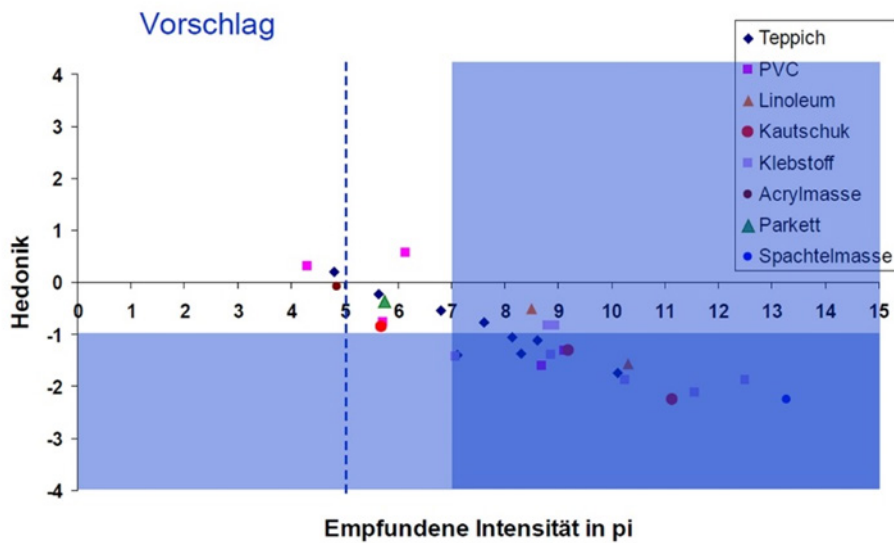
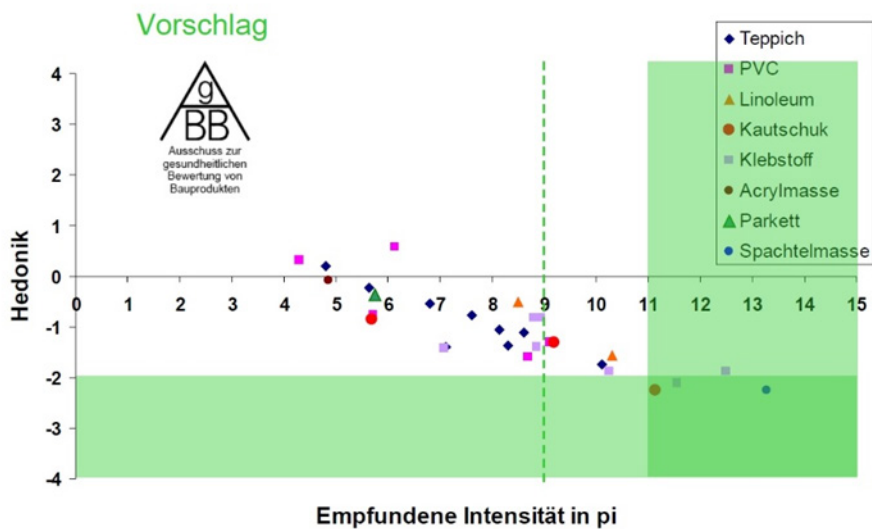


Abbildung 8: Vorgeschlagene sensorische Prüfwerte für das AgBB-Schema [15]



Die hier erläuterten Werte werden zur einfacheren Übersicht in den Auswertungen der folgenden Kapitel für die untersuchten Baumaterialien als blaue (Blauer Engel) bzw. grüne (AgBB-Schema) Linie dargestellt.

### 3.1.5 Einfluss von Temperatur und Feuchte

Der thermische Zustand (Temperatur und Feuchte bzw. die spezifische Enthalpie) der eingeatmeten Luft beeinflusst die Wahrnehmung von Gerüchen und 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  $50 \% \pm 10 \%$  betragen.

Es wird empfohlen, die spezifische Enthalpie der feuchten Luft in einem Bereich von  $43 \text{ kJ/kg} \pm 5 \text{ kJ/kg}$  zu halten [12].

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 konnten 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 [12].

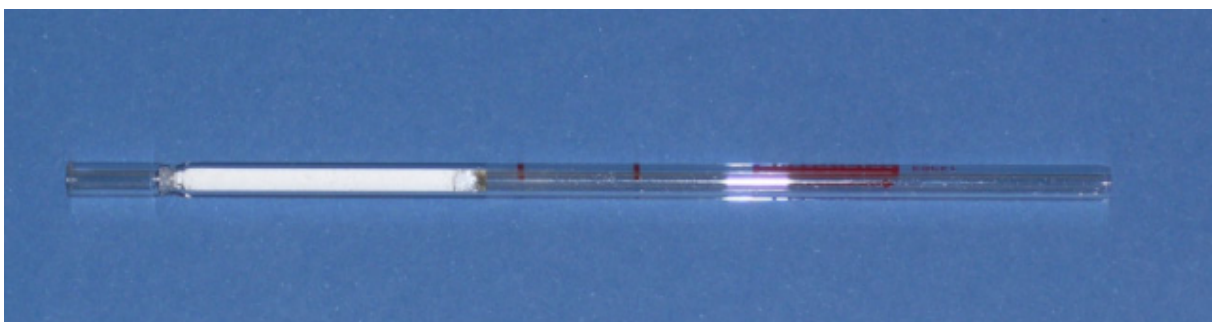
Dies ist aus den Untersuchungsergebnissen von *Fanger* ersichtlich ([17] und [18]). Diese Ergebnisse konnten von *Böttcher* [19] bestätigt werden. Die Intensität (bewertet mit Kategorienskala) sinkt mit steigender spezifischer Enthalpie, das heißt, der Geruch wird bei hohen Temperaturen und Feuchten als weniger intensiv empfunden als bei trockener, kalter Luft. Dies wurde durch *Kerka* und *Humphreys* [20] festgestellt. Die Stärke der Beeinflussung durch die spezifische Enthalpie variiert je nach Geruchstoff.

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* [19] in seinen Untersuchungen feststellen.

### 3.2 Analytische Untersuchungen

Die VOC-Probenahme aus der Emissionsprüfkammerluft erfolgt nach DIN ISO 16000-6 [21]. Die Luftprobe wird auf ein mit TENAX® TA gefülltes Glasrohr gezogen (ähnlich Abbildung 9). Vor den Probenahmen werden die TENAX® Röhrchen mit D<sub>8</sub>-Naphthalin und D<sub>34</sub>-Hexadecan in 1 µL Methanol als internem Standard beaufschlagt. Das Probenahmenvolumen liegt bei 0,2 L bis 5 L. Der Probenahmestrom beträgt 100 mL/min und wird mit Gilian LFS-113 Probenahmepumpen realisiert.

Abbildung 9: TENAX® Röhrchen für die Adsorption von VOC [Quelle: eigene Darstellung, BAM]



### Chromatographiebedingungen:

#### Injektor (Thermodesorption (TDS)):

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

#### Gaschromatograph:

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

#### Detektor:

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

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

## 4 Untersuchungen - Textile Bodenbeläge

Im ersten Arbeitspaket werden verschiedene Produkte der Produktgruppe „textile Bodenbeläge“ untersucht und bewertet. Ziel ist eine breite Datenbasis, welche als Grundlage für die Einführung der Geruchsbewertung in die Vergabekriterien des „Blauen Engel“ für textile Bodenbeläge (RAL UZ-128) dienen soll.

Abbildung 10: Fotos - Beladung textile Bodenbeläge [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



Die nachfolgende Tabelle 1 zeigt eine Übersicht aller untersuchten Produkte und gibt einen groben Überblick über die Zusammensetzung der Nutzschicht und des Belagsrückens. Die Farben in der Nummernspalte werden der Übersicht halber auch in den Diagrammen als Balkenfarbe verwendet. Insgesamt werden 22 Produkte von 7 verschiedenen Herstellern untersucht.

Tabelle 1: Übersicht der untersuchten Produkte [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]

Lfd.-Nr.	Prüfnummer	Zusammensetzung Nutzschiicht			Rückenschicht
		Polyamid (PA)	Polypropylen (PP)	Polyester (PES)	
1	HTW 14.015	-	100%	-	PP/PES
2	HTW 14.011	100%	-	-	PP
3	HTW 14.008	100%	-	-	PP/PES
4	HTW 14.007	-	-	100%	PP
5	HTW 14.027	-	100%	-	kein Rücken
6	HTW 14.028	70%	30%	-	PAN/PES/PP
7	HTW 14.025	30%	70%	-	kein Rücken
8	HTW 14.030	100%	-	-	PAN/PES/PP
9	HTW 14.031	100%	-	-	PAN/PES
10	HTW 14.035	80%	20%	-	PES
11	HTW 14.039	100%	-	-	PES
12	HTW 14.038	100%	-	-	PES
13	HTW 14.016	40%	60%	-	PES
14	HTW 14.010	100%	-	-	PES
15	HTW 14.017	100%	-	-	PES
16	HTW 14.036	-	100%	-	PES
17	HTW 14.033	30%	70%	-	PES
18	HTW 14.037	100%	-	-	PES
19	HTW 14.009	30%	45%	25%	PES
20	HTW 14.014	100%	-	-	PES
21	HTW 14.034	-	100%	-	PES
22	HTW 14.032	70%	10%	20%	PES

#### 4.1 Produkte des ersten Herstellers

Aus der Produktpalette des ersten Herstellers werden vier verschiedene Produkte untersucht.

1. HTW 14.015 (rot)
2. HTW 14.011 (lila)
3. HTW 14.008 (gelb)
4. HTW 14.007 (cyan)

In der nachfolgenden Abbildung 11 sind die empfundenen Intensitäten jeweils von Tag 3 (d3), Tag 7 (d7), Tag 14 (d14) und Tag 28 (d28) dargestellt. Produkt 1 (rot) liegt in etwa im Bereich von 9-10 pi. Produkt 2 (lila) wird am Tag 3 mit 10 pi bewertet und bleibt dann vom Tag 7 bis Tag 28 bei knapp 8 pi. Produkt 3 (gelb) weist die vergleichsweise höchsten Intensitäten von etwa 11-13 pi auf. Produkt 4 wird mit nahezu gleichbleibenden Intensitäten zwischen 8 und 9 pi bewertet.

Abbildung 11: Empfundene Intensitäten Hersteller 1 (textile Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]

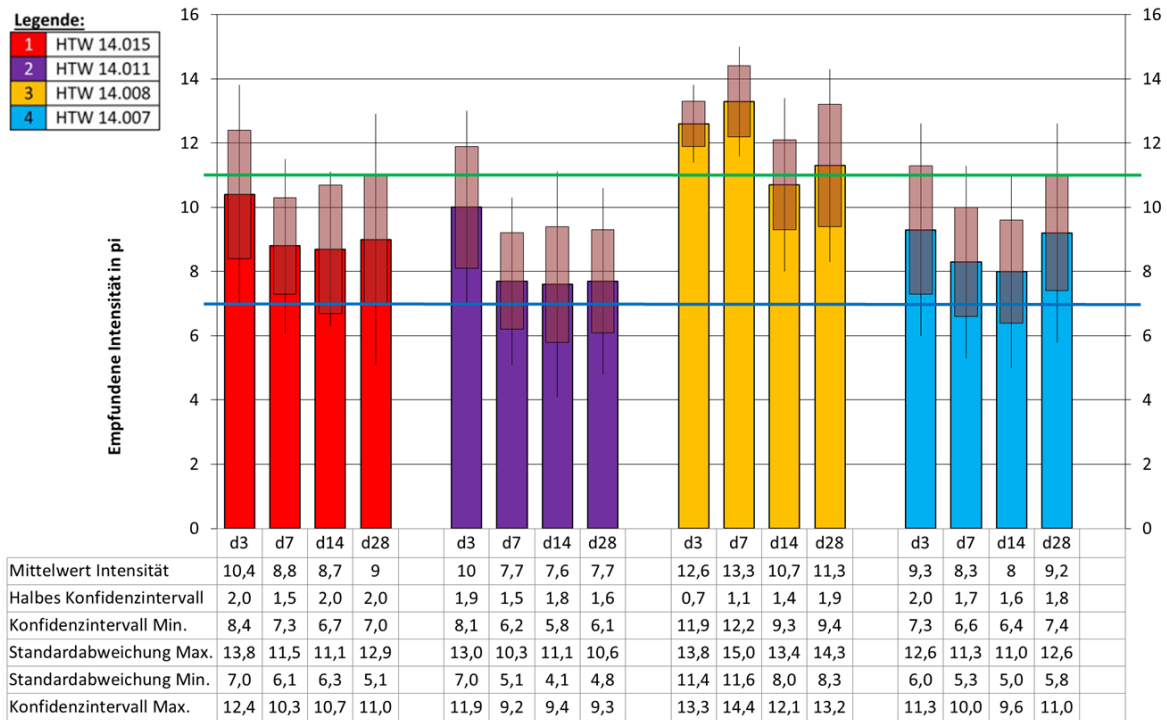
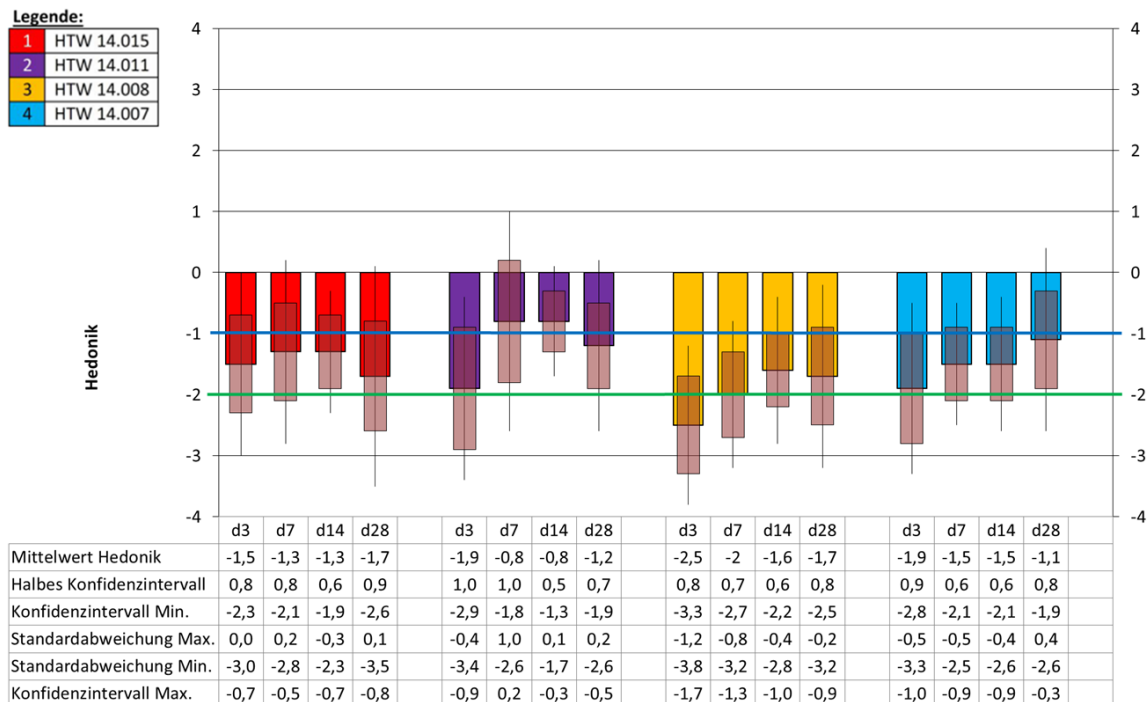


Abbildung 12 zeigt die Bewertungen der Hedonik der vier Produkte. Produkt 1 (rot) wird im Untersuchungszeitraum im etwa gleichbleibenden Bereich zwischen -1 und -2 bewertet. Produkt 2 (lila) weist am Tag 3 eine etwas ungünstige Hedonik (-1,9) auf und liegt danach in etwa im Bereich von -1. Produkt 3 (gelb) erzielt ähnlich wie bei der Intensität vergleichsweise ungünstigste Bewertungen zwischen -2,5 und -1,6. Für Produkt 4 (cyan) wird die Bewertung der Hedonik im Laufe der Zeit immer besser von -1,9 bis -1,1.

Abbildung 12: Hedonik Hersteller 1 (textile Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



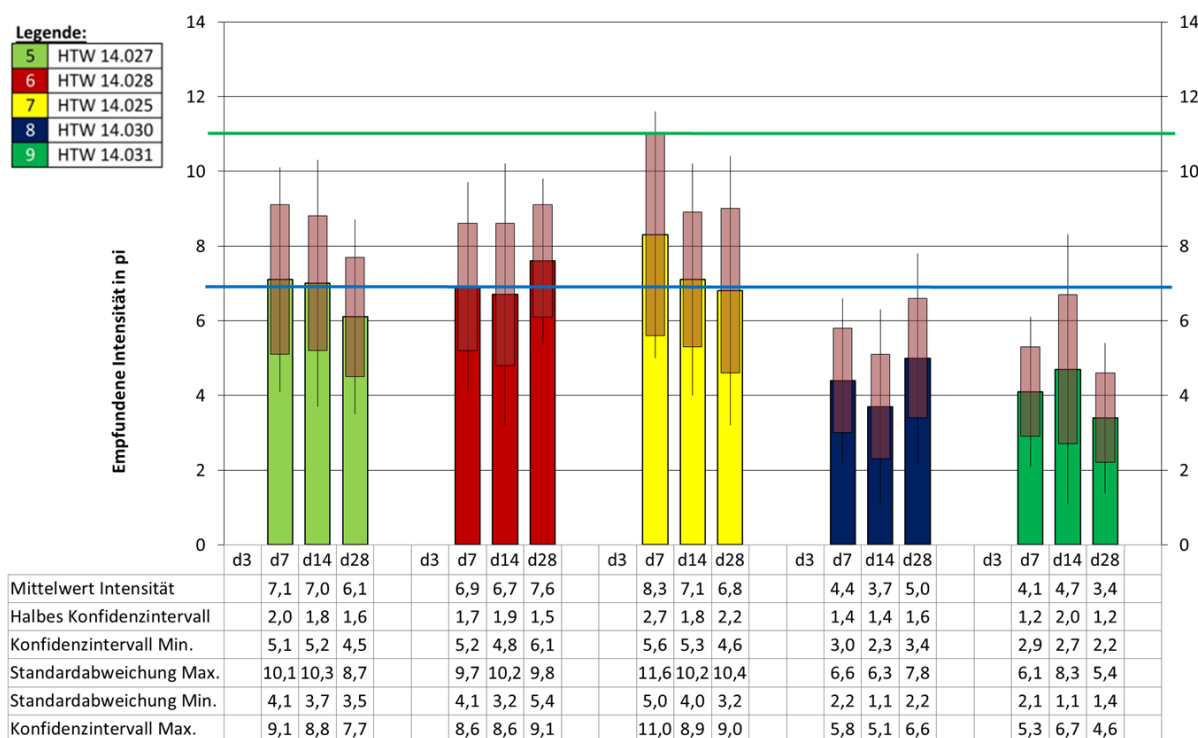
## 4.2 Produkte des zweiten Herstellers

Fünf verschiedene Produkte des zweiten Herstellers werden untersucht.

5. HTW 14.027 (hellgrün)
6. HTW 14.028 (dunkelrot)
7. HTW 14.025 (gelb)
8. HTW 14.030 (dunkelblau)
9. HTW 14.031 (dunkelgrün)

Die empfundenen Intensitäten der einzelnen Produkte an den jeweiligen Untersuchungstagen sind in Abbildung 13 dargestellt. Diese Produkte konnten aufgrund einer Bombenentschärfung in der Nähe des Prüflabors nicht am Tag 3 (d3) bewertet werden. Die Produkte 5-7 (hellgrün, dunkelrot, gelb) werden im Laufe des Untersuchungszeitraums mit Intensitäten zwischen 6 und 8 pi bewertet. Die Produkte 8 (dunkelblau) und 9 (dunkelgrün) werden im Vergleich etwas besser bewertet und liegen im Wertebereich zwischen 3 und 5 pi.

Abbildung 13: Empfundene Intensitäten Hersteller 2 (textile Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]

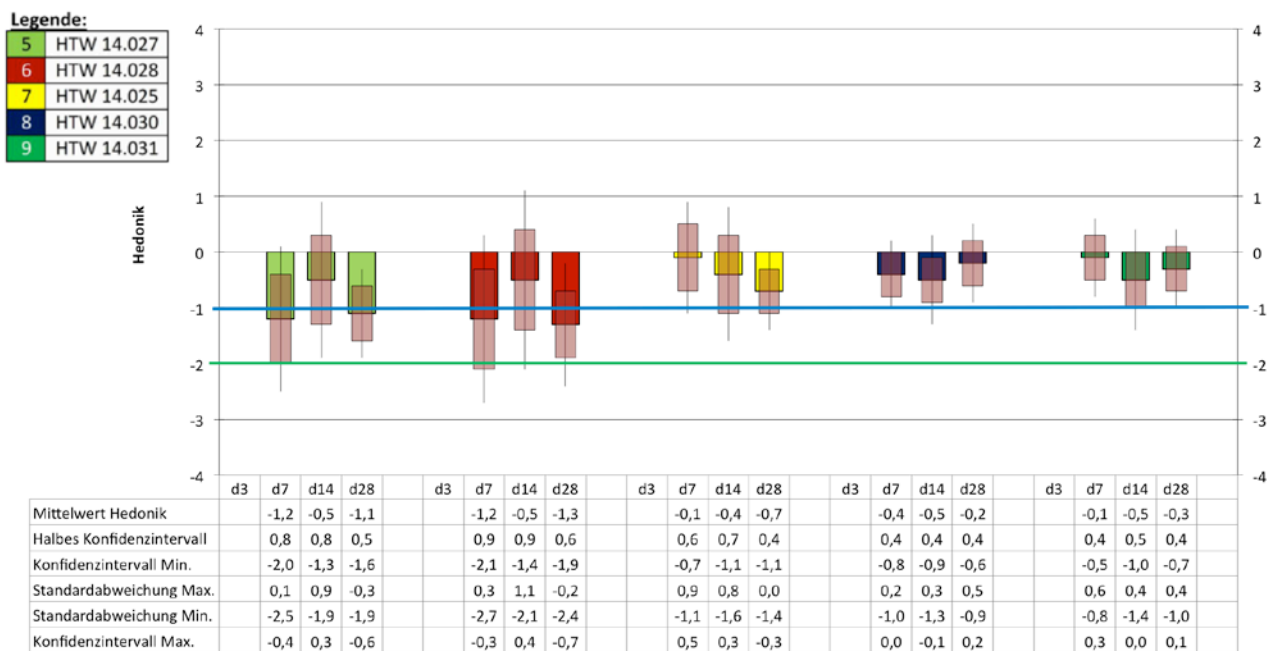


Die halben Konfidenzintervalle der Bewertungen des Produktes 8 liegen am 7ten und 28ten Tag über 2. Prüfungen für den „Blauen Engel“ müssten wiederholt werden.

Die nachfolgende Abbildung 14 zeigt die Hedonikbewertungen dieser Produkte. Hier liegen die Bewertungen im Bereich von -1,3 bis -0,1.



Abbildung 14: Hedonik Hersteller 2 (textile Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



### 4.3 Produkte des dritten Herstellers

Hersteller 3 stellt drei Produkte seiner Produktpalette zur Verfügung:

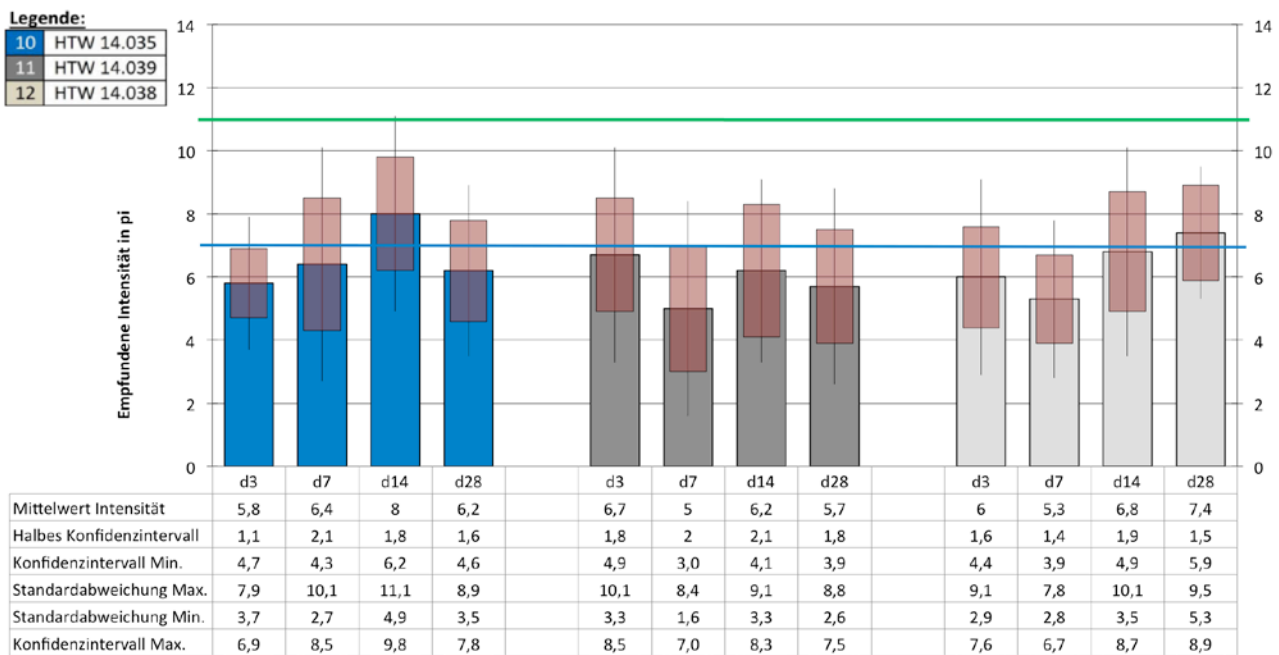
- 10. HTW 14.035 (mittelblau)
- 11. HTW 14.039 (grau)
- 12. HTW 14.038 (hellgrau)

Die folgende Abbildung (Abbildung 15) stellt die Ergebnisse der Bewertungen der empfundenen Intensitäten der Produkte an den einzelnen Messtagen dar. Produkt 10 (mittelblau) erreicht im Untersuchungszeitraum Werte zwischen 8 bis 5,8 pi.

Produkt 11 (grau) liegt am Tag 3 bei 6,7 pi und am Tag 28 bei 5,7 pi.

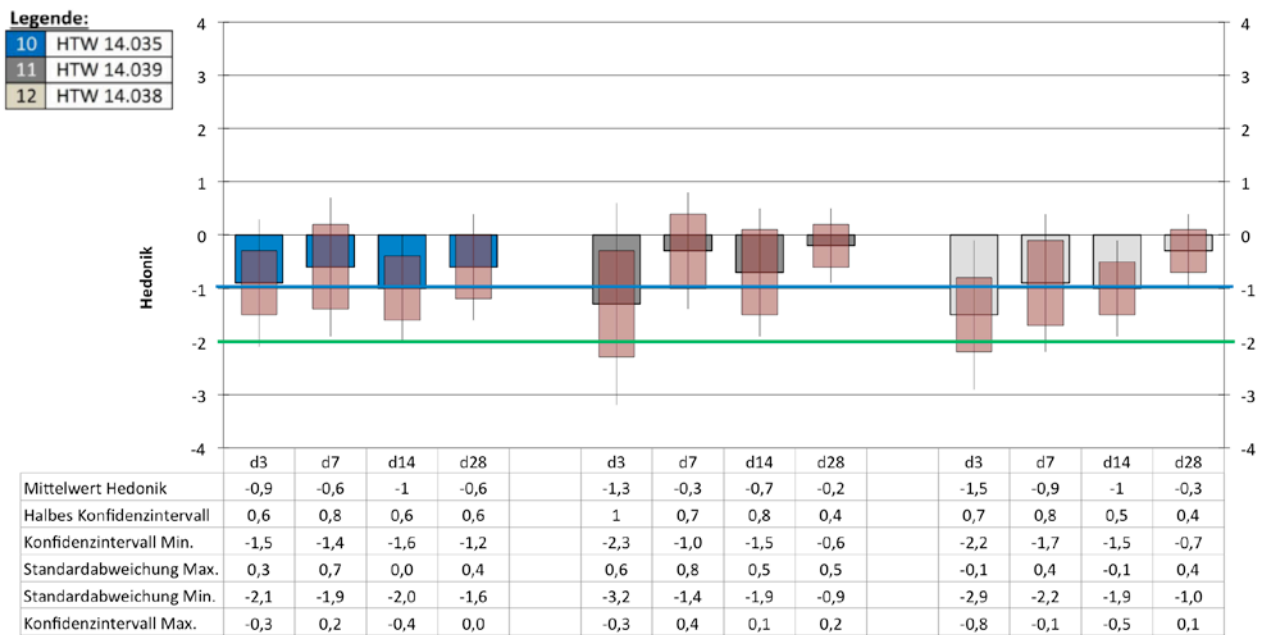
Produkt 12 (hellgrau) weist am Tag 28 ein im Vergleich zu den anderen Messtagen höheren Mittelwert der empfundenen Intensität von 7,4 pi auf. Nach den Anforderungen in der Vergabegrundlage zum RAL-UZ128 gilt die Prüfung somit als bestanden. Wäre der Wert über 7,5 pi könnte man dieses Material am nächsten Tag noch einmal testen. Bleibt es dann unter 7,5 pi würde das Produkt den „Blauen Engel“ erhalten.

Abbildung 15: Empfundene Intensitäten Hersteller 3 (textile Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



Die Bewertungen der Hedonik für die drei Produkte des dritten Herstellers sind in Abbildung 16 dargestellt. Produkt 11 (mittelblau) liegt hier im Bereich zwischen -0,5 und -1. Produkt 11 (grau) wird am Tag 3 mit -1,3 und Tag 28 mit -0,2 bewertet. Die Hedonik von Produkt 12 (hellgrau) verbessert sich im Laufe des Untersuchungszeitraums von -1,5 auf -0,3.

Abbildung 16: Hedonik Hersteller 3 (textile Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



## 4.4 Produkte des vierten und fünften Herstellers

In diesem Abschnitt sind die bereitgestellten Produkte der Hersteller 4 (zwei Produkte) und 5 (ein Produkt) zusammengefasst.

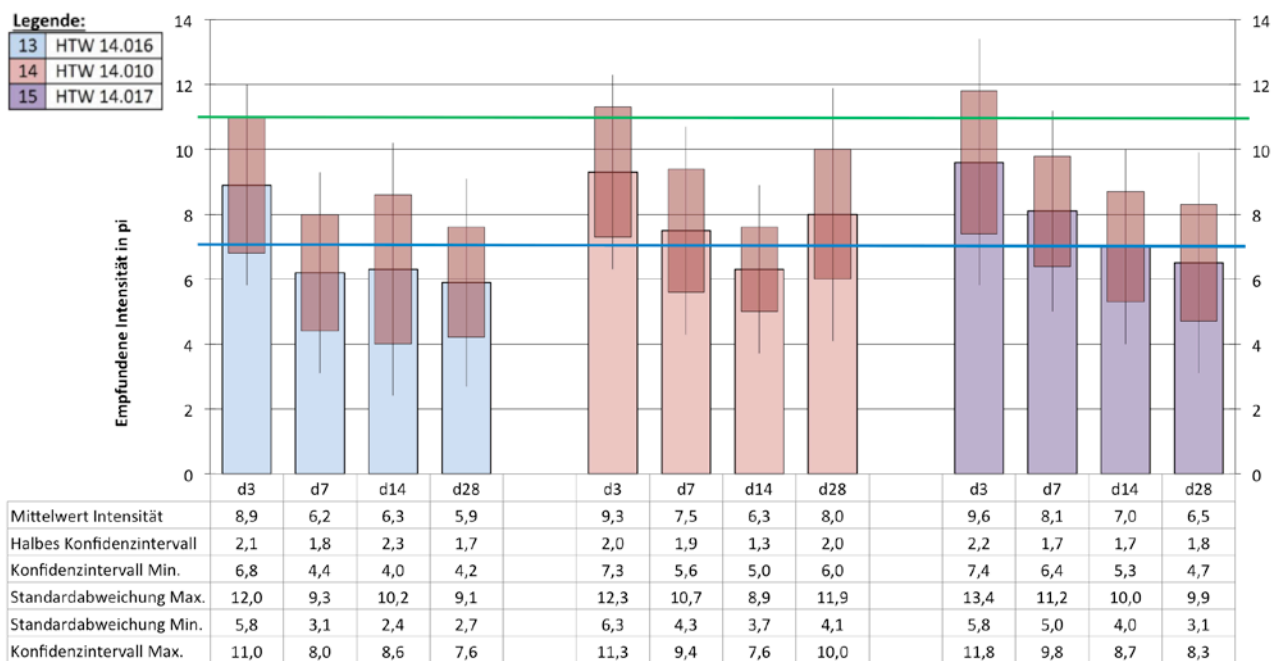
13. HTW 14.016 (hellblau) -> Hersteller 4

14. HTW 14.010 (rosa) -> Hersteller 4

15. HTW 14.017 (helllila) -> Hersteller 5

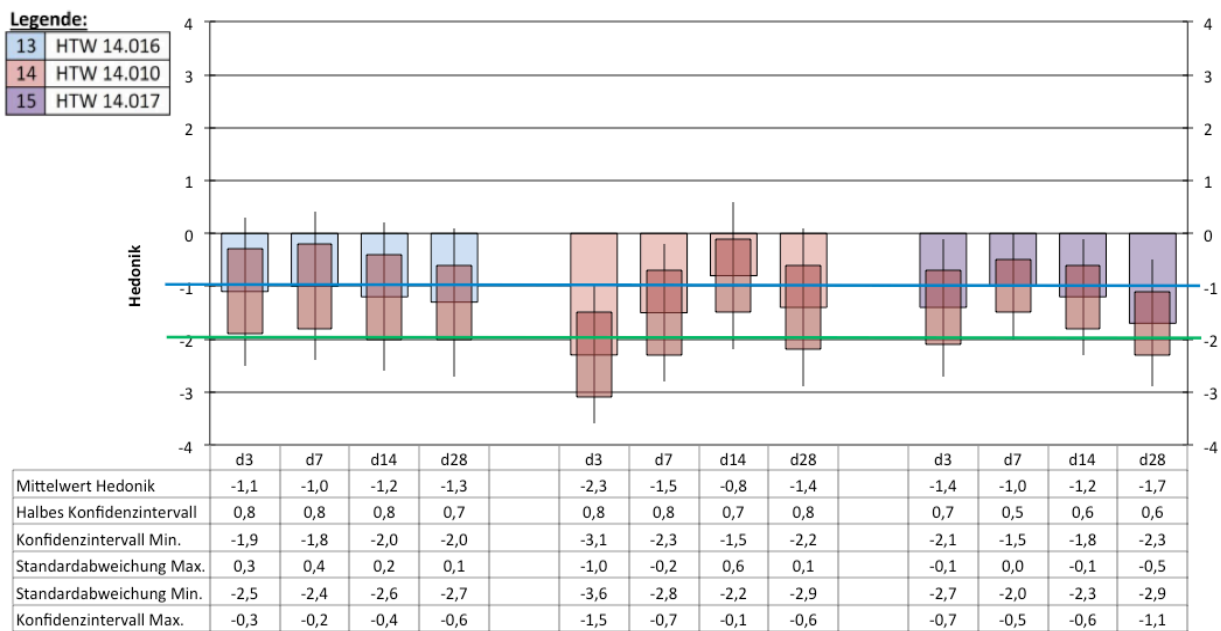
Die Abbildung 17 zeigt die empfundenen Intensitäten der einzelnen Produkte im Untersuchungszeitraum. Produkt 13 (hellblau) wird am Tag 3 mit 8,9 pi bewertet. Danach nimmt die Intensität ab und wird ab dem Bewertungstag 7 mit ca. 6 pi bewertet. Bei Produkt 14 (rosa) kann man eine leichte Abnahme der Intensität zwischen Tag 3 (9,3 pi) und Tag 28 (8 pi) feststellen, wobei der Wert von 7pi bereits am Tag 14 unterschritten war. Es wäre in der RAL Prüfung zulässig die Bewertung des 28ten Tages zu wiederholen. Würde der Wert dann unter 7 pi liegen würde der „Blaue Engel“ vergeben werden können. Bei Produkt 15 (helllila) ist eine Intensitätsabnahme über den Untersuchungszeitraum festzustellen. Am Tag 3 wird dieses Produkt mit 9,6 pi und am Tag 28 mit 6,5 pi bewertet.

Abbildung 17: Empfundene Intensitäten Hersteller 4+5 (textile Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



Die Hedonikbewertung dieser Produkte ist in Abbildung 18 aufgeführt. Bei Produkt 13 (hellblau) sowie 15 (helllila) ist eine in etwa gleichbleibende Bewertung zu erkennen. Produkt 13 mit Bewertungen im Bereich von ca. -1 und Produkt 15 im Bereich zwischen -1 und -1,7. Produkt 14 (rosa) weist am Tag 3 eine verhältnismäßig schlechte Hedonikbewertung von -2,3 auf, welche im Laufe der Versuchszeit besser wird und am Tag 28 bei -1,4 liegt.

Abbildung 18: Hedonik Hersteller 4+5 (textile Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



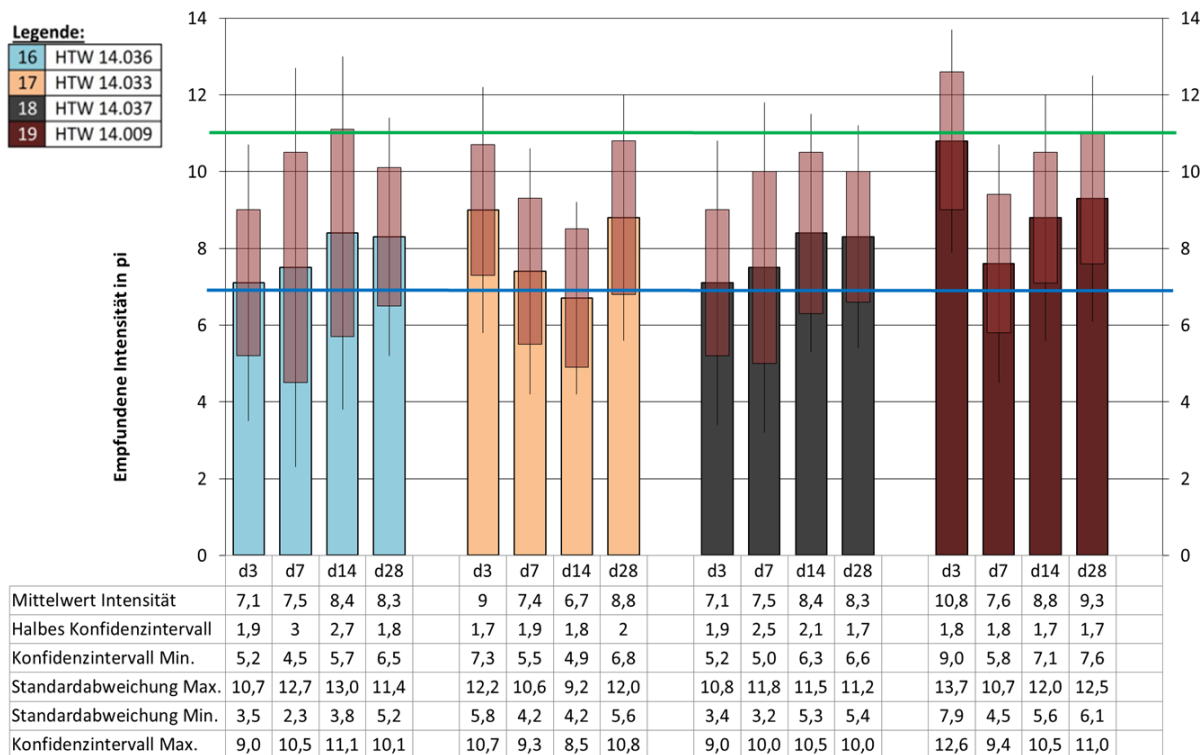
## 4.5 Produkte Hersteller 6

Folgende vier Produktproben des Herstellers 6 werden untersucht:

- 16. HTW 14.036 (graublau)
- 17. HTW 14.033 (ocker)
- 18. HTW 14.037 (dunkelgrau)
- 19. HTW 14.009 (braun)

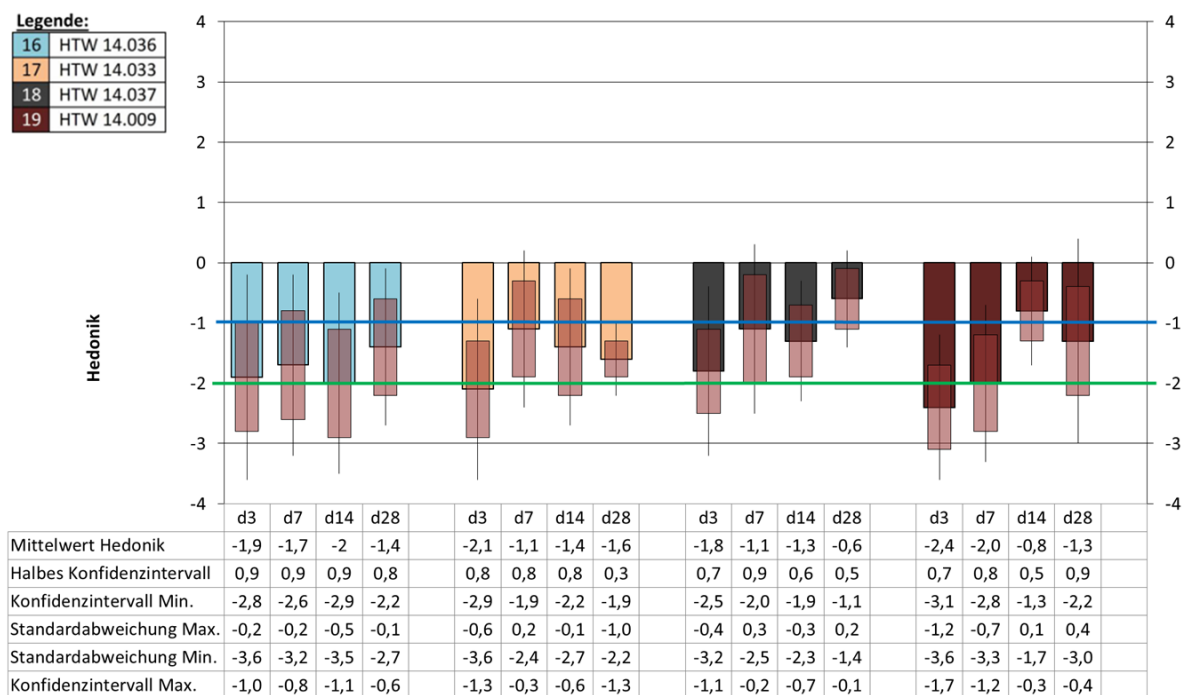
In der nachfolgenden Abbildung 19 werden die empfundenen Intensitäten dieser Produkte dargestellt. Die ersten drei Produkte (graublau, ocker, dunkelgrau) weisen dabei Intensitätsbewertungen zwischen 9 und 7 pi auf. Produkt 19 (braun) wird vergleichsweise etwas höher eingestuft. Hier liegt die empfundene Intensität am Tag 3 bei 10,8 pi und am Tag 28 bei 9,3 pi. Erstaunlich bei den dargestellten Bewertungen ist, dass sie teilweise von niedrigeren Werten am 3ten Tag zum 28ten Tag hin ansteigen oder auch sehr schwanken. Es ist kein „klares“ Abklingen der empfundenen Intensität ersichtlich.

Abbildung 19: Empfundene Intensitäten Hersteller 6 (textile Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



Die Hedonikbewertungen dieser Produkte sind in Abbildung 20 dargestellt. Die Produkte 16 (grau-blau) und 17 (ocker) liegen hierbei im Bereich von -2 und -1. Das Produkt 18 (dunkelgrau) wird am Tag 28 etwas angenehmer empfunden und liegt bei -0,6. Produkt 19 (braun) weist am Tag 3 eine etwas ungünstigere Bewertung (-2,4) auf welche sich aber zum Tag 28 auf -1,3 verbessert.

Abbildung 20: Hedonik Hersteller 6 (textile Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



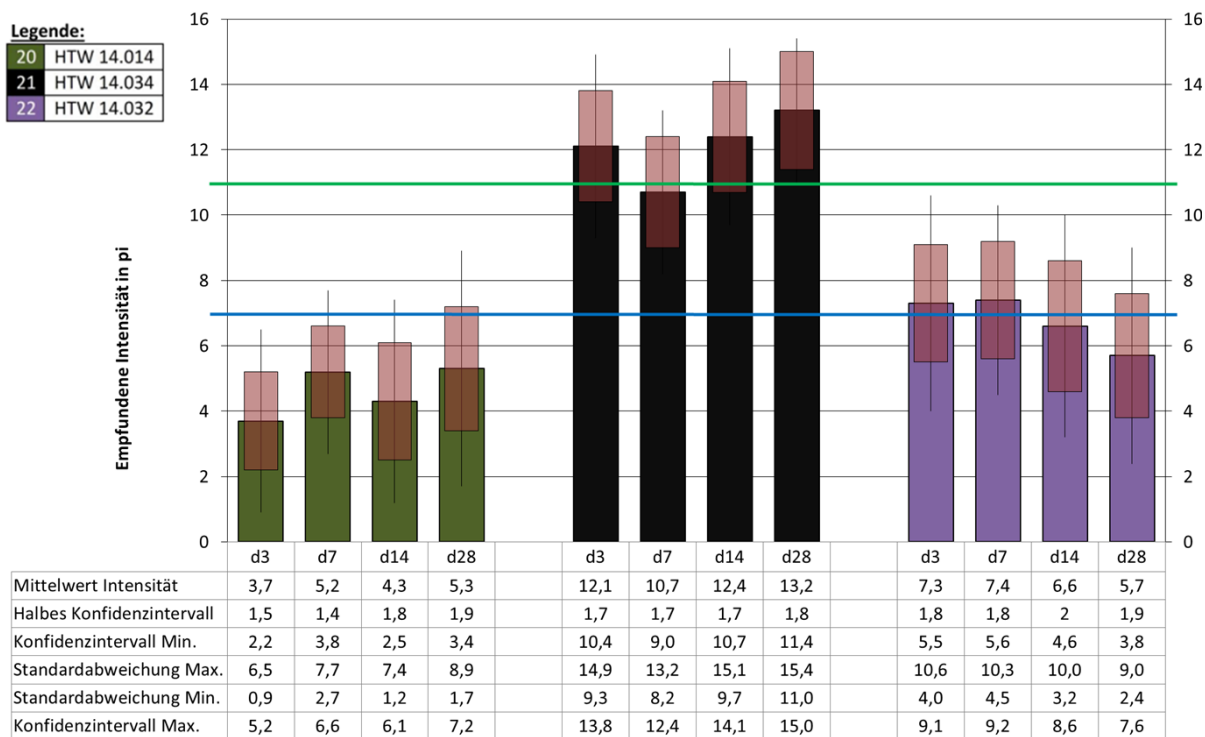
## 4.6 Produkte des siebenten Herstellers

Die folgenden Produkte kommen aus der Produktpalette von Hersteller 7.

- 20. HTW 14.014 (dunkelgün)
- 21. HTW 14.034 (schwarz)
- 22. HTW 14.032 (lila)

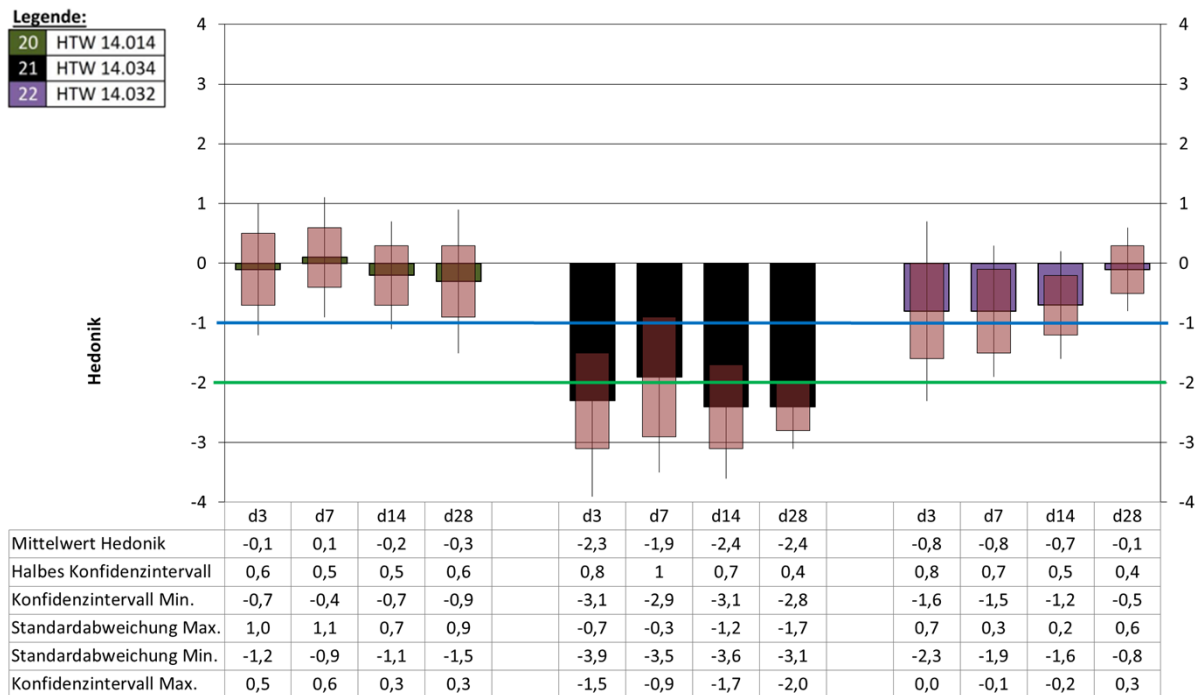
Die Bewertungen der empfundenen Intensität fallen für diese Produkte sehr unterschiedlich aus. (siehe Abbildung 21) Während die Produkt 20 (dunkelgrün) und 22 (lila) vergleichsweise niedrige Intensitäten aufweisen wird das Produkt 21 (schwarz) des gleichen Herstellers über den gesamten Untersuchungszeitraum mit einer hohen Intensität (zwischen 11 und 13 pi) bewertet.

Abbildung 21: Empfundene Intensitäten Hersteller 7 (textile Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



Die Bewertungen der Hedonik dieser Produkte sind auf der nachfolgenden Abbildung 22 zu erkennen. Auch hier erreichen, analog zur Intensität, die Produkte 20 (dunkelgrün) und 22 (lila) vergleichsweise gute Bewertungen (am Tag 28 etwa 0) während Produkt 21 (schwarz) als ziemlich unangenehm empfunden wird und über den gesamten Untersuchungszeitraum Bewertungen um -2 und darüber erreicht.

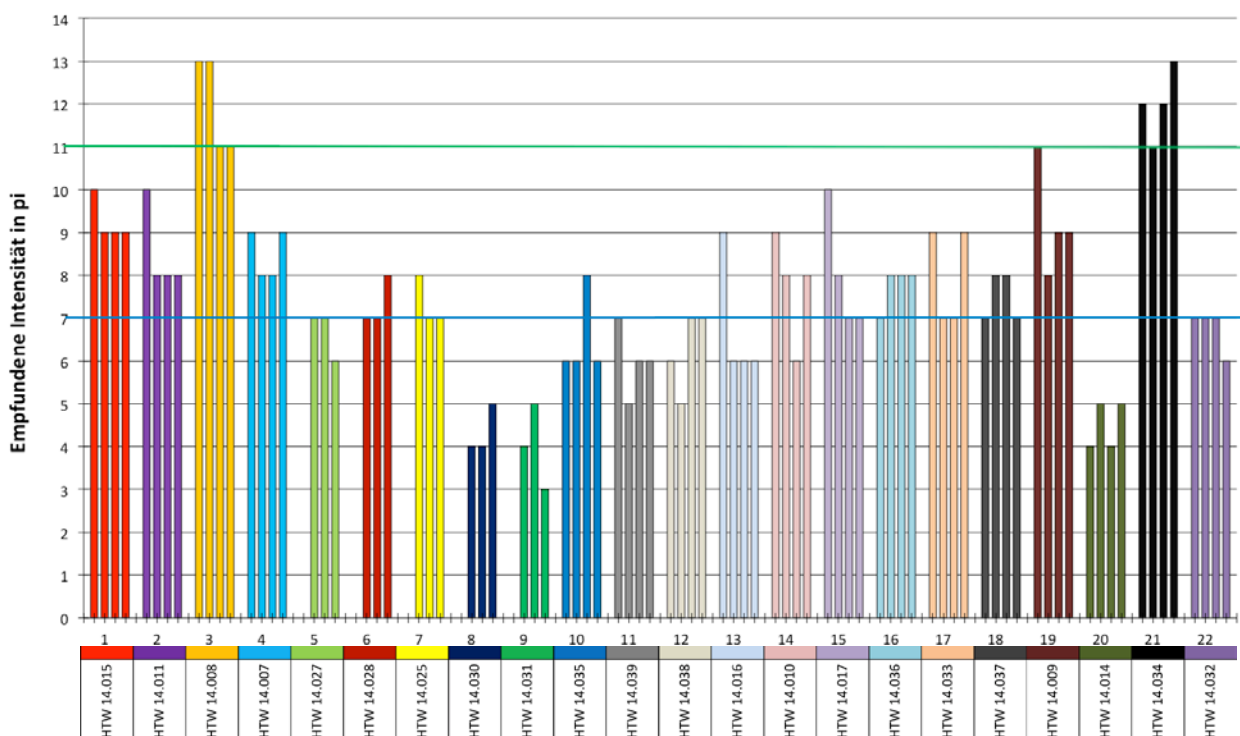
Abbildung 22: Hedonik Hersteller 7 (textile Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



## 4.7 Vergleich der Ergebnisse

Zusammenfassend werden in diesem Kapitel noch einmal alle Einzelergebnisse zusammen dargestellt und miteinander verglichen. Die nachfolgende Abbildung 23 zeigt dabei die Intensitäten aller untersuchten Produkte. Die einzelnen Balken stehen für die Ergebnisse der einzelnen Untersuchungstage von links nach rechts in aufsteigender Reihenfolge (Tag 3, Tag 7, Tag 14 und Tag 28). Zur besseren Übersicht werden die Bewertungsergebnisse hier auf ganze Zahlen gerundet.

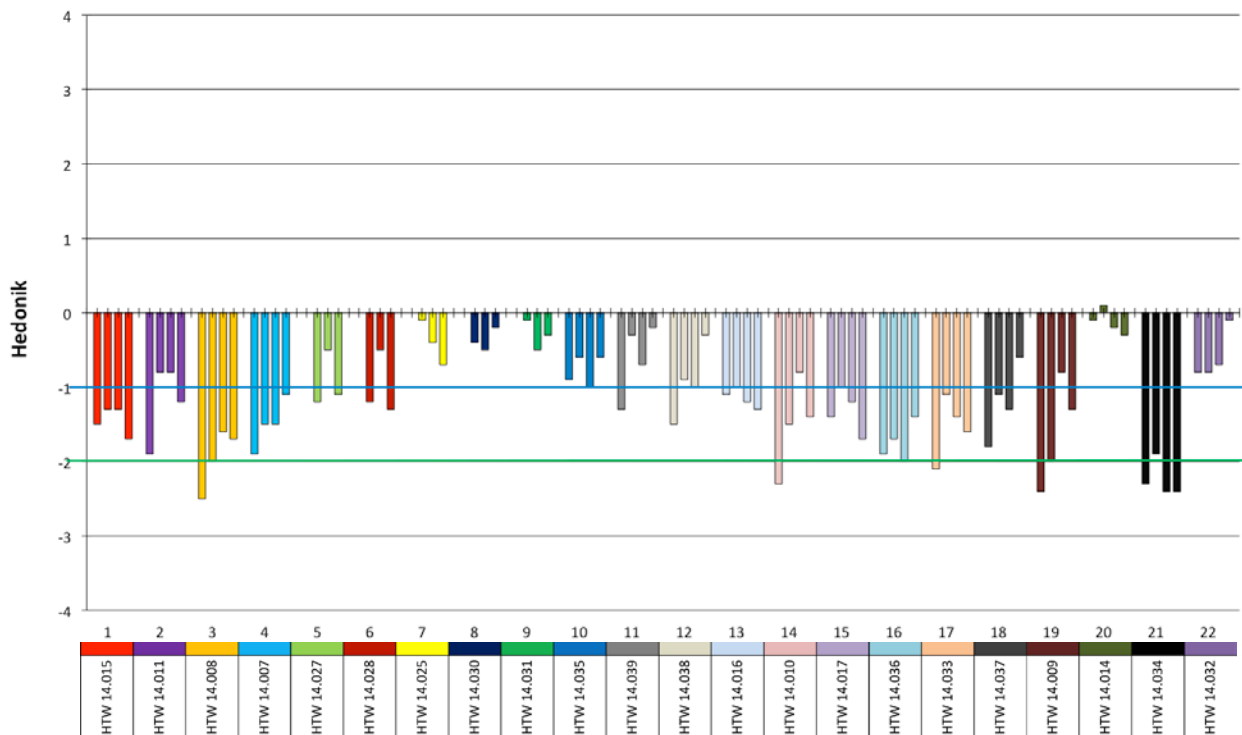
Abbildung 23: Zusammenfassung - empfundenen Intensitäten aller Produkte (textile Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



Die Produkte 3 und 21 weisen sehr hohe Intensitäten über 11 pi auf. Besonders niedrige Werte werden von den Produkten 8, 9 und 20 erzielt. Insgesamt liegt etwa die Hälfte (12) der untersuchten 22 Produkte am 28ten Tag im Bereich des vorgeschlagenen Prüfwerts des „Blauen Engels“.

Abbildung 24 zeigt die Hedonikbewertungen aller untersuchten Produkte. Hier liegen etwa 41% der Produkte unter dem vorgeschlagenen Prüfwert des Blauen Engels. Analog zu der Intensitätsbewertung weisen auch hier die Produkte 3, 19 und 21 die höchsten Bewertungen auf.

Abbildung 24: Zusammenfassung – Hedonik aller Produkte (textile Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



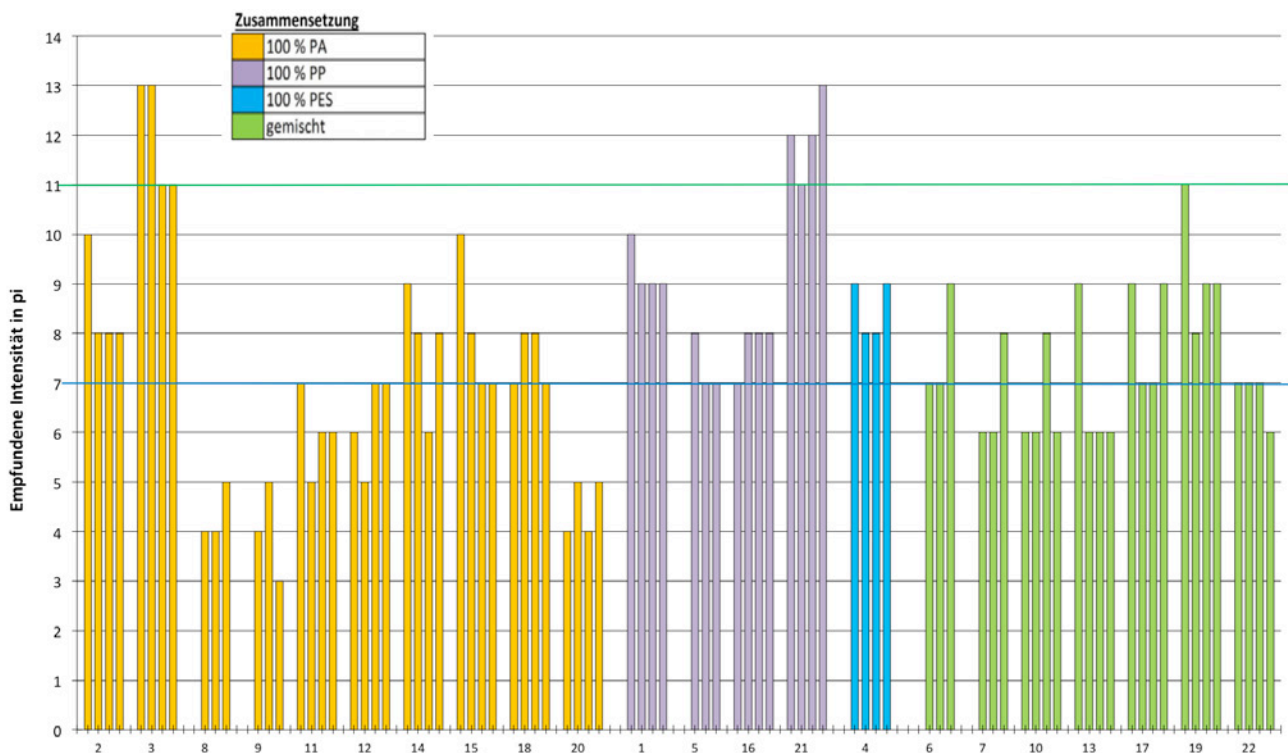
Auf der Suche nach möglichen Erklärungen für die unterschiedlichen Bewertungen der Produkte werden diese hinsichtlich der Zusammensetzung der Nutzschicht gegenübergestellt. Die nachfolgende Abbildung 25 zeigt diesen Vergleich anhand der empfundenen Intensitäten.

Die Betrachtung der Nutzschichtzusammensetzung lässt keinen Rückschluss auf die Höhe der Bewertung der empfundenen Intensität zu.

Auffällig ist hier, dass die Produkte mit den sehr guten Ergebnissen (8,9 und 20) über eine Nutzschicht aus 100% PA (gelb) verfügen. Allerdings ist dieses auch bei dem Produkt 3 mit hohen Intensitäten über 11 pi der Fall. Die Produkte mit einer gemischten Nutzschichtzusammensetzung weisen ebenfalls hohe wie niedrige Bewertungen der empfundenen Intensität auf.



Abbildung 25: Übersicht nach Zusammensetzung – empfundene Intensität (textile Bodenbeläge)  
[Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



## 4.8 Ergebnisse VOC

Textile Bodenbeläge gehören zu den Produkten, die schon seit langem auch hinsichtlich ihrer Emission überprüft werden. Daher führte zu Beginn der 2000er Jahre das DIBt (Deutsches Institut für Bautechnik) auch für diese Produktgruppe exemplarisch die Prüfung auf Emissionen von organischen flüchtigen Stoffen auf Basis des AgBB-Schemas im Rahmen der Überwachungsprüfung ein. Dadurch und durch die vom Verband der Produzenten schon länger durchgeführte Prüfung nach GUT ist in diesem Sektor ein hoher Standard bezüglich Emissionen erreicht worden. Viele Jahre war Phenylcyclohexen (4-PCH) eine wesentliche Emission (eine Komponente, die wesentlich mit dem Teppichgeruch verknüpft ist). Noch im vorherigen Forschungsprojekt „Sensorische Bewertung der Emissionen aus Bauprodukten – Integration in die Vergabegrundlagen für den Blauen Engel und das AgBB-Schema“ [15] wurden Konzentrationen bis zu  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bei textilen Bodenbelägen gefunden. Bei den hier vorgestellten Messungen konnten lediglich noch Spuren von 4-PCH nachgewiesen werden.

Die wenigen nachweisbaren Komponenten sind in der vorliegenden Studie Essigsäure, Caprolactam und wenig 4-PCH, dazu kamen ein paar Komponenten im Konzentrationsbereich von wenigen  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  wie z. B. Butylhydroxytoluol, Propylenglycol und einige weitere (TVOC Darstellung Abbildung 26). In der Abbildung 27 sind die Essigsäure und Caprolactam-Werte des 3. und 28. Tages dargestellt. Für einige Produkte konnten dabei höhere Essigsäure- oder Caprolactam-Werte ermittelt werden, die aber nicht zu einer Überschreitung des R-Wertes geführt haben, wie in Abbildung 28 zu erkennen ist. Dort werden die gesundheitlich relevanten Auswertungen der Materialemissionen in Form des R-Wertes dargestellt. Der R-Wert ist ein Risikofaktor im AgBB-Schema, und als die Summe aller Quotienten aus den Einzelkonzentrationen pro NIK-Wert der VOC definiert.

Abbildung 26: TVOC-Werte der AgBB-Auswertung der textilen Bodenbeläge am 3. und 28. Tag (rote Linie: Grenzwert 28. Tag UZ 128 = 100 µg/m³) [Quelle: eigene Darstellung, BAM]

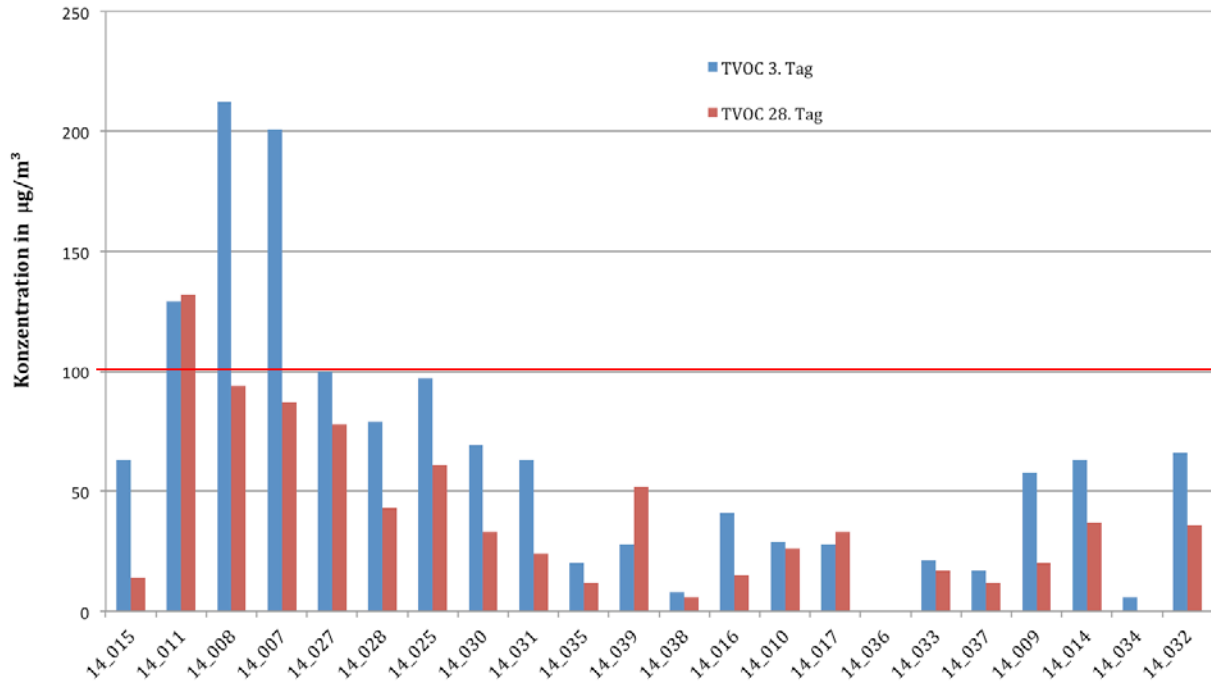
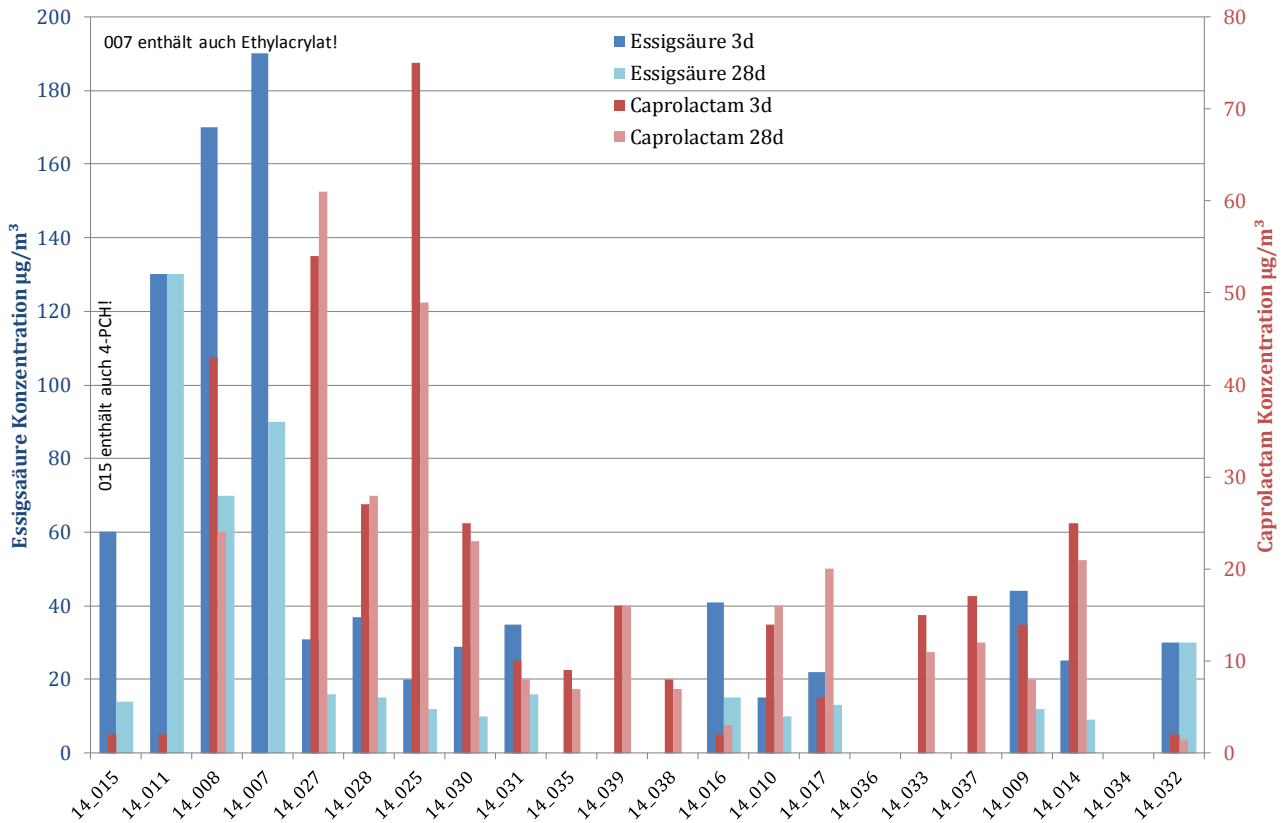
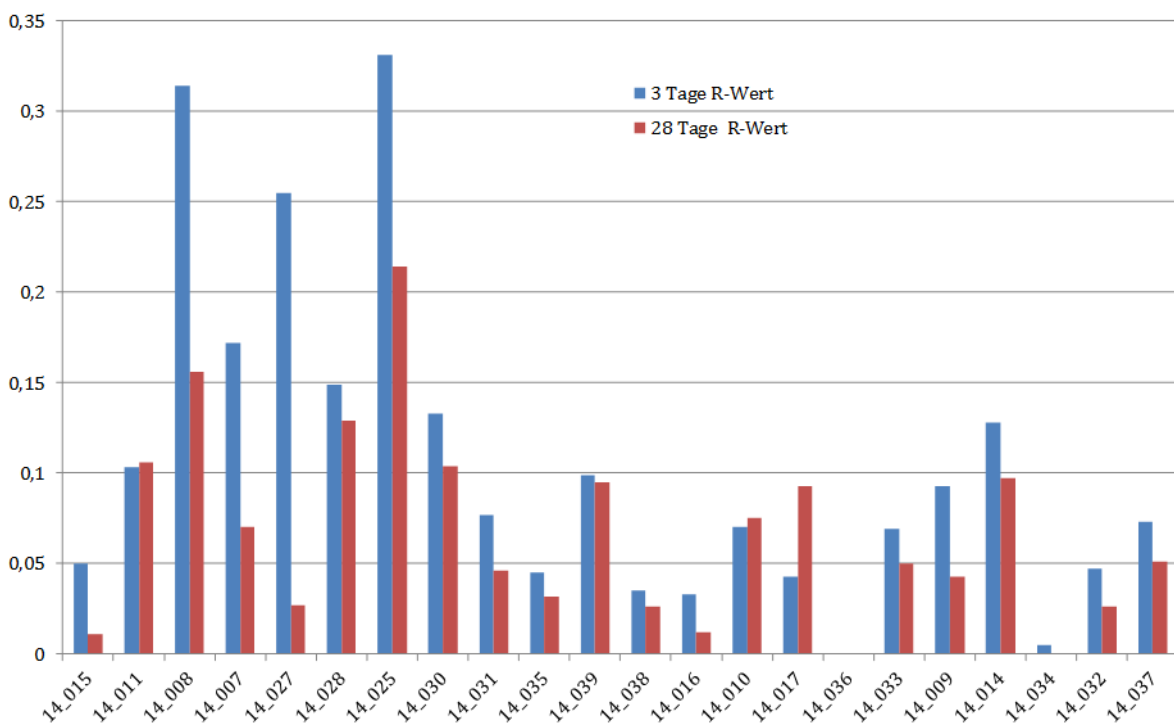


Abbildung 27: Konzentrationen von Essigsäure und Caprolactam der textilen Bodenbeläge [Quelle: eigene Darstellung, BAM]



Für die Bauproduktbewertung nach AgBB ist jedoch auch lediglich der 28. Tag relevant. Die Konzentrationen des 28. Tages überschreiten bei kaum einem Produkt die Ergebnisse des 3. Tages und wenn nur bei einem ohnehin niedrigen Niveau. Das gleiche kann auch für die TVOC-Summenwerte (siehe 6) festgestellt werden, die nur selten über  $0,1 \text{ mg/m}^3$  liegen und damit deutlich unter den  $1,0 \text{ mg/m}^3$ , die das AgBB-Schema zulässt. Nur ein Teppich überschreitet mit  $130 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  die vom Blauen Engel geforderten  $100 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ .

Abbildung 28: R-Werte der AgBB-Auswertung der textilen Bodenbeläge [Quelle: eigene Darstellung, BAM]

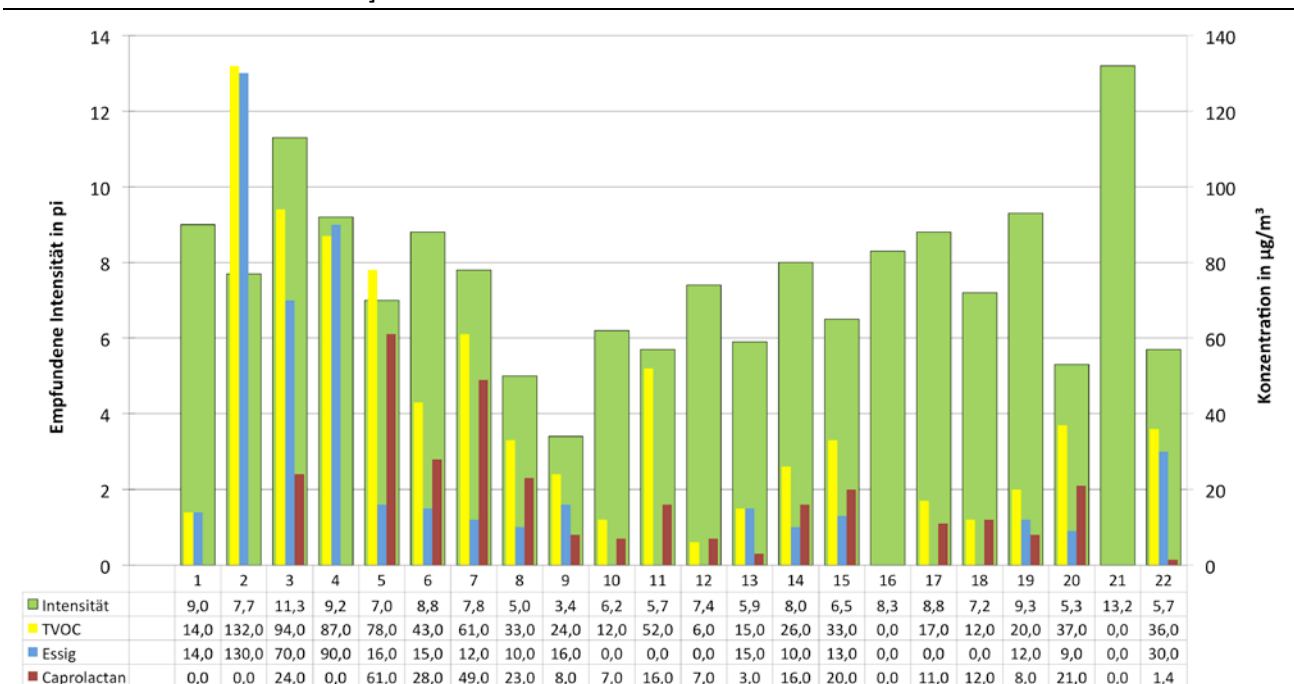


Abschließend dazu sind in Abbildung 29 noch einmal alle in diesem Projekt untersuchten Produkte und ihre relevanten VOC-Emissionen aufgeführt. Auch hier lässt sich kein Zusammenhang feststellen. Produkte mit geringen VOC-Konzentrationen können trotzdem hohe empfundene Intensitätswerte erreichen (z.B. Nr. 3 oder 21). Umgekehrt gilt das gleiche, wie bei den Produkten 5,10 und 11 erkennbar ist.

Für die Komponente 4-PCH legt die Vergabegrundlage des Blauen Engels fest, dass  $5 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  nicht überschritten werden dürfen, dies wird von den geprüften Bodenbelägen erfüllt. Diese Konzentration orientiert sich an der Geruchsschwelle dieser Komponente und war in der Vergangenheit die wesentliche Ursache für „Teppichneugeruch“.

Es kann festgehalten werden, dass die ermittelten VOC-Konzentrationen keinen Rückschluss auf die Geruchsempfindung zulassen.

Abbildung 29: Gegenüberstellung Intensität/wichtige VOC's am 28ten Tag [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



#### 4.9 Gemeinsame Untersuchungen HTW Berlin/RWTH/GUT

Bei einem Fachgespräch mit dem projektbegleitenden Expertenkreis, sowie den Herstellern der untersuchten Produkte werden die vorherigen Untersuchungsergebnisse diskutiert, wobei die deutlich unterschiedlichen Bewertungen der empfundenen Intensität der einzelnen Produkte besonders angesprochen werden. Die Hersteller erklären während der Diskussion, dass es im Jahr 2014 zu Rohstoffproblemen kam, welche durchaus ein Grund für die hohen empfundenen Intensitäten sein könnten. Des Weiteren wird die GUT (Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden e. V.) Geruchsmessung diskutiert die bisher als Bewertungsmethode in der textilen Bodenbelagsindustrie eingesetzt wird. Es wird vereinbart, dass Messungen nach GUT mit Messungen nach der der ISO 16000-28 und VDI 4301 Teil 1 bei gleichen Produkten gegenübergestellt werden sollen, da es eine solche Untersuchung bisher nicht gibt. Mit den Ergebnissen soll dann entscheiden werden wie eine Implementierung der Geruchsprüfung in das RAL UZ-128 erfolgen kann.

Dazu werden 5 Produkte ausgewählt und sowohl im Luftqualitätslabor der HTW Berlin in Kombination mit der BAM als auch Untersuchungen im Auftrag des GUT (Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden e. V.) in Kombination der RWTH Aachen und dem der Textiles & Flooring Institute GmbH (TFI) durchgeführt. Die Prüfungen nach der ISO 16000-28 und VDI 4301 Teil 1 finden bei der HTW Berlin und der RWTH Aachen statt, die GUT Messung durch das TFI. Parallel werden TVOC Messungen an den Prüfkammern in Aachen und Berlin durchgeführt.

Die folgende Versuchsbeschreibung wurde von der Homepage der GUT e.V. (Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden e. V.) entnommen [22]: „Die GUT-Prüfung wird in Anlehnung an die Schweizer Norm SNV 195651 zur Bestimmung der Geruchsbelästigung durch Textilien ausgeführt. Eine Probe von 144 cm<sup>2</sup> wird während 15 Stunden in einem luftdicht geschlossenen Exsikkator (Rauminhalt ca. 2 l) bei 37 °C und 50% relativer Luftfeuchtigkeit aufbewahrt. Die Luftfeuchtigkeit wird dabei mittels einer gesättigten Magnesiumnitrat-Lösung (ca. 100 ml) eingestellt.

Unter diesen Bedingungen beurteilen mindestens 7 Prüfpersonen anschließend durch kurzes Öffnen des Exsikkators die Intensität des wahrgenommenen Geruchs. Die Intensität des Geruchs wird anhand einer No-



tenskala von 1 (keine Geruchsbildung) bis 5 (sehr starke Geruchsbildung) benotet. Nachdem eine Prüfperson ein Urteil abgegeben hat, ist der Exsikkator wieder zu für mindestens weitere 15 min. zu verschließen und unter den vorgenannten Bedingungen aufzubewahren bevor der nächste Prüfer an der Probe riecht. Nach beendeter Prüfung wird die Probe aus dem Exsikkator genommen und bleibt so lange geöffnet bei 37 °C stehen, bis der Innenraum geruchsfrei ist; ggf. ist die Salzlösung zu erneuern“ [22].

In Abbildung 30 ist die Bewertungsskala der GUT-Prüfung aufgeführt. Ein Produkt muss mindestens die Note 3 erreichen, um die Prüfung zu bestehen.

Abbildung 30: Notenskala GUT-Prüfung [23]

Notenskala		Mittelwert aus mindestens 5 Probanden
1	kein Geruch	geruchlos
1,5	sehr schwacher Geruch	nicht unangenehm
2	schwacher Geruch	nicht unangenehm
2,5		leicht unangenehm
3	erträglicher Geruch	nicht unangenehm
3,5		leicht unangenehm
4	belästigender Geruch	leicht unangenehm
4,5		unangenehm
5	unerträglicher Geruch	sehr unangenehm
6		extrem unangenehm

 Prüfung bestanden leichter Neugeruch geringer Intensität	
 Prüfung nicht bestanden	

Somit unterscheiden sich sowohl die Prüfbedingungen als auch die Bewertungsskalen der Geruchsprüfungen nach ISO 16000-28 in Kombination mit der VDI 4301 Teil 1 und GUT erheblich. Die Hauptunterschiede der Prüfbedingungen sind noch einmal in der nachfolgenden Tabelle 2 aufgeführt:

Tabelle 2: Unterschiede der Prüfbedingungen [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]

	HTW Berlin (nach VDI 4302/ ISO 16000-28)	GUT (Anlehnung an Schweizer Norm SNV 195651)
Produktoberfläche A	2,6 m <sup>2</sup>	0,0144 m <sup>2</sup>
Luftvolumenstrom q <sub>c</sub> (Kammer)	3,24m <sup>3</sup> /h	entfällt (da luftdicht verschlossen)
flächenspez. Luftvolumenstrom q <sub>A</sub>	1,25 m <sup>3</sup> /h*m <sup>2</sup>	entfällt (da luftdicht verschlossen)
Produktverweildauer in Kammer	28 Tage	15 Stunden
Temperatur (Kammer)	23 °C	37 °C
rel. Feuchte (Kammer)	50% (mittels Lüftungsanlage)	50% (mittels Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> -Lösung)
Anzahl der Prüferinnen und Prüfer	Mindestens: 8 Bevorzugt: 12	Mindestens: 5 Bevorzugt: 7
Trainierte Prüferinnen und Prüfer	ja	Ja, es wird nur für diesen Bereich trainiertes Personal eingesetzt

Ziel dieser parallelen Untersuchungen ist es abzuschätzen, ob die sensorischen Bewertungsmethoden zu vergleichbaren Einstufungen führen.

Die nachfolgende Tabelle 3 zeigt eine Übersicht mit einer kurzen Beschreibung der für diese Vergleichsuntersuchungen ausgewählten Produkte. In allen Untersuchungen werden von der gleichen Charge Proben verwendet.

Tabelle 3: Produktübersicht gemeinsame Bewertung HTW Berlin/RWTH/GUT [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]

Prüfnummer	Kommentar
<b>WE 0890</b>	Das Produkt wurde mehrmals bei der GUT abgelehnt. Ursache für den Geruch ist möglicherweise der Einsatz einer unzureichend gewaschenen Wolle. In den Niederlanden und in Großbritannien wird das Produkt ohne (bekannte) Beanstandungen vertrieben.
<b>WE 0891</b>	Das Produkt stammt aus einer reklamierten Charge. Ursache ist ein Rohstoffproblem. Zuvor wurde das Produkt ohne Beanstandungen vertrieben.
<b>WE 0895</b>	Das Produkt wird seit vielen Jahren ohne Beanstandungen vom Hersteller vertrieben.
<b>WE 0896</b>	Das Produkt stammt aus einer reklamierten Charge. Ursache ist ein Rohstoffproblem. Zuvor wurde das Produkt ohne Beanstandungen vertrieben.
<b>WE 0903</b>	Das Produkt wird derzeit ohne Beanstandungen im Objektbereich eingesetzt.

Die Proben für die Geruchsuntersuchungen nach ISO 16000-28 in Kombination mit der VDI 4301 Teil 1 werden zeitgleich und bei Standardbedingungen (23°C +/- 2°C und 50% rF +/- 5%rF) in Aachen und Berlin eingebracht. Die Proben in Aachen sind im TFI mit einer Fläche von 0,1m<sup>2</sup> in 0,25m<sup>3</sup> großen Kammern untergebracht. Die Probenluft wird mit Probenbehältern aus Tedlar vom TFI zur RWTH Aachen transportiert. Die Proben mit 2,6 m<sup>2</sup> sind in Berlin wie in Kapitel 3.1.4 beschrieben in CLIMPAQs mit einem Volumen von 0,042 m<sup>3</sup> eingebracht. Die Bewertung der empfundenen Intensität erfolgt direkt an der Kammer. Die Probennahme für die TVOC's erfolgt am TFI und der HTW Berlin direkt an den Kammern.

Die Abbildung 31 zeigt die Bewertungen der empfundenen Intensitäten der HTW Berlin und der RWTH Aachen und die Bewertung nach dem GUT Verfahren. Die Bewertungen der RWTH liegen bei allen 5 Produkten zwischen 7,3 und 10,3 pi. Im Gegensatz zu den Bewertungen der HTW Berlin werden hier kaum Abstufungen zwischen „guten“ und „schlechten“ Produkten erzielt. Die Bewertungen der GUT-Prüfung sind in Textform oben im Diagramm angegeben, da ein graphischer Vergleich aufgrund der verschiedenen Bewertungsskalen nicht möglich ist. Die GUT Prüfung ist darauf ausgelegt, zwischen Produkten mit einem leichten warentypischen Neugeruch und Produkten mit geruchlichen Auffälligkeiten zu unterscheiden und durch die Beschreibung der Geruchsart erste Hinweise auf mögliche Ursachen zu liefern. Die Hintergrundfarbe beschreibt dabei, ob das Produkt die GUT-Prüfung bestanden (grün) oder nicht bestanden (rot) hat. Es ist hier lediglich ein Vergleich der Kriterien für bestanden/nicht bestanden zwischen den Methoden GUT und der empfundenen Luftqualität möglich. Dieser Vergleich wird anhand der Daten der HTW Berlin durchgeführt.

Man erkennt, dass die Urteile der GUT und der HTW Berlin gleich ausfallen. Die Produkte, welche nach DIN ISO 16000-28 / VDI 4302 Teil 1 den Prüfwert des Blauen Engels einhalten, würden auch bei der Bewertung nach GUT den Blauen Engel erhalten. Auffällig ist allerdings, dass die beiden Produkte,

welche den Blauen Engel nach GUT erhalten würden, dieses nur mit der schlechtesten noch möglichen Benotung (Note: 3,0)<sup>1</sup> erreichen.

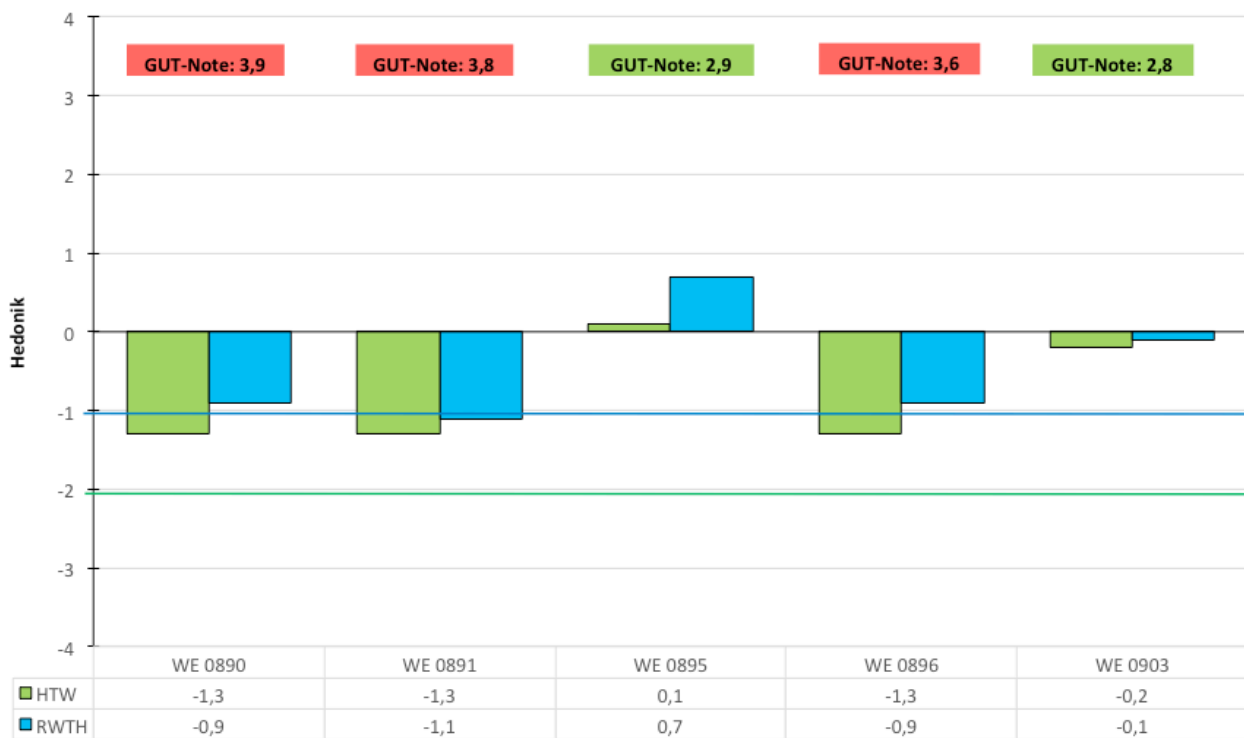
Abbildung 31: Vergleich der Bewertungen der Intensitäten [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



Die Abbildung 32 zeigt den Vergleich der Hedonikbewertungen. Auch hier sind die GUT-Prüfwerte wieder in Textform aufgeführt. Die Bewertungen der HTW Berlin und der RWTH liegen hier im gleichen Wertebereich. Des Weiteren kann auch hier festgestellt werden, dass die beiden Produkte, die den Prüfwert des Blauen Engels einhalten auch die GUT-Prüfung bestanden haben.

<sup>1</sup> Gerundet auf die Benotung in der Notenskala (siehe Abbildung 30)

Abbildung 32: Vergleich der Bewertungen der Hedonik [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]

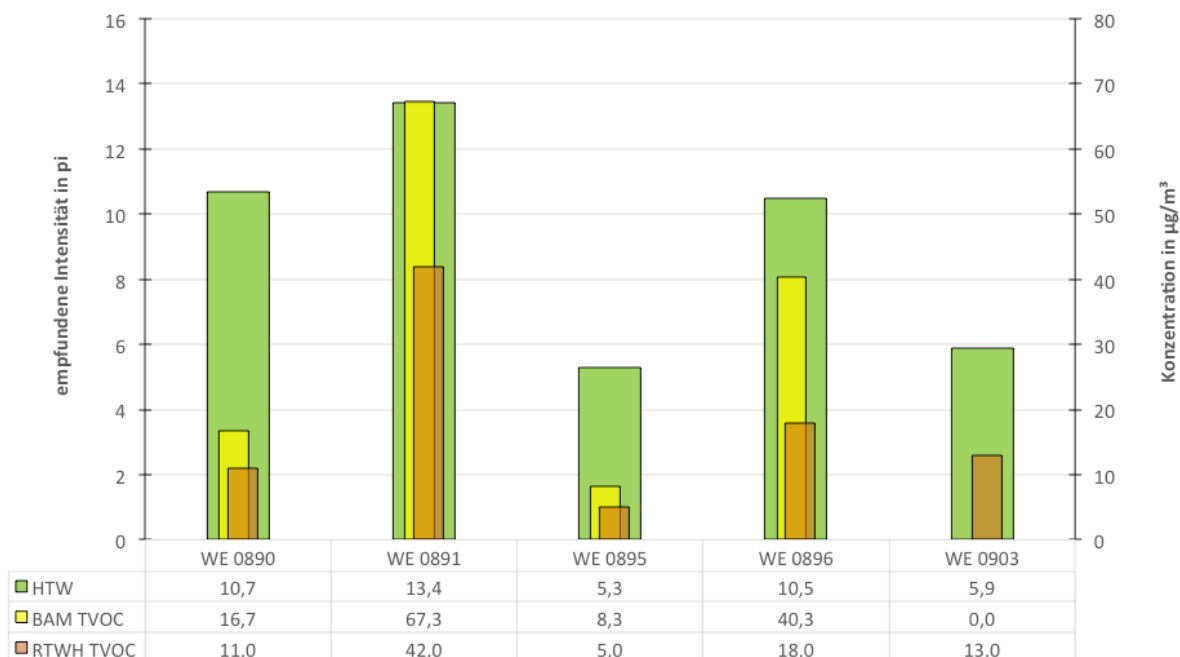


In den nachfolgenden Abbildungen werden die Ergebnisse der chemischen Analysen sowie die Bewertungen der empfundenen Intensität dargestellt. Als Referenz gilt hier Tag 28 der Untersuchung.

In Abbildung 33 sind die ermittelten TVOC Werte dargestellt.

Die beiden „guten“ Produkte, WE 0895 und WE 0903, zeigen auch geringe TVOC-Konzentrationen auf. Produkt WE 0890 hat geringe TVOC Werte und trotzdem eine verhältnismäßig hohe Bewertung der empfundenen Intensität. Eine Aussage aufgrund der Analytik zur empfundenen Intensität ist erneut nicht erkennbar.

Abbildung 33: Gegenüberstellung Intensität/TVOC [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]





Die gemeinsame Bewertung der empfundenen Intensität mit Vergleichsmaßstab und der GUT-Prüfung war sehr hilfreich und hat zu folgenden Erkenntnissen geführt.

Die GUT-Prüfung und die Prüfung nach ISO 16000-28 in Kombination mit der VDI 4301 Teil 1 führten hier bezogen auf die Werte der HTW Berlin zu vergleichbaren Einstufungen. Die Analytik zeigt deutlich, dass eine Korrelation der TVOC-Werte allein nicht zu einer Aussage der Intensität (unabhängig von der Bewertungsmethode) eines Geruches führen kann.

Die Analytik in Aachen und Berlin führen zu Konzentrationen in vergleichbarer Größenordnung. Einfluss auf die unterschiedlichen Bewertungen der empfundenen Intensität in Aachen und Berlin bei den Proben WE (0890, 0891, 0895) können auch aufgrund der Verwendung der Probenbehälter zurückzuführen sein.

#### **4.10 Zusammenfassung / Ausblick**

Bei einer abschließenden Expertenanhörung zur Änderung der Vergabekriterien für den „Blauen Engel“ für textile Bodenbeläge (RAL-ZU 128) am 28. Oktober 2015 werden alle bisherigen Untersuchungsergebnisse vorgestellt, erläutert und diskutiert. In der Überarbeitung der RAL-ZU 128 wird die Geruchsprüfung nach DIN ISO 16000-28 wie folgt aufgenommen. Es folgt ein Zitat aus der RAL-ZU 128 [24].

„Die Prüfung der Geruchseigenschaften ist im Zusammenhang mit der Emissionsprüfung unter Abschnitt (RAL-ZU 128) 3.2.1 (Innenraumluftqualität) gemäß DIN ISO 16000-28 durchzuführen, wobei die gleichen Kriterien für einen vorzeitigen Prüfungsabbruch gelten. Die geprüften Bodenbeläge dürfen eine Geruchsintensität von nicht mehr als 7 pi nach 28 Tagen aufweisen. Bei einem Prüfungsergebnis von 8 pi kann am Folgetag eine weitere Messung durchgeführt werden. Wird dabei erneut ein Wert oberhalb von 7 pi /gemessen, ist das Produkt durchgefallen. Wird dabei ein Wert von maximal 7 pi erreicht, besteht das Produkt die Geruchsprüfung. In mindestens jährlichen Abständen sind Folgeprüfungen durchzuführen und der RAL gGmbH auf Verlangen vorzulegen. Diese können gemäß DIN ISO 16000-28 oder GUT-Geruchsprüfung erfolgen. Dabei dürfen die Produkte 7 pi respektive die Note 3 (leicht unangenehm) nicht überschreiten. Für Produkte, die ein GUT-Signet tragen, sind gesonderte Folgeprüfungen nicht erforderlich.“

#### **Nachweis:**

Der Antragsteller legt für die Erstprüfung ein Prüfgutachten gemäß DIN ISO 16000-28 in Verbindung mit VDI 4302 vor. Der Antragsteller legt auf Verlangen der RAL gGmbH für die Folgeprüfungen für jede Produktgruppe ein Prüfgutachten gemäß DIN ISO 16000-28 respektive gemäß GUT-Geruchsprüfung (in Anlehnung an die Schweizer Norm SNV 195651) vor. Alternativ dazu kann der Antragsteller auch ein Zertifikat oder einen Vertrag vorlegen aus dem hervorgeht, dass die Produkte die Anforderungen des GUT-Signets erfüllen“. [24]

Des Weiteren wird bei der Anhörung von den Herstellern der Wunsch geäußert, dass auch für andere Bodenbeläge Geruchsprüfungen in den Vergabekriterien des Blauen Engel aufgenommen werden. Die Hersteller sehen hier sonst eine Wettbewerbsverzerrung durch unterschiedliche Kriterien. Seitens des UBA wird ausgeführt, dass die Teppiche nur die ersten Bodenbeläge mit diesem verpflichtenden Kriterium sind, und dass die anderen Produktgruppen folgen werden. Zusätzlich wird der Vorschlag diskutiert alle Bodenbeläge einer gemeinsamen Vergabegrundlage zuzuordnen. Auf Grundlage dieser Diskussionen werden in einem weiteren Projektgespräch (am 27.11.2015) die „elastischen Bodenbeläge“ als nächste zu untersuchende Produktgruppe festgelegt (siehe Kapitel 5).

## 5 Untersuchungen - Elastische Bodenbeläge

Bei der zweiten, im Rahmen dieses Projekts, zu untersuchenden Produktgruppe handelt es sich (wie in Kapitel 4.10 erläutert) um die elastischen Bodenbeläge. Die Auswahl erfolgt in Abstimmung mit dem Mittelgeber anhand einer zur Verfügung gestellten Liste bisheriger Zeichennehmer. Es werden insgesamt 16 Produkte von 8 verschiedenen Herstellern untersucht.

Die nachfolgende Tabelle 4 zeigt eine Übersicht der untersuchten Produkte. Die Ergebnisse werden wieder herstellerspezifisch dargestellt. Wie bei den textilen Bodenbelägen werden die Prüfungen beim Überschreiten der in den Normen geforderten Genauigkeitswerte nicht wiederholt.

Tabelle 4: Produktübersicht elastische Bodenbeläge [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]

Farbe	Prüfnummer	Herstellerkennung
	HTW 16.001	Hersteller 1
	HTW 16.002	Hersteller 1
	HTW 16.003	Hersteller 2
	HTW 16.004	Hersteller 2
	HTW 16.005	Hersteller 3
	HTW 16.006	Hersteller 4
	HTW 16.007	Hersteller 3
	HTW 16.008	Hersteller 3
	HTW 16.009	Hersteller 5
	HTW 16.010	Hersteller 6
	HTW 16.011	Hersteller 7
	HTW 16.012	Hersteller 4
	HTW 16.013	Hersteller 5
	HTW 16.014	Hersteller 5
	HTW 16.015	Hersteller 8
	HTW 16.016	Hersteller 6

### 5.1 Produkte des ersten Herstellers

Die folgende Abbildung 34 zeigt die empfundenen Intensitäten der untersuchten Produkte vom ersten Hersteller. Bei Produkt 1 (grün) liegen die Bewertungen zwischen 10 und 13 pi und bei Produkt 2 (rot) zwischen 9 und 10 pi. Insgesamt kann man bei beiden Produkten im Rahmen der Genauigkeit von nahezu gleichbleibender Intensität über den Untersuchungszeitraum sprechen.

Abbildung 34: Empfundene Intensität Hersteller 1 (elastische Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]

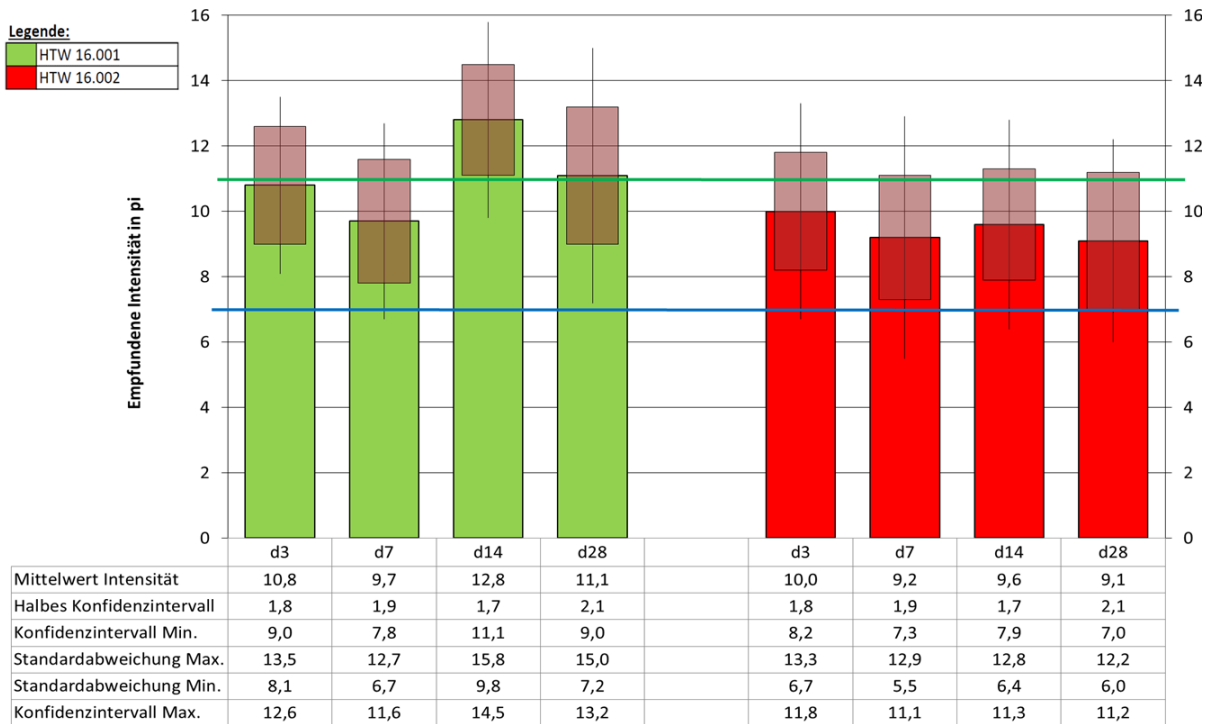
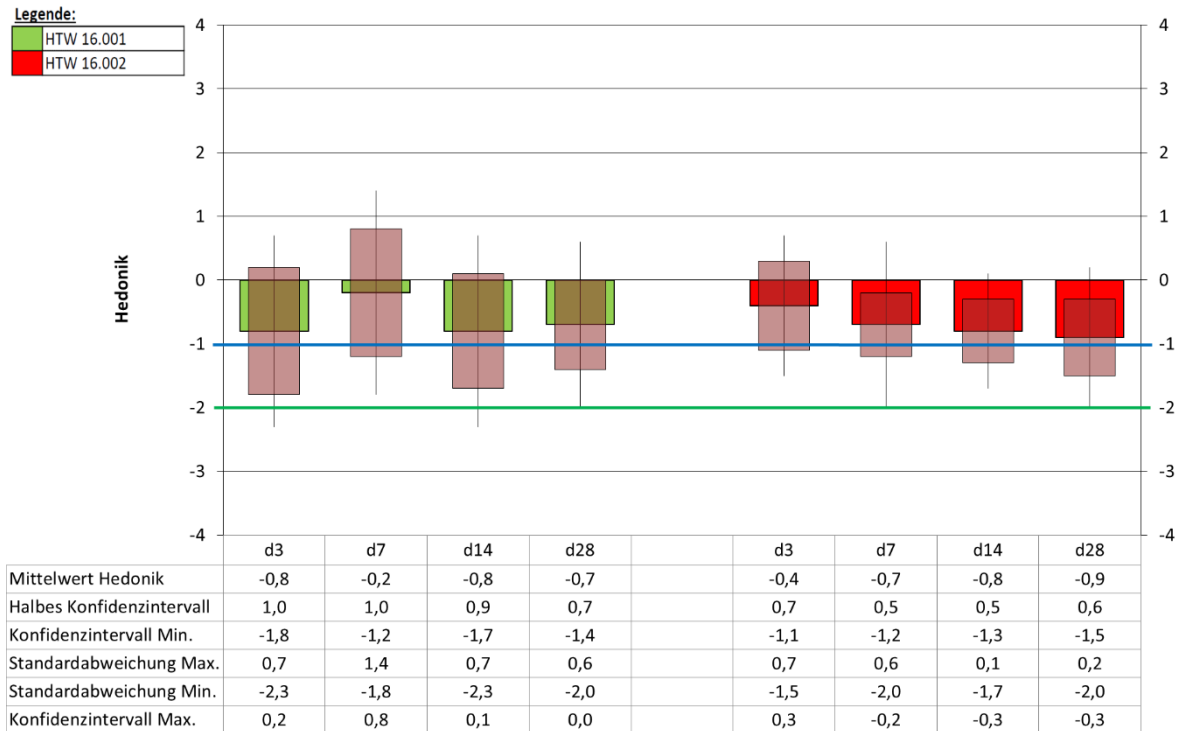


Abbildung 35 zeigt die Bewertungen der Hedonik dieser Produkte. Auch hier ändern sich die Bewertungen im Laufe des Untersuchungszeitraums kaum und liegen im Bereich von -0,2 bis -0,8.

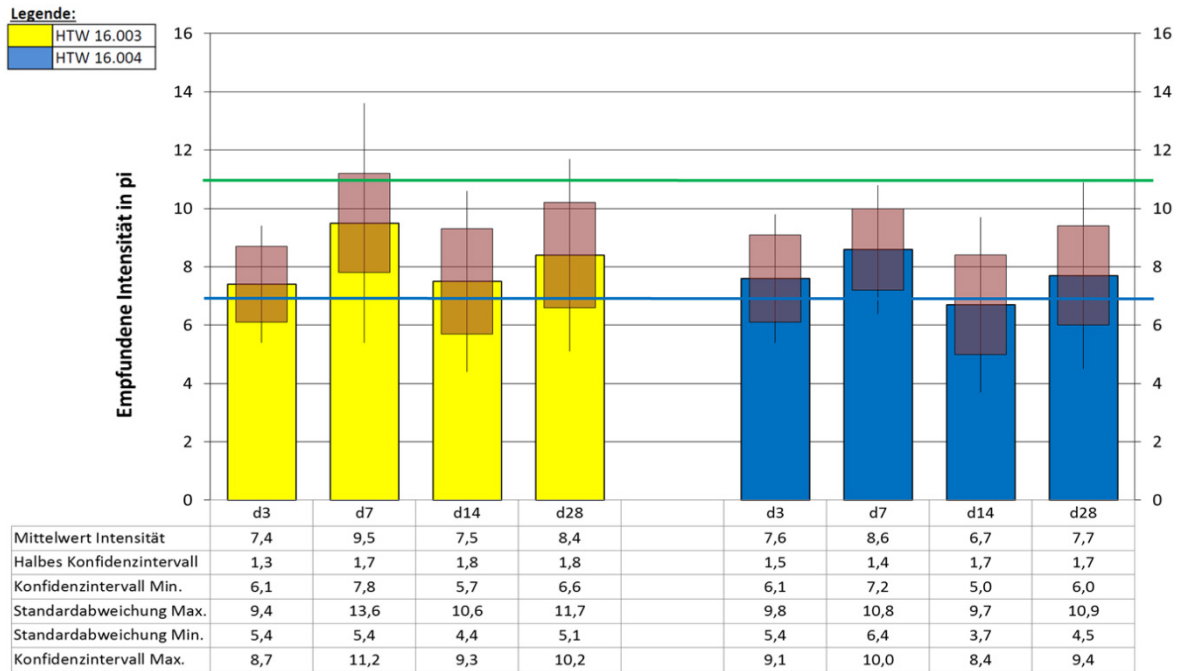
Abbildung 35: Hedonik Hersteller 1 (elastische Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



## 5.2 Produkte des zweiten Herstellers

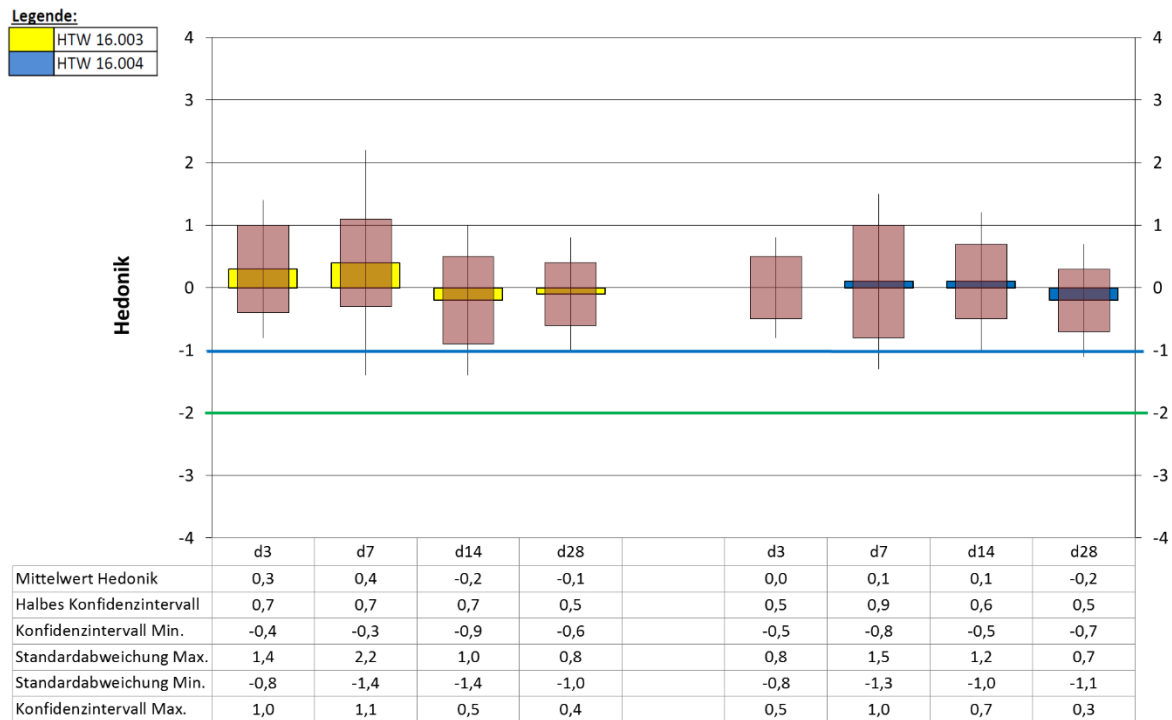
Hersteller 2 stellt für die Untersuchungen in diesem Projekt ebenfalls zwei Produkte zur Verfügung. Auf Abbildung 36 sind zunächst die Intensitätsbewertungen zu sehen. Diese liegen bei beiden Produkten zwischen etwa 7 pi und 9 pi.

Abbildung 36: Empfundene Intensität Hersteller 2 (elastische Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



Auch bei den Bewertungen der Hedonik in Abbildung 37 liegen beide Produkte um den neutralen Wertebereich (0) herum.

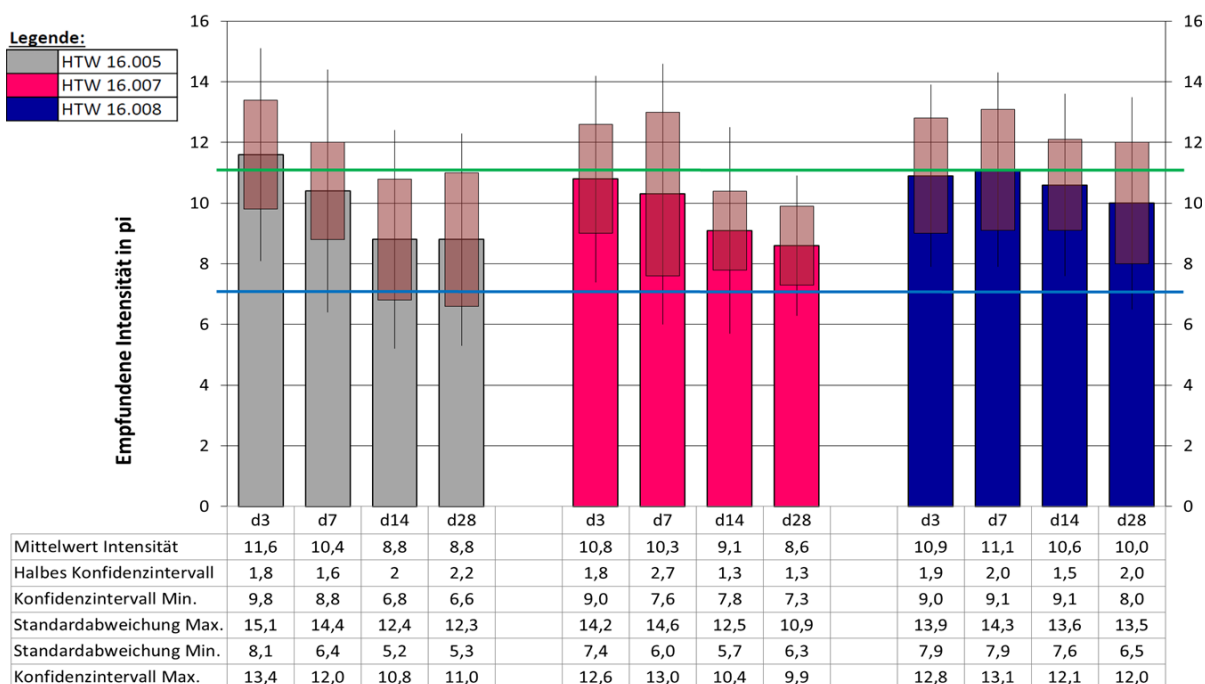
Abbildung 37: Hedonik Hersteller 2 (elastische Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



### 5.3 Produkte des dritten Herstellers

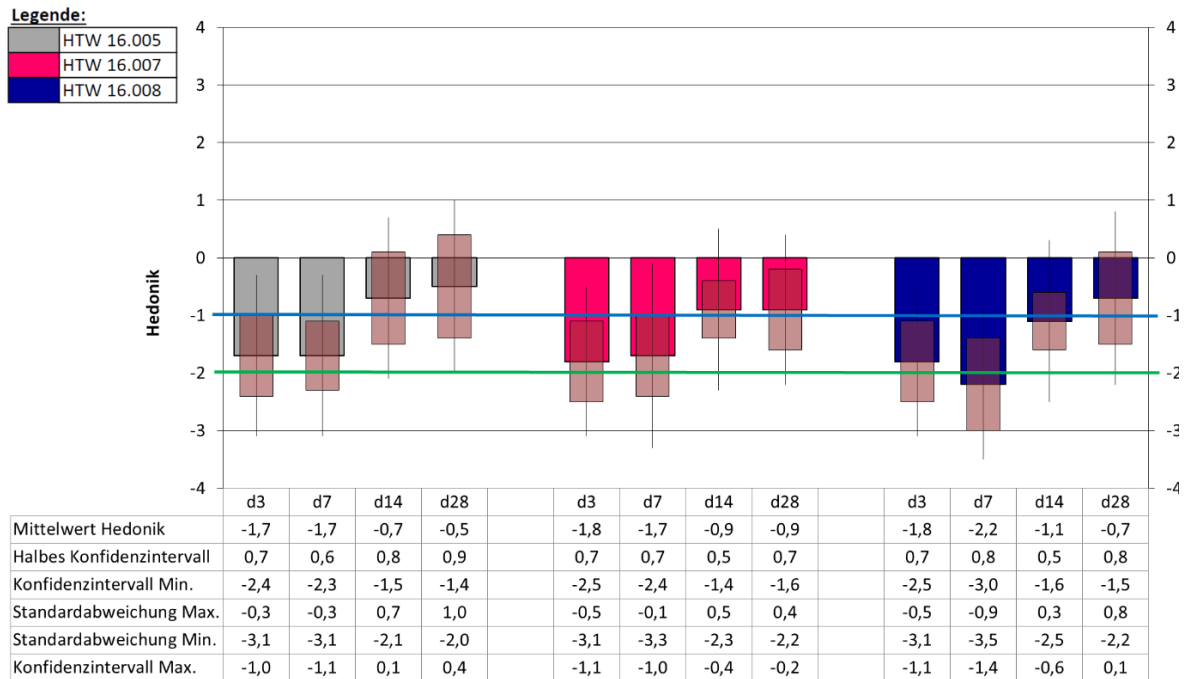
Drei verschiedene Produkte des dritten Herstellers werden untersucht. In Abbildung 38 werden die Ergebnisse der empfundenen Intensitäten im Untersuchungszeitraum dargestellt. Bei Produkt 5 (grau) sowie Produkt 7 (pink) kann man von einer geringfügigen Abnahme der Intensität sprechen. Produkt 8 (blau) erreicht im Laufe der Untersuchungszeit Bewertungen in einem Wertebereich von 10-11 pi.

Abbildung 38: Empfundene Intensität Hersteller 3 (elastische Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



Die Hedonikbewertungen dieser Produkte sind in Abbildung 39 dargestellt. Hier ist bei allen drei Produkten eine leichte Verbesserung über den Untersuchungszeitraum festzustellen.

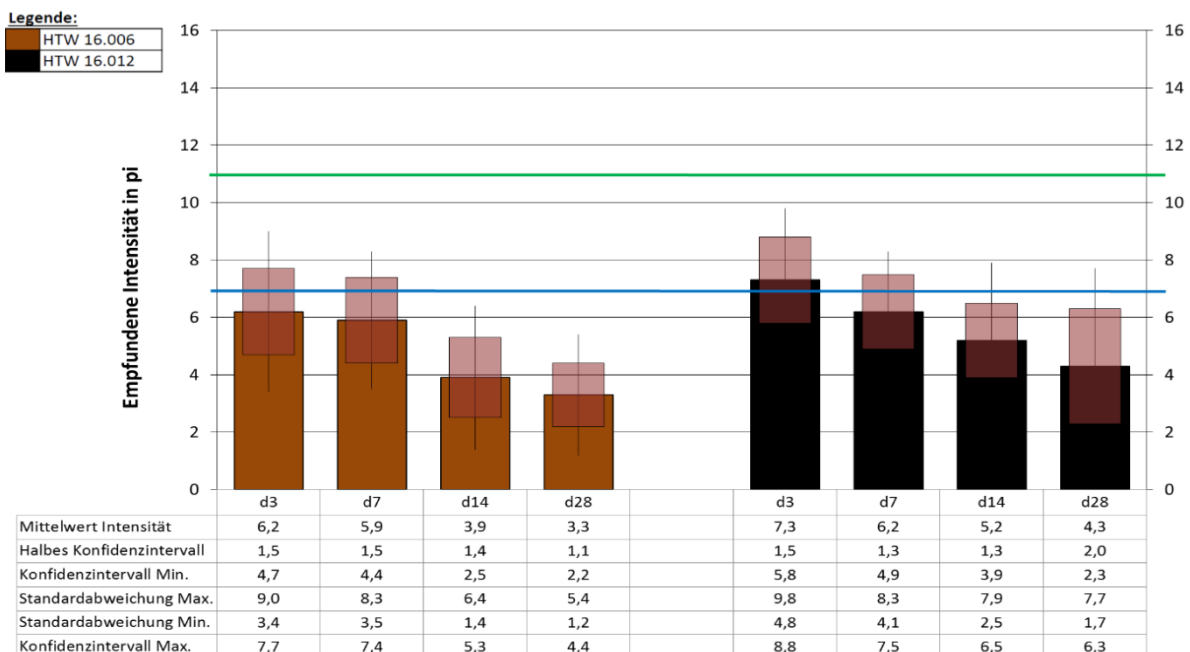
Abbildung 39: Hedonik Hersteller 3 (elastische Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



## 5.4 Produkte des vierten Herstellers

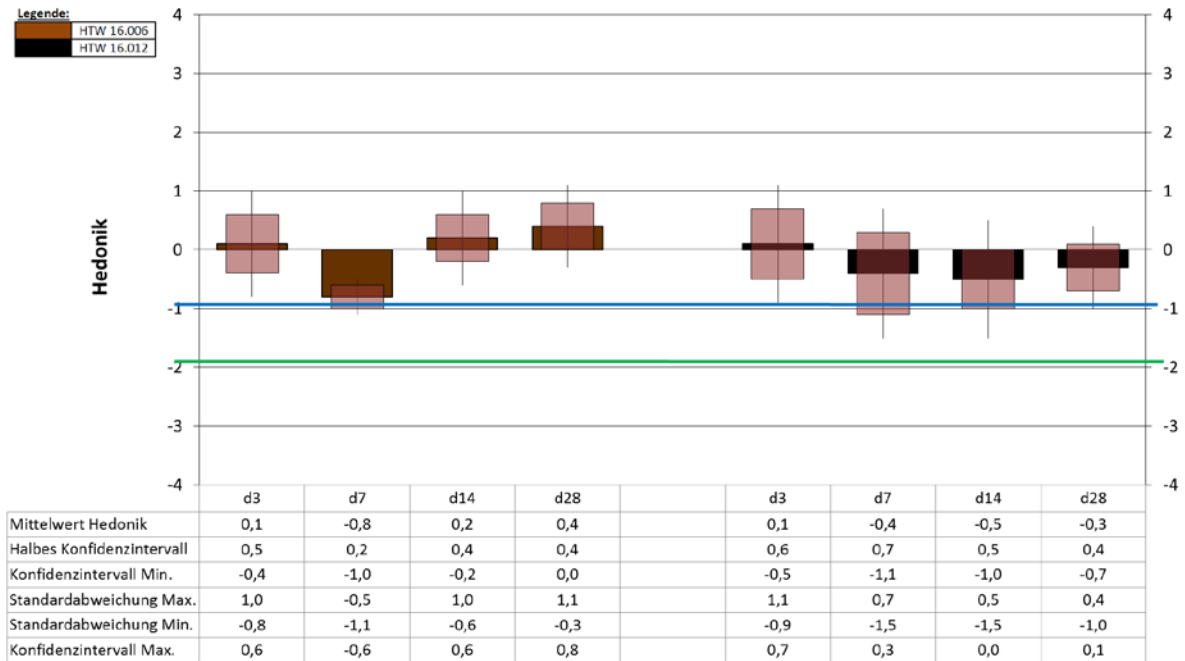
Zwei Produkte des vierten Herstellers werden untersucht. Hier werden bereits am Tag 3 vergleichsweise niedrige Intensitäten erreicht, welche im Laufe des Untersuchungszeitraums weiter abnehmen. (siehe Abbildung 40).

Abbildung 40: Empfundene Intensität Hersteller 4 (elastische Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



Die Bewertungen für die Hedonik bildet Abbildung 41 ab. Hier liegen die Bewertungen im neutralen Bereich um etwa 0.

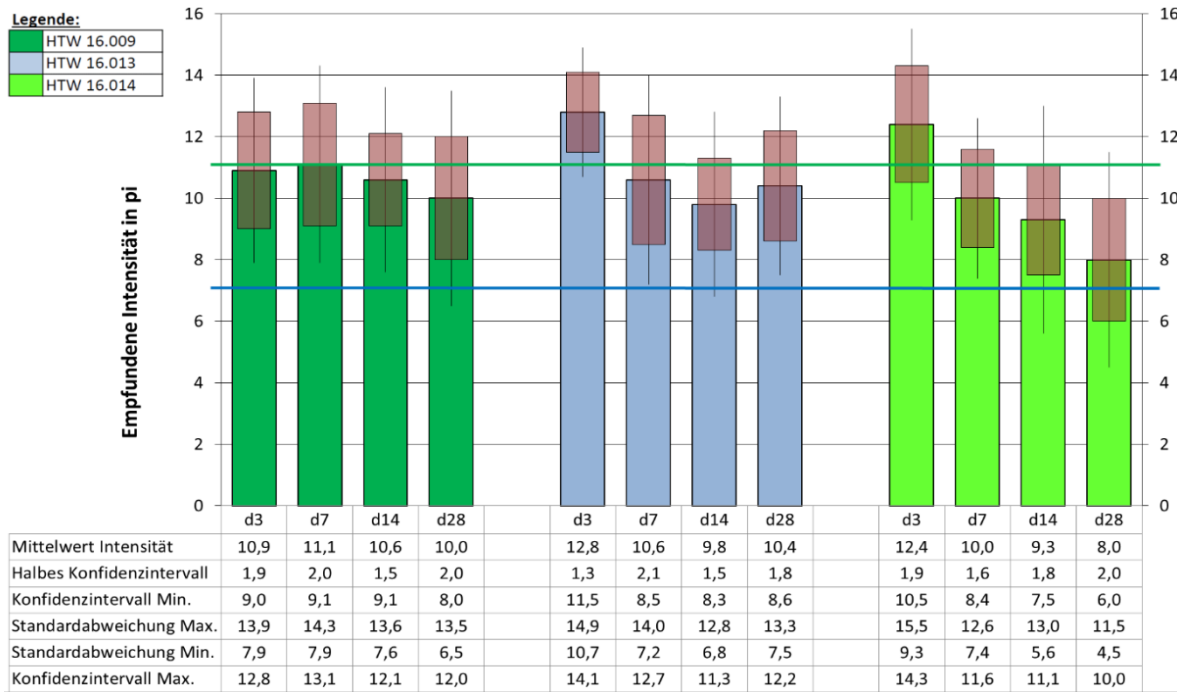
Abbildung 41: Hedonik Hersteller 4 (elastische Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



### 5.5 Produkte des fünften Herstellers

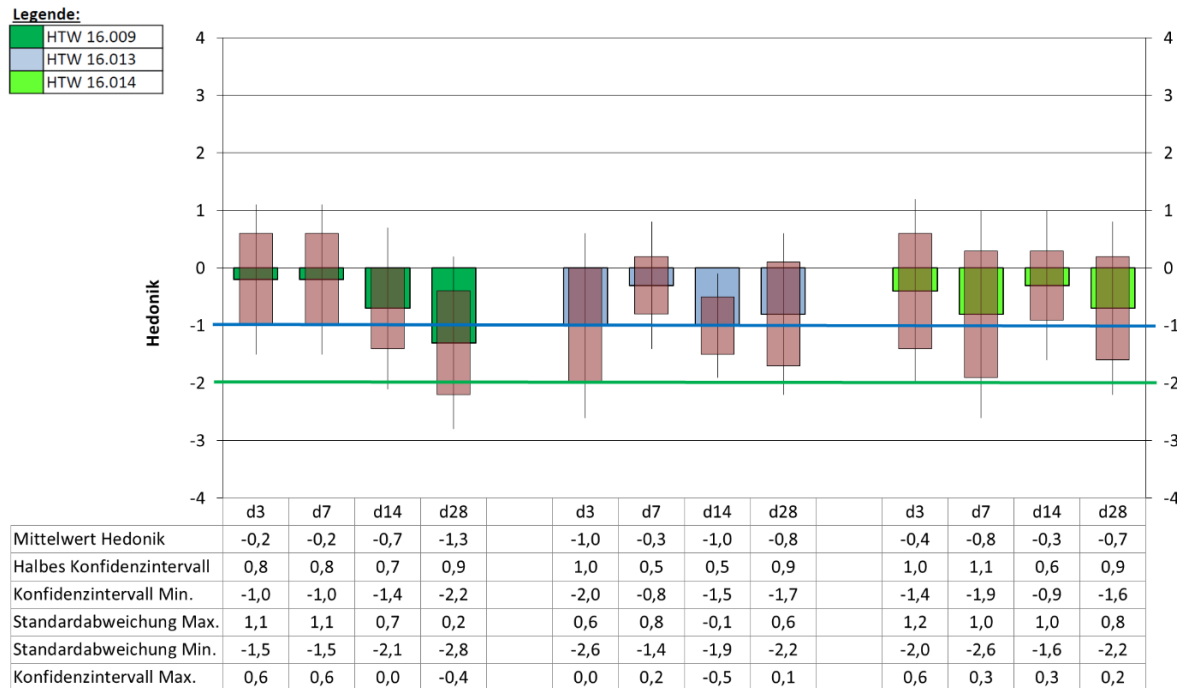
Das Diagramm in Abbildung 42 zeigt die empfundenen Intensitäten der drei Produkte vom fünften Hersteller. Während bei Produkt 13 (blau) und 14 (hellgrün) eine leichte Verbesserung der Intensität über die Versuchszeit sichtbar ist, ist bei Produkt 9 (dunkelgrün) im Laufe der Versuchszeit kein Abklingen der empfundenen Intensität erkennbar.

Abbildung 42: Empfundene Intensität Hersteller 5 (elastische Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



In Abbildung 43 sind die Hedonikwerte dieser Produkte aufgeführt. Bei Produkt 9 (dunkelgrün) verschlechtert sich die Bewertung im Laufe der Untersuchungszeit. Die Bewertungen der anderen beiden Produkte liegen im Bereich zwischen -1 und 0.

Abbildung 43: Hedonik Hersteller 5 (elastische Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]

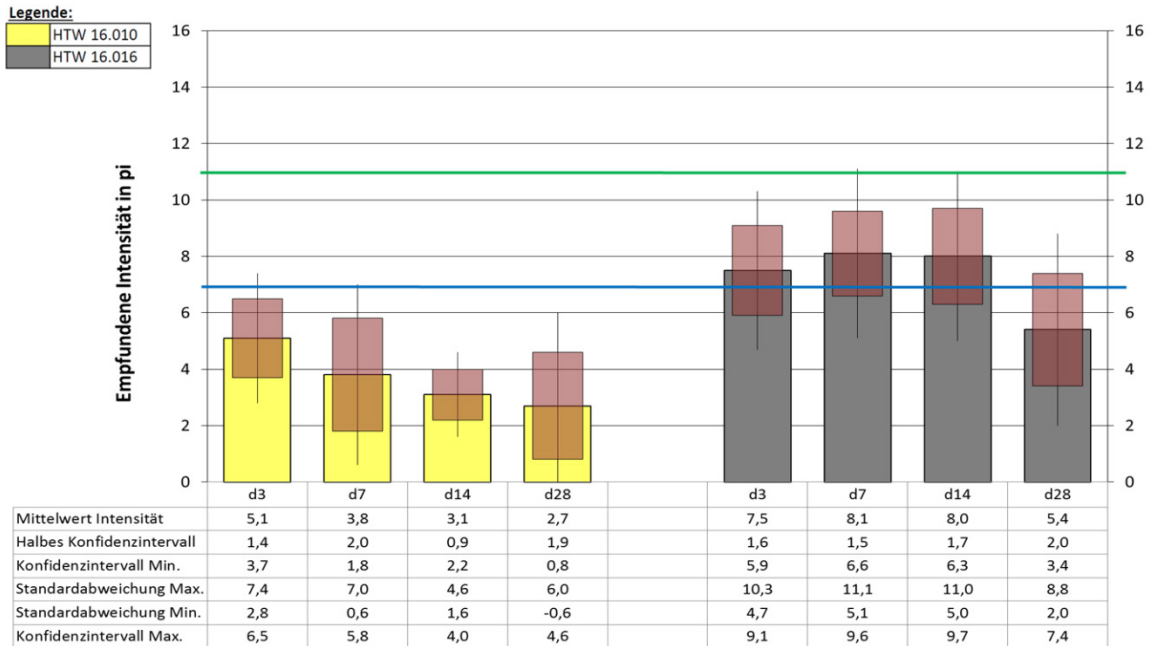




## 5.6 Produkte des sechsten Herstellers

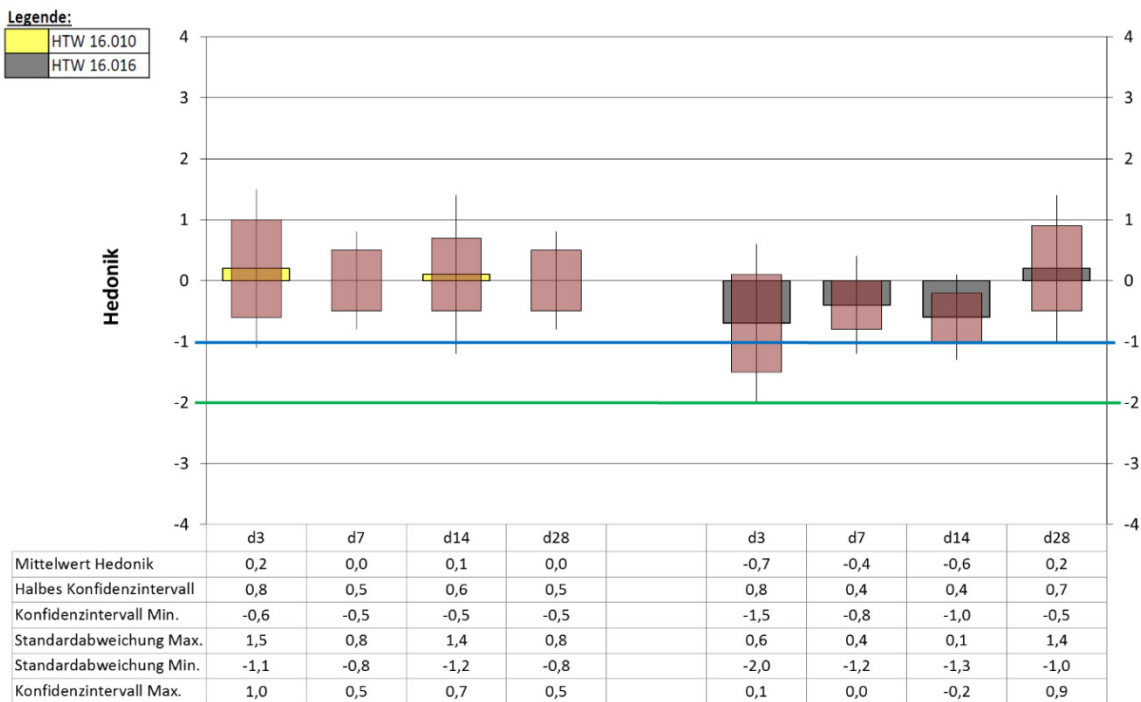
Die nächste Abbildung 44 zeigt die Intensitäten der Produkte 10 und 16 von Hersteller 6. Auch dieser Hersteller erreicht mit seinen Produkten vergleichsweise niedrige Intensitätsbewertungen und liegt am Tag 28 mit beiden Produkten unter dem vorgeschlagenen Prüfwert von 7 pi.

Abbildung 44: Empfundene Intensität Hersteller 6 (elastische Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



Die Hedonikbewertung von Produkt 10 (gelb) liegen über den gesamten Messzeitraum im positiven Bereich. Produkt 16 (grau) wird von Tag 3 bis Tag 14 zunächst als eher unangenehm empfunden und am Tag 28 dann als eher angenehm (siehe Abbildung 45).

Abbildung 45: Hedonik Hersteller 6 (elastische Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



## 5.7 Produkte der Hersteller sieben und acht

Hersteller 7 und 8 haben jeweils nur ein Produkt für die Untersuchungen bereitgestellt. Die Intensitäten beider Produkte sind in Abbildung 46 dargestellt. Produkt 11 (lila) wird am Tag 3 mit einer Intensität von 7,3 pi bewertet, welche im Laufe der Zeit abnimmt und am Tag 28 bei 4,3 pi liegt. Produkt 15 (rot) weist über den Versuchszeitraum nahezu gleichbleibende Intensitäten zwischen 5 pi und 7 pi auf.

Abbildung 46: Empfundene Intensität Hersteller 7 und 8 (elastische Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]

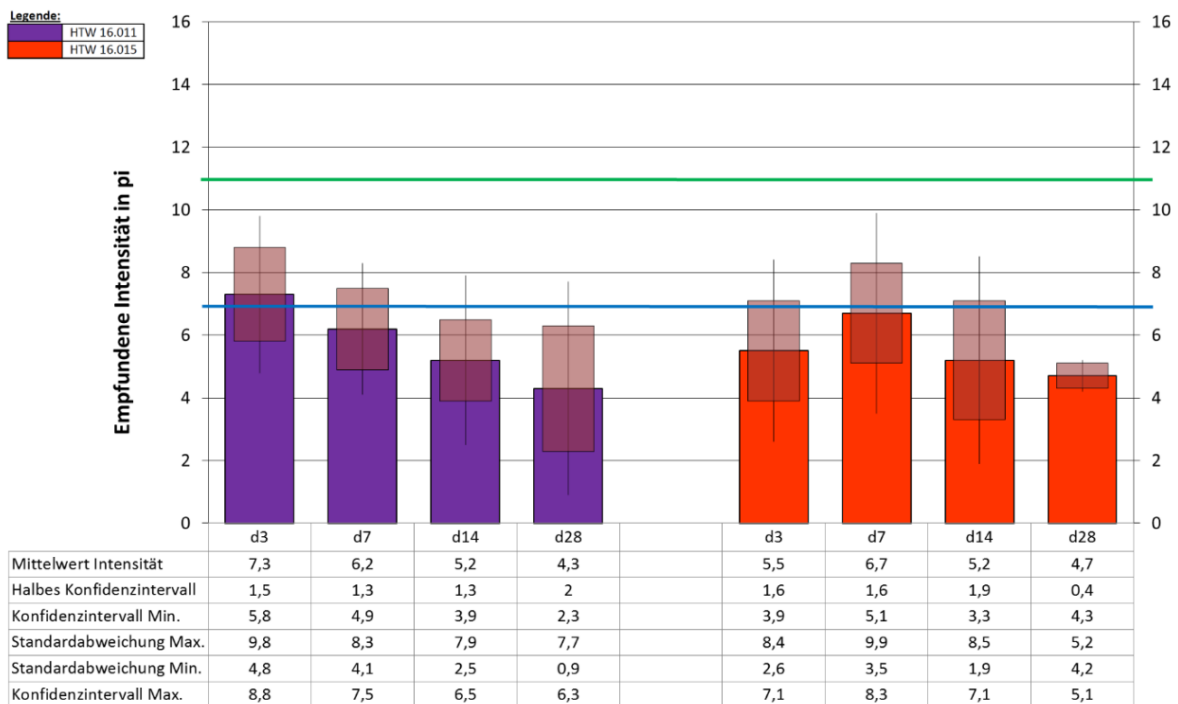
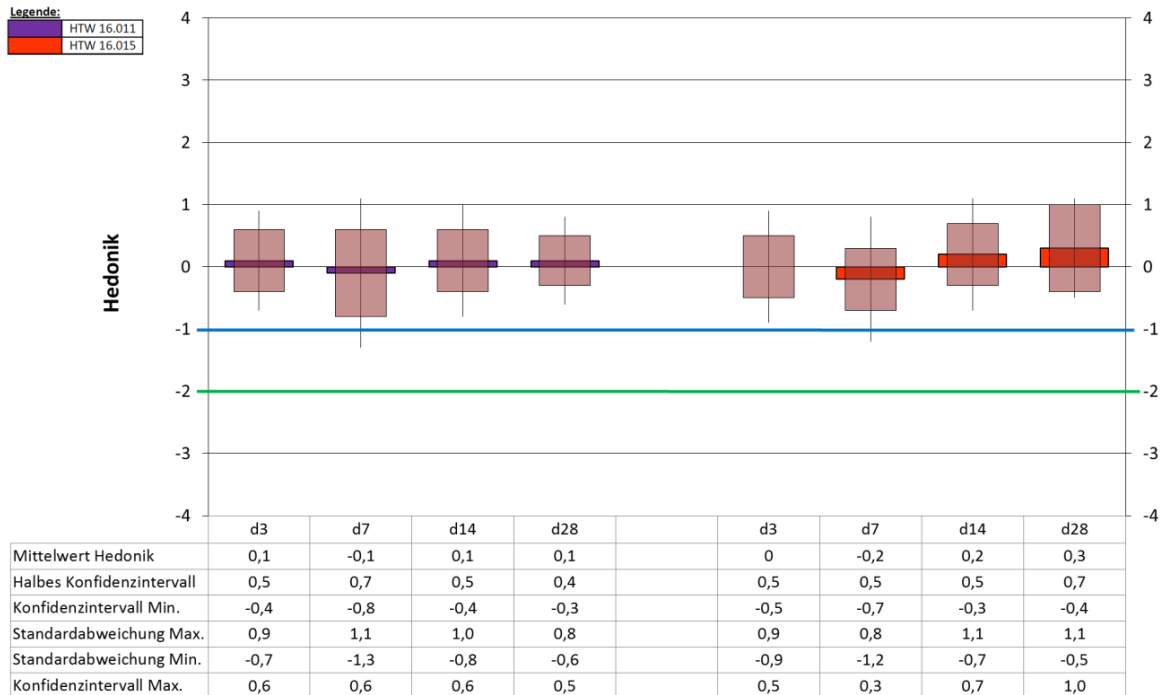


Abbildung 47 zeigt die Hedonikbewertungen der Produkte 11 und 15 welche nahezu konstant im Bereich von 0 liegen.

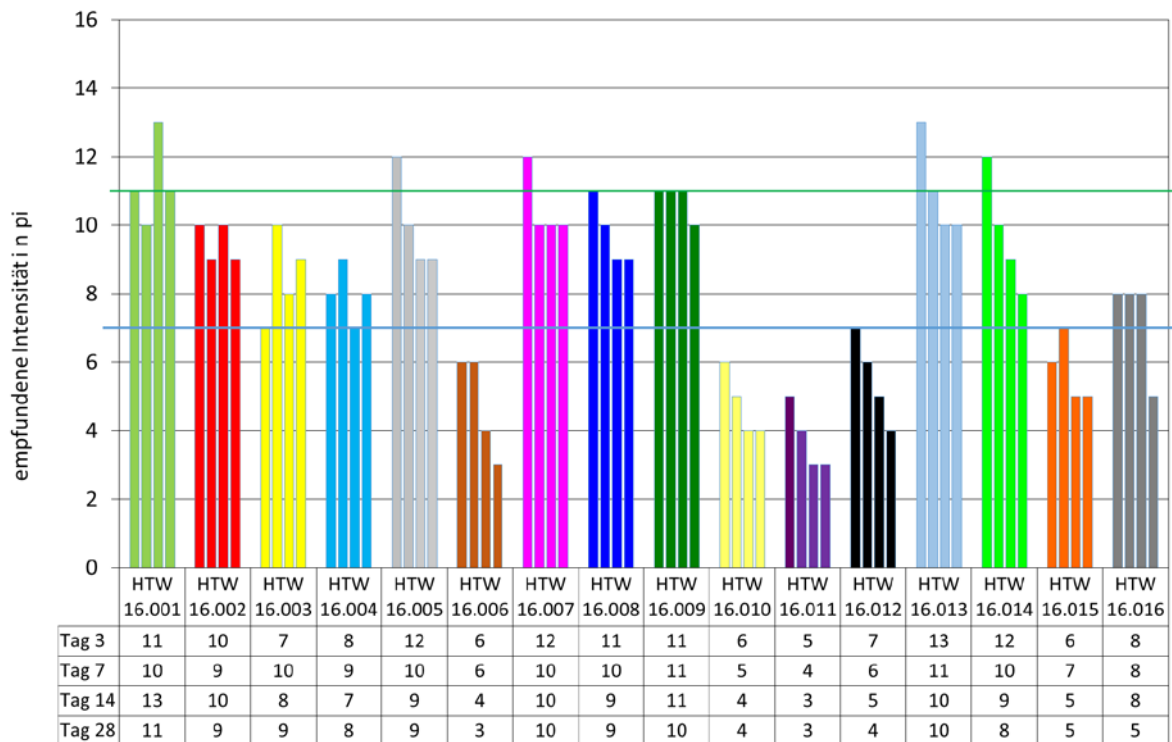
Abbildung 47: Hedonik Hersteller 7 und 8 (elastische Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



## 5.8 Vergleich der Ergebnisse

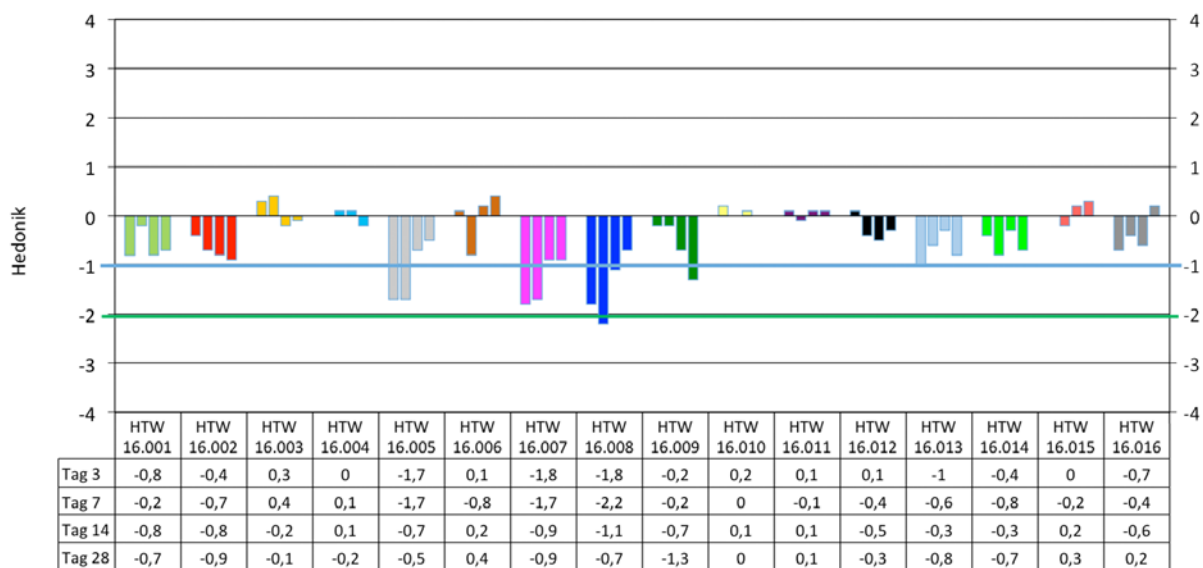
Die nachfolgende Abbildung 48 zeigt noch einmal die empfundenen Intensitäten aller untersuchten Produkte. Der Übersicht halber werden die Bewertungen auf ganze Zahlen gerundet dargestellt. 6 Produkte (6, 10, 11, 12, 15 und 16) liegen teilweise deutlich unter dem vorgeschlagenen Prüfwert des Blauen Engels (7 pi). Zwei Produkte (4 und 14) liegen mit 8 pi knapp darüber. Die restlichen 9 Produkte (56 %) liegen mit Bewertungen zwischen 9 pi und 11 pi am Tag 28 über diesem Prüfwert.

Abbildung 48: Zusammenfassung - Empfundene Intensität (elastische Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



In Abbildung 49 sind zusammenfassend alle Bewertungen der Hedonik dargestellt. Hierbei fällt auf, dass die Produkte mit Intensitätsbewertungen auch gute Bewertungen in der Hedonik erhalten. Die Produkte mit den höheren Intensitätsbewertungen erzielen bei der Hedonik eher ungünstigere Bewertungen. Ausnahmen sind die beiden Produkte 3 und 4 von Hersteller 2, welche Intensitäten von 9 bzw. 8 pi aufweisen, aber relative gute Hedonikbewertungen im Bereich von 0 bekommen.

Abbildung 49: Zusammenfassung - Hedonik (elastische Bodenbeläge) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



## 5.9 Langzeituntersuchung

Bei einem Fachgespräch mit Projektbeteiligten und Herstellern der untersuchten Produkte werden die vorher aufgeführten Ergebnisse vorgestellt und diskutiert. Aufgrund der teilweise hohen Intensitäten und des geringen Abklings einiger Produkte einigt man sich auf eine weitere Untersuchung über einen längeren Zeitraum (3 Monate). Hierbei gilt es zu prüfen, ob bzw. in welchem Zeitraum mit einem Abklingen der Intensitäten zu rechnen ist.

Für die Langzeitmessung werden folgende fünf Produkte von drei verschiedenen Herstellern ausgewählt:

1. HTW 16.004 -> Hersteller 2
2. HTW 16.005 -> Hersteller 3
3. HTW 16.008 -> Hersteller 3
4. HTW 16.013 -> Hersteller 5
5. HTW 16.014 -> Hersteller 5

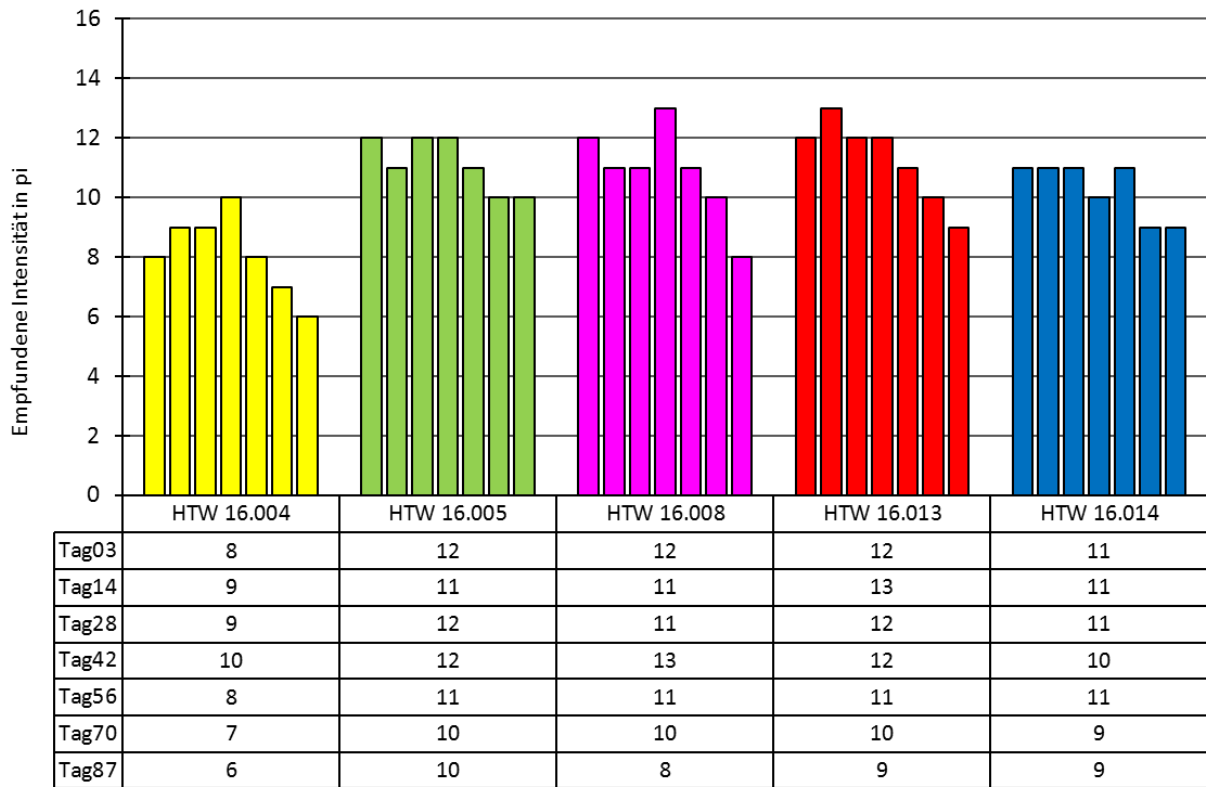
Die nachfolgende Tabelle 5 zeigt eine Übersicht des Zeitplans der durchgeführten Langzeitmessung.

Tabelle 5: Zeitplan der Langzeitmessungen [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]

Bezeichnung	Datum	Zeitraum nach Einbringung
Beladung	10.10.2016	0
Tag 14	24.10.2016	2 Wochen
Tag 28	07.11.2016	1 Monat
Tag 42	21.11.2016	1,5 Monate
Tag 56	05.12.2016	2 Monate
Tag 70	19.12.2016	2,5 Monate
Tag 87	05.01.2017	3 Monate

Die folgende Abbildung 50 zeigt die Bewertungen der empfundenen Intensität an den einzelnen Untersuchungstagen. Bei vier Produkten (4, 8, 13 und 14) ist ein, wenn auch geringer, Abfall der Intensität ab ca. dem Tag 56 zu erkennen. Bei dem Produkt 5 (grün) ist im Laufe des Untersuchungszeitraumes im Rahmen der Genauigkeit kaum eine Abnahme zu verzeichnen. Insgesamt liegen vier der fünf Produkte auch nach einer Verweildauer von etwa 3 Monaten immer noch in einem Intensitätsbereich von 8 bis 10pi.

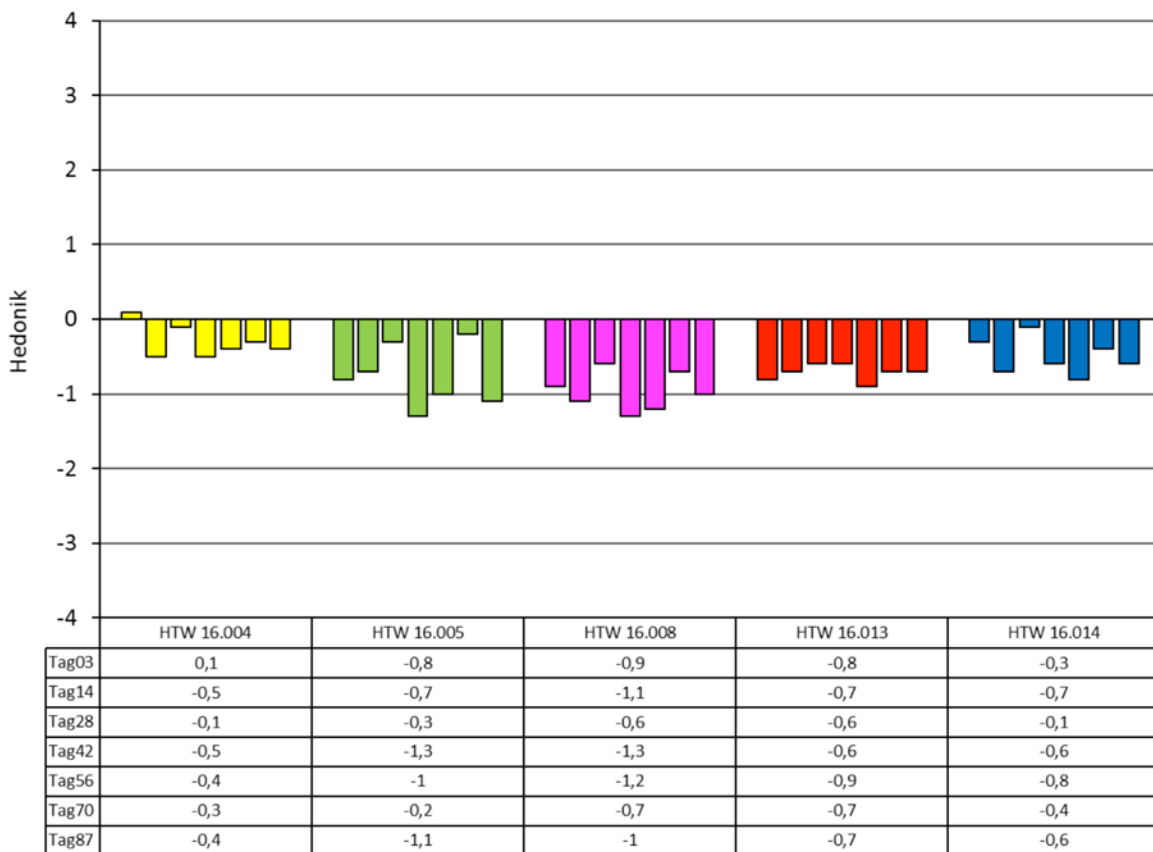
Abbildung 50: Empfundene Intensitäten – Langzeitmessung elastische Bodenbeläge [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



Die nächste Abbildung 51 zeigt die Bewertungen der Hedonik dieser Langzeitmessung. Hier liegen alle Bewertungen in etwa im Bereich zwischen -1 und 0. Das Produkt 4 (gelb) wird hier (analog zu den etwas niedrigeren Intensitätswerten) etwas besser bewertet.

Alle Bewertungen der empfundenen Intensität und der Hedonik der Standardmessung und der Langzeitmessung passen überein und ergeben vergleichbare Ergebnisse.

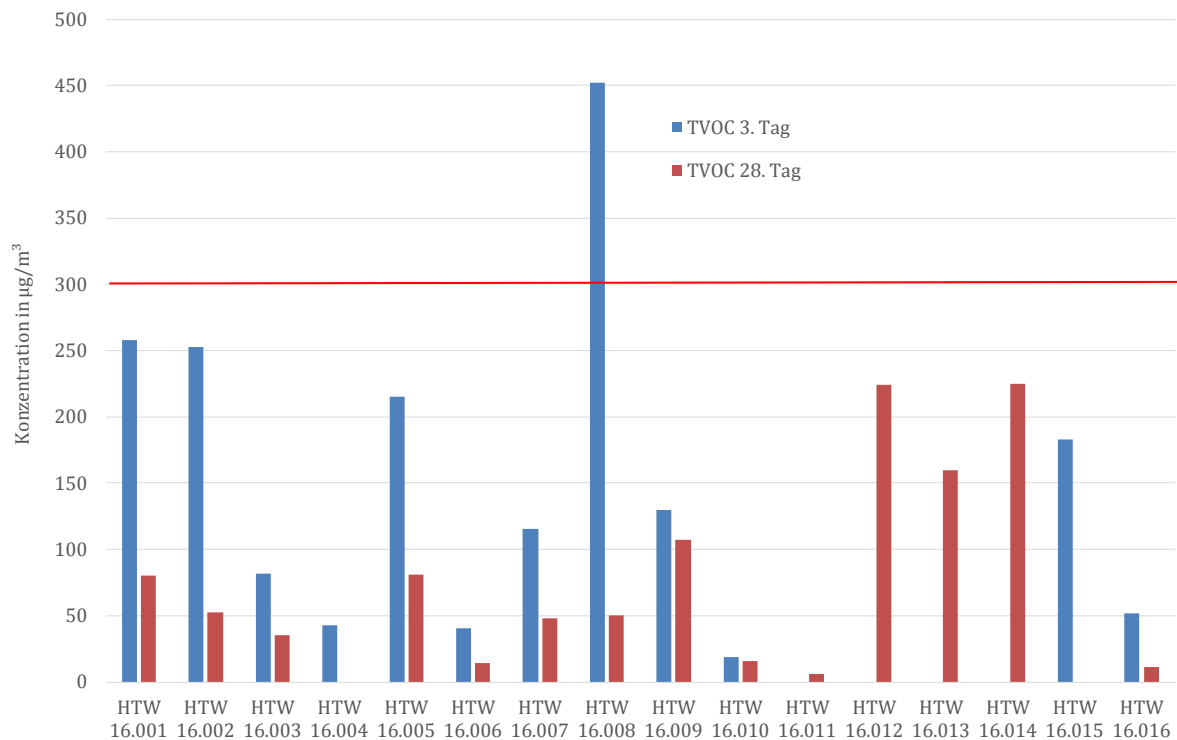
Abbildung 51: Hedonik – Langzeitmessung elastische Bodenbeläge [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



## 5.10 Ergebnisse VOC

Auch elastische Bodenbeläge gehören zu den Produkten, die schon seit langem auch hinsichtlich ihrer Emission überprüft werden. Allerdings umfasst diese Produktgruppe eine etwas größere Vielfalt an möglichen Basisprodukten, weshalb die Emissionen vielfältiger sein können. Daher werden hier nur die ermittelten TVOC-Werte gezeigt (Abbildung 52) und keine Einzel-VOC, da es hier keine Komponenten gibt, die bei vielen Produkten nachgewiesen werden konnten.

Abbildung 52: TVOC-Werte der AgBB-Auswertung der elastischen Bodenbeläge am 3. und 28. Tag (rote Linie: Grenzwert UZ 120 = 300 µg/m<sup>3</sup>) [Quelle: eigene Darstellung, BAM]



In Abbildung 53 werden die gesundheitlich relevanten Auswertungen der Materialemissionen in Form des R-Wertes gezeigt. Die Daten werden durch ein Inset, welches die Werte bis 0,2 mg/m<sup>3</sup> genauer darstellt ergänzt. Die Angabe des R-Wertes am 3. Tag ist nicht notwendig für die Bewertung, ist aber bei der Einschätzung der Emissionen ein guter Hinweis auf das Potential der emittierenden Komponenten. Der relevante Wert für die Bauproduktbewertung ist jedoch lediglich der 28. Tag. Die Konzentrationen des 28. Tages überschreiten bei keinem Produkt die Ergebnisse des 3. Tages und nur in einem Fall waren sie knapp über eins, dem Grenzwert des R-Wertes. Allerdings wird hier nach mathematischen Rundungsregeln auch noch ein Wert von 1,49 akzeptiert. Da die NIK-Werte für einzelne Komponenten sehr unterschiedlich sind, werden R-Werte häufig von ein oder zwei Komponenten dominiert. So ist bei der „HTW 16.016“ Phenol nachgewiesen worden, welches einen NIK-Wert von 10 hat. Folglich ergibt sich dort trotz eines kleinen TVOC-Wertes ein deutlicher R-Wert. Die „HTW 16.008“ weist die höchsten VOC-Konzentrationen auf, aber dabei sind kaum gesundheitlich relevante Emissionen feststellbar. Weitere VOC mit relativ niedrigem NIK-Werten oder höheren Konzentrationen waren Ethandiol, Methylisobutylketon, Benzoesäure, Hexanal und einige weitere.



Abbildung 53: R-Werte der AgBB-Auswertung der elastischen Bodenbeläge am 3. und 28. Tag, das Inset zeigt die gleichen Daten nur mit einer vergrößerten Achsenskalierung [Quelle: eigene Darstellung, BAM]

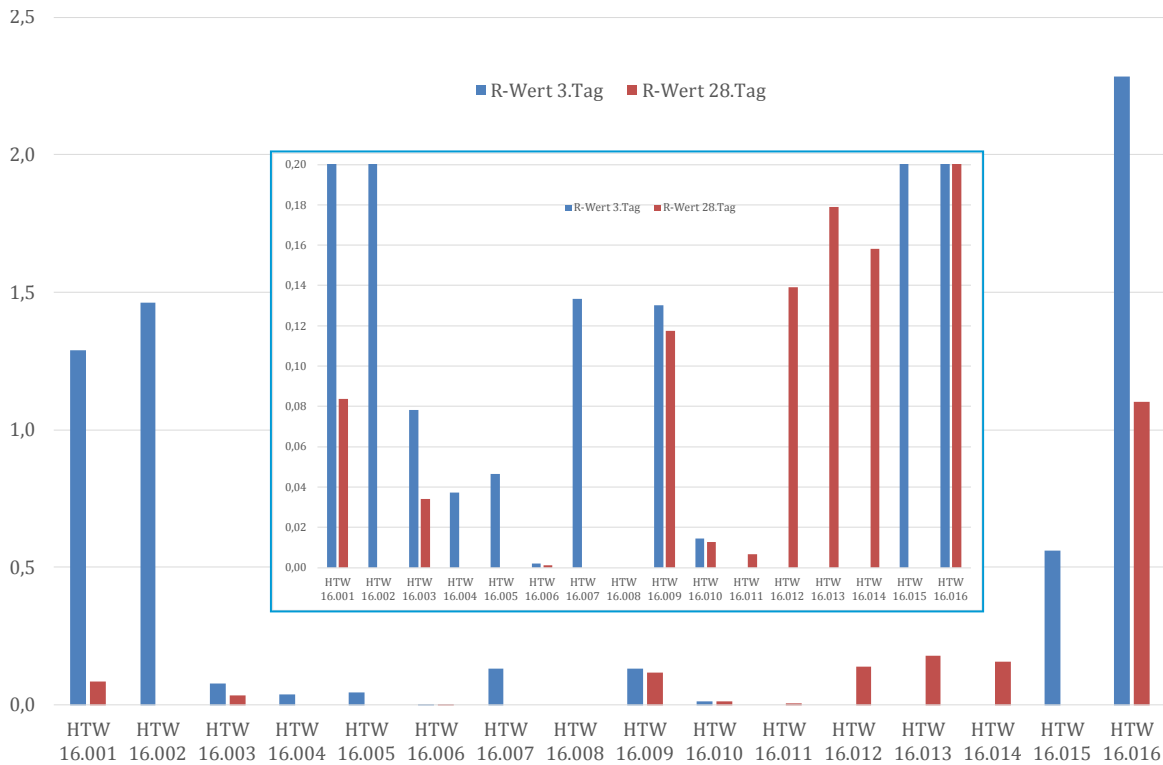
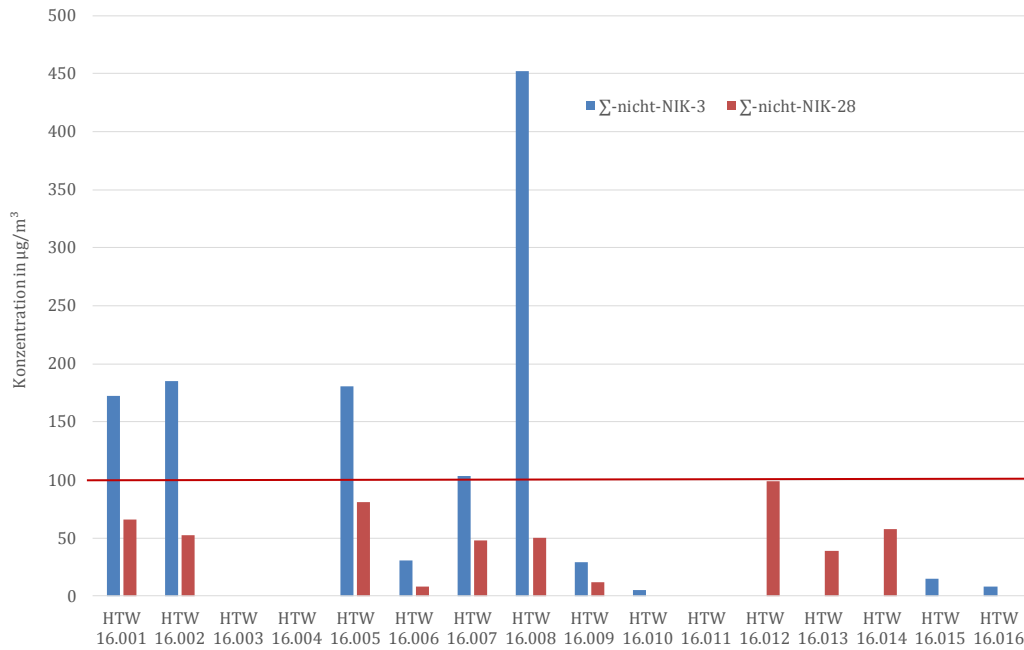
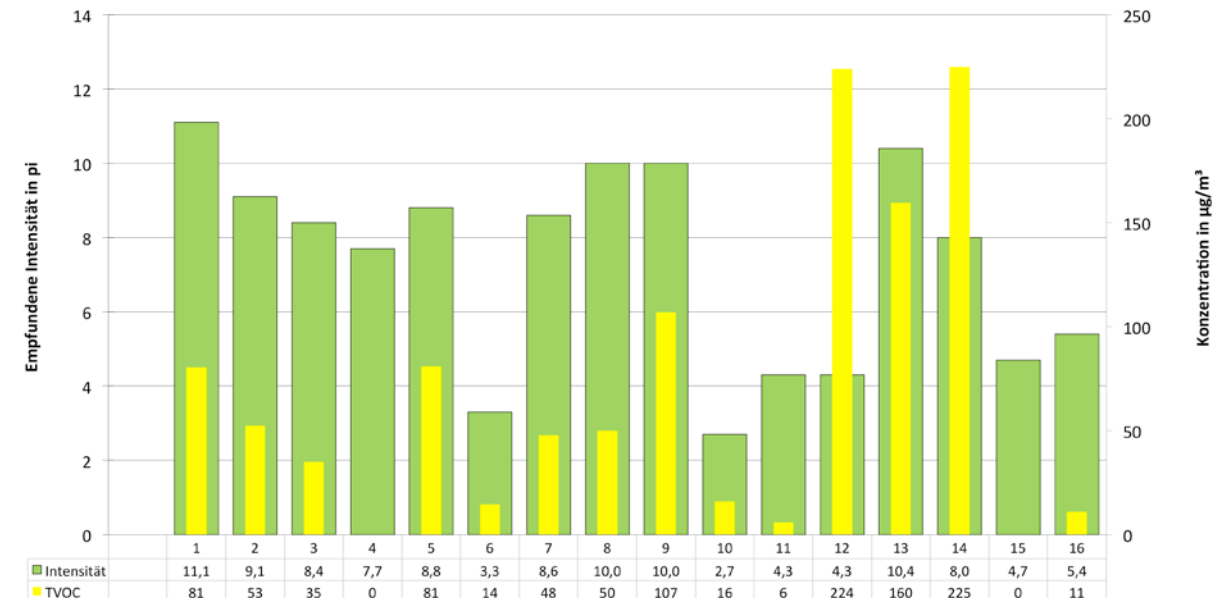


Abbildung 54:  $\Sigma$ -nicht-NIK-Werte der AgBB-Auswertung der elastischen Bodenbeläge am 3. und 28. Tag (Grenzwert UZ 120: 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  am 28. Tag, rote Linie) [Quelle: eigene Darstellung, BAM]



In Abbildung 55 ist eine Gegenüberstellung der empfundenen Intensität mit den TVOC Werten dargestellt. Es wird auch hier ersichtlich, dass eine Korrelation des Geruchsempfindens mit den analytisch gefundenen Substanzen nicht ablesbar ist.

Abbildung 55: Gegenüberstellung Intensität/ TVOC's am 28ten Tag [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



## 5.11 Zusammenfassung / Ausblick

Bei den Untersuchungen der 16 Produkte dieser Produktgruppe können unterschiedliche Bewertungen festgestellt werden. 6 Produkte unterschreiten den vorgeschlagenen Prüfwert für den Blauen Engel (<7pi) deutlich, was insgesamt einem Anteil von 37,5% entspricht. Weitere 6 Produkte erreichen am Tag 28 Bewertungen zwischen 7 und 9 pi. 4 Produkte weisen mit Bewertungen zwischen 10 und 11 pi vergleichsweise hohe Intensitäten auf (25% der untersuchten Produkte). Bei den Hedonikbewertungen erreichen fast alle Produkte den vorgeschlagenen Prüfwert des Blauen Engels (> -1).

Die Langzeitmessung der fünf ausgewählten Produkte mit relativ hohen Intensitäten zeigt über den Versuchszeitraum nur leichte Tendenzen zur Abnahme der Intensitäten. 4 der 5 untersuchten Produkte weisen auch nach 3 Monaten noch Intensitäten über dem Prüfwert (>7pi) des Blauen Engels auf.

Das weitere Vorgehen im Bereich elastische Bodenbeläge wird in einem nächsten Expertenkreis mit den Teilnehmern besprochen. Eine Anlehnung an die Verfahrensbeschreibung der textilen Bodenbeläge wird angestrebt. Es ist ersichtlich, dass die Hedonik der Produkte leicht besser liegt als bei den textilen Bodenbelägen. Eine Tendenz des Abklingens der empfundenen Intensität erfolgt erst nach ca. 56 - 70 Tagen oder später. Die Analytik zeigt eine höhere Vielfalt an Substanzen, als es bei den textilen Bodenbelägen der Fall war.

## 6 Untersuchung verschiedener Vergleichsmaßstäbe

Bei der „Fachkonferenz zum Abschluss der Pilotphase des AgBB zur Geruchsprüfung von Bauprodukten“ Anfang Oktober 2015 im Umweltbundesamt wurde deutlich, dass zur Verbesserung der Normen, und somit der Bewertungsmethoden und der Arbeit mit den Methoden, kurzfristig ein dringender Forschungsbedarf besteht.

Gerüche werden unter anderem bezüglich der Geruchsintensität (empfundene Intensität mit der Einheit  $\text{pi}$ ) bewertet. Dazu wird ein Vergleichsmaßstab verwendet. Diese Methode wurde in den Vorgängerprojekten des Umweltbundesamtes entwickelt und beschrieben und ist in den verschiedenen ISO und VDI Richtlinien (ISO 16000 -28, ISO 16000 -30 und VDI 4302 Teil 1) integriert. Der bei der Entwicklung verwendete Vergleichsmaßstab wird als eine Variante in den genannten Richtlinien erklärt. In der Zwischenzeit wurden verschiedene Vergleichsmaßstäbe entwickelt und verwendet. Aktuelle Ergebnisse zeigen nun, dass die unterschiedlichen Vergleichsmaßstäbe bei gleicher Konzentration, aber unterschiedlicher relativer Luftfeuchtigkeit, Trichterformen, Luftvolumenströme etc. zu unterschiedlichen Ergebnissen führen können. Der Vergleichsmaßstab ist die Basis der Methodenentwicklung. Eventuell müssen die Normen dahingehend präzisiert werden, so dass genauere Regelungen zur Erstellung der Vergleichsmaßstäbe ergänzt werden, um eine Validierung vor dem Einsatz des Maßstabes durchführen zu können.

Für die geplanten Untersuchungen werden nach Absprache mit dem Mittelgeber vier Vergleichsmaßstäbe verschiedener Institute mit dem Vergleichsmaßstab der HTW Berlin verglichen. Die Untersuchungen finden an der HTW Berlin statt und werden mit den Prüferinnen und Prüfern der HTW Berlin durchgeführt, um möglichst immer gleiche Bedingungen bei den Untersuchungen zu erreichen.

Die Untersuchungen konnten leider nur mit Laufzeiten von ca. 2 Messtagen durchgeführt werden, somit können hier nur erste Eindrücke dargestellt werden. Es ist sehr wichtig, diese Untersuchungen unter, mit den Instituten abgestimmten Bedingungen, erneut und länger durchzuführen. Die gewonnenen Eindrücke werden im Folgenden vorgestellt und in einem Workshop im Mai diskutiert.

Die Abbildung 56 stellt den Trichter der HTW Berlin grafisch dar, die Frontal- und Seitenansicht sind in Millimetern bemaßt. Wichtig bei der Gestaltung des Trichters ist, dass eine Verwirbelung der Luft und somit eine Verdünnung der zu bewertenden Luft vermieden wird. Dazu gibt es bereits Studien aus Dänemark und der TU Berlin dem Hermann-Rietschel-Institut, die diese Maße ergeben haben. Wichtig dabei ist unter anderem der Öffnungswinkel aber auch die Länge des Trichters, Strömungsgeschwindigkeit und die Position des Kopfes im Trichter, damit sich die Strömung entsprechend ausbilden kann.

Abbildung 56: Vergleichsmaßstab HTW Berlin (links Frontalansicht, rechts Seitenansicht) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]

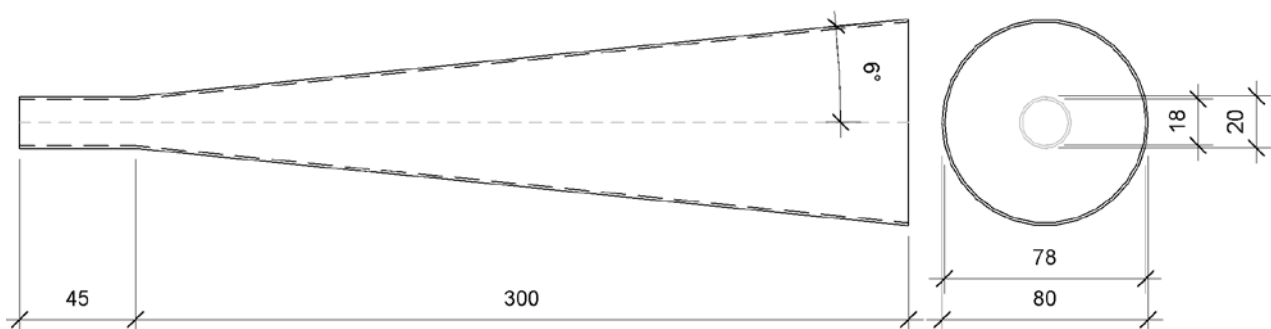


Tabelle 6: Zusammenfassung - Unterschiede der untersuchten Vergleichsmaßstäbe [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]

Merkmale	HTW Berlin Maßstab	Vergleichsmaßstab 1 (VGM 1)	Vergleichsmaßstab 2 (VGM 2)	Vergleichsmaßstab 3 (VGM 3)	Vergleichsmaßstab 4 (VGM 4)
Anzahl Trichter	6	1	6	1	1
Trichter Neigung	ca. 6°	ca. 6°	ca. 6°	ca. 6°	ca. 6°
Trichter Neigungshöhe	27 cm	27 cm	13 cm	21 cm	30 cm
Innendurchmesser Trichterauslass	7,5 cm	7,2 cm	8 cm	5,9 cm	7,8 cm
Innendurchmesser Trichtereinlass	1,8 cm	1,8 cm	2,4 cm	0,9 cm	1,8 cm
Acetonbereitstellung	Waschflasche (gekühlt)	Prüfgas (2500mg/m³)	Waschflasche (gekühlt)	Acetontank (ungekühlt)	flüssig, ungekühlt
Luftbeimischung	synth. Luft	synth. Luft	Umgebungsluft	synth. Luft	Umgebungsluft
Wegstrecke Aceton-/Luftgemisch (Durchmischung)	ca. 50 cm	wenige cm	ca. 20 cm	wenige cm	ca. 50cm
Volumenstrom im Trichter	0,9 l/s	0,81 l/s	0,83 l/s	0,33 l/s	0,8 l/s
Relative Luftfeuchtigkeit	ca. 50%	ca. 3%	Umgebungsluft	Kann befeuchtet und trocken betrieben werden	ca. 50%

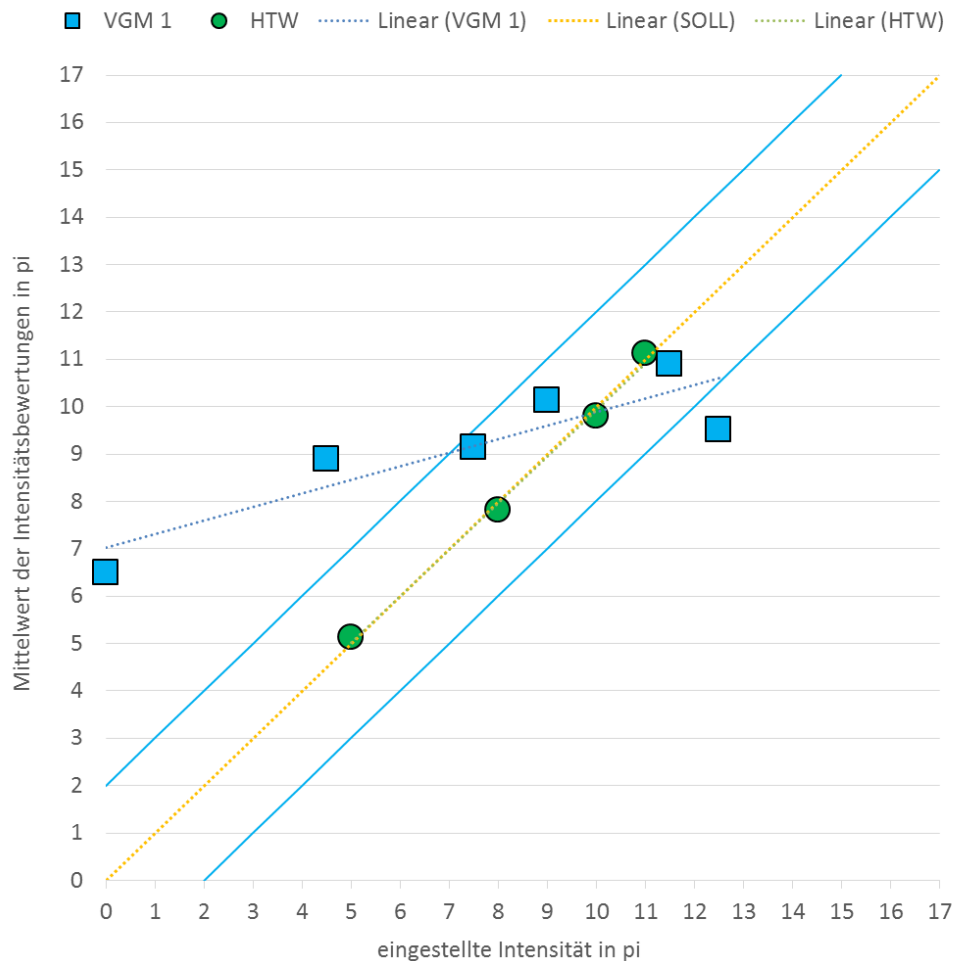
In Tabelle 6 sind einige der Unterschiede der untersuchten Vergleichsmaßstäbe zusammengefasst. Wichtige Aspekte, die einen Einfluss auf die Bewertung haben werden, sind rot hervorgehoben.

Je nach Vergleichsmaßstab wird das zusätzlich eingebrachte Aceton aus dem Versuchsraum über eine maßgeschneiderte Absaugung wieder abgeführt.

In den nachfolgenden Punktdiagrammen sind die Bewertungen der unterschiedlichen Vergleichsmaßstäbe im Einzelnen und in Abbildung 61 noch einmal alle Daten in einem Diagramm zusammengefasst. In den Abbildungen 57-61 ist die Sollkonzentration als gelbe Linie und die Toleranz von ± 2 pi um den Sollwert als blaue Linien dargestellt. Die grünen Kreise stellen jeweils die Kalibrierung der Probanden am Vergleichsmaßstab der HTW Berlin dar.

Auffällig bei den Untersuchungen mit dem ersten Vergleichsmaßstab ist der Eigengeruch des Gerätes. Der Geruch des Gerätes wird bei der Darbietung der Luft aus dem Vergleichsmaßstab ohne Acetonbeimischung bereits auf 6,5 pi eingestuft. Dies ist in der Abbildung 57 deutlich zu erkennen.

Abbildung 57: Mittelwerte der dargebotenen Acetonkonzentrationen (Vergleichsmaßstab 1) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



Der Vergleichsmaßstab 2 wird von den Mitarbeiterinnen des dazugehörigen Instituts im Labor der HTW Berlin aufgebaut. Der Abluftauslass des Geräts wird an die Abluftanlage der HTW Berlin angeschlossen. Das flüssige Aceton für die Waschflasche stellt die HTW Berlin, um mögliche unterschiedliche Acetonqualitäten auszuschließen. Zuletzt wird der Vergleichsmaßstab von den Mitarbeiterinnen des Instituts in Betrieb genommen und die Acetonkonzentrationen an den einzelnen Trichtern mittels eigenen PID (Photoionization detector) eingestellt.

Als nächstes wird der IST-Zustand des Vergleichsmaßstabs mit der Messtechnik der HTW Berlin gemessen (PAD-Photoacoustic Gas Monitor der Firma LumaSence). Diese Einstellungen werden bei allen Vergleichsmaßstäben zuvor untersucht. Es fällt bei verschiedenen Geräten auf, dass viele der eingestellten Konzentrationen nicht den Soll-Konzentrationen (gemessen mit dem PAD der HTW Berlin) entsprechen. Die Bewertungen der Probanden wurden mit den Einstellungen des HTW Berlin Messgerätes verglichen, um keine Ungenauigkeiten in die Untersuchung zu bringen. Generell ist es jedoch ein in der Normung mit zu diskutierender Punkt, dass die verwendeten Messgeräte unterschiedliche Messfehler generieren.

Die Bewertungen mit dem Vergleichsmaßstab 2 und 3 kommen den Werten der HTW Berlin schon näher.

Abbildung 58: Mittelwerte der dargebotene Acetonkonzentrationen (Vergleichsmaßstab 2) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]

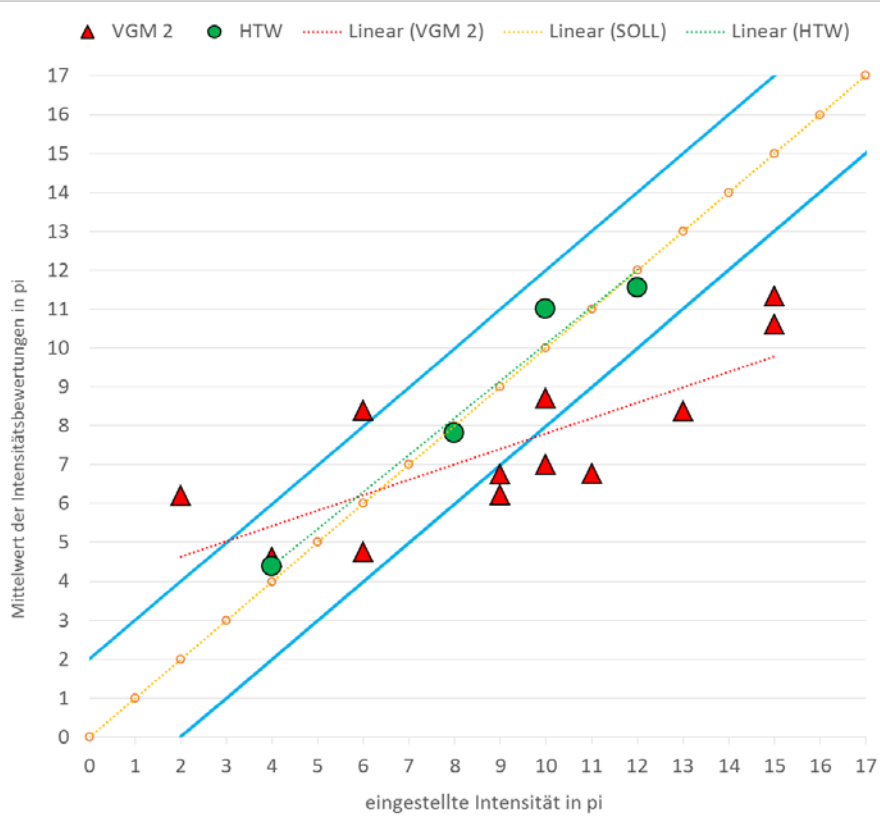
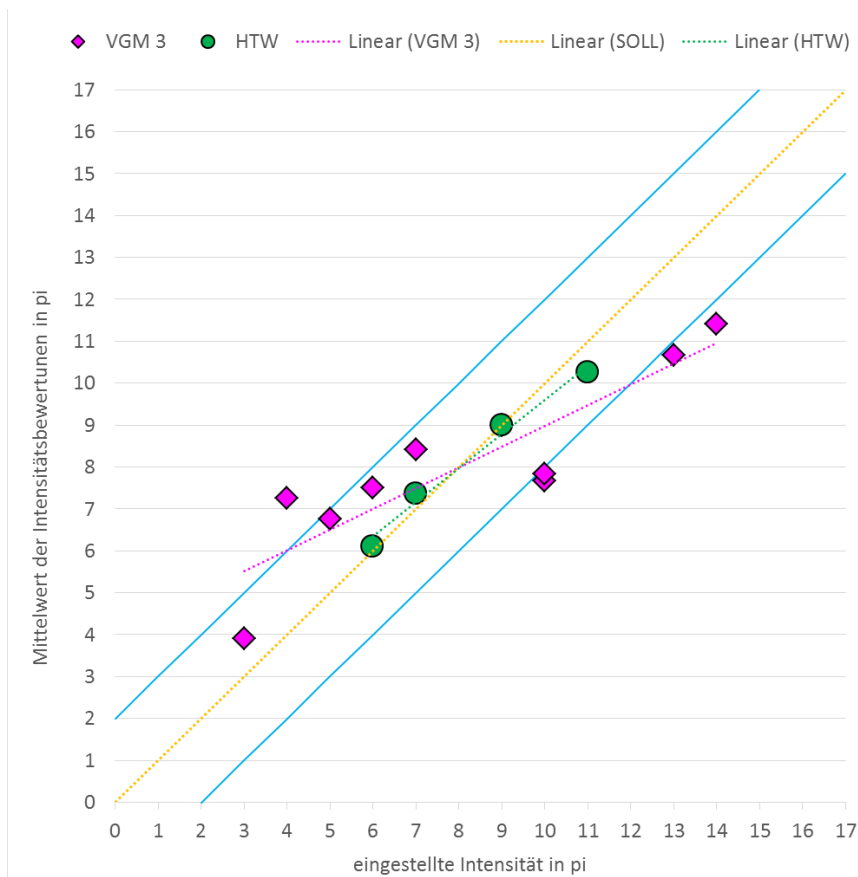


Abbildung 59: Mittelwerte der dargebotene Acetonkonzentrationen (Vergleichsmaßstab 3) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



Der Vergleichsmaßstab 4 ist ein Darbietungssystem, das neben Aceton auch für die Darbietung weiterer VOC eingesetzt werden kann. Es wurde im Rahmen des noch nicht veröffentlichten Promotionsvorhabens „Optimierung der normgerechten Intensitätsbewertung von Materialgerüchen, [25] von L. Brosig an der BAM entwickelt und ist eine 1-Trichter-Variante. Die Einstellung der Konzentrationen erfolgt über gasdichte Glasspritzen und eine Spritzenpumpe.

Der Betrieb des Vergleichsmaßstabes ist durch eine mobile Versorgung mit dem Verdünnungsgasstrom über PC-Lüfter unabhängig vom Einsatzort möglich. Voraussetzung ist, dass die Umgebungsluft den Anforderungen der Reinheit entspricht [11] [12]. Die Konzentrationen können stufenlos in beliebiger Größenordnung eingestellt werden. Für die Darbietung von Neutralluft kann ein zweiter Aufbau ohne Dosiereinrichtung verwendet werden.

Die Darbietung des Acetons erfolgt kontinuierlich, sodass eine aktive Absaugung über dem Trichter je nach Raumbeschaffenheit empfehlenswert ist.

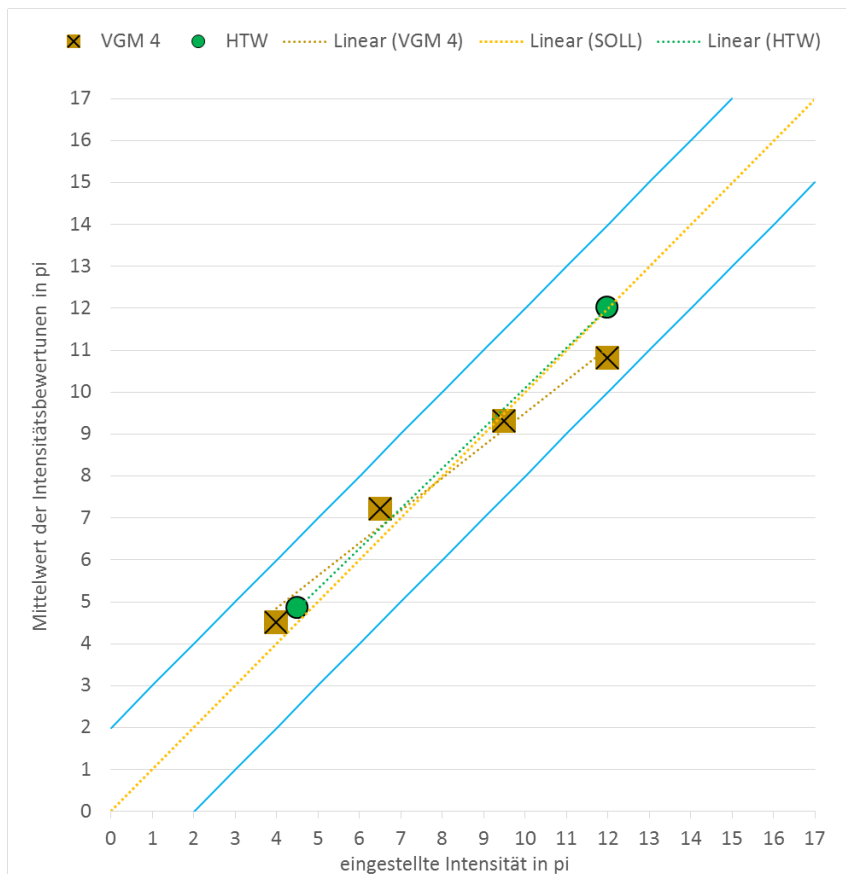
Der offensichtlichste Unterschied zwischen diesem Darbietungssystem und dem Vergleichsmaßstab der HTW Berlin ist die Anzahl der Trichter, während die verwendeten Trichter nahezu identisch sind. Weiterhin kann der Verdünnungsgasstrom für das Darbietungssystem aus der Umgebungsluft gezogen werden. Für den direkten Vergleich der beiden Systeme wird die Versorgungsluft aus der raumlufttechnischen Anlage der HTW Berlin bezogen.

Der größte Unterschied liegt allerdings in der Dosierung des Acetons, das direkt aus der flüssigen Substanz über eine Spritze, eine Mischkammerdüse und einen dort angelegten Druck, in den Verdünnungsgasstrom injiziert wird und erst dort vollständig verdampft.



Im nachfolgenden Punktdiagramm (Abbildung 60) sind die Mittelwerte noch einmal zusammen mit der Trendlinie der Sollkonzentrationen (gelbe Linie) und einer Toleranz von  $\pm 2 \text{ pi}$  um den Sollwert (blaue Linien) aufgetragen. Hier fällt die gute Übereinstimmung der Mittelwerte mit der jeweils eingestellten Konzentration auf. Die Trendlinie (VGM 4) befindet sich sehr nah an der Soll-Trendlinie.

Abbildung 60: Mittelwerte der dargebotenen Acetonkonzentration (Vergleichsmaßstab 4) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



In Abbildung 61 sind alle Werte der Untersuchungen dargestellt. Es wird deutlich, dass weitere Untersuchungen nötig sind, um klare Erkenntnisse über einzelne Einflussfaktoren erhalten zu können. Untersuchungen nach dem Ausschlussprinzip waren in der Kürze der Zeit nicht möglich. Es ist sehr gut zu erkennen, dass beispielsweise Vergleichsmaßstab 4 zu guten Übereinstimmungen kommt.

Eigengerüche der Geräte sind zu vermeiden, da somit keine Bewertung im Sinne der Methode der empfundenen Intensitätsbewertung mit Vergleichsmaßstab möglich ist.

Das Messen der Acetonkonzentration mit Messgeräten stellt eine Herausforderung dar, daher sollte man sich auch hier auf eine Standardmethode (zum Beispiel der HTW Berlin) einigen, da dieses Messprinzip bei der Entwicklung der Methode verwendet wurde.

Abbildung 61: Mittelwerte der dargebotenen Acetonkonzentration (aller Vergleichsmaßstäbe) [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



## 7 Untersuchung der Linearität der Acetonskala

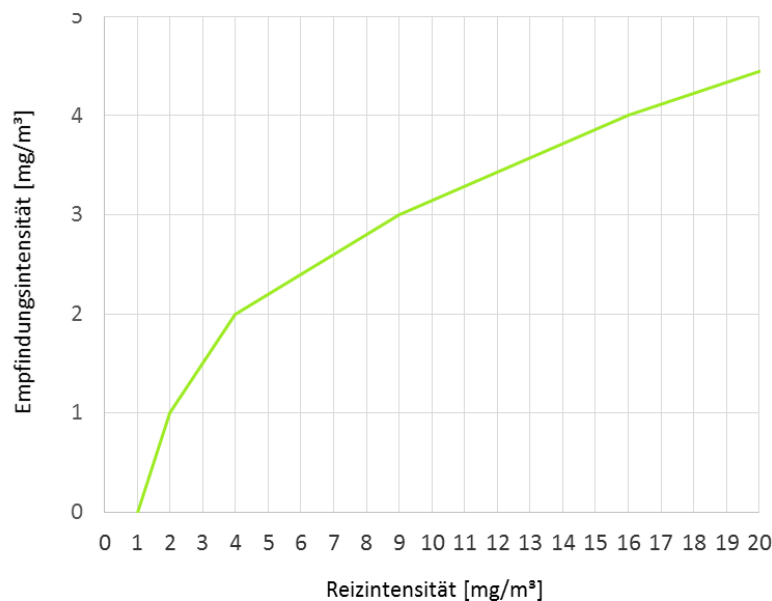
### 7.1 Einleitung

Eine technische Messung, die der sensorischen Empfindung der menschlichen Nase ähnelt, ist bisher nicht vollständig umsetzbar. Die Nase ist das komplexeste aller fünf Sinnesorgane, bei der Geruchswahrnehmung handelt es sich um ein psychophysisches Phänomen. Die Wahrnehmung von Klanglautstärke und Lichtintensität sind weitere Beispiele solcher psychophysischen Phänomene, die in der Grundlagenforschung bereits weiter erforscht sind, als der Geruchsinn.

Bei der sensorischen Bewertung der Geruchsemissionen von Baustoffen wird unter anderem die empfundene Intensität untersucht (siehe auch Kapitel 3.1.1). Die Untersuchung wird mit Probandengruppen an einem Vergleichsmaßstab durchgeführt (siehe auch Kapitel 3.1.4).

Das Weber-Fechner Gesetz besagt, dass die menschlichen Wahrnehmungen durch die Sinnesorgane logarithmisch auf physikalische Reize reagieren. Dieser Zusammenhang wurde für ein breites Spektrum von Sinneswahrnehmungen experimentell bestätigt und ist eines der wesentlichen Gesetze der Psychologie der Wahrnehmung. Nach dem Weber-Fechner-Gesetz und weiteren Studien kann also zunächst davon ausgegangen werden, dass die von der menschlichen Nase empfundene Geruchsintensität logarithmisch zur Geruchsemission ist.

Abbildung 62: Qualitativer Zusammenhang zwischen Reiz- und Empfindungsintensität (angelehnt an [26])



Während das logarithmische Gesetz einerseits schwache Reize kurz oberhalb der Wahrnehmungsschwelle  $R = R_0$  hervorhebt und so „gut empfindbar“ macht, werden sehr große Reize in ihrer Wahrnehmung abgeschwächt. Insgesamt wird so ein sehr breiter physikalischer Wertebereich (schmerzfrei) erfahrbar [26].

$$\Delta E \sim \frac{\Delta R}{R}$$

Die Gleichung beschreibt das Gesetz der relativen Empfindungsänderung. Es ist die wichtigste Grundlage für die Wahrnehmungspsychologie. Es geht auf Weber zurück, der es bereits 1834 aus Versuchen hergeleitet hat. Um eine empfindungsgerechte Messskala zu bekommen, die auf das Gesetz der relativen Empfindungsänderung Rücksicht nimmt, muss man im Messprozess eine Kennlinie berücksichtigen, mit der zum gemessenen Reiz die zur Empfindung proportionale Auswerte-Größe abgelesen werden kann. Dazu benötigt man den zum Änderungsgesetz gehörenden Zusammenhang  $E=E(R)$  [26].

$$dE \sim \frac{dR}{R}$$

Daraus erhält man durch Integration

$$E \sim \log\left(\frac{R}{R_0}\right)$$

Diese logarithmische Verlaufskurve findet hauptsächlich ihre Anwendung in Bewertungen von Akustik und Licht. Laut Steinheider [27] haben Laborstudien (Skalierungsexperimente) ergeben, dass die Intensität der Geruchsempfindung dem Weber-Fechner-Gesetz proportional der logarithmischen Geruchskonzentration ist. Inwieweit diese Gesetzmäßigkeit auch für die Geruchswahrnehmung von Aceton in dem hier angewendeten definierten Konzentrationsbereich zutrifft kann durch sogenannte „Mittenversuche“ untersucht werden.

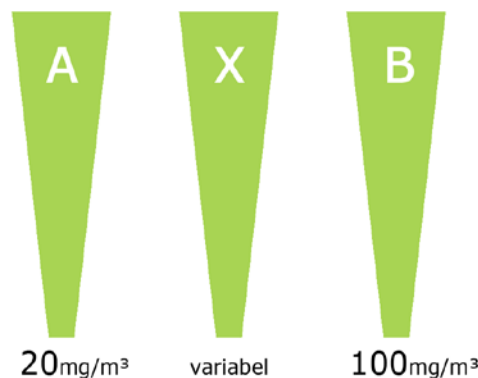
Im Gegensatz zu dem Weber-Fechner Gesetz werden am Vergleichsmaßstab linear ansteigende Konzentrationen aus einem Aceton-Luftgemisch, zur Bewertung der empfundenen Intensität, definiert. Die derzeit geltenden Normen beziehen sich auf diese Definition. Diese Untersuchung befasst sich mit der Frage, ob die empfundene Geruchsintensität von Aceton in dem verwendeten Konzentrationsbereich einem linearen oder einem logarithmischen Verlauf folgt.

## 7.2 Versuchsbeschreibung

Die Mittenversuche werden mit der folgenden Methodik durchgeführt. Es sind drei Trichter des Vergleichsmaßstabes für den Mittenversuch notwendig. Der erste Trichter (A) enthält im Vergleich zum dritten Trichter (B) ein Aceton-Luftgemisch mit geringerer Acetonkonzentration. Der Trichter in der Mitte (X) wird von Prüferinnen und Prüfern durch das Öffnen/Schließen eines Ventiles eingestellt, bis die für sie empfundene Mitte zwischen dem Trichter A und Trichter B erreicht ist.

Die Auswertung der Versuchsdurchführung soll aufzeigen, ob die empfundene Mitte zwischen zwei vorgegebenen Geruchsintensitäten der errechneten Mitte (somit einem linearen Verlauf) oder einem logarithmischen Verlauf folgt. Die Abbildung 63 erläutert schematisch den Versuchsaufbau, dabei sind die angegebenen Konzentrationswerte nur beispielhaft. Die im Versuch verwendeten Konzentrationen sind im nächsten Abschnitt aufgelistet.

Abbildung 63: Schematische Darstellung der Trichter bei den Mittenversuchen, mit einem Intensitäts-paarbeispiel, Trichter A mit 0 pi und Trichter B mit 4 pi [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



Die Untersuchung teilt sich in zwei Phasen auf. Die Phase 1 beinhaltet drei Intensitätspaare (Paar 1-3) – nachfolgende IP genannt, welche von der HTW Berlin und dem Institute for Energy Efficient Buildings and Indoor Climate, E.ON Energy Research Center der RWTH Aachen Universität, mit jeweils 50 untrainierten Personen durchgeführt wird. Zusätzlich werden an der HTW Berlin in der Phase 1 noch zwei weitere IP (Paar 4-5) untersucht.

Die IP der Trichter A und B haben folgende Konzentrationen:

- ▶ Paar 1: 0 pi und 6 pi;
- ▶ Paar 2: 0 pi und 9 pi;
- ▶ Paar 3: 0 pi und 12 pi;
- ▶ Paar 4: 0 pi und 15 pi;
- ▶ Paar 5: 0 pi und 18 pi.

Die Konzentrationsamplituden werden von Paar 1 bis Paar 5 immer größer. Die Ergebnisse dieser fünf IP sind in der Abbildung 64 dargestellt.

In der Phase 2 der Mittenversuche untersucht die HTW Berlin vier weitere IP (Paar 6-9). In diesem Fall bleibt die Konzentrationsamplitude mit 6 pi ( $120 \text{ mg/m}^3$ ) konstant.

Die IP der Trichter A und B haben folgende Konzentrationen:

- ▶ Paar 6: 3 pi und 9 pi;
- ▶ Paar 7: 6 pi und 12 pi;
- ▶ Paar 8: 9 pi und 15 pi;
- ▶ Paar 9: 12 pi und 18 pi.

Durch die konstante Konzentrationsamplitude zwischen den beiden Trichtern wird ein höherer berechneter Mittelwert erreicht. In der ersten Phase liegt dieser bei  $200 \text{ mg/m}^3$  (IP 5 mit 0 pi zu 18 pi), in der zweiten Phase werden beim IP 9 circa  $320 \text{ mg/m}^3$  (12 pi zu 18 pi) erzielt. Dadurch wird der obere Bereich der Intensitätsskala mit untersucht.

Die Untersuchungen beider Phasen werden mit untrainierten Prüferinnen und Prüfern durchgeführt. Im Gegensatz zu trainierten Prüferinnen und Prüfern kennen diese die Skala des Vergleichsmaßstabes nicht, somit wird von einer unvoreingenommenen Bewertung ausgegangen. Für die Zulassung zu den Mittenversuchen durchlaufen die untrainierten Prüferinnen und Prüfern zunächst einen Eignungstest.

Der Eignungstest beinhaltet die folgenden Abfragen:

- 1- Den Prüferinnen und Prüfern werden zwei unterschiedliche Proben, die in den Emissionskammern liegen, angeboten. Die Prüfenden müssen durch diesen anonymen Test feststellen können, dass es unterschiedliche Gerüche sind. Beispiel: Mandarine und Linoleum. Bei positiver Antwort, darf der Prüfende die zweite Abfrage tätigen.
- 2- Den Prüferinnen und Prüfern wird am Vergleichsmaßstab ein Trichter mit einer Konzentration von  $3\pi$  angeboten. Die Prüfenden müssen diese Konzentration wahrnehmen können um den Eignungstest zu bestehen.

Beim Eignungstest der ersten Phase werden circa 30 Personen nicht zugelassen. Die meisten dieser Prüferinnen und Prüfer können eine Aceton-Luft-Konzentration von  $3\pi$  nicht wahrnehmen. In der zweiten Phase werden circa 10 Personen nicht zugelassen, ebenfalls hauptsächlich aufgrund der zweiten Abfrage.

Die Versuchsgruppe besteht aus circa  $1/3$  weiblichen und  $2/3$  männlichen Prüfenden im Alter zwischen 20 und 50 Jahren. Raucher wurden aus der Untersuchung ausgeschlossen. Die Versuchsdurchführung erfolgt gemäß den Handlungsanweisungen der DIN ISO 16000-28 (2012).

Bei der Versuchsdurchführung verlassen die Prüferinnen und Prüfer nach jeder von Ihnen getätigten Einstellung die Versuchskammer, um die Adaptation des Geruchsinnes zu vermeiden. Während sie die Einstellung vornehmen steht ein Trichter mit Frischluft zur Verfügung. Der zu verstellende Trichter X wird zwischen jedem Intensitätspaar wieder auf  $0\pi$  geschlossen, sodass die Einstellungen immer vom gleichen Startpunkt erfolgen.

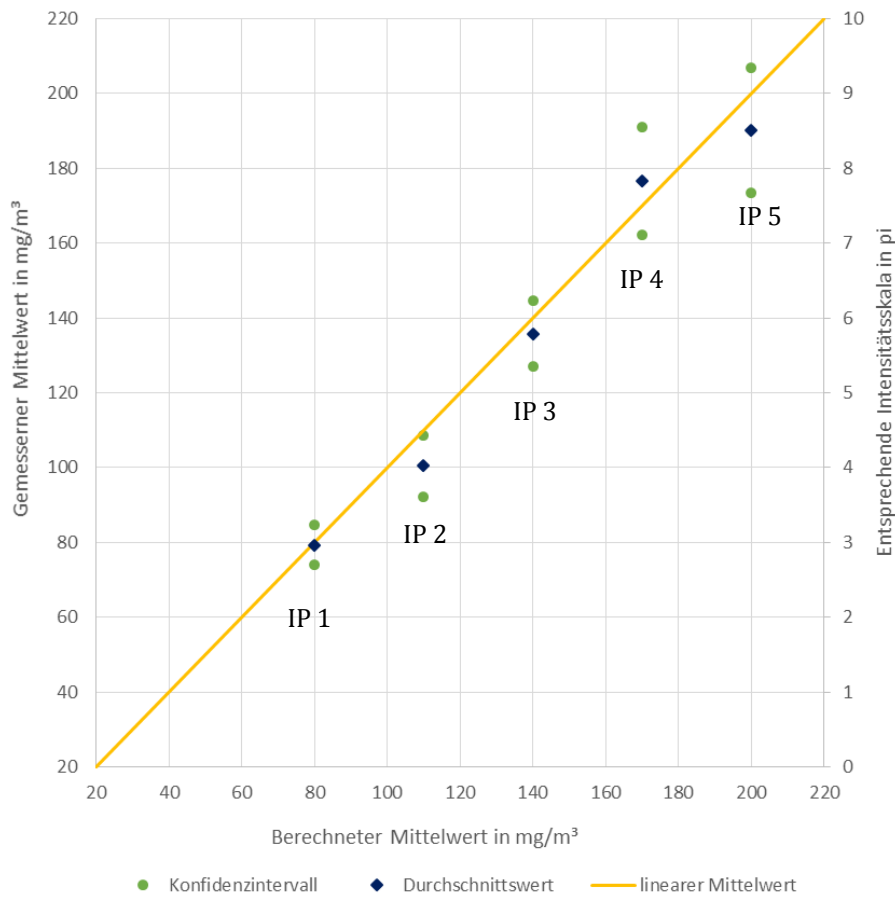
### 7.3 Versuchsergebnisse

Die Statistische Auswertung der Versuche wird nach ISO 16000-28 und der VDI 4302 Blatt1 durch das 90%ige Konfidenzintervall des Mittelwerts (Vertrauensintervall) ausgedrückt. 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 Probanden, 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.

In Abbildung 64 werden grafisch die Ergebnisse der Intensitätspaare 1-5, der Phase 1 ausgewertet. Auf der X-Achse sind die berechneten Mittelwerte zwischen Trichter A und B in  $\text{mg}/\text{m}^3$  angegeben. Die primäre Y-Achse (links) beschreibt die gemessene Konzentrationseinstellung des Prüfenden am Trichter X, ebenfalls in  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Die sekundäre Y-Achse zeigt die entsprechende Intensität in  $\pi$  an.

Die blauen Diamanten stehen für die Durchschnittswerte der Ergebnisse der verschiedenen Intensitätspaare. Die grünen Kreise zeigen die obere und untere Grenze des Konfidenzintervalls auf. Die gelbe Linie stellt den linearen Verlauf des Mittelwertes dar.

Abbildung 64: Ergebnisse der Mittenversuche – Phase 1 [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



Das Paar 1 hat eine Aceton-Konzentration von 20 mg/m<sup>3</sup> (0 pi) im Trichter A und 140 mg/m<sup>3</sup> (6 pi) im Trichter B. Der berechnete Mittelwert aus den Messwerten beträgt 79 mg/m<sup>3</sup> und weicht somit kaum vom errechneten Mittelwert von 80 mg/m<sup>3</sup> ab.

Bei den Ergebnissen aller fünf Intensitätspaare, liegt der Unterschied bei maximal 10 mg/m<sup>3</sup> zwischen dem linearen Mittelwert und dem berechneten Mittelwert aus den Messergebnissen.

Im Vergleich mit dem absoluten Wert der Intensitätsskala, entspricht dies einer Abweichung von einem halben pi. Diese Abweichung ist für die menschliche Nase kaum wahrzunehmen. Die Tabelle 7 zeigt die Daten die in der Abbildung 64 grafisch dargestellt sind, ergänzt mit den Werten der absoluten und der relativen Standardabweichung. Die absolute Standardabweichung nimmt bei größeren Konzentrationsamplituden zu, im Gegensatz dazu bleibt die relative Standardabweichung nahezu konstant. Das bedeutet, dass die Aussagekraft der fünf untersuchten Konzentrationspaare untereinander, nahezu identisch ist.

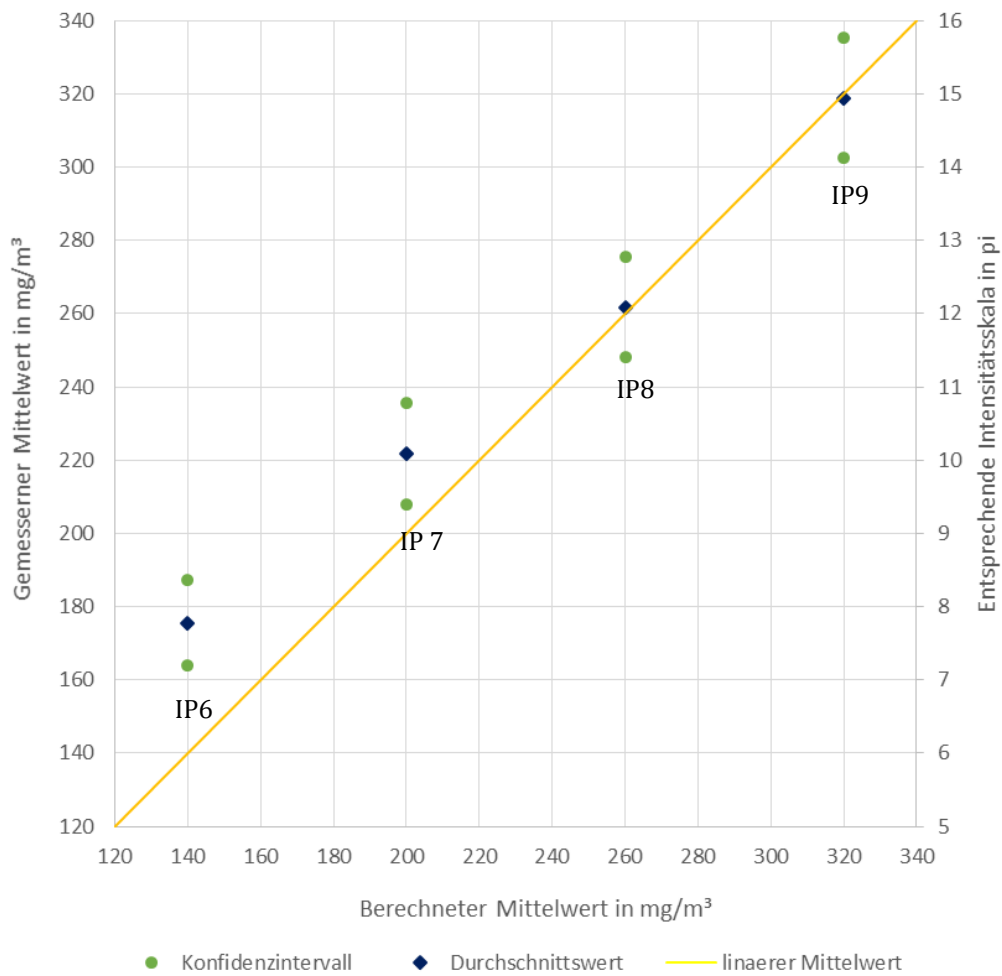
Tabelle 7: Ergebnisübersicht der Mittenversuche Phase 1 [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]

Intensitätspaar (IP)	HTW Berlin und Aachen n=100			HTW Berlin n=50	
	1	2	3	4	5
Eingestellte Konzentration $p_i$	0-6	0-9	0-12	0-15	0-18
Berechneter Mittelwert $mg/m^3$	80.0	110.0	140.0	170.0	200.0
Gemessener Mittelwert $mg/m^3$	79.3	100.4	135.9	176.6	190.2
Standardabweichung – absolut $mg/m^3$	32.1	49.0	53.6	61.3	70.3
Standardabweichung – relativ %	40.3	48.5	39.3	34.3	36.6
Konfidenzintervall %	90	90	90	90	90
Obere Grenze $mg/m^3$	74.0	92.3	127.0	162.1	173.6
Untere Grenze $mg/m^3$	84.6	108.6	144.7	191.1	206.9

Die Abbildung 65, zeigt die Ergebnisse der Phase 2. In dieser Phase werden den Probanden vier Intensitätspaare angeboten, wobei bei allen Paaren die Konzentrationsamplitude konstant ist (im Gegensatz zu Phase 1). Die grafische Darstellung der Inhalte ist identisch zu Abbildung 64.



Abbildung 65: Ergebnisse der Mittenversuche – Phase 2 [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



Bei den Ergebnissen der vier Intensitätspaare der Phase 2 weicht der Durchschnittswert von IP 6 um 35 mg/m<sup>3</sup> und von IP 7 um 21 mg/m<sup>3</sup> ab.

Die Abweichung von IP 8 und IP 9 liegt bei weniger als 2 mg/m<sup>3</sup> vom berechneten Mittelwert. Die Tabelle 8 zeigt die Daten, die in der Abbildung 65 grafisch dargestellt sind. Zusätzlich sind die Werte der absoluten und der relativen Standardabweichung aufgelistet. Die absolute Standardabweichung nimmt bei höheren Konzentrationen zu, im Gegensatz zur Phase 1 steigt in diesem Fall die relative Standardabweichung auch etwas an.

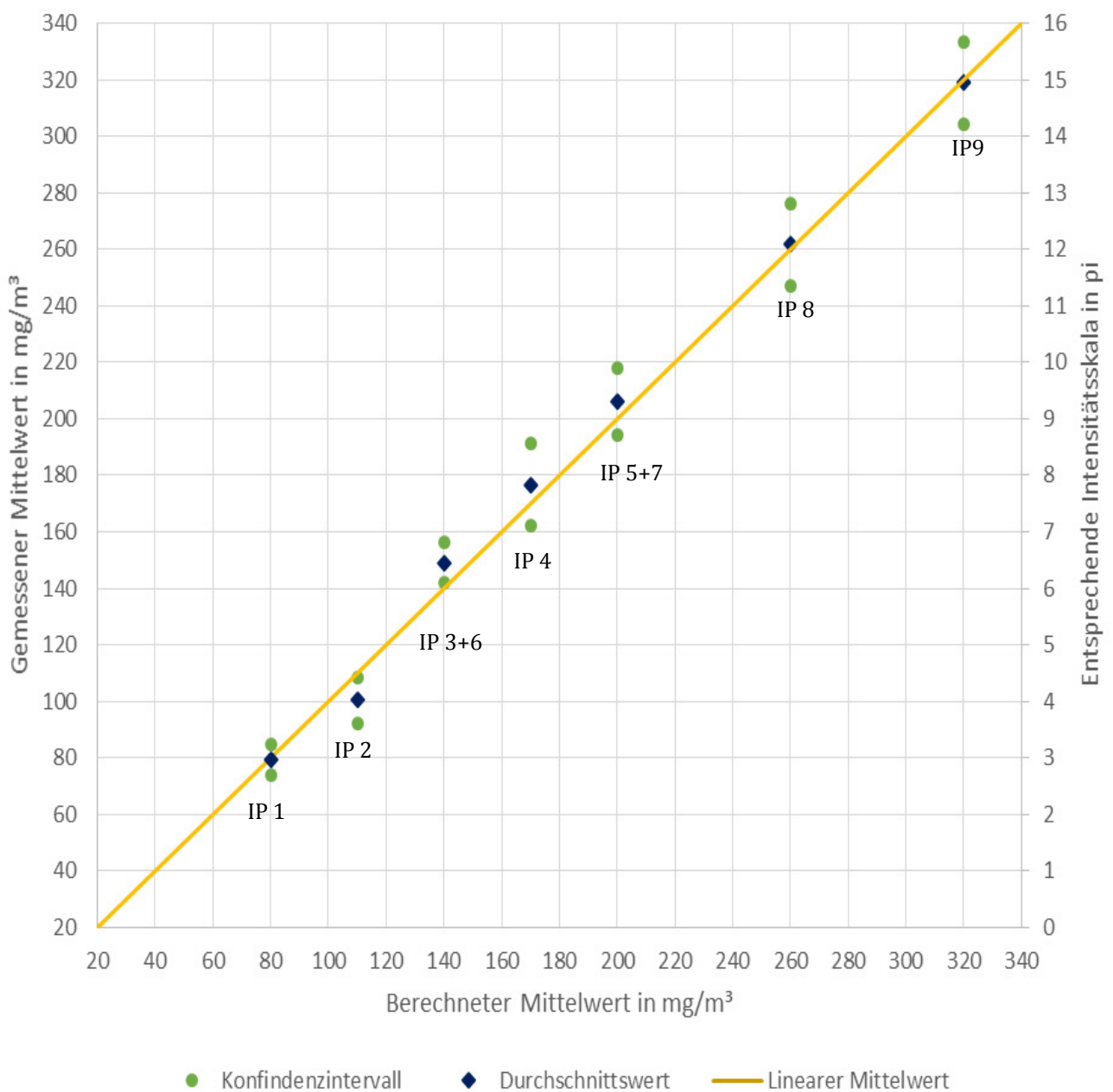
Tabelle 8: Ergebnisübersicht der Mittenversuche Phase 2 [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]

	HTW Berlin n=50			
	6	7	8	9
Intensitätspaar (IP)	6	7	8	9
Intensitätspaar, Konzentration $p_i$	3-9	6-12	9-15	12-18
Berechneter Mittelwert $mg/m^3$	140.0	200.0	260.0	320.0
Gemessener Mittelwert $mg/m^3$	175.6	221.8	261.7	318.8
Standardabweichung – absolut $mg/m^3$	49.3	58.1	58.0	69.4

Standardabweichung – relativ %	11.7	13.8	13.8	16.4
Konfidenzintervall %	90	90	90	90
Obere Grenze $mg/m^3$	163.9	208.0	248.0	302.4
Untere Grenze $mg/m^3$	187.3	235.6	275.5	335.3

Die IP 3 und 6 sowie IP 5 und 7 haben in der Phase 1 und 2 der Untersuchung den gleichen berechneten Mittelwert. Aus diesem Grund sind sie in der Abbildung 66 zusammengezogen.

Abbildung 66: Ergebnisse der Mittenversuche – Phase 1 und 2 [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



Das Zusammenführen der Ergebnisse zeigt folgende Tendenz: je mehr Prüferinnen und Prüfer die Untersuchung durchführen desto mehr nähert sich der gemessene Durchschnittswert dem berechneten Mittelwert und dem daraus folgenden linearen Verlauf.

#### **7.4 Schlussfolgerungen der Ergebnisse**

Die Auswertungen der Ergebnisse zeigen eine große Übereinstimmung zwischen dem linearen Vergleichsmaßstab und den empfundenen Mittelwerten der Prüfenden. Die Linearität in dem untersuchten Intensitätsbereich ist deutlich zu erkennen.

## 8 Datenbank

Für die bessere Auswertung der Daten wird eine Datenbank erstellt, in der alle untersuchten Bauprodukte aus dem aktuellen Projekt und den vorrangegangenen Projekten zusammengeführt werden. Die Datenbank wird dem Mittelgeber sowie den Projektbeteiligten zur Verfügung gestellt.

Die Datenbank ist wie folgt aufgebaut

9. Eingabemaske für neue Daten
10. verschiedene Filterfunktionen
11. Messprotokoll
12. Graphischer Vergleich der Bewertungsergebnisse verschiedener Produkte

Die einzelnen Punkte werden in den nachfolgenden Kapiteln genauer beschrieben.

Insgesamt umfasst die Datenbank aktuell die Messdaten von 131 verschiedenen Produkten (Stand: März 2017).

### 8.1 Eingabemaske für neue Daten

Neue Daten lassen sich mittels einer Eingabemaske (siehe Abbildung 67) leicht eintragen. Die entsprechenden Daten werden dabei in der richtigen Form abgelegt. Bei einer fehlenden Angabe erhält der Benutzer einen Warnhinweis.

Abbildung 67: Datenbank – Eingabemaske [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]

## 8.2 Filterfunktionen

Die Struktur der Datenbank ist so aufgebaut, dass sich die einzelnen Einträge schnell filtern lassen. So ist beispielsweise die Filterung der Daten nach Hersteller, Produktgruppe, Prüfinstitut, Projekt oder Messreihe bzw. Messzeitraum möglich. Die nachfolgende Abbildung 68 zeigt beispielhaft die Filterung der Daten für die Produktgruppe der elastischen Bodenbeläge.

Abbildung 68: Datenbank – Filterfunktion [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]

Interne Prüfnummer	Hersteller	Produktgruppe	Prüfinstitut	Projekt	Messreihe	Zeitraum	Anzahl Probanden	Bemerkung zur Messung	Tag 3					
									Intensität			Hedonik		
									Mittelwert	Std. abw.	Konfi. Intervall	Mittelwert	Std. abw.	Konfi. Intervall
HTW 13.014			HTW-Berlin	UBA Köln	13-10	Apr.13	10-12		10,4	3,3	1,9	-1,8	1,1	0,6
HTW 13.015			HTW-Berlin	UBA Köln	13-10	Apr.13	10-12		9,1	2,8	1,6	-2,4	1,2	0,7
HTW 16.001			HTW-Berlin	UBA Blauer Engel	16-01	Feb.16	10-11		10,8	2,7	1,8	-0,8	1,5	1,0
HTW 16.002			HTW-Berlin	UBA Blauer Engel	16-01	Feb.16	10-11		10,0	3,3	2,2	-0,4	1,1	0,7
HTW 16.003			HTW-Berlin	UBA Blauer Engel	16-01	Feb.16	10-11		7,4	2,0	1,3	0,3	1,1	0,7
HTW 16.004			HTW-Berlin	UBA Blauer Engel	16-01	Feb.16	10-11		7,6	2,2	1,5	0,0	0,8	0,5
HTW 16.005			HTW-Berlin	UBA Blauer Engel	16-02	Mrz.16	10-11		11,6	3,5	1,8	-1,7	1,4	0,7
HTW 16.006			HTW-Berlin	UBA Blauer Engel	16-02	Mrz.16	10-11		6,2	2,8	1,5	0,1	0,9	0,5
HTW 16.007			HTW-Berlin	UBA Blauer Engel	16-02	Mrz.16	10-11		11,8	3,6	1,9	-1,8	1,3	0,7
HTW 16.008			HTW-Berlin	UBA Blauer Engel	16-02	Mrz.16	10-11		10,8	3,4	1,8	-1,8	1,3	0,7
HTW 16.009			HTW-Berlin	UBA Blauer Engel	16-03	Jun.16	9-13		10,9	3,0	1,9	-0,2	1,3	0,8
HTW 16.010			HTW-Berlin	UBA Blauer Engel	16-03	Jun.16	9-13		5,8	3,0	1,9	0,2	1,3	0,8
HTW 16.011			HTW-Berlin	UBA Blauer Engel	16-03	Jun.16	9-13		5,1	2,3	1,4	0,1	0,8	0,5
HTW 16.012			HTW-Berlin	UBA Blauer Engel	16-03	Jun.16	9-13		7,3	2,5	1,5	0,1	1,0	0,6
HTW 16.013			HTW-Berlin	UBA Blauer Engel	16-03	Jun.16	9-13		12,8	2,1	1,3	-1,0	1,6	1,0
HTW 16.014			HTW-Berlin	UBA Blauer Engel	16-03	Jun.16	9-13		12,4	3,1	1,9	-0,4	1,6	1,0
HTW 16.015			HTW-Berlin	UBA Blauer Engel	16-04	Jul.16	8-12		5,5	2,9	1,6	0,0	0,9	0,5
HTW 16.016			HTW-Berlin	UBA Blauer Engel	16-04	Jul.16	8-12	Tag7 nicht bewertet	7,5	2,8	1,6	-0,7	1,3	0,8
HTW 16.017			HTW-Berlin	UBA Blauer Engel	16-07	Okt.16	8-13	Tag7 nicht bewertet	11,9	2,3	1,7	-0,8	1,0	0,7
HTW 16.018			HTW-Berlin	UBA Blauer Engel	16-07	Okt.16	8-13	Tag7 nicht bewertet	10,5	3,1	2,3	-0,3	0,6	0,4
HTW 16.019			HTW-Berlin	UBA Blauer Engel	16-07	Okt.16	8-13	Tag7 nicht bewertet	7,7	3,1	2,3	0,1	0,4	0,3
HTW 16.020			HTW-Berlin	UBA Blauer Engel	16-07	Okt.16	8-13	Tag7 nicht bewertet	12,1	3,3	2,4	-0,9	1,7	1,2
HTW 16.021			HTW-Berlin	UBA Blauer Engel	16-07	Okt.16	8-13	Tag7 nicht bewertet	11,9	2,0	1,5	-0,8	1,0	0,7

## 8.3 Messprotokoll

Des Weiteren verfügt die Datenbank über die Funktion ein Messprotokoll eines Produkts zu erstellen. Dazu wählen die Benutzerin bzw. der Benutzer über ein Auswahlfeld ein entsprechendes Produkt aus und bekommt sofort alle relevanten Eintragungen und Messdaten dazu angezeigt. Die folgende Abbildung 69 zeigt beispielhaft ein Messprotokoll eines Produkts, welches im Rahmen dieses Projekts untersucht wurde.

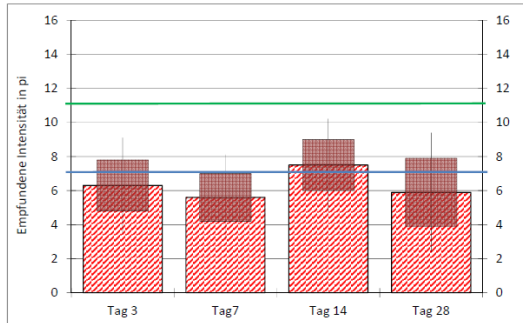
Abbildung 69: Datenbank – Messprotokoll [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]

**Messprotokoll Geruchsbewertung**

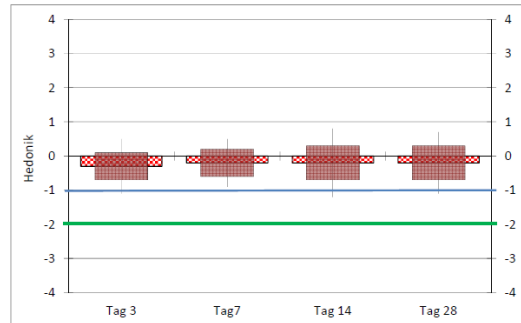
nach DIN EN ISO 16000-9 und VDI 4302 Blatt1



Prüfprodukt:	<b>WE 0903</b>			Hersteller:	0
Produktgruppe:	textile Bodenbeläge	interne Prüfnummer:	HTW 15.004		
Prüfinstitut:	HTW-Berlin	Projekt:	UBA Blauer Engel		
Anzahl Probanden:	10-12	Messreihe:	15-02		
Bemerkungen:	0			Zeitraum:	Apr.15



Intensität				
	Tag 3	Tag7	Tag14	Tag28
<b>Mittelwert</b>	6,3	5,6	7,5	5,9
<b>Standardabweichung</b>	2,8	2,5	2,7	3,5
<b>Konfidenzintervall</b>	1,5	1,4	1,5	2,0

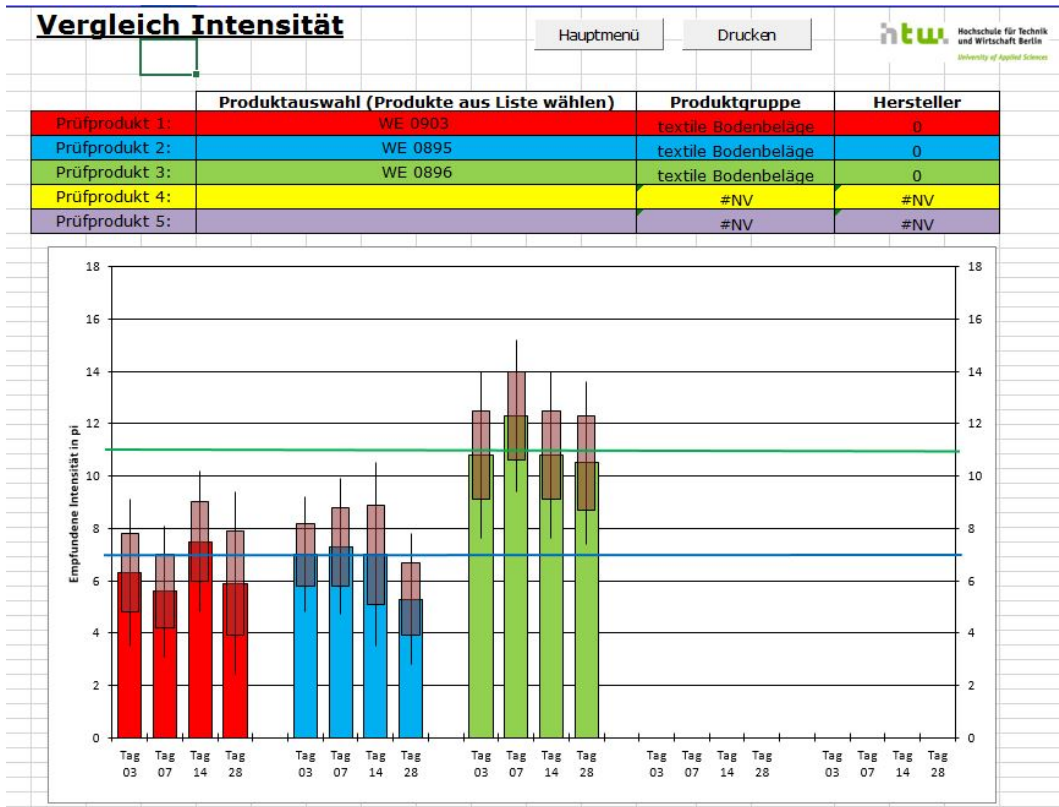


Hedonik				
	Tag 3	Tag7	Tag14	Tag28
<b>Mittelwert</b>	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2
<b>Standardabweichung</b>	0,8	0,7	1,0	0,9
<b>Konfidenzintervall</b>	0,4	0,4	0,5	0,5

**8.4 Graphischer Vergleich der Bewertungsergebnisse verschiedener Produkte**

Abschließend lassen sich mithilfe der Datenbank auch schnell die Ergebnisse verschiedener Produkte miteinander in graphischer Form miteinander vergleichen. Die nachfolgende Abbildung 70 zeigt beispielhaft den Vergleich von drei Produkten.

Abbildung 70: Datenbank – graphischer Vergleich der Ergebnisse [Quelle: eigene Darstellung, HTW Berlin]



## 9 Zusammenfassung/Ausblick

Das Forschungsvorhaben „Emissions- und geruchsarme Bauprodukte für energieeffiziente Gebäude - Entwicklung von Anforderungen und Konzepten für den Blauen Engel aus Klimaschutzsicht“ mit dem Kurztitel „Emissions- und geruchsarme Bauprodukte für energieeffiziente Gebäude“, Förderkennzeichen FKZ 3713 95318, hat eine Laufzeit vom Oktober 2013 bis März 2017. Das Vorhaben wird von Prof. Dr.-Ing. habil. Birgit Müller geleitet und von Herrn Dipl.-Ing. Alexander Mertes und Frau Dr. Silvia de Lima Vasconcelos an der HTW Berlin durchgeführt. Bei der BAM sind Herr Dr. Wolfgang Horn und Frau Laura Brosig an den Untersuchungen beteiligt.

Das Projekt teilt sich in vier Arbeitspakete:

- ▶ Arbeitspaket 1: Geruchsmessung bei Produkten mit dem Blauen Engel (siehe Kapitel 4 und 5);
- ▶ Arbeitspaket 2: Untersuchung von Vergleichsmaßstäben (siehe Kapitel 6);
- ▶ Arbeitspaket 3: Untersuchung der Linearität der Acetonskala (siehe Kapitel 7);
- ▶ Arbeitspaket 4: Erstellung einer Produktdatenbank (siehe Kapitel 8).

Ziel ist es die Einführung der sensorischen Geruchsbewertung in die Vergabekriterien des Umweltzeichens des Blauen Engels zu integrieren. Dieses Ziel wurde mit der Integration der Geruchsbewertung Vergaberichtlinie für textile Bodenbeläge erreicht (siehe Kapitel 4). Verbraucherinnen und Verbraucher erhalten dadurch die Möglichkeit, gezielt gesundheitlich unbedenkliche und geruchsarme Baustoffe zu beschaffen. Es werden 22 textile und 16 elastische Bodenbeläge (Kapitel 5) untersucht. Da die Untersuchungen nicht nur auf sensorischer Ebene durchgeführt werden, hat die BAM bei den chemisch-analytischen Untersuchungen die entsprechenden Arbeitsunterpunkte bearbeitet. Korrelationen zwischen den sensorischen und den chemisch-analytischen Ergebnissen haben sich nicht ergeben. Diese Beobachtung verstärkt die schon angenommene These, dass beide Untersuchungsformen wichtig sind, damit eine vollständige und korrekte Bewertung der Baustoffe getätigt werden kann.

Es liegen circa 40% der geprüften Baustoffe (textil und elastisch) unter dem vorgeschlagenen und noch in der Diskussion befindlichen Prüfwert des Blauen Engels. Die restlichen Produkte befinden sich unter dem Prüfwert des AgBB-Schemas. Drei von insgesamt 38 Produkten liegen auch über dem vorgeschlagenen Prüfwert des AgBB-Schemas. Weitere Untersuchungen bis zur Einführung der Geruchsuntersuchungen auch bei anderen Produktgruppen sind notwendig.

Sensorische Bewertungen müssen so objektiv und aussagekräftig wie möglich ausgeführt werden, damit ihre Ergebnisse zu einer positiven Entwicklung der Luftqualitätsbestimmung führen können. Daher ist ein weiteres Ziel dieses Forschungsvorhabens, die Untersuchung von Vergleichsmaßstäben (Kapitel 6), denn die Praxis zeigt, dass verschiedene Modelle konstruiert wurden. Bei dem Vergleich von vier verschiedenen Vergleichsmaßstäben mit dem der HTW Berlin, hat sich gezeigt, dass es durchaus Unterschiede zwischen den Vergleichsmaßstäben gibt. Untersuchungen nach dem Ausschlussprinzip waren in der Kürze der Zeit nicht möglich. Es ist sehr gut zu erkennen, dass beispielsweise Vergleichsmaßstab 4 zu guten Übereinstimmungen kommt. Weitere Untersuchungen mit den unterschiedlichen Vergleichsmaßstäben sind von großer Bedeutung für die Weiterentwicklung der Methode.

Eigengerüche der Geräte sind zu vermeiden, da somit keine Bewertung im Sinne der Methode der empfundenen Intensitätsbewertung mit Vergleichsmaßstab möglich ist.

Das Messen der Acetonkonzentration stellt eine Herausforderung dar, daher muss man sich auch hier auf eine Standardmethode zum Beispiel der HTW Berlin einigen, da dieses Messprinzip bei der Entwicklung der Methode verwendet wurde.



In Kapitel 7 wird die Linearität der Acetonskala in dem in dieser Methode eingesetzten Konzentrationsbereich überprüft. Die Auswertungen der Ergebnisse der Mittenversuche zeigen eine gute Übereinstimmung zwischen dem linearen Vergleichsmaßstab und den empfundenen Mittelwerten der Prüfer.

Es wurde eine Datenbank (siehe Kapitel 8), die alle bisher untersuchten Produkte zusammenführt und so schnell miteinander vergleichbar macht, eingeführt. Die Datenbank umfasst aktuell die Messdaten von 131 verschiedenen Produkten (Stand: März 2017).

## 10 Quellenverzeichnis

- [1] P. Wargocki, Human Perception, Productivity and Symptoms Related to Indoor Air Quality; Dissertation, Technical University of Denmark Lyngby, 1998.
- [2] W. Fisk und O. Seppanen, Providing Better Indoor Environmental Quality Brings Economic Benefits, Helsinki: Clima, 2007.
- [3] T. Brüning, J. Bünger, K. Sucker und G. Westphal, Gute oder schlechte Luft? Gerüche am Arbeitsplatz und im Innenraum und ihre Bedeutung für die Unfallversicherungsträger, Bochum: IPA-Journal , 2014.
- [4] N. v. Hahn, H. Kleine und a. et, Innenraumarbeitsplätze – Vorgehensempfehlung für die Ermittlungen zum Arbeitsumfeld, Berlin: DGUV - Druck Center Meckenheim, 2013.
- [5] B. Müller, Bewertungsverfahren der Luftqualität in der Gebäudetechnik, Bd. Habilitation, Berlin: Herman Ritschel Institut, Technische Universität Berlin, 2008.
- [6] G. Clausen, J. Pejtersen und P. Bluysen, Final research manual of "European audit project to optimize indoor air quality and energy consumption in office buildings, Dänemark: Technical University of Denmark and TNO-Building and Construction Research, 1993.
- [7] F. Bittner, Abschlussbericht über das Forschungsvorhaben: Low-Olf-Klimaanlage, Berlin: Technische Universität Berlin (gefördert von Stiftung Industrieforschung), 2001.
- [8] C. Weschler, Chemical reactions among indoor pollutants: what we've learned in the new millennium, Indoor Air, 2004.
- [9] W. Nazaroff und W. C.J. , Cleaning products and air fresheners: exposure to primary and secondary air pollutants, Atmospheric environment 38, 2004.
- [10] W. Sakr, C. Weschler und P. Fanger, The impact of sorption on perceived air quality, Indoor Air, 2006.
- [11] DIN EN ISO 16000-28, *Bestimmung der Geruchsstoffemissionen aus Bauprodukten*, Berlin: Beuth Verlag, 2012.
- [12] VDI 4302 Blatt 1, *Geruchsprüfung von Innenraumluft und Emissionen aus Innenraummaterialien* -, Düsseldorf: Verein der Ingenieure e.V., 2015.
- [13] DIN EN ISO 16000-30, *Sensorische Prüfung der Innenraumluft*, Berlin: Beuth Verlag, 2012.
- [14] W. Horn, O. Jann, J. Kasche, F. Bitter, D. Müller und B. Müller, „Umwelt- und Gesundheitsanforderungen an Bauprodukte -“, Umweltbundesamt, Dessau, 2007.
- [15] B. Müller, W. Horn und J. Panaskowa, *Sensorische Bewertung der Emissionen aus Bauprodukten – Integration in die Vergabegrundlagen für den Blauen Engel und das AgBB-Schema*, Berlin:

Bundesumweltamt, 2011.

- [16] DIN EN ISO 16000-9, *Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen aus Bauprodukten und Einrichtungsgegenständen - Emissionsprüfkammer-Verfahren*, Berlin: Beuth-Verlag, 2008.
- [17] L. Fang, *Impact of Temperature and Humidity on Perceived Indoor Air Quality.*, Kopenhagen: PhD thesis, Universität von Dänemark, 1997.
- [18] L. Fang, G. Clausen und P. Fanger, *Impact of Temperature and Humidity on the Perception of Indoor Air Quality*, pages 80-90: *Indoor Air*, Volume 8, 1998.
- [19] O. Bötcher, *Experimentelle Untersuchungen zur Berechnung der empfundenen Luftqualität*, Berlin: Technische Universität, Dissertation, 2003.
- [20] W. Kerka und C. Humphreys, *Temperature and humidity effect on odour perception*, pp. 531–552: *ASHRAE Transactions* 62, 1956.
- [21] DIN EN ISO 16000-6, *Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern*, Berlin: Beuth-Verlag, 2012.
- [22] G. Gemeinschaft, „GUT Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden e. V.“ [Online]. Available: [http://license.gut-ev.de/de/frames\\_15.htm](http://license.gut-ev.de/de/frames_15.htm). [Zugriff am 29.06.2015].
- [23] PRODIS, „einheitliches europäisches PRODUkt-Informationssystem für textile Bodenbeläge,“ [Online]. Available: <http://www.pro-dis.info/smell.html?&L=1>. [Zugriff am 29.06.2015].
- [24] RAL gGmbH, *RAL-ZU 128 Emissionsarme textile Bodenbeläge*, RAL gGmbH, 2016.
- [25] L. Brosig, *Optimierung der normgerechten Intensitätsbewertung von Materialgerüchen* (Dissertation), Berlin: Institut für Technischen Umweltschutz, Technische Universität Berlin, 2017 (in Fertigstellung).
- [26] M. Möser, *Technische Akustik*, Berlin: Springer Vieweg; VDI, 2015.
- [27] B. Steinheider, *Die Wirkungen von Industrierüchen als Umweltstressoren*, Wiesbaden: Deutscher Universitäts-verlag GmbH, 1997.